

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



GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL
PROYECTO FIN DE GRADO

CUANTIFICACION DE LA HUELLA AMBIENTAL DE LA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
DE MONTES, FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL DEL
AÑO 2018

GUILLERMO POLO LLANA

2019



TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CUANTIFICACION DE LA HUELLA AMBIENTAL DE LA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL DEL AÑO 2018

Autor

GUILLERMO POLO LLANA

Directores

SARA MARTÍNEZ DELGADO

Doctor Ingeniero Agrónomo

SERGIO ÁLVAREZ GALLEGO

Doctor Ingeniero de Montes

Tutor

AGUSTIN RUBIO SANCHEZ

Doctor en Ciencias Biológicas

Madrid, 2019

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: _____

“The fact is that no species has ever had such wholesale control over everything on earth, living or dead, as we now have. That lays upon us, whether we like it or not, an awesome responsibility. In our hands now lies not only our own future, but that of all other living creatures with whom we share the earth.”

David Attenborough, Life on Earth. BBC. 1979. Reino Unido.

Agradecimientos

Mis primeras palabras de agradecimiento están dirigidas a mis directores Sara Martínez y Sergio Álvarez, así como a mi tutor Agustín Rubio. Han sido ellos quienes han depositado tanta confianza y me han ayudado enormemente a presentar este proyecto con el que concluyo el Grado en Ingeniería Forestal. Desde que comenzamos las primeras reuniones hasta el final no habéis parado de enseñarme, guiarme, animarme y motivarme para seguir aprendiendo esta apasionante área de la sostenibilidad, la cual quiero continuar desarrollando en el futuro.

Además, este trabajo no habría sido posible sin los datos facilitados por el personal de la Sección Económica de la Secretaría Administrativa de la Escuela, como también sin la ayuda de Agustín Rubio y Ana Rodríguez Olalla.

Así mismo, quiero agradecer también a Carmen Avilés Palacios, al Equipo entero de Huella de Carbono de Montes y al Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia de la UPM por facilitarme la posibilidad de disfrutar de una Beca de Sostenibilidad, de la que goza este trabajo. Esta beca ha sido asignada gracias al programa de Campus Sostenible en la Universidad Politécnica de Madrid del año 2019.

Finalmente, me gustaría agradecer a mi familia, amigos, y en especial a Irene, el apoyo que me habéis brindado todos estos años en los momentos más difíciles de la carrera. Siempre me habéis motivado cuando lo necesitaba y de no ser por vosotros no habría llegado a donde estoy ahora. ¡Gracias de todo corazón!

Resumen

Mientras el mundo cambia hacia una sociedad más sostenible y concienciada con el medio ambiente, la participación de la universidad en este cambio es de vital importancia. En este sentido, la Universidad Politécnica de Madrid está fomentando diferentes estrategias medioambientales, las cuales se basan en los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por Naciones Unidas, así como, en los compromisos adquiridos respecto a la Agenda 2030. De esta manera se implica aún más la participación de la universidad en el desarrollo sostenible.

En este contexto, cabe resaltar la gran importancia de identificar los diferentes retos medioambientales a los que se enfrenta la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes Forestal y del Medio Natural de la Universidad Politécnica de Madrid. Desde el liderazgo desarrollado para la cuantificación de la Huella de Carbono, se plantea la necesidad de cuantificar las afecciones que son generadas en otras categorías de impacto ambiental. Para ello, la Huella Ambiental propuesta por la Comisión Europea se presenta como un indicador de sostenibilidad de tipo huella capaz de presentar, valorar y cuantificar los impactos directos e indirectos que son generados por la actividad humana. Además, la integración de 14 categorías de impacto, algunas de ellas relacionadas también con impactos de índole de salud pública, permite obtener una visión más completa de las afecciones al medio ambiente.

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es llevar a cabo la cuantificación de la Huella Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural del año 2018, empleando para ello el enfoque de análisis híbrido por niveles. Este tipo de análisis consiste en la agregación de dos técnicas: las técnicas clásicas de análisis de ciclo de vida y las técnicas del análisis input-output. Para ello, se establece la diferenciación de las áreas del análisis input-output y del análisis de procesos en función de la definición de los alcances para la Huella de Carbono establecidos por la norma ISO 14064.

La cuantificación de la Huella Ambiental ha permitido identificar los principales focos de impacto ambiental, resaltando las causas que los producen. Además, se han propuesto una serie de medidas y actuaciones para revertir y reducir los impactos que se generan. De entre todos los resultados obtenidos, se destaca un ligero aumento en el consumo eléctrico entre los años 2016 y 2018. Los impactos asociados a este consumo deberán ser paliados a través de una serie de

propuestas y medidas enfocadas a reducir el consumo y mejorar la eficiencia energética de la Escuela. De forma complementaria, la Huella Ambiental comparte similitudes en ciertos aspectos con la Huella de Carbono. Esta relación permite realizar una comparación de los resultados de la Huella Ambiental con los últimos datos publicados de Huella de Carbono. De este modo hacer una valoración de las diferentes metodologías empleadas.

La Universidad Politécnica de Madrid es una universidad pionera en relación con la sostenibilidad, siendo la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes Forestal y del Medio Natural un referente en la implementación de indicadores de sostenibilidad. El hito alcanzado por ser el primer centro universitario español en registrar su huella de carbono se amplía a través del presente estudio que posiciona a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes Forestal y del Medio Natural como primer centro público en cuantificar su Huella Ambiental.

Palabras calve

Huella Ambiental, Desarrollo Sostenible, Análisis del ciclo de vida, Análisis híbrido por niveles, Agenda 2030.

Abstract

As the world evolves towards a much more sustainable society with increasing awareness of environmental issues, the participation of the university in this challenge is crucial. In this way, the Universidad Politécnica de Madrid is currently encouraging different environmental strategies, based on the United Nations Sustainable Development Goals, and in line with the 2030 Agenda. So, the implication of the university in terms of sustainable development is getting even more relevant.

In this context, it is important to highlight the relevance of identifying all environmental challenges that the Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes Forestal y del Medio Natural, and the Universidad Politécnica de Madrid are facing, by the quantification of environmental impacts. Moreover, the Environmental Footprint introduced by the European Commission is presented as a sustainable indicator which could present, assess and quantify human impacts generated by our own activity. Furthermore, there are 14 impact categories integrated within this analysis, some of these also related to public health. Thus, a more complete picture of the environmental issues is obtained.

The main target of this final thesis is to calculate the Environmental Footprint of the Escuela, Técnica, Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural of 2018, by using a hybrid approach. This kind of analysis is carried out by the combination of two techniques: the classic method of the life cycle assessment and the input-output analysis, establishing the limits of each method by the definition of the Carbon footprint scopes, which are based on the ones defined in the regulation ISO 14064. As a result, the Universidad Politécnica de Madrid becomes a pioneer university in terms of sustainability, because this work is the first attempt of a Spanish university in quantifying the Environmental footprint by means of a hybrid approach.

The main interest of the quantification of the Environmental Footprint is the opportunity of identifying the main hotspots of environmental impacts. Furthermore, it allows to identify the causes of the impacts, so it is possible to propose courses of actions in order to prevent and reduce the generated impacts.

Focusing on the results, it was observed a slight increase in energy consumption from 2016 to 2018 and this fact led to higher environmental impacts. These impacts associated with the increase of energy consumption could be palliated by the measures and proposals included in

this document. This could be done by encouraging the reduction in energy consumption and by improving the energy efficiency from the university buildings.

In addition, the Environmental Footprint is very similar to the Carbon Footprint. Therefore, both footprints can be comparable. In this study, the data from the Carbon Footprint in 2016 is compared with the climate change impact category of the Environmental Footprint of 2018. This comparison allows the assessment of the current environmental status and the evolution of the university's environmental impacts.

This document is aimed to support and develop sustainable measures carried out in the Universidad Politécnica de Madrid and the Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes Forestal y del Medio Natural. Moreover, it is also aimed at establishing a methodological approach for the quantification of the Environmental Footprint in other faculties of the Universidad Politécnica de Madrid.

Abreviaturas, siglas y acrónimos

CE: Comisión Europea

WCED: World Commission of Environment and Development

MITECO: Ministerio para la transición ecológica

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

REDS: Red Española para el Desarrollo Sostenible

UPM: Universidad Politécnica de Madrid

ETSIMFMN: Escuela Técnica Superior de Ingeniería De Montes, Forestal y del Medio Natural

ETSAM: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

ISO: International Organization for Standardization

OEF: Organization Environmental Footprint

PEF: Product Environmental Footprint

ILCD: International Reference Life Cycle Data System

ACV: Análisis del Ciclo de Vida

Índice

1. Introducción	1
1.1 Desarrollo Sostenible: Contexto internacional	1
1.2 El desarrollo sostenible en las organizaciones	4
1.3 Sostenibilidad en la UPM	7
1.4 Indicadores tipo Huella y la Huella Ambiental	10
2. Objetivos	16
3. Materiales y Métodos	17
3.1 Definición del objetivo y alcance.....	17
3.2 Cuantificación de la Huella Ambiental	19
4. Resultados.....	28
4.1 Huella Ambiental de La Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural	28
5. Discusión	51
5.1 Implementación de la Huella Ambiental mediante el análisis híbrido por niveles.....	51
5.2 Discusión de los resultados	52
5.3 Medidas a adoptar por la UPM para mejorar	58
5.4 Medias a adoptar en la ETSIMFMN.....	58
5.5 Futuras líneas de investigación	60
6. Conclusiones.....	60
7. Referencias bibliográficas	62

Índice De Figuras

Figura 1: Pilares sobre los que se fundamenta el Desarrollo Sostenible. Fuente: Fundación Euroarabe, 2015.....	2
Figura 2: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Estévez, 2018.....	3
Figura 3: Contribución de las universidades a los Objetivo de Desarrollo Sostenible. Fuente: Lagüela et al., 2017.	5
Figura 4: Razones que justifican el compromiso de las universidades con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Lagüela et al., 2017.....	6
Figura 5: Categorías de impacto consideradas en la Huella Ambiental. Fuente: Elaboración Propia.....	11
Figura 6: Límites físicos considerados en el estudio y accesos al Arboreto (números 1-5). Fuente: Castilla & Escribano, 2008.....	18
Figura 7: Esquema del origen de los impactos en la Huella Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural del 2018. Fuente: Elaboración propia.....	22
Figura 8: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría cambio climático en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 9: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la categoría cambio climático. Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 10: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la categoría cambio climático, sin incluir la fuente de electricidad. Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 11: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría destrucción de la capa de ozono en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.	33
Figura 12: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la categoría destrucción de la capa de ozono. Fuente: Elaboración propia.	34

Figura 13: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría toxicidad en humanos con efectos cancerígenos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.	34
Figura 14: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la categoría toxicidad en humanos con efectos cancerígenos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 15: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 16: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la categoría toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 17: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría materia particulada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 18: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la materia particulada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	38
Figura 19: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría oxidación fotoquímica en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 20: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la oxidación fotoquímica en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 21: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría de impacto acidificación en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	40
Figura 22: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de acidificación en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	41

Figura 23: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría uso del suelo en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 24: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de uso de suelo en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 25: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría eutrofización terrestre en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 26: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de eutrofización terrestre en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	44
Figura 27: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría eutrofización marina en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	44
Figura 28: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de eutrofización marina en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 29: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría eutrofización en agua dulce de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 30: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de eutrofización en agua dulce de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 31: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría ecotoxicidad en agua dulce de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 32: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de ecotoxicidad en agua dulce de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural Fuente: Elaboración propia.....	48

Figura 33: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de ecotoxicidad en agua dulce en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural suprimiendo la fuente de Electricidad. Fuente: Elaboración propia.	48
Figura 34: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría Agotamiento de minerales y fósiles de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.	49
Figura 35: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de agotamiento de minerales y fósiles de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 36: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría agotamiento de los recursos hídricos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 37: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de agotamiento de los recursos hídricos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.....	51

Índice De Tablas

Tabla 1: Factores de impacto directo para cada categoría de impacto en Alcance 1. Fuente: Ecoinvent, 2016.	23
Tabla 2: Factores directos para cada categoría de impacto en Alcance 2. Fuente: Ecoinvent, 2016.	24
Tabla 3: Factores indirectos para cada categoría de impacto en Alcance 3. Fuente: Ecoinvent, 2016	25
Tabla 4: Factores de impacto para las categorías de impacto “Acidificación”, “Ecotoxicidad en agua dulce” y “Eutrofización en agua dulce” para los sectores implicados en el Alcance 3. Fuente: Wood et al., 2014.	26
Tabla 5: Factores de impacto, provenientes de EXIOBASE, para las categorías de impacto “Cambio climático”, “Toxicidad en humanos con efectos cancerígenos” y “Toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos” para los sectores implicados en el Alcance 3. Fuente: Wood et al., 2014.....	26
Tabla 6: Factores de impacto provenientes de EXIOBASE para las categorías de impacto “Uso del suelo”, “Agotamiento de minerales y fósiles” y “Destrucción de la capa de ozono” para los sectores implicados en el Alcance3. Fuente: Wood et al., 2014.	27
Tabla 7: Factores de impacto, provenientes de EXIOBASE, para las categorías de impacto “Materia particulada”, “Oxidación fotoquímica” y “Agotamiento de los recursos hídricos” para los sectores implicados en el Alcance 3. Fuente: Wood et al., 2014.....	27
Tabla 8: Factores de impacto provenientes de EXIOBASE para las categorías de impacto “Eutrofización marina”, “Eutrofización terrestre” y “Destrucción de la capa de ozono” para los sectores implicados en el Alcance 3. Fuente: Wood et al., 2014.....	28
Tabla 9: Huella Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Montes, Forestal y del Medio Natural para las categorías “Cambio climático”, “Destrucción de la capa de ozono”, “Acidificación” y “Ecotoxicidad en agua dulce”. Fuente: Elaboración propia.	29
Tabla 10: Cuantificación de los impactos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural para las categorías “Toxicidad con efectos cancerígenos”,	

“Toxicidad sin efectos cancerígenos”, “Oxidación fotoquímica” y “Materia particulada”.
Fuente: Elaboración propia..... 29

Tabla 11: Cuantificación de los impactos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural para las categorías “Uso del suelo”, “Agotamiento de los minerales y fósiles”, “Eutrofización agua dulce” y “Agotamiento de los recursos hídricos”.
Fuente: Elaboración propia..... 30

Tabla 12: Cuantificación de los impactos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural para las categorías “Eutrofización marina” y “Eutrofización terrestre”. Fuente: Elaboración propia..... 30

Tabla 13: Población Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural en los años 2016 y 2018. Fuente: Sección Económica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. 57

1. Introducción

1.1 Desarrollo Sostenible: Contexto internacional

Para muchos autores y estudiosos de la legislación ambiental, nuestro contexto actual en materia ambiental tiene su principal origen en la Conferencia Mundial sobre el Medio Humano en 1972, en la que se realiza la famosa Declaración de Estocolmo (UNEP, 1972). Es en esta Declaración de Estocolmo cuando por primera vez un texto jurídico internacional reconoce de forma simultánea el derecho y el deber al medio ambiente (Cutanda, 2016). Además, es aquí cuando comienza a hablarse de la obligación de preservar el medio de cara a las generaciones futuras.

Sin embargo, no es hasta finales de los años ochenta cuando se pronuncia el principal postulado de la acción ambiental, que no es otro que el principio de Desarrollo Sostenible. Este concepto es definido por la ministra noruega Gro Harlem Brundtland, y aparece publicado por primera vez en 1987 en el reporte socioeconómico y medioambiental conocido como Informe Brundtland (WCED, 1987). Este principio de desarrollo sostenible tiene como objetivo satisfacer las necesidades del presente sin poner en riesgo las necesidades que las generaciones futuras van a requerir.

Posteriormente, en el año 1992, se celebró la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Rio de Janeiro, más conocida como “Cumbre de la Tierra”, en la cual se definió la sostenibilidad de acuerdo a tres aspectos: el aspecto económico, social y el medioambiental (Cutanda, 2016). Luego las bases para alcanzar el desarrollo sostenible serían dirigir las acciones satisfacer siempre estos tres aspectos fundamentales.

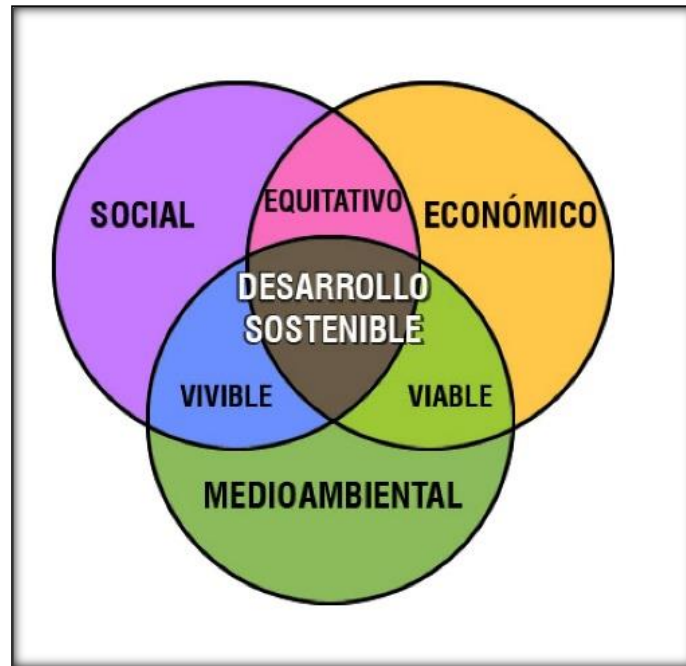


Figura 1: Pilares sobre los que se fundamenta el Desarrollo Sostenible. Fuente: Fundación Euroarabe, 2015.

No es hasta veinte años después, en el año 2012, cuando las principales naciones del mundo consiguen acercar posturas de manera eficiente para la realización de acuerdos que tengan mayor trascendencia a nivel medioambiental. Después de la Conferencia de Río + 20, y tras los acuerdos adoptados en esta conferencia de la Naciones Unidas, se publica el documento “El futuro que queremos”, el cual se asemeja más a una declaración de intenciones que a un plan de acción (Cutanda, 2016). Sin embargo, este avance sirve como impulso para las negociaciones que se suceden en el año 2015. El impulso desarrollado fructifica con el Acuerdo de París de 2015, que es el acuerdo más relevante que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático ha generado hasta la fecha. En el Acuerdo de París se establece de forma clara y concisa, bajo un instrumento jurídicamente vinculante, una serie de objetivos. El principal objetivo de este acuerdo es "mantener el aumento de la temperatura mundial muy por debajo de los 2°C con respecto a los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar este aumento de la temperatura a 1.5°C" (Cutanda, 2016).

Entre las características de este acuerdo, conviene destacar que la manera en la que se articula este Acuerdo de París no es mediante la fijación de objetivos de reducción conjuntos. Se cambia el enfoque y son los propios países los que deben reportar con una frecuencia de cinco años sus contribuciones, de esta forma, se irán satisfaciendo objetivos con un alcance mayor cada vez.

De manera paralela a los acuerdos alcanzados en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en septiembre de 2015, los gobiernos y las distintas partes interesadas mediante consultas públicas aprueban en la Asamblea General de las Naciones Unidas el documento “La Agenda 2030”. Se trata de un plan de acción que aúna las principales agendas internacionales para favorecer el bienestar de las personas, del planeta e impulsar la prosperidad, fortaleciendo la paz universal y el acceso a la justicia (MITECO, 2015). En base a esto se plantean diecisiete objetivos, enmarcados de forma clara en los tres principios clave antes mencionados del desarrollo sostenible: aspecto económico, social y ambiental.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS a partir de ahora) son:



Figura 2: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Estévez, 2018.

1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
4. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
5. Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas.
6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
10. Reducir la desigualdad en y entre los países.
11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15. Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.
16. Promover sociedades, justas, pacíficas e inclusivas.
17. Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible” (Naciones Unidas, 2015).

La Unión Europea responde a la Agenda 2030 bajo dos líneas de trabajo claras: una en la que pretenderá integrar los ODS en sus políticas, y otra en la que trate de abrir un desarrollo político y legislativo de carácter sectorial a partir de 2020 (Comisión Europea, 2016a).

1.2 El desarrollo sostenible en las organizaciones

Para poder impulsar el desarrollo sostenible se formó en España en el año 2015 la Red Española para el Desarrollo Sostenible (REDS). Este organismo tiene como fin concienciar a la sociedad española de los ODS, así como favorecer su incorporación en las instituciones públicas y en el sector privado (Lagüela et al., 2017). Esta red identifica cuatro áreas de actuación en España, energía, agua, biodiversidad y género, y se distinguen los siguientes objetivos:

- **Participar en el debate mundial** y apoyar a los gobiernos de todos los niveles del Estado en la implementación de los ODS y en su seguimiento a través de un sistema de indicadores.
- **Promover un programa de “Solution Initiatives”** que puedan llegar a transformar el desarrollo sostenible.

- **Presentar proyectos de desarrollo sostenible** organizados por miembros de la red como, por ejemplo, iniciativas locales o regionales que puedan suponer importantes contribuciones al desarrollo sostenible.
- **Promover la educación para el desarrollo sostenible.**
- **Ayudar a los gobiernos en el diagnóstico de los retos** de desarrollo sostenible de carácter local, autonómico y estatal, así como en la elaboración de estrategias y trayectorias de desarrollo sostenible sectoriales.



Figura 3: Contribución de las universidades a los Objetivo de Desarrollo Sostenible. Fuente: Lagüela et al., 2017.

Entre los miembros de esta red, destacan los numerosos miembros académicos, entre los que cabe mencionar las universidades, como la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). En este sentido, se hace especial énfasis en la importancia de las universidades en el cumplimiento de los diecisiete ODS, ya que son estas organizaciones las responsables de promover la investigación, el desarrollo tecnológico y de formar a los estudiantes que en el futuro podrán contribuir a establecer medidas medioambientales, sociales y económicas (Figura 3). Dada la importancia de estas organizaciones, la REDS recoge la guía titulada “Cómo empezar con los ODS en las universidades”. En esta guía se expone la importancia del establecimiento de los ODS en las universidades, en qué medida participan las universidades en su cumplimiento y ofrece una

serie de herramientas para poder cumplirlos. En definitiva, fomentar los ODS en las universidades supone un beneficio tanto para la sociedad como para la propia institución (Figura 4).



Figura 4: Razones que justifican el compromiso de las universidades con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Lagüela et al., 2017.

Además, todas aquellas organizaciones, como las universidades, que buscan implantar modelos de gestión sostenibles el seno de su actividad, están buscando no sólo un valor ambiental y económico diferenciador, sino que están creando un valor social en su entorno, que en muchos casos es difícilmente medible y palpable a corto plazo, pero que es una garantía de desarrollo de cara a las generaciones futuras. La caracterización de una organización en relación con la sostenibilidad se articula a través de los siguientes esquemas (Avilés Palacios, 2016):

- Dirección: Existencia de códigos de conducta y respeto de derechos humanos.
- Comunicación: transparencia y comunicación con la sociedad.
- Recursos Humanos: Relaciones laborales y dirección de personas. Aplicación de seguridad y salud en el trabajo a través de una cultura preventiva.
- Procesos: relaciones con proveedores y clientes.
- Medio Ambiente: gestión medioambiental integrada.

Por otra parte, para poder identificar si se están alcanzando los ODS es necesario contar con una serie de herramientas que permitan medir su nivel de cumplimiento. Con respecto al ámbito medioambiental, las principales herramientas que las organizaciones utilizan hoy en día para mejorar estos objetivos y metas son los siguientes:

- Huella de Carbono: a través de la Norma ISO 14064, para la cuantificación y reducción de sus emisiones.
- Sistema de gestión medioambiental: a través de la Norma ISO 14001 con el objetivo de optimizar su actividad e infraestructura en equilibrio con los requerimientos medioambientales actuales.
- Sistema de gestión de la calidad conforme a normativas ISO 9000. Con el fin de garantizar la calidad de sus productos y procesos a través de controles y seguimiento de su actividad.
- Sistema de gestión energética bajo estándares de normativas como lo es la Norma ISO 5001 con el fin de mejorar y mantener una gestión energética sostenible de la empresa u organización.

1.3 Sostenibilidad en la Universidad Politécnica de Madrid

La Política de Sostenibilidad de la UPM está coordinada por el Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia. Dicho Vicerrectorado trabaja bajo un conjunto de líneas estratégicas, cuyo seguimiento puede ser realizado mediante planes de actuación y sus respectivos indicadores. Estas líneas generales se encuentran descritas en detalle en el Plan de Sostenibilidad y son:

- Línea 1. Aprobar y aplicar normativas que conviertan a la UPM en una Universidad sostenible.
- Línea 2. Mejorar la ecoeficiencia 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.

Las líneas de actuación y sus respectivos planes de acción están enmarcados y basados en los ODS. La UPM participa en los ODS de diversas formas, algunos ejemplos son:

- Mediante grupos de investigación, Cátedras, Programas de Doctorando y Aulas Universidad Empresa vinculadas con la Sostenibilidad:

Destacar el Aula en Innovación para el Acceso a los Servicios Básicos: cuya “actividad se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de Naciones Unidas, especialmente con los ODS6, de acceso a agua y saneamiento, y ODS7, de acceso a energía, e impacta además en aquellos ODS relacionados con alivio de la pobreza, mejora de la salud, empleabilidad, igualdad de género, etc.” (Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia, 2018).

- Incluir competencias de sostenibilidad en las titulaciones impartidas en la UPM además de las ya existentes titulaciones específicas sobre desarrollo sostenible y medio ambiente (Estévez, 2018).
- Fomento mediante becas de realización de Trabajos Fin de Máster o Trabajos Fin de Grado con temática relacionada con la sostenibilidad, como lo es el presente trabajo que cuenta con una beca de este tipo financiada por el Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia de la convocatoria del año 2018.
- Desarrollo de líneas estratégicas para el uso de energías renovables en los distintos campus de la universidad. Por ejemplo, la modernización de los sistemas tradicionales

de calefacción, los cuales requieren de la quema de combustibles fósiles y su transformación a sistemas que utilicen gas natural (Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia, 2018).

- Herramientas para el estudio y el seguimiento de un Plan de Uso Sostenible del Agua (Estévez, 2018).
- Existencia de un Plan de Gestión de Residuos, que mejora el actual estado de reciclaje en todos los campus (Estévez, 2018).

Una de las aportaciones más destacables en la participación de los ODS por parte de la UPM, ha sido su compromiso con el cálculo y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a través del cálculo de la Huella de Carbono. En este sentido, ya en el año 2010 se puso en marcha en la ETSI Montes una primera iniciativa para calcular la Huella de Carbono del centro bajo la dirección del entonces incipiente Equipo de Huella de Carbono Montes-UPM. Los resultados obtenidos animaron al Equipo a continuar con esta labor y volver a calcularla en los años 2012, 2013, 2014 y 2015 para registrarla oficialmente y comparar resultados. De esta manera nuestro centro fue el primer centro universitario español que registraba su huella (sello “Calculo”) y que alcanzaba el reconocimiento a su esfuerzo por reducir la emisión de sus gases de efecto invernadero (sello “Calculo-Reduzco”). Además de estos sellos otorgados por el la Oficina Española de Cambio Climático a la ETSI de Montes, Forestal y del Medio natural, en 2013 el Equipo Huella de Carbono Montes-UPM también trabajó en la consecución del sello “Calculo” , posicionando ahora a la UPM como primera universidad pública en lograrlo (Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia, 2018). Prosiguiendo esa línea de actuación, la UPM calculó la Huella de Carbono del año 2016, utilizando como año base el 2013 y así poder comprobar si se habían producido reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero (Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia, 2018). Siguiendo este camino, se ha realizado también la cuantificación de otros indicadores tipo huella, como la huella hídrica para los años 2012-2014, la cual se recoge en un Trabajo Fin de Grado de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural (en adelante ETSIMFMN) (Ordóñez, 2016).

Así mismo, en materia de sostenibilidad en otros centros de la UPM, se están desarrollando trabajos vinculados al Plan de Sostenibilidad marcado por la Universidad. Un claro ejemplo es el Trabajo de fin de Grado “La Universidad Sostenible” de la alumna Úrsula Estévez Hernández, de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Este trabajo analiza la situación en la que se encuentra la UPM con respecto a otras universidades públicas españolas y se proponen una serie de medidas y se marcan una serie de objetivos para mejorar la apuesta por la sostenibilidad tanto en la UPM como en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

En este sentido, el presente trabajo pretende seguir avanzando en la cuantificación de los impactos ambientales y dar un paso más allá mediante la cuantificación de la Huella Ambiental.

1.4 Indicadores tipo Huella y la Huella Ambiental

El concepto de huella ha estado muy ligado al campo de la sostenibilidad. Fue introducido por primera vez en 1990, con la Huella Ecológica. Desde entonces, se han desarrollado una serie de indicadores análogos que han servido como base para conformar una familia integrada de indicadores capaces de medir los impactos que las distintas actividades humanas generan en términos de consumo de recursos, emisiones o medio ambiente (Martínez, 2019).

Uno de los indicadores tipo huella más relevantes es la Huella de Carbono. Este indicador se define como las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero que son producidas por efecto directo e indirecto como consecuencia de una actividad (Álvarez et al., 2015). Ésta definición adaptada sobre la originalmente planteada por Wiedmann y Minx en el año 2018, que hace referencia a la importancia de las absorciones y presenta una clara y exclusiva orientación hacia la repercusión de las actividades del hombre sobre el Cambio Climático.

En respuesta a la necesidad de cuantificar impactos sobre otras áreas de la sostenibilidad, se ha propuesto desde la Comisión Europea un nuevo indicador de tipo huella denominado Huella Ambiental. La característica principal de este indicador es su carácter multicriterio dado que cuantifica un total de 15 categorías de impacto ambiental. Pese a lo innovador que pueda resultar el término, el concepto deriva de los estudios que desde hace décadas se vienen realizando en el cambio del análisis de ciclo de vida. La Unión Europea a través de la Comisión Europea ha promovido una metodología común en todos los Estados miembros que potencia la creación de un mercado único de productos verdes y la inclusión de nuevos criterios ambientales en la compra pública verde. Con este fin, la Huella Ambiental valora y compara el comportamiento medioambiental de productos, servicios y empresas bajo el enfoque de Ciclo de Vida (Martínez, 2019). Con este fin, en mayo de 2013, la Unión Europea presentó los estándares para la determinación de la Huella Ambiental de Producto y la Huella Ambiental de Organización (Canga, 2013).

Uno de los puntos fuertes que tiene la Huella de Ambiental es que adopta desde su origen una perspectiva de ciclo de vida, lo que hace que se consideren los impactos a lo largo de la cadena de suministro de un producto u organización. Además, al contrario que con otros indicadores

cuyo foco está dirigido a un único impacto, como la Huella de Carbono, la Huella Ambiental goza de un enfoque multicriterio (Comisión Europea, 2012).

De las 15 categorías de impacto que la Huella Ambiental puede analizar, en el presente trabajo se van a analizar 14 de ellas. Estas categorías de impacto a su vez van a estar organizadas en función de las diferentes áreas de protección sobre las que actúan y que se recoge en el documento Sistema Internacional de Datos de Referencia sobre Ciclos de Vida (JRC Comisión Europea, 2010). Éstas son:

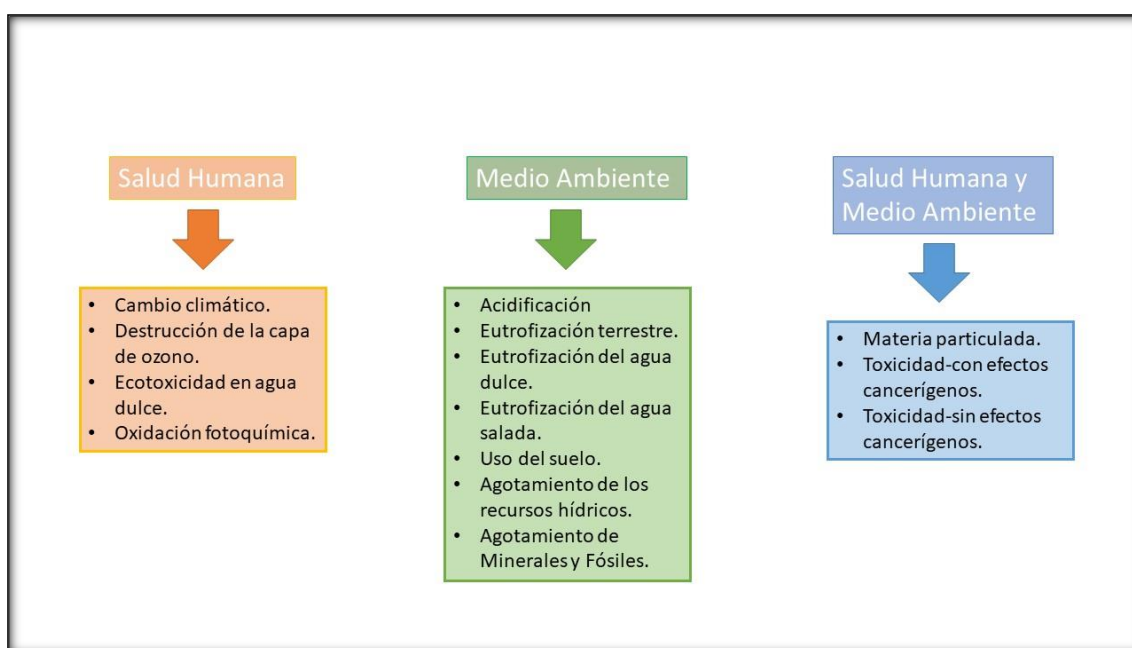


Figura 5: Categorías de impacto consideradas en la Huella Ambiental. Fuente: Elaboración Propia.

1.4.1 Descripción de las Categorías de Impacto

1. Cambio climático

La primera categoría de impacto, y la más conocida a nivel internacional, es la categoría de cambio climático. Esta categoría repercute tanto en términos de salud humana, como en términos de afección al medio ambiente.

El cambio climático es una consecuencia de la actividad humana y de otras actividades que repercuten en la emisión y concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera (JRC Comisión Europea, 2010). Así, Utilizando la unidad de medida de kilogramos de CO₂ equivalentes, el impacto potencial de las emisiones de gases de efecto invernadero son

comparadas con la cantidad de potencial de cambio climático de un kilogramo de CO₂ (Pelletier et al., 2012).

2. Acidificación

Esta categoría de impacto contabiliza los impactos generados por las emisiones que los productos químicos emiten al aire acidificándolo. Se refiere literalmente al incremento de la acidificación del agua y del suelo mediante la concentración de iones hidrógeno [H⁺]. La mayoría de las sustancias responsables de este fenómeno pueden ser NO_x (óxidos de nitrógeno), dióxidos de sulfuro (SO₂) o amoníaco (NH₃), entre otros (JRC Comisión Europea, 2010).

El impacto que puede generar la acidificación podría ser dañina para muchos ecosistemas terrestres en tanto que reducen el crecimiento de la vegetación; en ecosistemas acuáticos, reducen la presencia de individuos hasta su desaparición. Además, este impacto induce a la aparición de la lluvia ácida, que genera daños en edificios, construcciones, esculturas y otros objetos (Martínez, 2019).

3. Eutrofización

Esta categoría de impacto está referida a los impactos basados en el incremento de macronutrientes, generalmente nitrógeno y fósforo, en ecosistemas terrestres o acuáticos. La eutrofización es un impacto que afecta al medio ambiente a nivel local y regional (Pelletier et al., 2012).

3.1 Eutrofización Terrestre

El nitrógeno y el fósforo causan el crecimiento de las algas o de ciertas plantas, que limitan el crecimiento del resto del ecosistema (Comisión Europea, 2016b).

La unidad de medida son moles de nitrógeno equivalentes (mol N eq). Los moles, unidad de medida utilizada en química, expresan la cantidad presente de una sustancia. El impacto potencial de sustancias que contribuyen al proceso se convierte al equivalente en moles de nitrógeno (Pelletier et al., 2012).

3.2 Eutrofización del Agua dulce

De forma similar a la anterior, pero en ecosistemas acuáticos de agua dulce, si el crecimiento de las algas es demasiado rápido, podría quedarse el agua sin oxígeno suficiente para mantener a la comunidad de peces que vive en esa agua (Pelletier et al., 2012).

Las emisiones de nitrógeno en el medio acuático son fundamentalmente a consecuencia del uso de fertilizantes. En cuanto a las fuentes más habituales de emisiones de fósforo son las plantas de tratamiento de efluentes urbanos e industriales, además de la lixiviación de tierras agrícolas (Pelletier et al., 2012).

La eutrofización del agua dulce se mide mediante los kilogramos de fósforo equivalentes (kg P eq), y lo que mide es el impacto potencial de sustancias que contribuyen a este fenómeno (Comisión Europea, 2016b).

3.3 Eutrofización Marina

Para la eutrofización marina también, como norma general, la disponibilidad de uno de estos nutrientes es un factor limitante para el crecimiento estos ecosistemas y, si uno de estos nutrientes es incorporado, el crecimiento de algas y determinadas plantas será incrementado (Comisión Europea, 2016b).

La eutrofización marina se mide en kg de nitrógeno equivalentes (Kg N eq) y mide el impacto potencial de sustancias que contribuyen a este proceso (Comisión Europea, 2016b).

4. Destrucción de la capa de Ozono

Esta categoría indica la degradación del ozono presente en la estratosfera debido a emisiones de sustancias que favorecen este proceso. Estas sustancias son, entre otras, el cloro, el bromo, metano, óxido nitroso o el vapor de agua (Martínez, 2019).

A pesar de que estos compuestos están presentes en la naturaleza de forma natural, la actividad humana ha aumentado considerablemente su presencia, induciendo así la reducción de la capa de ozono. La vida sobre la tierra podría verse seriamente afectada a consecuencia de la pérdida del ozono en la estratosfera. Puede causar daños tanto en animales y plantas, como en humanos (Martínez, 2019).

La unidad de medida son los kilogramos de CFC-11 equivalentes. El impacto potencial de cualquier sustancia relevante para la destrucción de la capa de ozono es convertido a su equivalente en kilogramos de clorofluorocarburo (también llamado CFC-11) (Comisión Europea, 2016b).

5. Uso del suelo

Esta categoría de impacto refleja el daño a ecosistemas debido a los efectos de la ocupación y la transformación de la tierra. Ejemplos de uso de la tierra son la producción agrícola, la minería

o los asentamientos humanos. La ocupación de la tierra podría ser definida como el mantenimiento de un área en particular a lo largo de un determinado periodo de tiempo (JRC Comisión Europea, 2010).

Los principales impactos ambientales son referidos a cambios en la biodiversidad, disponibilidad de recursos y la calidad del suelo (Martínez, 2019). Estos impactos sobre la calidad del suelo se evalúan mediante los balances de carbono presentes en el área referida. De ahí el uso de la unidad “kg C déficit” (déficit de carbono).

6. Ecotoxicidad en agua dulce

Esta categoría está referida al riesgo asociado y a las consecuencias de la liberación de productos químicos al aire, agua o al suelo que repercuten en ecosistemas acuáticos (JRC Comisión Europea, 2010).

Incluye sustancias del tipo compuestos orgánicos, metales, contaminantes orgánicos persistentes o pesticidas responsables, en los ecosistemas acuáticos, de la biodegradación y la mortalidad de múltiples organismos vivos (Martínez, 2019).

Se utilizan para medirlo en esta categoría de impacto las unidades “CTUe”, que es una unidad utilizada para medir la toxicidad en los ecosistemas de forma comparativa.

7. Partículas en suspensión, materia particulada

Esta categoría de impacto tiene en cuenta los efectos adversos en la salud humana como consecuencia de la emisión de partículas en suspensión y sus precursores (NO_x, SO_x, NH₃) (Pelletier et al., 2012).

Desde el punto de vista de la salud humana, el tamaño de las partículas en suspensión es importante, pues determina el grado de penetración a través de los pulmones causando efectos adversos en la salud. Las partículas finas, de menos de 10 micras, son capaces de penetrar a través de los alveolos de los pulmones y por tanto se asocian con impactos sobre la salud humana (Martínez, 2019).

Es por esto por lo que esta categoría de impacto mide las partículas con un tamaño de 2,5 micras, utilizando la unidad PM_{2,5}-equivalente, medida en kilogramos (Martínez, 2019).

8. Toxicidad en humanos

Las sustancias que contribuyen a la toxicidad en el hombre son numerosas. Algunas de estas sustancias son metales pesados (Cadmio, Plomo, Mercurio, etc.), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂), compuestos orgánicos volátiles (COV), etc. (Martínez, 2019).

Esta categoría de impacto viene expresada en CTUh, que traducido del inglés sus siglas significan “unidad comparativa de toxicidad para humanos”. Expresa la estimación del incremento de mortalidad en la población mundial por unidad de masa de una sustancia química emitida (Martínez, 2019).

Algunos de los efectos causados por este impacto pueden ser de toxicidad severa: irritaciones, efectos corrosivos y alérgicos, daños irreversibles, daños en órganos, genotoxicidad, efectos cancerígenos o neurotóxicos (Martínez, 2019).

Se plantea una división en cuanto a categorías de impacto: una en la que se contemplan sustancias con capacidad de producir efectos cancerígenos y otra en la que se incluyen todas aquellas otras sustancias que, a pesar de no generar efectos cancerígenos, pueden generar otros efectos perjudiciales en el hombre.

9. Agotamiento de recursos

Bajo esta referencia, son medidas las categorías de impacto “agotamiento del agua” y “agotamiento de minerales y fósiles”. Estas categorías de impacto están relacionadas con la extracción de combustibles fósiles y minerales y también al excesivo uso de los recursos hídricos que podrían traer consigo su agotamiento (Martínez, 2019).

La unidad de medida empleada para el agotamiento de minerales y fósiles viene expresada en kilogramos de antimonio equivalentes (kg Sb eq). Indica la cantidad de materiales que contribuyen al agotamiento de los recursos, convertidos a su equivalente en kilogramos de antimonio (Sb) (PEF Comisión, 2016).

En cuanto al agotamiento del agua, la unidad es los metros cúbicos de agua (m³ equivalentes) referidos a la escasez de agua local (Comisión Europea, 2016b). La extracción de estos recursos causa daños sustanciales en los ecosistemas y en la salud humana. La sobreexplotación de estos recursos debería ser evitada con el fin de evitar su desaparición (Martínez, 2019).

10. Oxidación fotoquímica

Categoría de impacto referida a la formación de sustancias reactivas, principalmente ozono, formadas en la troposfera bajo la influencia del sol y en presencia de óxidos de nitrógeno (Martínez, 2019).

Niveles muy altos de estas sustancias provocan efectos adversos en la vegetación y en el tracto respiratorio humano, así como en materiales hechos por el hombre, debido a reacciones con materiales orgánicos (Pelletier et al., 2012).

Los principales precursores del Ozono troposférico son NOX, compuestos orgánicos volátiles (que incluirían CH4 y CO2). La Oxidación fotoquímica viene expresada en kg NMVOC equivalentes. Esta unidad está referida a aquellos compuestos orgánicos no volátiles distintos del metano (Pelletier et al, 2012).

2. Objetivos

A continuación, se describe el objetivo principal y los objetivos específicos que serán abordados en el desarrollo de trabajo.

1. Objetivo principal:

Cuantificar la Huella Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural para el año 2018.

2. Objetivos específicos.

En el desarrollo del objetivo principal se harán frente a los siguientes objetivos específicos:

1. Comparar los resultados obtenidos con los resultados de los últimos datos disponibles de Huella de Carbono en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural.
2. Proponer medidas y actuaciones en consonancia con los resultados de la Huella de Ambiental. Así como identificar oportunidades para optimizar recursos y consumos con el fin de hacer más sostenible la actividad realizada en el centro.
3. Enmarcar y vincular las metodologías y resultados obtenidos en la estrategia ambiental de la Universidad Politécnica de Madrid,

3. Materiales y Métodos

3.1 Definición del objetivo y alcance

3.1.1. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio elegido es la ETSIMFMN de la UPM, situada en el municipio de Madrid, en concreto, en la zona nordeste de Ciudad Universitaria de Madrid. Dentro del recinto se distinguen los denominados “Edificio forestales” y “Edificio montes”, que corresponden con las instalaciones de la antigua Escuela de Ingeniería Técnica Forestal y a la antigua Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes respectivamente. Hoy en día, todos los edificios forman parte de la misma escuela (ETSIMFMN), así como el resto de las instalaciones y el Arboreto de la Escuela. El Arboreto de Montes es uno de los lugares más emblemáticos y característicos de la Escuela, es un espacio al aire libre, abierto al público y además es un lugar clave para la formación de los futuros ingenieros de la ETSIMFMN (Escribano et al., 2013).

3.1.2 Límites del sistema

Para poder acotar el área de estudio y poder definir las consideraciones en el cálculo de la Huella de Ambiental es necesario establecer una serie de límites operacionales de forma similar a los que se han establecido en los diferentes trabajos realizados hasta la fecha de Huella de Carbono en la Escuela (Domínguez, 2016; Ortiz, 2015; Rodríguez, 2015; Blanquer, 2012). Estos límites se dividen en límites físicos, límites organizativos y límites socioeconómicos.

- Límites físicos

Corresponden con la delimitación física de la superficie de estudio, que viene determinada por sus cerramientos y accesos. Estos accesos son:

1. Acceso Sur: acceso peatonal.
2. Acceso Este: acceso peatonal.

3. Acceso Noreste: acceso para vehículos al “Edificio montes”.
4. Acceso Oeste: acceso peatonal actualmente deshabilitado.
5. Acceso Suroeste: acceso principal para vehículos al “Edificio forestales”.

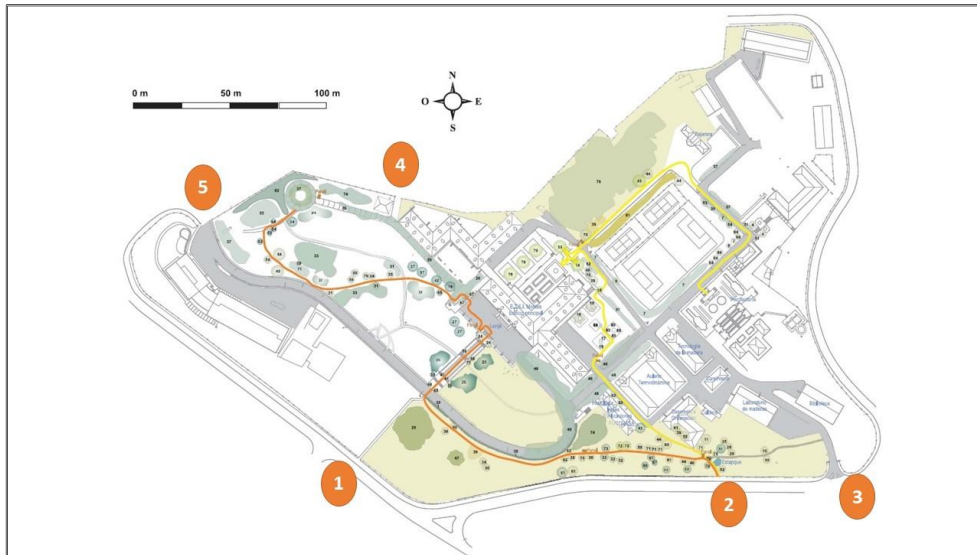


Figura 6: Límites físicos considerados en el estudio y accesos al Arbolito (números 1-5). Fuente: Castilla & Escrivano, 2008.

- Límites organizativos

La estructura organizacional describe la forma de organizar, dividir y coordinar las actividades que se realizan en ella (Menguzzato et al., 1991).

La principal actividad que se realiza en la ETSIMFMN es la docencia y la investigación. Estas actividades son llevadas a cabo a través de los cuatro departamentos de la Escuela: Sistemas y Recursos Naturales, Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental, Matemática Aplicada y Lingüística Aplicada a la Ciencia y a la Tecnología. Pero sólo los dos primeros son departamentos propios de la Escuela; los otros dos son departamentos con presencia en otras Escuelas de la UPM y por tanto por ahora quedarán fuera del alcance del ámbito de estudio para el cálculo de la Huella Ambiental de la ETSIMFMN del año 2018.

Además, en la Escuela se encuentran las sedes de diversas instituciones tales como las Cátedras Universidad–Empresas: Cátedra Universidad-Empresa-Sindicato, Cátedra Ciudad Sostenible y Empresa y Cátedra UPM-Máster de Innovación y competencias. También se encuentran

presentes las sedes de la Fundación Conde del Valle Salazar o la Asociación de Profesionales Forestales de España (Rodríguez, 2015).

- Límites socioeconómicos

La Escuela, ya sea a nivel departamental o a nivel de centro, recibe una asignación económica proveniente de los presupuestos de la UPM. Esta asignación es la que se utiliza para hacer frente a los gastos tanto de gestión como del propio mantenimiento del centro.

Además, a fin de establecer una serie de ratios e indicadores ambientales, es necesario conocer la población que está presente en la Escuela. Esta se divide principalmente en tres grandes grupos: personal docente-investigador (PDI), personal de administración y servicios (PAS) y alumnado. De esta manera se presentarán en este trabajo los datos de población en la ETSIMFMN desde el 2014, facilitados por la Subdirección de Asuntos Económicos, Patrimonio y Medio Ambiente, y Subdirección de Ordenación Académica (2019).

3.1.3 Criterios para la elaboración del inventario

El servicio encargado de la gestión presupuestaria de la Escuela, el control de gasto y su justificación es el conocido como Servicio de Gestión Económica. Ha sido esta área de los Servicios Generales quien ha proporcionado los datos económicos de gastos e inversiones realizadas durante el ejercicio 2018. De esta forma, se ha podido realizar un inventario detallado que describe los procesos a ser tenidos en cuenta para la cuantificación de la Huella Ambiental. Para mejor análisis de las partidas más relevantes, también se han obtenido las facturas asociadas a los consumos de electricidad, gas natural y gasóleo A del ejercicio 2018.

3.2 Cuantificación de la Huella Ambiental

3.2.1 Bases de datos para la caracterización de impactos

Los factores de caracterización de impactos empleados en el presente estudio se han obtenido en primer lugar de la base de datos EXIOBASE 3 con año de referencia 2011 (Wood et al., 2014),. Además se ha considerado los factores de caracterización conocidos como CREEA que fueron

propuestos en el desarrollo de la Base de Datos Exiobase (CREEA, 2011). Por último, a fin de dar cobertura al máximo número de categorías de impacto y permitir la caracterización de impactos directos, se ha considerado la metodología “*International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook*” (JRC Comisión Europea, 2010) propuesta por la Comisión Europea para la cuantificación de la Huella Ambiental. Esta base de datos utilizada, EXIOBASE 3 en su versión monetaria incluye:

- 44 países
- 200 productos
- 163 sectores
- 417 categorías de impacto
- 662 categorías de materiales y recursos

El presente trabajo fin de grado aplica los avances descritos en la tesis doctoral de Sara Martínez Delgado (2019). En su desarrollo, las 417 categorías de impacto y 662 categorías de materiales y recursos fueron caracterizadas a fin de realizar la cuantificación de 14 de las 15 categorías de impacto relativas a la huella ambiental.

Para el trabajo desarrollado se realiza en primer lugar la asignación de cada uno de los sectores económicos descritos en la base de datos EXIOBASE con los gastos e inversiones de nuestro inventario. En segundo lugar, se multiplica el inventario por los 14 factores de impacto total obtenidos en el desarrollo de la tesis antes descrita. Su multiplicación permite cuantificar la contribución directa e indirecta generada en cada una de las categorías de impacto en función de la demanda económica determinada por los inventarios de la ETSIMFMN.

3.2.3 Análisis híbrido por niveles y definición de alcances

La cuantificación de impactos únicamente aplicando la base de datos Exiobase sobre el inventario económico es lo que establece la metodología clásica de análisis input-output. Sin embargo, tal y como ha sido descrito en la literatura científica, éste enfoque presenta ciertas debilidades en la caracterización de impactos directos (Martínez, 2019). Por ello se ha propuesto el desarrollo de un análisis híbrido por niveles. Este tipo de análisis consiste en la agregación de las dos principales técnicas de análisis: las técnicas clásicas de Análisis de ciclo de vida y las

técnicas del análisis *input-output* sin existir ninguna correlación entre las dos técnicas (Álvarez et al, 2018).

La diferenciación de las áreas del análisis *input-output* y del análisis de procesos se ha llevado a cabo en función de la definición de los alcances para la Huella de Carbono, según los establecidos por la norma ISO 14064. En este sentido la Huella de Carbono de los impactos de los Alcances 1 y 2 se calcularon mediante el método de análisis de procesos a partir de la base de datos de Ecoinvent v.3 (Ecoinvent, 2016) del software SimaPro 8.0.5 (CREEA, 2011) y los datos se recopilaron en unidades físicas provenientes de los consumos de gasóleo, gas natural o electricidad (litros, kilogramos, kilovatios, etc.). Por otro lado, tal y como ya ha sido mencionado, los impactos del Alcance 3 se calcularon mediante el análisis *input-output* usando las tablas multirregionales de EXIOBASE y los datos se recopilaron en unidades monetarias a partir del inventario económico.

La estructura de los alcances es la siguiente:

- El Alcance 1 consistirá en el cálculo de la parte directa de la combustión fija y móvil: proveniente del consumo de gas natural (kWh) en las instalaciones de la Escuela, y los consumos de gasoil (litros) reflejados por parte de la maquinaria del equipo de jardinería y mantenimiento de la Escuela.
- El Alcance 2 corresponderá al cálculo del impacto directo que se produce en la generación de la electricidad consumida en el centro. La unidad para su cuantificación es el kWh.
- El Alcance 3 estará entonces compuesto de: la parte indirecta de la combustión fija y móvil (gas natural, en kWh y gasoil, en litros), la parte indirecta del consumo de electricidad y los impactos generados a través de los consumos reflejados en nuestro inventario de gastos corrientes e inversiones.

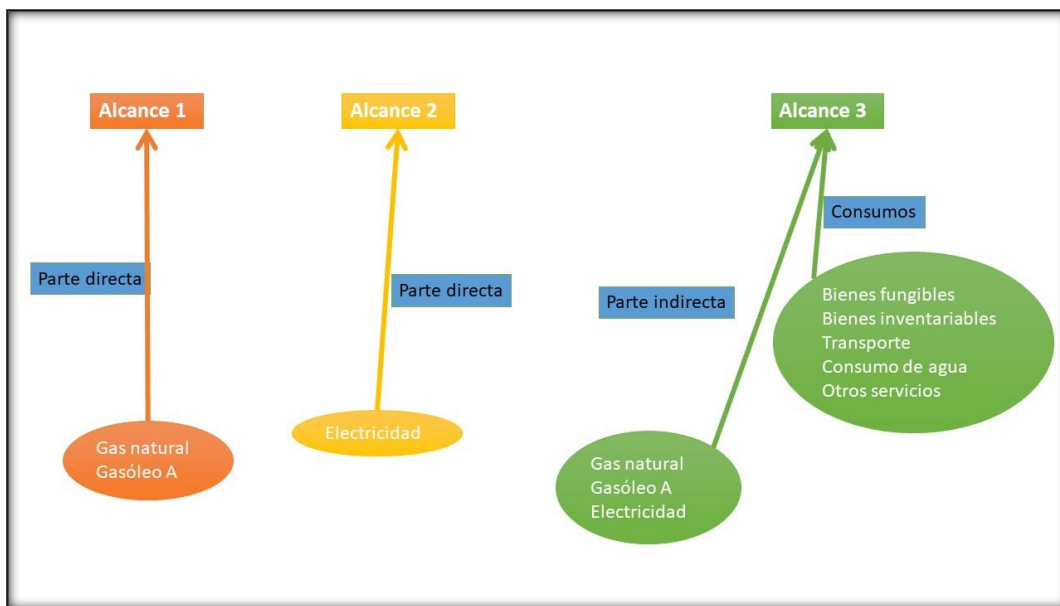


Figura 7: Esquema del origen de los impactos en la Huella Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural del 2018. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Descripción de los factores empleados para cada categoría de impacto

A) Factores empleados para la determinación de impactos de Alcance 1

Una vez conocidas las fuentes de emisiones y su clasificación en alcances, se procede a calcular los impactos que se generan por cada una de las categorías de impacto con la siguiente ecuación:

$$\text{consumo [unidad de medida categoría de consumo]} \times \text{factor de impacto} \left[\frac{\text{unidad de medida categoría de impacto}}{\text{unidad de medida categoría de consumo}} \right]$$

Ecuación 1

- Para obtener el Alcance 1 se calculan por separado la combustión fija y la combustión móvil:
 - Combustión fija: se aplica la ecuación 1 utilizando los datos de consumo de gas natural en kWh y se aplica el factor de impacto directo para gas natural.

- Combustión móvil: se aplica la ecuación 1 utilizando los datos de consumo de combustible gasóleo A en litros y se aplica el factor de impacto directo para diésel.

Una vez obtenidos ambos valores se suman para obtener el Alcance 1 de esa categoría de impacto.

Categoría de impacto	Unidades	Factor directo gas natural	Factor directo diesel
Cambio climático	kg CO2 eq	2,030E-01	2,645E+00
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	-	-
Toxicidad en humanos con efectos cancerígenos	CTUh	-	1,010E-10
Toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos	CTUh	-	1,350E-08
Materia particulada	kg PM2.5 eq	-	3,700E-03
Oxidación fotoquímica	kg NMVOC eq	-	4,120E-02
Acidificación	molc H+ eq	-	2,840E-02
Eutrofización terrestre	molc N eq	-	1,570E-01
Eutrofización agua dulce	kg P eq	-	-
Eutrofización marina	kg N eq	-	1,430E-02
Ecotoxicidad en agua dulce	CTUe	-	4,830E-02
Uso del suelo	kg C deficit	-	-
Agotamiento de los recursos hídricos	m3 water eq	-	-
Agotamiento de minerales y fósiles	kg Sb eq	-	-

Tabla 1: Factores de impacto directo para cada categoría de impacto en Alcance 1. Fuente: Ecoinvent, 2016.

B) Factores empleados para la determinación de impactos de Alcance 2

Para obtener el Alcance 2 se emplea la ecuación 1 mediante el uso de los datos de consumo de electricidad (kWh) y los factores de impactos directos asociados a cada categoría de impacto de electricidad para el mix eléctrico en España.

Categoría de impacto	Unidades	Factor directo electricidad
Cambio climático	kg CO2 eq	3,760E-01
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	-
Toxicidad en humanos con efectos cancerígenos	CTUh	1,286E-10
Toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos	CTUh	9,275E-09
Materia particulada	kg PM2.5 eq	1,326E-04
Oxidación fotoquímica	kg NMVOC eq	1,072E-03
Acidificación	molc H+ eq	2,441E-03
Eutrofización terrestre	molc N eq	4,071E-03
Eutrofización agua dulce	kg P eq	1,157E-08
Eutrofización marina	kg N eq	3,717E-04
Ecotoxicidad en agua dulce	CTUe	2,547E-02
Uso del suelo	kg C deficit	1,309E-02
Agotamiento de los recursos hídricos	m3 water eq	6,253E-04
Agotamiento de minerales y fósiles	kg Sb eq	-

Tabla 2: Factores directos para cada categoría de impacto en Alcance 2. Fuente: Ecoinvent, 2016.

C) Factores empleados para la determinación de impactos de Alcance 3

El alcance 3 se calcula de forma similar. Pero primero hay que calcular por separado la parte indirecta de la combustión fija y móvil y el consumo eléctrico y por otro lado el resto de los consumos provenientes del inventario económico de la Escuela.

- Para calcular la parte indirecta de los alcances 1 y 2: se emplea la ecuación 1, y de forma análoga a como se han calculado las partes directas, se aplican los factores indirectos correspondientes a los impactos generados por el consumo de gas natural, diésel y electricidad.

Categoría de impacto	Unidades	Factor indirecto gas natural	Factor indirecto diesel	Factor indirecto electricidad
Cambio climático	kg CO2 eq	2,213E-02	7,185E-01	1,085E-01
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	5,730E-10	6,060E-07	6,988E-08
Toxicidad en humanos con efectos cancerígenos	CTUh	7,170E-10	8,740E-08	1,046E-08
Toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos	CTUh	5,700E-09	1,535E-07	3,805E-08
Materia particulada	kg PM2.5 eq	5,390E-05	6,100E-04	6,677E-05
Oxidación fotoquímica	kg NMVOC eq	1,680E-04	3,900E-03	3,474E-04
Acidificación	molc H+ eq	1,120E-03	6,800E-03	8,781E-04
Eutrofización terrestre	molc N eq	8,720E-05	9,000E-03	9,060E-04
Eutrofización agua dulce	kg P eq	1,160E-06	1,300E-04	8,075E-05
Eutrofización marina	kg N eq	1,280E-05	1,100E-03	9,506E-05
Ecotoxicidad en agua dulce	CTUe	1,480E-01	4,172E+00	1,456E+00
Uso del suelo	kg C deficit	1,040E-01	7,840E+00	4,316E-01
Agotamiento de los recursos hídricos	m3 water eq	1,040E-05	3,690E-04	8,529E-05
Agotamiento de minerales y fósiles	kg Sb eq	6,970E-08	1,490E-05	2,358E-06

Tabla 3: Factores indirectos para cada categoría de impacto en Alcance 3. Fuente: Ecoinvent, 2016

En cuanto al resto del Alcance 3, se ha empleado la base de datos EXIOBASE 3: vinculando cada sector económico a cada uno de los gastos e inversiones reflejados en el inventario económico. Así, se han ido calculado los impactos para cada categoría de impacto empleando la siguiente fórmula:

$$\text{consumo [euros]} \times \text{factor de impacto de cada sector} \left[\frac{\text{unidad de medida categoría de impacto}}{\text{euros}} \right]$$

Ecuación 2

Código	Sector	Acidificación	Ecotoxicidad en agua dulce	Eutrofización agua dulce
32	Extracción de piedra	2,948E-04	2,507E-02	1,222E-05
33	Extracción de arenas y arcillas	8,442E-04	8,343E-02	2,574E-05
47	Fabricación de productos textiles	1,664E-03	1,161E-01	9,121E-05
54	Papel	1,892E-03	1,138E-01	5,423E-05
55	Edición, imprenta y reproducción de soportes grabados	9,514E-04	9,130E-02	2,967E-05
59	Fabricación de productos de plástico en formas primarias	1,582E-03	1,224E-01	6,927E-05
63	Productos químicos n.c.o.p.	2,175E-03	1,811E-01	8,482E-05
64	Fabricación de productos de caucho y plástico	1,895E-03	1,739E-01	5,334E-05
65	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	1,822E-03	1,432E-01	4,316E-05
72	Fabricación de productos básicos de hierro, acero y ferroaleaciones	2,748E-03	1,847E+00	4,288E-05
87	Fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos	7,137E-04	1,648E-01	2,091E-05
88	Fabricación de maquinaria eléctrica y aparatos n.c.o.p.	1,612E-03	5,959E-01	5,352E-05
90	Fabricación de instrumentos médicos, de precisión y ópticos; relojes	9,690E-04	1,194E-01	2,894E-05
93	Fabricación de muebles; fabricación n.c.o.p.	1,343E-03	1,852E-01	4,153E-05
112	Captación, depuración y distribución de agua	9,098E-04	1,079E-01	3,118E-05
119	Hoteles y restaurantes	2,526E-03	3,515E-02	2,204E-04
121	Transporte terrestre	1,139E-03	1,002E-01	3,536E-05
127	Correos y telecomunicaciones	4,071E-04	4,130E-02	1,276E-05
128	Intermediación financiera excepto seguros y fondos de pensiones	2,521E-04	1,197E-02	1,048E-05
158	Vertido de residuos: Madera	7,752E-04	5,905E-02	3,066E-05
159	Actividades de asociativas n.c.o.p.	1,343E-03	7,529E-02	5,447E-05
161	Otras actividades de servicios	5,603E-04	5,772E-02	2,118E-05

Nota: n.c.o.p está referido a "No clasificado en otras partes".

Tabla 4: Factores de impacto para las categorías de impacto "Acidificación", "Ecotoxicidad en agua dulce" y "Eutrofización en agua dulce" para los sectores implicados en el Alcance 3. Fuente: Wood et al., 2014.

Código	Sector	Cambio climático	Toxicidad en humanos con efectos cancerígenos	Toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos
32	Extracción de piedra	6,406E-02	1,329E-09	2,985E-08
33	Extracción de arenas y arcillas	2,938E-01	4,645E-09	1,020E-07
47	Fabricación de productos textiles	3,744E-01	6,595E-09	1,423E-07
54	Papel	4,483E-01	6,723E-09	1,404E-07
55	Edición, imprenta y reproducción de soportes grabados	2,561E-01	5,999E-09	1,126E-07
59	Fabricación de productos de plástico en formas primarias	4,641E-01	7,105E-09	1,553E-07
63	Productos químicos n.c.o.p.	5,870E-01	1,135E-08	2,211E-07
64	Fabricación de productos de caucho y plástico	4,768E-01	1,215E-08	2,108E-07
65	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	8,402E-01	9,988E-09	1,748E-07
72	Fabricación de productos básicos de hierro, acero y ferroaleaciones	8,108E-01	1,621E-07	2,457E-06
87	Fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos	1,818E-01	1,252E-08	1,979E-07
88	Fabricación de maquinaria eléctrica y aparatos n.c.o.p.	3,951E-01	4,838E-08	7,104E-07
90	Fabricación de instrumentos médicos, de precisión y ópticos; relojes	2,801E-01	8,547E-09	1,428E-07
93	Fabricación de muebles; fabricación n.c.o.p.	3,865E-01	1,368E-08	2,224E-07
112	Captación, depuración y distribución de agua	2,256E-01	8,073E-09	1,274E-07
119	Hoteles y restaurantes	1,602E-01	2,293E-09	4,133E-08
121	Transporte terrestre	3,385E-01	4,376E-09	1,230E-07
127	Correos y telecomunicaciones	1,076E-01	2,615E-09	4,980E-08
128	Intermediación financiera excepto seguros y fondos de pensiones	5,477E-02	7,174E-10	1,426E-08
158	Vertido de residuos: Madera	1,135E+00	3,268E-09	6,802E-08
159	Actividades de asociativas n.c.o.p.	3,040E-01	4,871E-09	9,087E-08
161	Otras actividades de servicios	1,587E-01	4,198E-09	6,978E-08

Nota: n.c.o.p está referido a "No clasificado en otras partes".

Tabla 5: Factores de impacto, provenientes de EXIOBASE, para las categorías de impacto "Cambio climático", "Toxicidad en humanos con efectos cancerígenos" y "Toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos" para los sectores implicados en el Alcance 3. Fuente: Wood et al., 2014.

Código	Sector	Uso del suelo	Agotamiento de minerales y fósiles	Destrucción de la capa de ozono
32	Extracción de piedra	2,514E-01	5,145E+02	1,629E-02
33	Extracción de arenas y arcillas	5,775E-01	2,083E+03	2,701E-02
47	Fabricación de productos textiles	2,126E+00	3,243E+03	5,625E-04
54	Papel	9,143E+00	4,798E+03	1,052E-03
55	Edición, imprenta y reproducción de soportes grabados	1,351E+00	3,432E+03	3,572E-04
59	Fabricación de productos de plástico en formas primarias	1,554E+00	4,095E+03	3,944E-04
63	Productos químicos n.c.o.p.	2,194E+00	5,549E+03	2,888E-03
64	Fabricación de productos de caucho y plástico	1,803E+00	4,734E+03	7,682E-04
65	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	1,159E+00	8,409E+03	3,049E-03
72	Fabricación de productos básicos de hierro, acero y ferroaleaciones	1,394E+00	3,167E+04	2,462E-03
87	Fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos	5,389E-01	3,273E+03	1,800E-04
88	Fabricación de maquinaria eléctrica y aparatos n.c.o.p.	1,302E+00	9,940E+03	5,867E-04
90	Fabricación de instrumentos médicos, de precisión y ópticos; relojes	7,068E-01	3,102E+03	1,959E-04
93	Fabricación de muebles; fabricación n.c.o.p.	2,046E+00	5,508E+03	2,904E-04
112	Captación, depuración y distribución de agua	6,876E-01	2,702E+03	2,518E-04
119	Hoteles y restaurantes	4,610E+00	1,196E+03	1,844E-04
121	Transporte terrestre	9,423E-01	2,115E+03	2,077E-04
127	Correos y telecomunicaciones	3,021E-01	1,129E+03	6,734E-05
128	Intermediación financiera excepto seguros y fondos de pensiones	2,217E-01	4,558E+02	2,906E-05
158	Vertido de residuos: Madera	4,108E-01	2,038E+03	4,822E-03
159	Actividades de asociativas n.c.o.p.	1,311E+00	2,560E+03	2,557E-04
161	Otras actividades de servicios	7,011E-01	1,606E+03	2,393E-04

Nota: n.c.o.p está referido a "No clasificado en otras partes".

Tabla 6: Factores de impacto provenientes de EXIOBASE para las categorías de impacto "Uso del suelo", "Agotamiento de minerales y fósiles" y "Destrucción de la capa de ozono" para los sectores implicados en el Alcance3. Fuente: Wood et al., 2014.

Código	Sector	Materia particulada	Oxidación fotoquímica	Agotamiento de los recursos hídricos
32	Extracción de piedra	5,150E-05	4,109E-04	1,547E-03
33	Extracción de arenas y arcillas	1,506E-04	1,314E-03	1,049E-02
47	Fabricación de productos textiles	2,327E-04	1,572E-03	2,567E-02
54	Papel	3,730E-04	2,246E-03	3,678E-02
55	Edición, imprenta y reproducción de soportes grabados	1,663E-04	1,117E-03	1,179E-02
59	Fabricación de productos de plástico en formas primarias	2,580E-04	2,161E-03	2,314E-02
63	Productos químicos n.c.o.p.	3,449E-04	3,496E-03	2,625E-02
64	Fabricación de productos de caucho y plástico	2,787E-04	2,019E-03	1,955E-02
65	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	6,657E-04	2,508E-03	1,383E-02
72	Fabricación de productos básicos de hierro, acero y ferroaleaciones	1,768E-03	5,101E-03	3,049E-02
87	Fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos	1,739E-04	8,757E-04	7,758E-03
88	Fabricación de maquinaria eléctrica y aparatos n.c.o.p.	5,689E-04	2,068E-03	2,008E-02
90	Fabricación de instrumentos médicos, de precisión y ópticos; relojes	1,633E-04	1,077E-03	8,734E-03
93	Fabricación de muebles; fabricación n.c.o.p.	2,393E-04	1,674E-03	1,154E-02
112	Captación, depuración y distribución de agua	1,545E-04	1,349E-03	7,845E-03
119	Hoteles y restaurantes	1,159E-04	8,217E-04	1,944E-02
121	Transporte terrestre	1,778E-04	1,929E-03	6,116E-03
127	Correos y telecomunicaciones	6,295E-05	4,463E-04	4,496E-03
128	Intermediación financiera excepto seguros y fondos de pensiones	2,562E-05	2,282E-04	2,009E-03
158	Vertido de residuos: Madera	1,350E-04	1,444E-03	5,958E-03
159	Actividades de asociativas n.c.o.p.	1,625E-04	1,360E-03	1,097E-02
161	Otras actividades de servicios	9,696E-05	6,553E-04	7,580E-03

Nota: n.c.o.p está referido a "No clasificado en otras partes".

Tabla 7: Factores de impacto, provenientes de EXIOBASE, para las categorías de impacto "Materia particulada", "Oxidación fotoquímica" y "Agotamiento de los recursos hídricos" para los sectores implicados en el Alcance 3. Fuente: Wood et al., 2014.

Código	Sector	Eutrofización marina	Eutrofización terrestre
32	Extracción de piedra	1,083E-04	1,508E-03
33	Extracción de arenas y arcillas	3,523E-04	4,468E-03
47	Fabricación de productos textiles	6,373E-04	8,379E-03
54	Papel	7,881E-04	9,941E-03
55	Edición, imprenta y reproducción de soportes grabados	3,751E-04	4,927E-03
59	Fabricación de productos de plástico en formas primarias	6,899E-04	8,122E-03
63	Productos químicos n.c.o.p.	8,196E-04	1,107E-02
64	Fabricación de productos de caucho y plástico	6,261E-04	9,545E-03
65	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	7,684E-04	9,708E-03
72	Fabricación de productos básicos de hierro, acero y ferroaleaciones	1,293E-03	1,514E-02
87	Fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos	2,791E-04	3,715E-03
88	Fabricación de maquinaria eléctrica y aparatos n.c.o.p.	5,977E-04	8,285E-03
90	Fabricación de instrumentos médicos, de precisión y ópticos; relojes	3,734E-04	5,030E-03
93	Fabricación de muebles; fabricación n.c.o.p.	5,004E-04	6,930E-03
112	Captación, depuración y distribución de agua	3,560E-04	4,696E-03
119	Hoteles y restaurantes	1,023E-03	1,147E-02
121	Transporte terrestre	4,867E-04	6,068E-03
127	Correos y telecomunicaciones	1,631E-04	2,117E-03
128	Intermediación financiera excepto seguros y fondos de pensiones	9,509E-05	1,283E-03
158	Vertido de residuos: Madera	6,208E-03	4,167E-03
159	Actividades de asociativas n.c.o.p.	5,331E-04	6,851E-03
161	Otras actividades de servicios	2,256E-04	2,855E-03

Nota: n.c.o.p está referido a "No clasificado en otras partes".

Tabla 8: Factores de impacto provenientes de EXIOBASE para las categorías de impacto "Eutrofización marina", "Eutrofización terrestre" y "Destrucción de la capa de ozono" para los sectores implicados en el Alcance 3. Fuente: Wood et al., 2014.

4. Resultados

4.1 Huella Ambiental de La Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural.

A continuación, se pueden ver los valores en cuanto a impactos se refiere, que relacionan cada categoría de consumo y alcance, respecto a cada una de las 14 categorías de impacto:

Huella Ambiental ETSIFMN 2018	Cambio climático [kg CO2 eq]	Destrucción de la capa de Ozono [kg CFC-11 eq]	Acidificación [molc H+ eq]	Ecotoxicidad en agua dulce [CTUe]
ALCANCE 1	111.784,64	0,003	5.642,49	745.070,54
Gas Natural	111.395,84	0,003	5.638,32	745.063,45
Gasóleo A	388,80	0,000	4,17	7,10
ALCANCE 2	455.001,17	0,000	2.954,28	30.828,21
Electricidad	455.001,17	0,000	2.954,28	30.828,21
ALCANCE 3	195.777,97	164,113	1.882,71	1.873.006,62
CV Gasóleo A	105,62	0,000	1,00	613,20
CV y T&D Gas Natural	12.142,56	0,000	614,60	81.214,70
CV y T&D Electricidad	131.298,97	0,085	1.062,69	1.761.906,01
Bienes fungibles	25.839,03	139,711	95,99	19.209,03
Bienes inventariables	4.395,00	6,682	17,58	2.793,75
Transportes	15.495,57	9,507	52,14	4.586,23
Otros Servicios	1.733,13	2,808	19,48	403,76
Consumo de agua	4.768,09	5,320	19,23	2.279,95
Total	762.563,78	164,116	10.479,48	2.648.905,37

Nota: CV está referido a "Ciclo de Vida" y T&D está referido a "Trasporte y Distribución".

Tabla 9: Huella Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Montes, Forestal y del Medio Natural para las categorías "Cambio climático", "Destrucción de la capa de ozono", "Acidificación" y "Ecotoxicidad en agua dulce".

Fuente: Elaboración propia.

Huella Ambiental ETSIFMN 2018	Toxicidad efectos cancerígenos [CTUh]	Toxicidad sin efectos cancerígenos [CTUh]	Oxidación fotoquímica [kg NMVOC eq]	Materia particulada [kg PM 2.5 eq]
ALCANCE 1	0,0036	0,0287	851,80	271,89
Gas Natural	0,0036	0,0287	845,75	271,34
Gasóleo A	0,0000	0,0000	6,06	0,54
ALCANCE 2	0,0002	0,0112	1.297,78	160,45
Electricidad	0,0002	0,0112	1.297,78	160,45
ALCANCE 3	0,0152	0,0861	800,58	152,29
CV Gasóleo A	0,0000	0,0000	0,57	0,09
CV y T&D Gas Natural	0,0004	0,0031	92,19	29,58
CV y T&D Electricidad	0,0127	0,0460	420,37	80,80
Bienes fungibles	0,0015	0,0247	141,41	25,43
Bienes inventariables	0,0002	0,0034	20,43	3,66
Transportes	0,0002	0,0056	88,29	8,14
Otros Servicios	0,0000	0,0005	8,81	1,33
Consumo de agua	0,0002	0,0027	28,52	3,26
Total	0,0190	0,1260	2.950,17	584,62

Nota: CV está referido a "Ciclo de Vida" y T&D está referido a "Trasporte y Distribución".

Tabla 10: Cuantificación de los impactos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural para las categorías "Toxicidad con efectos cancerígenos", "Toxicidad sin efectos cancerígenos", "Oxidación fotoquímica" y "Materia particulada". Fuente: Elaboración propia.

Huella Ambiental ETSIFMN 2018	Uso del suelo [kg C deficit]	Agotamiento de minerales y fósiles [kg Sb eq]	Eutrofización agua dulce [kg P eq]	Agotamiento de los recursos hídricos [m3 agua eq]
ALCANCE 1	523.565,2	0,35	5,84	52,36
Gas Natural	523.558,1	0,35	5,84	52,36
Gasóleo A	7,1	0,00	0,00	0,0
ALCANCE 2	30.828,21	0,00	0,01	756,67
Electricidad	30.828,21	0,00	0,01	756,67
ALCANCE 3	869.563,16	653.867.176,76	105,71	2.221,33
CV Gasóleo A	1.152,4	0,00	0,02	0,05
CV y T&D Gas Natural	57.069,79	0,04	0,64	5,71
CV y T&D Electricidad	522.344,6	2,85	97,72	103,22
Bienes fungibles	159.398,89	422.261.339,06	3,00	1.266,79
Bienes inventariables	27.752,79	62.554.931,60	0,51	216,21
Transportes	43.135,91	96.811.697,13	1,62	279,98
Otros Servicios	44.177,93	15.143.482,76	1,53	183,6
Consumo de agua	14.530,84	57.095.723,32	0,66	165,77
Total	1.423.956,56	653.867.177,11	111,56	3.030,35

Nota: CV está referido a "Ciclo de Vida" y T&D está referido a "Trasporte y Distribución".

Tabla 11: Cuantificación de los impactos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural para las categorías "Uso del suelo", "Agotamiento de los minerales y fósiles", "Eutrofización agua dulce" y "Agotamiento de los recursos hídricos". Fuente: Elaboración propia.

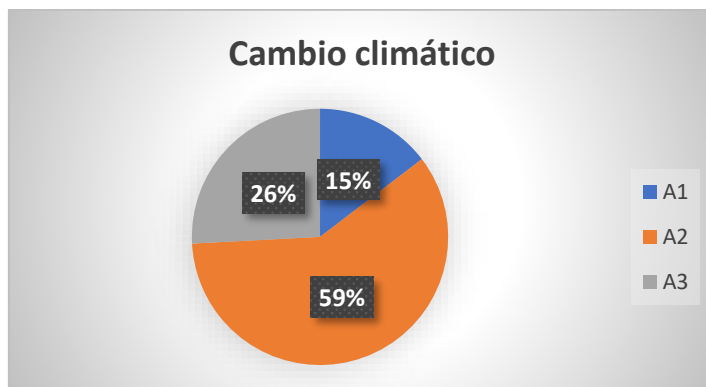
Huella Ambiental ETSIFMN 2018	Eutrofización marina [kg N eq]	Eutrofización terrestre [mol N eq]
ALCANCE 1	66,54	462,06
Gas Natural	64,44	438,98
Gasóleo A	2,1	23,08
ALCANCE 2	449,79	4.926,66
Electricidad	449,79	4.926,66
ALCANCE 3	205,02	2.203,69
CV Gasóleo A	,16	1,32
CV y T&D Gas Natural	7,02	47,85
CV y T&D Electricidad	115,04	1.096,4
Bienes fungibles	38,59	500,26
Bienes inventariables	6,48	90,33
Transportes	22,28	277,8
Otros Servicios	7,92	90,49
Consumo de agua	7,52	99,23
Total	721,34	7.592,41

Nota: CV está referido a "Ciclo de Vida" y T&D está referido a "Trasporte y Distribución".

Tabla 12: Cuantificación de los impactos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural para las categorías "Eutrofización marina" y "Eutrofización terrestre". Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se procede a realizar un análisis más detallado de cada una de las categorías de impacto.

4.1.1 Cambio climático



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 8: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría cambio climático en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8 se puede apreciar que el Alcance 1 representa un 15% del total de la contribución a la categoría cambio climático, el Alcance 2 un 59% y al Alcance 3 le corresponde el 26% restante.

El Alcance 1, el cual representa el 15% de la categoría de impacto cambio climático, tiene un valor de 111.784,64 kg de CO₂ equivalente. Su origen son las emisiones directas del consumo de combustibles fósiles en fuentes fijas y móviles, que en este caso se deben al consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

El Alcance 2, el cual representa el 59% de la categoría de impacto cambio climático, tiene un valor de 455.001,17 kg de CO₂ equivalente. Su origen son las emisiones directas producidas por la generación de la electricidad consumida en el centro.

El Alcance 3, el cual representa el 26% de la categoría de impacto cambio climático, tiene un valor de 197.399,16 kg de CO₂ equivalente, correspondiente a otras emisiones indirectas.

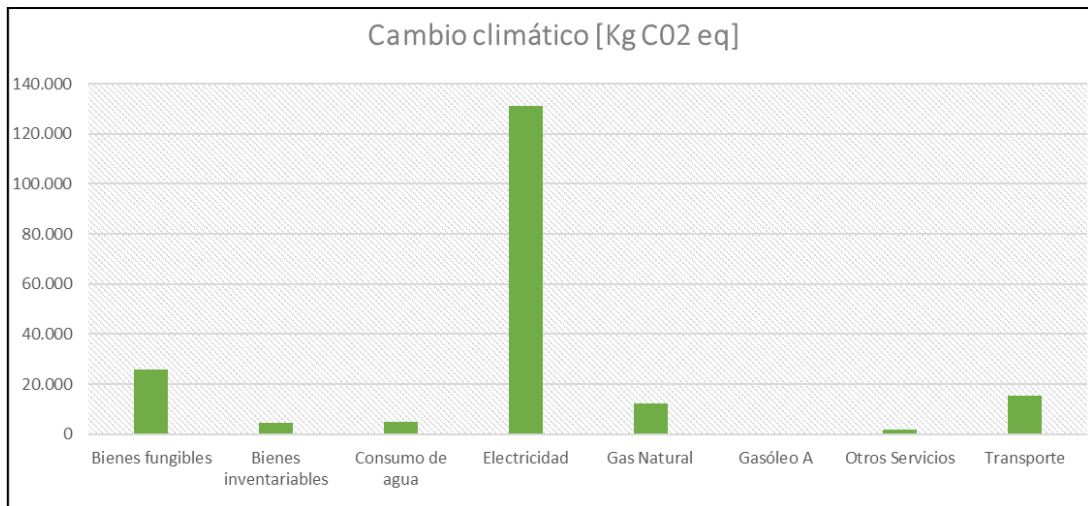


Figura 9: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la categoría cambio climático. Fuente: Elaboración propia.

La fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es la categoría de “Electricidad”, correspondiente al consumo eléctrico. Se ha identificado que en este sector los impactos indirectos asociados al ciclo de vida, el transporte y la distribución de electricidad son los mayores contribuidores a la categoría de cambio climático, alcanzando un valor máximo de 131.299 kg de CO2 equivalentes (Figura 9).

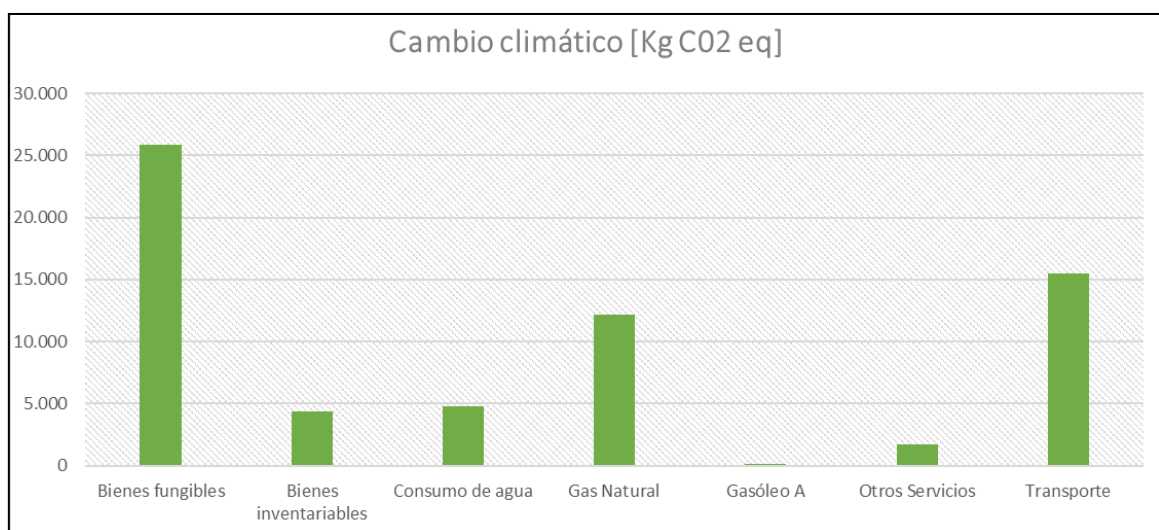
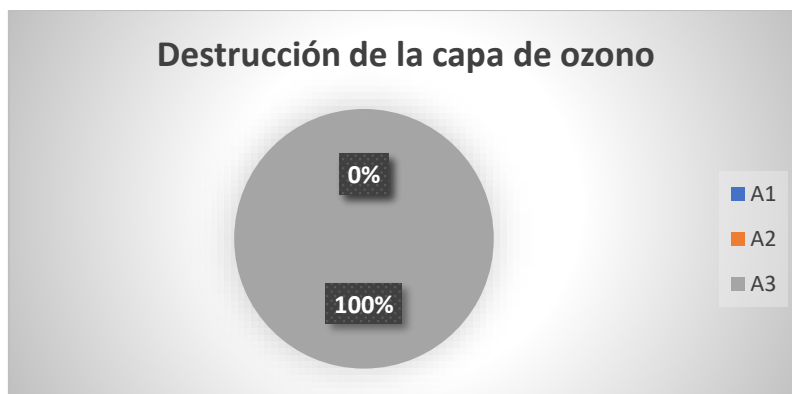


Figura 10: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la categoría cambio climático, sin incluir la fuente de electricidad. Fuente: Elaboración propia.

Para obtener un mayor nivel de detalle y poder apreciar mejor el resto de las fuentes, en la Figura 10, se ha suprimido la categoría "Electricidad", representando así el resto de las categorías del Alcance 3. Así, se destaca que la segunda fuente que más contribuye al Alcance 3 de la categoría de impacto cambio climático es la de "Bienes fungibles", con un valor de 25.839,03 kg de CO₂ equivalentes.

4.1.2 Destrucción de la capa de ozono



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 11: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría destrucción de la capa de ozono en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se aprecia que el Alcance 3 es el responsable de los impactos de destrucción de la capa de ozono. Debido a la notoria diferencia de magnitudes, en la Figura 11 no se aprecia que, en realidad, el Alcance 1 aporta a la categoría de impacto destrucción de la capa de ozono 0,0029 kg de CFC-11 equivalentes, mientras que la aportación de impactos del Alcance 2 son despreciables frente a los anteriores.

El Alcance 3, el cual representa prácticamente el 100% de la categoría de impacto destrucción de la capa de ozono, tiene un valor de 166,51 kg de CFC-11 equivalentes.

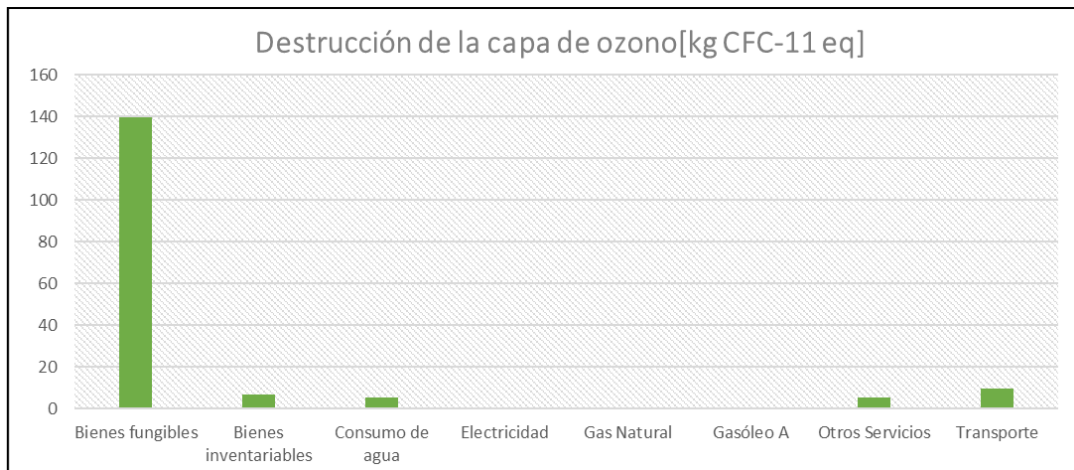
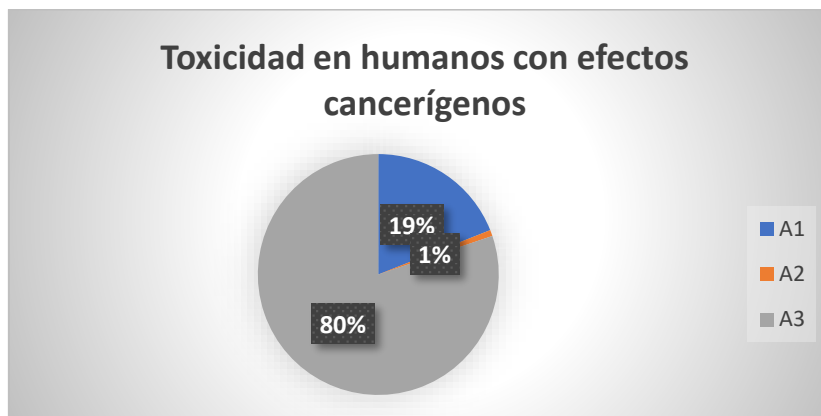


Figura 12: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la categoría destrucción de la capa de ozono. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se puede apreciar claramente que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es la de “Bienes fungibles” con un valor de 139,71 kg de CFC-11 equivalentes.

4.1.3 Toxicidad en humanos con efectos cancerígenos



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 13: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría toxicidad en humanos con efectos cancerígenos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 13 se puede apreciar que el Alcance 1 representa un 19% del total de la contribución, el Alcance 2 un 1% del total y al Alcance 3 le corresponde el 80% restante.

El Alcance 1, el cual representa el 19% de la categoría de impacto toxicidad en humanos con efectos cancerígenos, tiene un valor de 0,0036 CTUh, cuyo origen se debe al consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

El Alcance 2, el cual representa el 1% de la categoría de impacto toxicidad en humanos con efectos cancerígenos, tiene un valor de 0,0002 CTUh, cuyo origen es el consumo directo de electricidad.

El Alcance 3, el cual representa el 80% del impacto toxicidad en humanos con efectos cancerígenos, tiene un valor de 0,0152 CTUh.

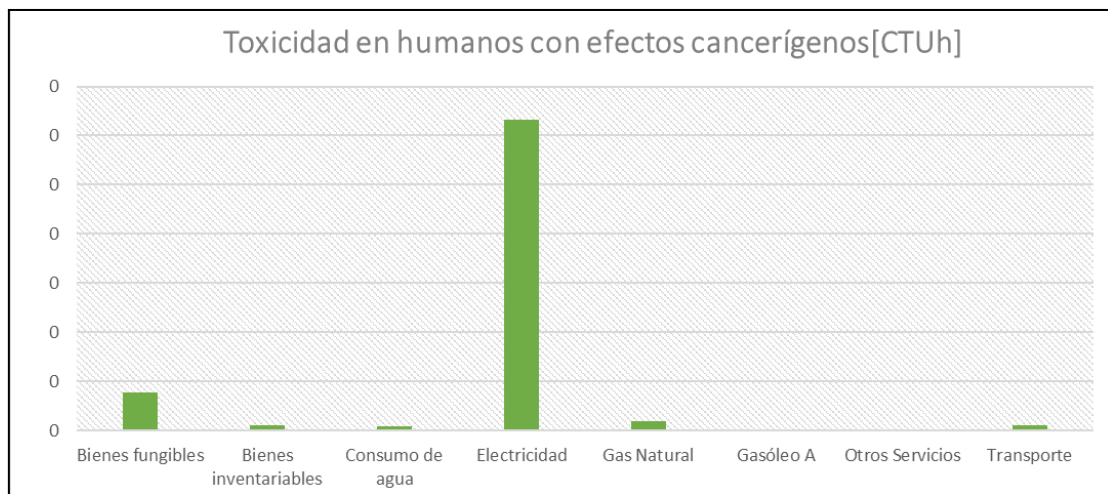
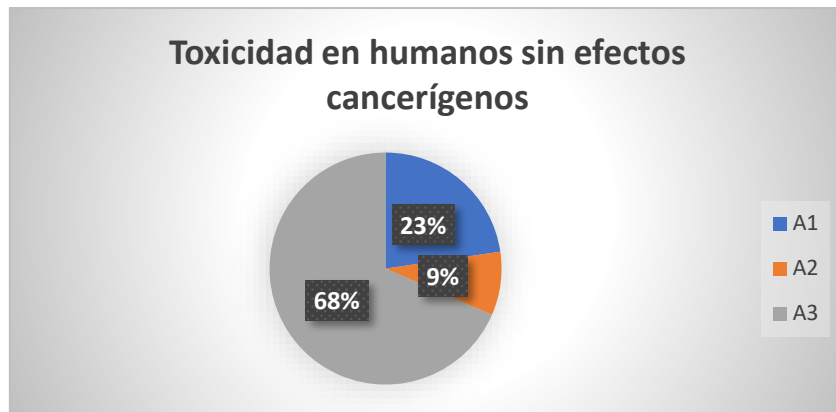


Figura 14: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la categoría toxicidad en humanos con efectos cancerígenos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se puede apreciar que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es la de “Electricidad”, alcanzando un valor máximo de 0,0125 CTUh.

4.1.4 Toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 15: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

El Alcance 1 representa un 23% del total, el Alcance 2 un 9% del total y al Alcance 3 le corresponde el 68% restante (Figura 15).

El Alcance 1, el cual representa el 23% de la categoría de impacto toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos, tiene un valor de 0,0287 CTUh, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

El Alcance 2, el cual representa el 9% del impacto toxicidad en humanos con efectos cancerígenos, tiene un valor de 0,0112 CTUh, cuyo origen es el consumo directo de electricidad.

El Alcance 3, el cual representa el 68% de la categoría de impacto toxicidad en humanos con efectos cancerígenos, tiene un valor de 0,0866 CTUh.

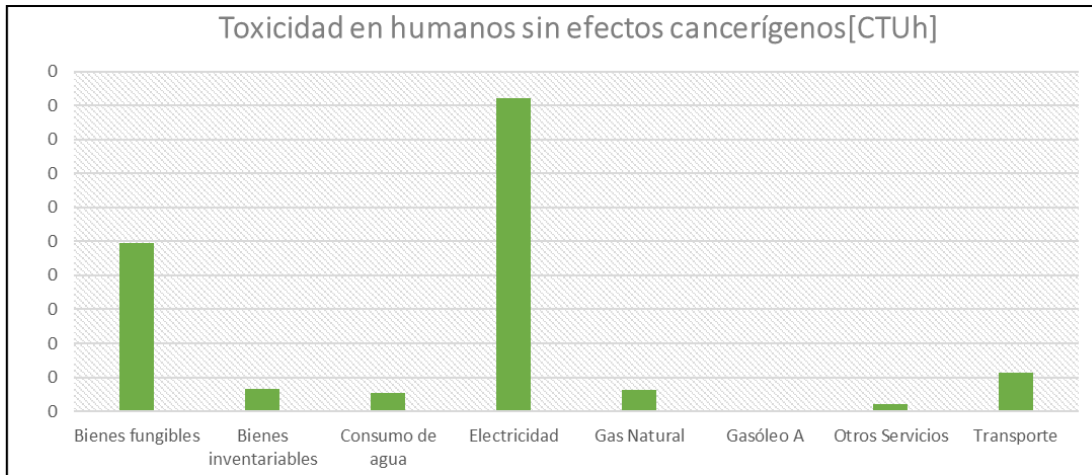
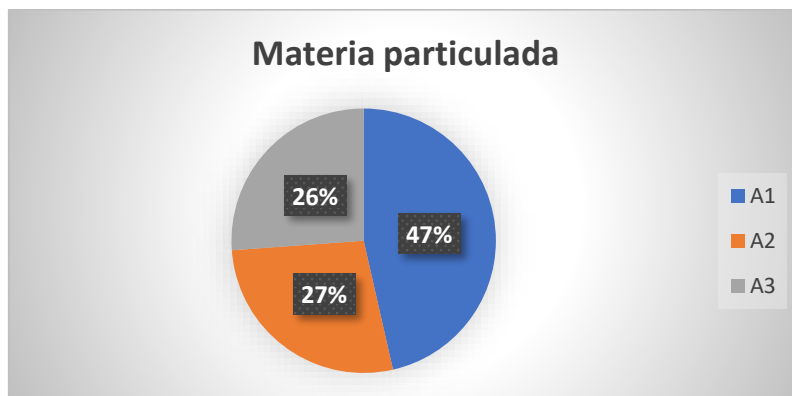


Figura 16: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la categoría toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 16 se puede apreciar que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es "electricidad", alcanzando un valor de 0,0460 CTUh. Como segunda fuente más relevante para el Alcance 3 aparecen los "Bienes fungibles", con un valor de 0,0247 CTUh.

4.1.5 Materia particulada



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 17: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría materia particulada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se puede apreciar que el Alcance 1 representa el 47% del total de la contribución, el Alcance 2 un 27% del total y al Alcance 3 le corresponde el 26% restante.

El Alcance 1, el cual representa el 47% de la categoría de impacto materia particulada, tiene un valor de 271,89 kg PM 2.5 equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

El Alcance 3, el cual representa el 26% del impacto materia particulada, tiene un valor de 153,100 kg PM 2.5 equivalentes.

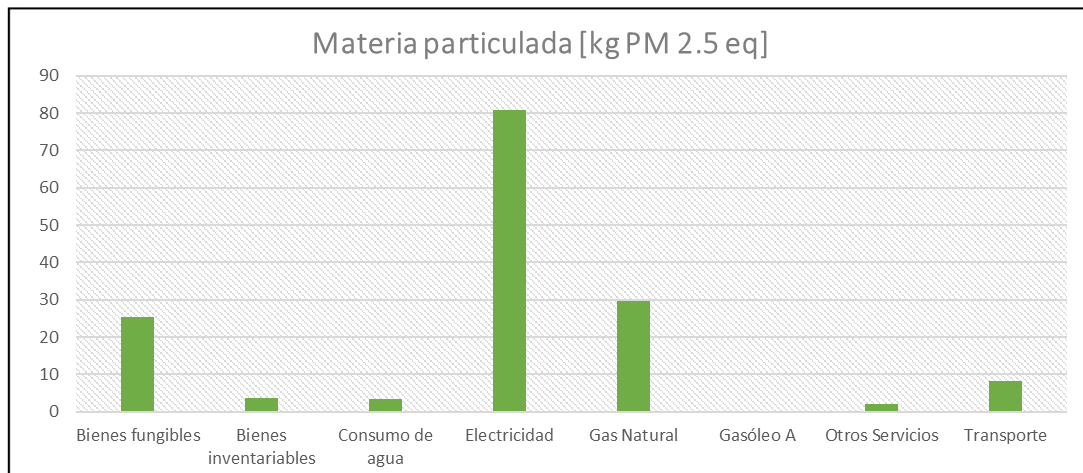
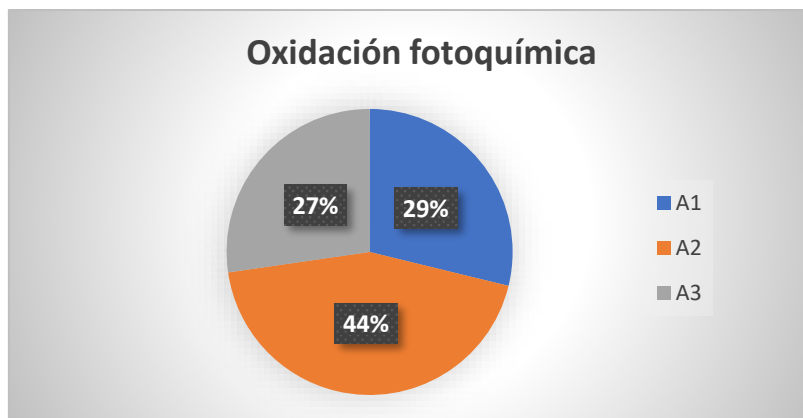


Figura 18: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la materia particulada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 18 se puede apreciar que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es la de Electricidad con un valor de 80,8 kg PM 2.5 equivalentes. En segundo lugar, los impactos más determinantes para el Alcance 3 son los relativos al gas natural (29,58 kg PM 2,5eq) y al consumo de “Bienes fungibles” (25,43 kg PM 2,5eq).

4.1.6 Oxidación fotoquímica



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 19: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría oxidación fotoquímica en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

El Alcance 1 representa el 29% del total, el Alcance 2 un 44% del total y al Alcance 3 le corresponde el 27% restante (Figura 19).

El Alcance 1, el cual representa el 29% de la categoría de impacto formación de ozono fotoquímico, tiene un valor de 851,80 kg NMVOC equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de Gasóleo A.

El Alcance 2, el cual representa el 44% del impacto formación de ozono fotoquímico, tiene un valor de 1.297,78 kg de NMVOC equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de electricidad.

El Alcance 3 representa el 27% de la categoría de impacto formación de ozono fotoquímico, tiene un valor de 806,75 kg NMVOC equivalentes.

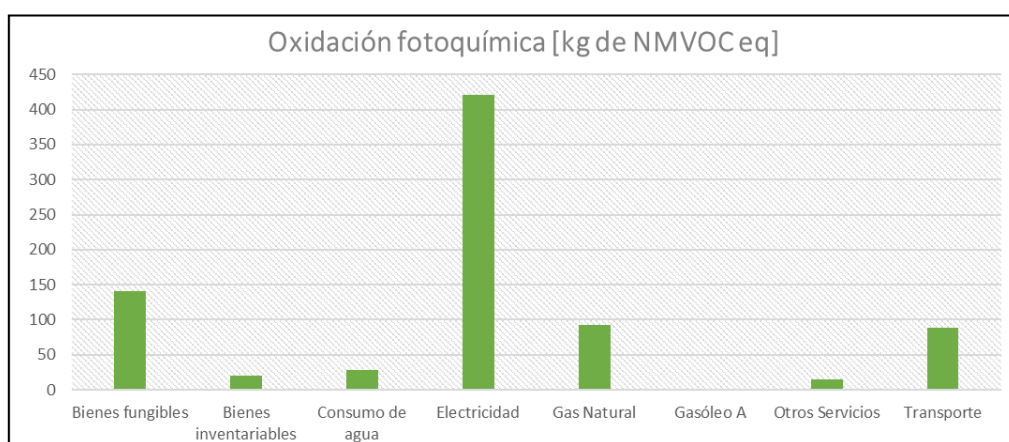
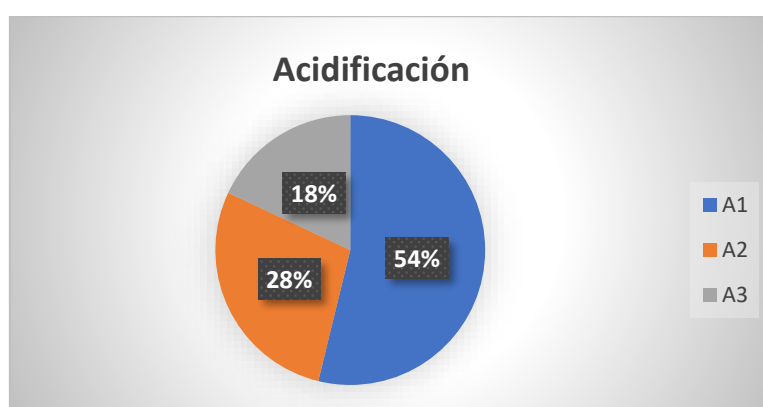


Figura 20: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de la oxidación fotoquímica en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 20 se puede apreciar que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es “Electricidad” (como impacto indirecto), con un valor de 420,37 kg NMVOC equivalentes. Bastante alejados quedan los impactos producidos por los “Bienes Fungibles” y el gas natural, cuyos valores son 141,4 y 92,19 kg de NMVOC equivalentes respectivamente.

4.1.7 Acidificación



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 21: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría de impacto acidificación en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21 se puede apreciar que el Alcance 1 representa el 54% del total de la contribución a la categoría de impacto acidificación, el Alcance 2 un 28% del total y al Alcance 3 le corresponde el 18% restante.

El Alcance 1, el cual representa el 54% de la categoría de impacto acidificación, tiene un valor de 5.642,49 molCH⁺ equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

El Alcance 2, el cual representa el 28% del impacto acidificación, tiene un valor de 2.954,28 molCH⁺ equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de electricidad.

El Alcance 3, cuenta con el 18% de la categoría de impacto acidificación, tiene un valor de 1.888,31 molCH⁺ equivalentes.

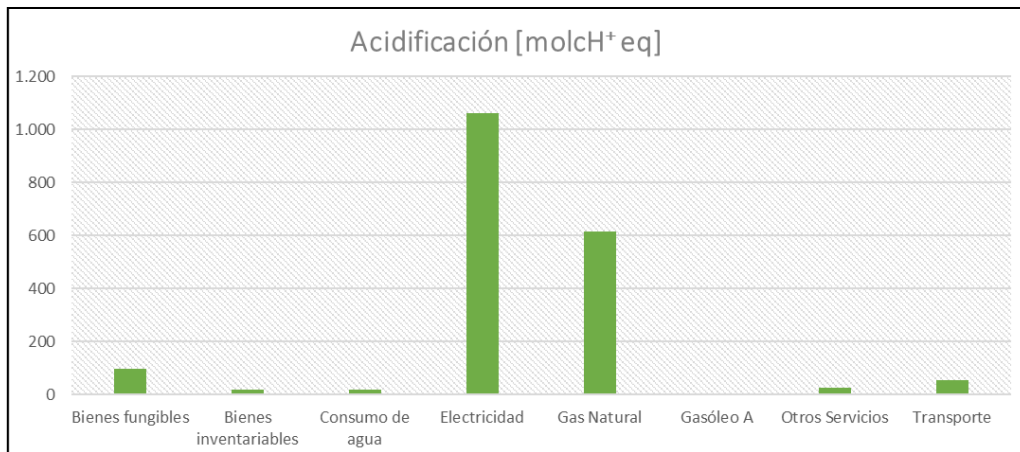
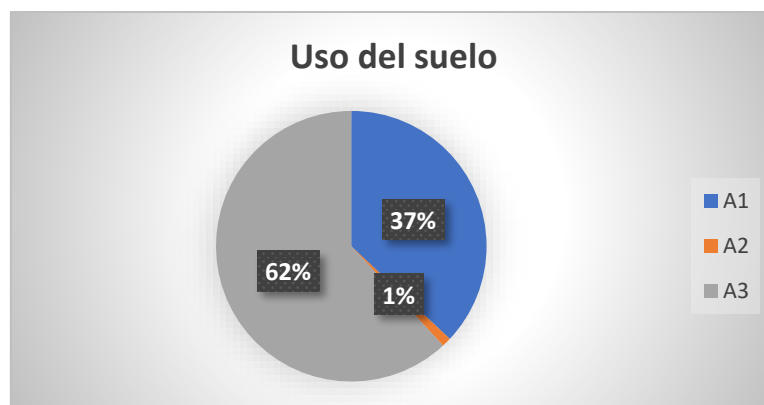


Figura 22: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de acidificación en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 22 se puede apreciar que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es la del impacto indirecto proveniente del consumo de electricidad, con un valor de 1.062,69 molCH⁺ equivalentes. Seguido del impacto indirecto producido por el gas natural, con un valor de 614,60 molCH⁺ equivalentes.

4.1.8 Uso del suelo



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 23: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría uso del suelo en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 23 Se puede apreciar que el Alcance 1 representa el 37 % del total, el Alcance 2 un 1 % del total y al Alcance 3 le corresponde el 62 % restante.

El Alcance 1, el cual representa el 37% de la categoría de impacto uso del suelo, tiene un valor de 523.558,10 kg de C déficit, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

El Alcance 2, el cual representa tan solo el 1% de la categoría de impacto uso del suelo, tiene un valor de 15.841,64 Kg de C déficit, cuyo origen es el consumo directo de electricidad.

El Alcance 3, el cual representa el 62% de la categoría de impacto uso del suelo, tiene un valor de 875.011,69 kg de C déficit.

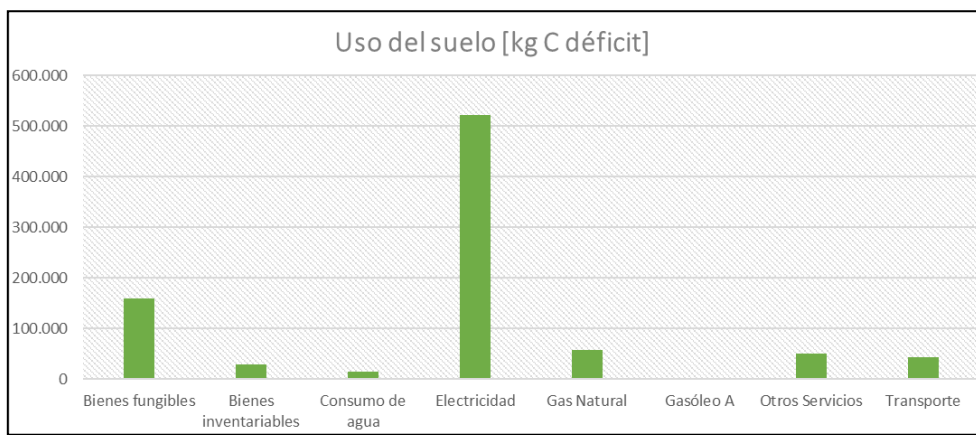
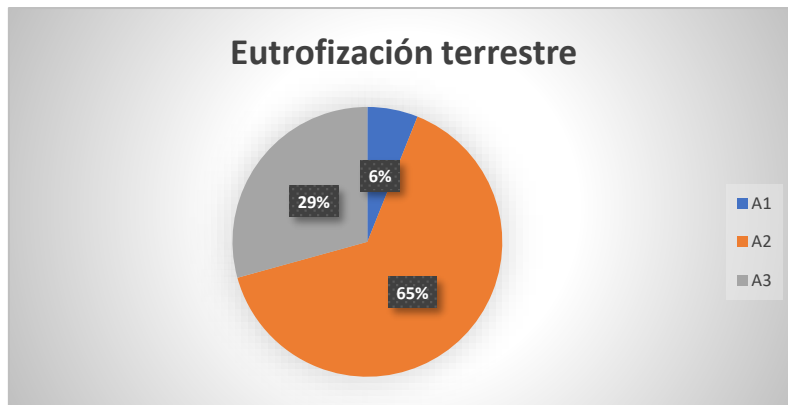


Figura 24: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de uso de suelo en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 24 se puede apreciar que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es la electricidad como impacto indirecto, con un valor de 522.344,60 kg PM 2.5 equivalentes. Seguido de los impactos referidos a “Bienes Fungibles”, que suponen 159.398,89 kg de C déficit.

4.1.9 Eutrofización Terrestre



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 25: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría eutrofización terrestre en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 25 Se puede apreciar que el Alcance 1 representa el 6 % del total, el Alcance 2 un 65 % del total y al Alcance 3 le corresponde el 29 % restante.

El Alcance 1, el cual representa el 6 % de la categoría de impacto eutrofización terrestre, tiene un valor de 462,06 mol N equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

El Alcance 2, el cual representa el 65 % del impacto eutrofización terrestre, tiene un valor de 4.926,66 mol de N equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de electricidad.

El Alcance 3, el cual representa el 29 % de la eutrofización terrestre, tiene un valor de 2.232,44 mol de N equivalentes.

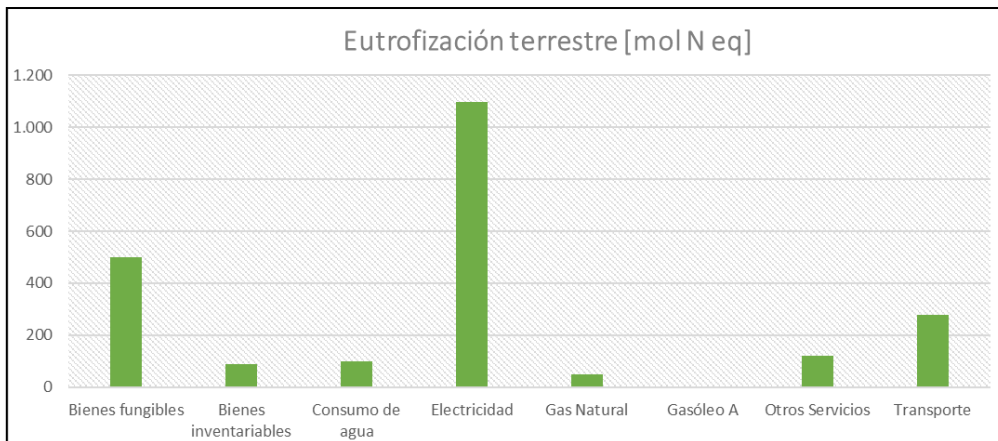
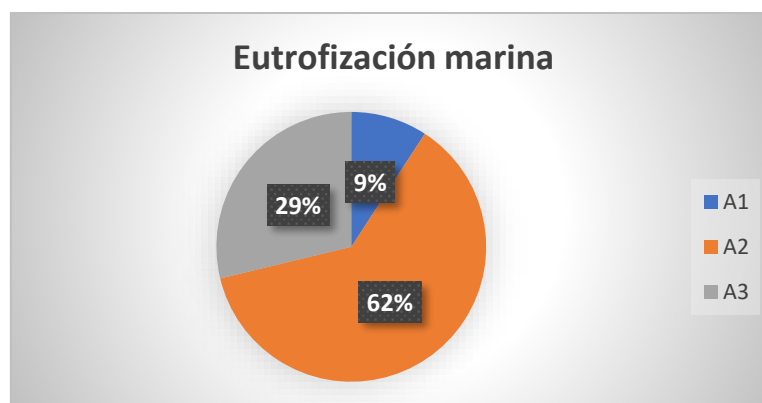


Figura 26: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de eutrofización terrestre en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 26 se puede apreciar que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es la electricidad (impacto indirecto) con un valor de 1.096,40 mol de N equivalentes. Alejados de estos valores se encuentran las fuentes de impactos “Bienes Fungibles” y Transporte, con 500,26 y 277,8 mol de N equivalentes respectivamente.

4.1.10 Eutrofización marina



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 27: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría eutrofización marina en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27 se puede apreciar que el Alcance 1 representa el 9% del total, el Alcance 2 un 62% del total y al Alcance 3 le corresponde el 29% restante.

El Alcance 1, el cual representa el 9% del impacto eutrofización marina, tiene un valor de 66,54 kg de N equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

El Alcance 2, el cual representa el 62% del impacto eutrofización marina, tiene un valor de 449,79 kg de N equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de electricidad.

El Alcance 3, el cual representa el 29% de la eutrofización marina, tiene un valor de 208,53 kg de N equivalentes.

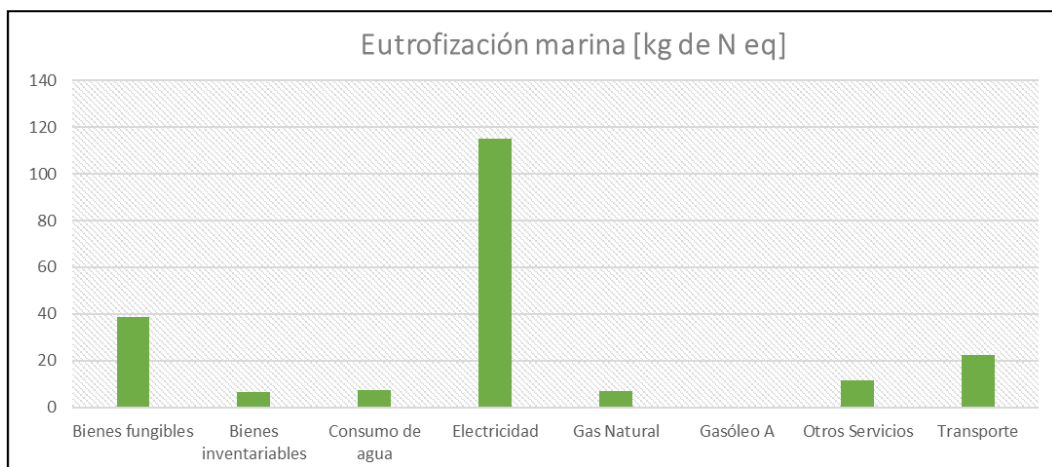
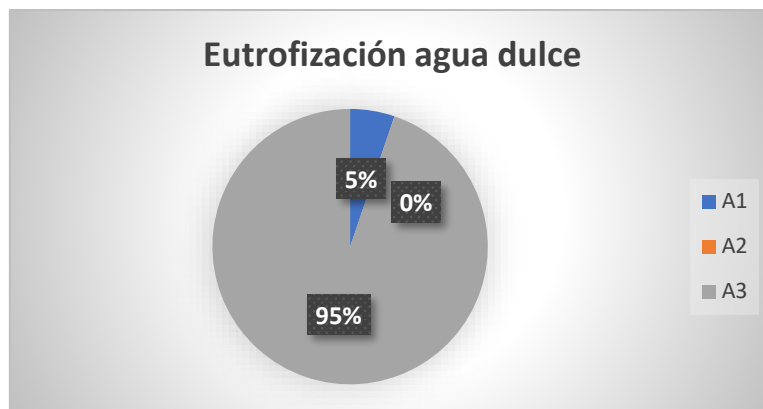


Figura 28: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de eutrofización marina en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28 se puede apreciar que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es del impacto indirecto a consecuencia del consumo de electricidad, con un valor de 115,04 kg de N equivalentes. Alejados de estos valores se encuentran las fuentes de impactos “Bienes Fungibles” y Transporte, con 38,59 y 22,28 kg de N equivalentes respectivamente.

4.1.11 Eutrofización agua dulce



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 29: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría eutrofización en agua dulce de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 29 se aprecia que el Alcance 3 abarca el 95% de la contribución al impacto eutrofización agua dulce, mientras que el Alcance 1 es del 5% y el Alcance 2 se considera nulo.

El Alcance 1, el cual representa el 5% del impacto eutrofización agua dulce, tiene un valor de 5,840 kg de P equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

Debido a la diferencia de magnitudes, en la Figura 29 no se aprecia que en realidad el Alcance 2 aporta a la categoría de impacto eutrofización agua dulce 0,014 kg de P equivalentes.

El Alcance 3, el cual representa el 95% del impacto eutrofización agua dulce, tiene un valor de 105,92 kg de P equivalentes, de los cuales 97,72 corresponden con la parte indirecta del consumo eléctrico (Figura 30).

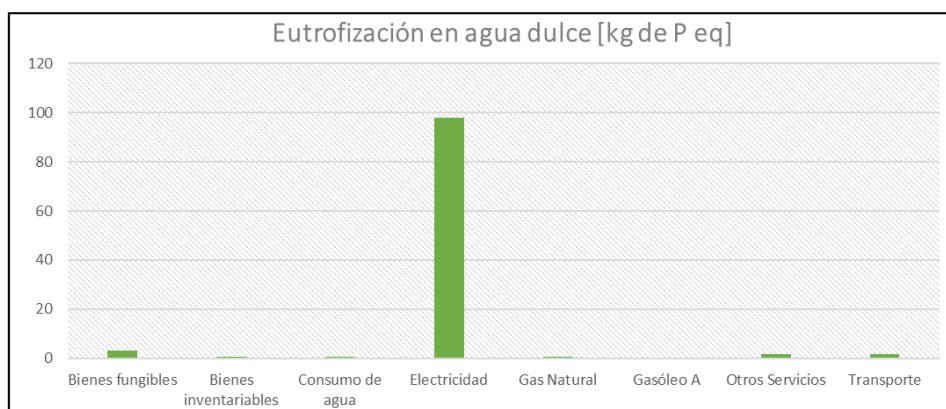
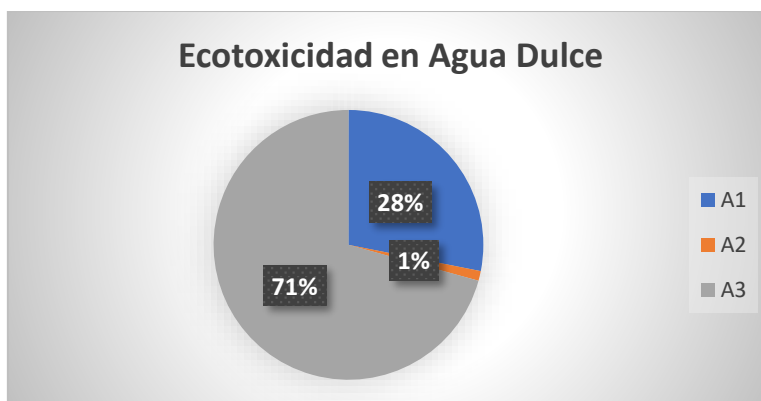


Figura 30: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de eutrofización en agua dulce de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

4.1.12 Ecotoxicidad en agua dulce



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 31: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría ecotoxicidad en agua dulce de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 31 se puede apreciar que el Alcance 1 representa el 28% del total, el Alcance 2 un 1% del total y al Alcance 3 le corresponde el 71% restante.

El Alcance 1, el cual representa el 28% del impacto ecotoxicidad en agua dulce, tiene un valor de 754.070,54 CTUe, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

El Alcance 2, el cual representa el 1% del impacto ecotoxicidad en agua dulce, tiene un valor de 30.828,21 cuyo origen es el consumo directo de electricidad.

El Alcance 3, el cual representa el 71% del impacto ecotoxicidad en agua dulce, tiene un valor de 1.873.464,28 CTUe.

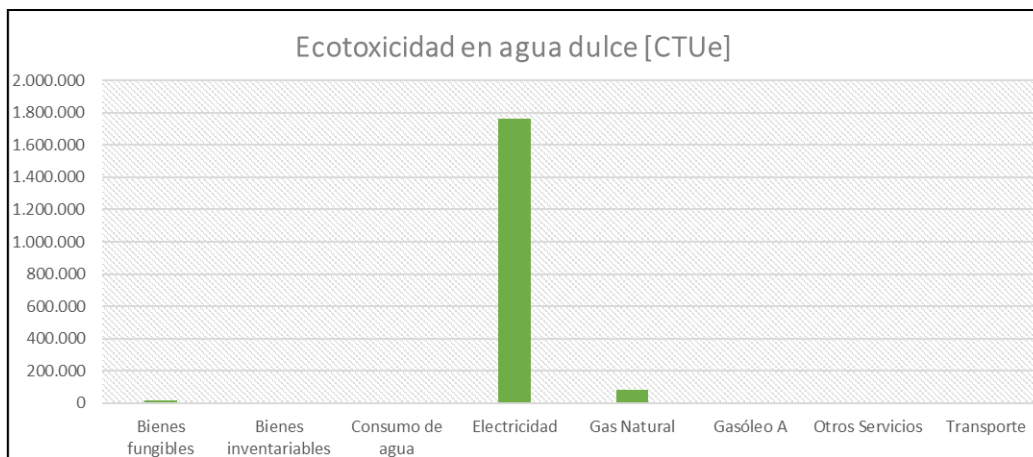


Figura 32: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de ecotoxicidad en agua dulce de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 32 se puede apreciar que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es la de consumo eléctrico (impacto indirecto), con un valor de 1.761.906,01 CTUe.

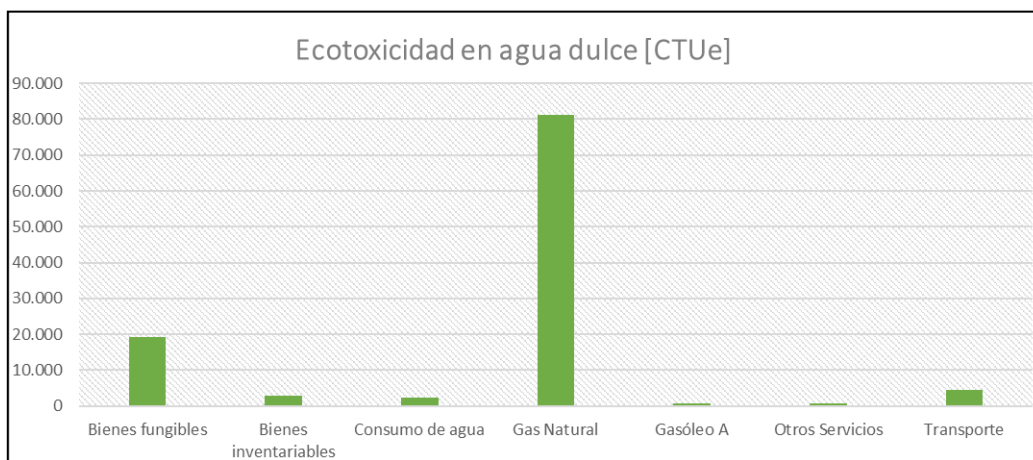


Figura 33: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de ecotoxicidad en agua dulce en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural suprimiendo la fuente de Electricidad. Fuente: Elaboración propia.

Para obtener un mayor nivel de detalle y poder apreciar mejor el resto de las fuentes, en la Figura 33 se ha suprimido la categoría "Electricidad", representando así el resto del Alcance 3. De esta forma, se aprecia que la segunda fuente responsable del Alcance 3 de la categoría de impacto Ecotoxicidad en agua dulce es la parte indirecta de la combustión de gas natural, con

un valor de 81.214,70 CTUe, seguida de la fuente “Bienes fungibles”, con un valor de 19.209,03 CTUe.

4.1.13 Agotamiento de minerales y fósiles



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 34: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría Agotamiento de minerales y fósiles de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 34 se aprecia que el Alcance 3 abarca el 100% de la contribución a la categoría de impacto agotamiento de minerales y fósiles, mientras que el Alcance 1 y 2 se consideran nulos.

El Alcance 1, a pesar de representar el 0%, tiene un valor de 0,35 kg Sb equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A. En cambio, el Alcance 2 no tiene valoración en este impacto.

El Alcance 3, el cual representa el 100% de la categoría de impacto agotamiento de minerales y fósiles, tiene un valor de 667.455.229 kg de Sb equivalentes, de los cuales, según la Figura 35, 422.261.339,06 corresponden la fuente “Bienes fungibles”. En segundo lugar, el transporte, con un valor de 96.811.697,13 kg de Sb.

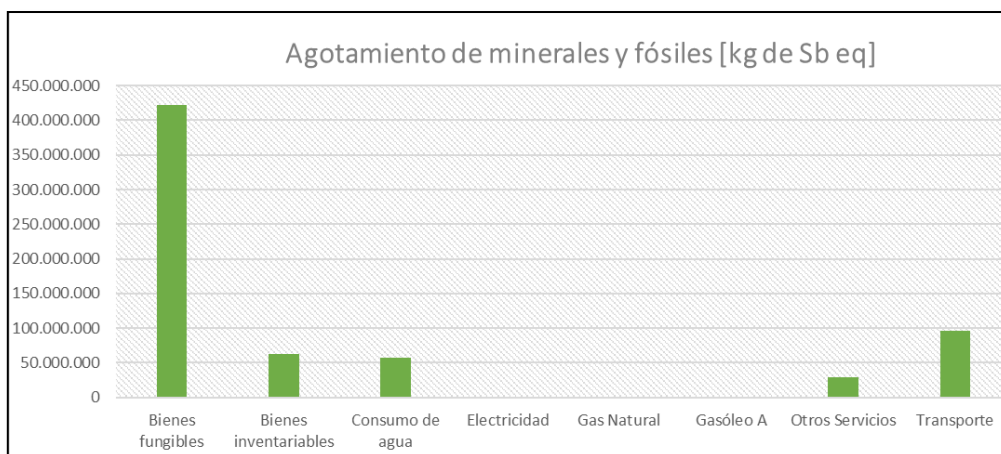
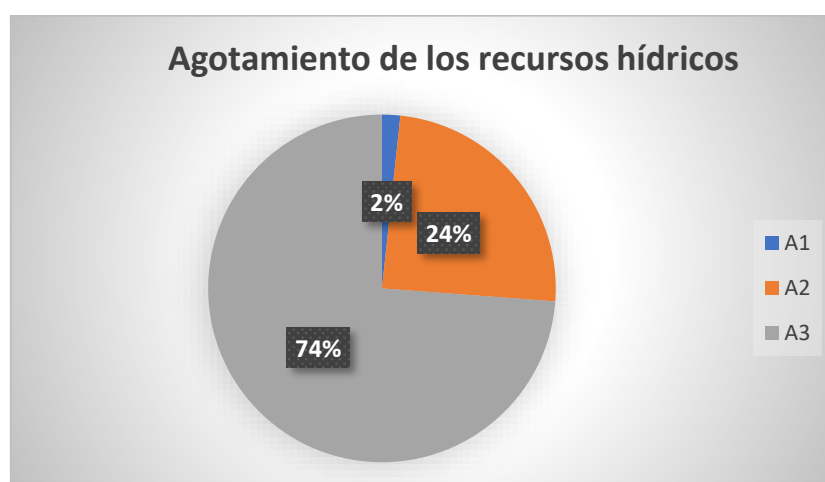


Figura 35: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de agotamiento de minerales y fósiles de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

4.1.14 Agotamiento de los recursos hídricos



Nota: A1, A2 y A3 representan Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 respectivamente.

Figura 36: Porcentaje de contribución de los alcances de impacto para la categoría agotamiento de los recursos hídricos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36 se puede apreciar que el Alcance 1 representa el 2% del total, el Alcance 2 un 24% del total y al Alcance 3 le corresponde el 74% restante.

El Alcance 1, el cual representa el 2% del agotamiento de los recursos hídricos, tiene un valor de 52,36 m³ de agua equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de gas natural y el consumo directo de gasóleo A.

El Alcance 2, el cual representa el 24% de la categoría de impacto agotamiento de los recursos hídricos, tiene un valor de 756,57 m³ de agua equivalentes, cuyo origen es el consumo directo de electricidad.

El Alcance 3, el cual representa el 74% de la categoría de impacto agotamiento de los recursos hídricos, tiene un valor de 2.279,66 m³ de agua equivalentes.

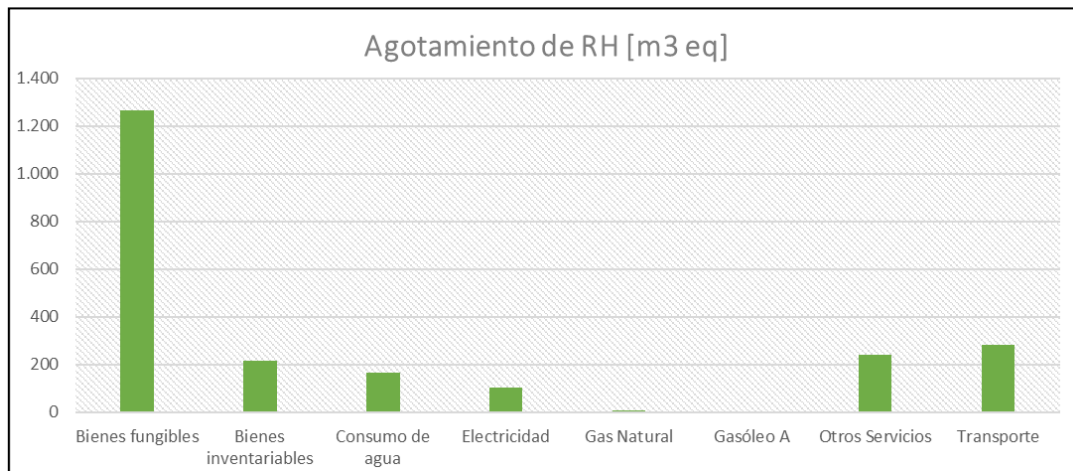


Figura 37: Desglose de fuentes de impacto para el Alcance 3 de agotamiento de los recursos hídricos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 37 destaca que la fuente de impacto que más aporta al Alcance 3 es la de “Bienes fungibles”, con un valor de 1.266,79 m³ de agua equivalentes.

5. Discusión

5.1 Implementación de la Huella Ambiental mediante el análisis híbrido por niveles

El análisis híbrido por niveles representa un avance metodológico mediante el cual las capacidades de análisis del alcance 3 derivadas del análisis input-output son complementadas con el rigor asociados a la cuantificación de los impactos asociados al alcance 1 y 2. Por ello, se obtienen resultados razonablemente completos y de manera más o menos rápida. Uno de los

principales inconvenientes es definir correctamente el límite entre el área de análisis de procesos y el área de análisis input-output para evitar así una doble contabilidad (López et al., 2017) .En nuestro caso se ha diferenciado claramente por un lado los impactos directos generados de combustión fija y móvil, y consumo de electricidad (análisis de procesos) y, por otro lado, los impactos indirectos de los mismos y los gastos e inversiones (mediante análisis input-output).

En cuanto a la implementación de la Huella Ambiental, podemos sacar en claro una serie de ventajas e inconvenientes.

A diferencia de la Huella Hídrica o la propia Huella de Carbono, la Huella Ambiental es un análisis multicriterio indicado tanto para bienes como para servicios, que sostiene una metodología basada en el ciclo de vida de los productos y servicios y genera indicadores de impacto medibles, comparables y cuantificables en varias categorías de impacto medioambiental. Además, es una herramienta reconocida a nivel europeo, que aplica una metodología robusta y respaldada por una base científica (Bach et al., 2018)

En cuanto a los inconvenientes de la Huella ambiental, se podría destacar que este indicador no considera aspectos sociales ni económicos (Martínez, 2019). Si bien es cierto que algunas categorías de impacto, como las relacionadas con la toxicidad en humanos o la materia particulada, están relacionadas con aspectos sociales, su principal enfoque es el medioambiental. También, las funciones y biodiversidad ecosistémicas no son parámetros bien incorporados en la metodología, debido probablemente a la inmadurez que tiene todavía este tipo de análisis (Martínez, 2019).

5.2 Discusión de los resultados

En primer lugar, se va a dar una valoración global a los resultados obtenidos de la Huella de Ambiental en su conjunto.

El presente trabajo es el primero en calcular la Huella de Ambiental de la ETSIMFMN, por tanto, no existen trabajos previos que permitan comparar las magnitudes de los resultados obtenidos en las distintas categorías de impacto, a excepción de la categoría cambio climático. En esta categoría de impacto de cambio climático, mediante el cálculo de la Huella de Carbono, se ha podido hacer una comparación con datos más recientes del año 2016.

5.2.1 Valoración por alcances

Los alcances 1 y 2 contribuyen en mayor proporción a las categorías de impacto de cambio climático, materia particulada, oxidación fotoquímica, acidificación, eutrofización terrestre y eutrofización marina. En el resto de las categorías (destrucción de la capa de ozono, toxicidad en humanos con efectos cancerígenos, toxicidad en humanos sin efectos cancerígenos, uso del suelo, eutrofización en agua dulce, ecotoxicidad en agua dulce, agotamiento de minerales y fósiles, y agotamiento de los recursos hídricos) el Alcance 3 prima sobre los otros dos.

Las fuentes de emisión de los alcances 1 y 2 se identifican claramente, pues forman parte del análisis de procesos, y son los impactos directos generados a partir del consumo eléctrico y la combustión fija y móvil.

Pero en el alcance 3 se destaca como principal fuente de impacto el consumo eléctrico, cuantificando su parte indirecta, que son los asociados al ciclo de vida, su transporte y distribución.

Esta incidencia en las categorías de impacto por parte de la electricidad es probable que venga de la mano de los datos del Mix eléctrico español del año 2018: a pesar de que en 2018 fue un buen año para la cuota de participación de las energías renovables (40%) (Diario Renovables, 2019), la energía nuclear de fisión, que no emite CO₂, pero sí genera residuos con riesgo a la salud humana y al medio ambiente (Ecoembes, 2017) ha tenido una participación del 21,4%. Si a esto se le suma que la tercera posición la ocupó la electricidad generada por carbón, con un 14,5%, en 2018 (Diario Renovables, 2019), es probable que los factores de emisión empleados hubieran reflejado estas proporciones y como consecuencia hubieran generado estos impactos referidos a la electricidad consumida en la ETSIMFMN.

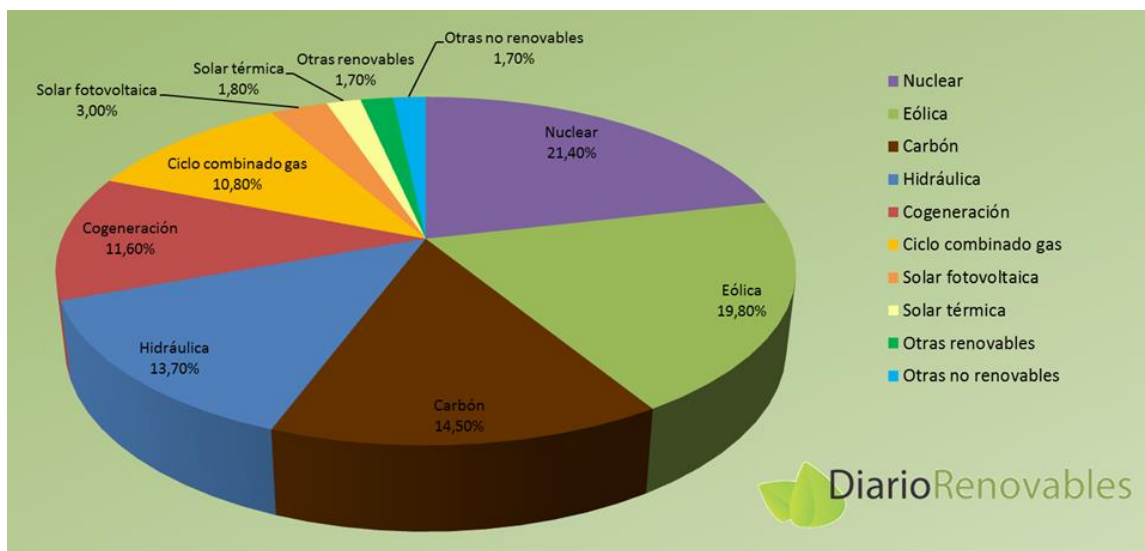


Figura 38: Mix eléctrica en porcentaje de cuota en España para el año 2018. Fuente: Diario Renovables, 2019

Después del consumo eléctrico, la fuente principal de impacto para el Alcance 3 serían los “Bienes fungibles”. La fuente “Bienes fungibles” abarca principalmente material de oficina, como puede ser el consumo de tinta y tóner, el papel, las tizas de las pizarras de las aulas, bolígrafos, y demás material que se emplea en el día a día de la actividad del centro.

5.2.2 Comparativa de la Huella de Carbono para el año 2016 con la Huella Ambiental del 2018

Se va a realizar una comparativa entre los resultados obtenidos en la categoría de impacto cambio climático incluida en la Huella Ambiental 2018 de la ETSIMFMN y los resultados obtenidos de la Huella de Carbono también de la ETSIMFMN, referenciados en el informe “Propuestas De Reducción De La Emisiones De Gases De Efecto Invernadero” (Ortiz et al., 2016).

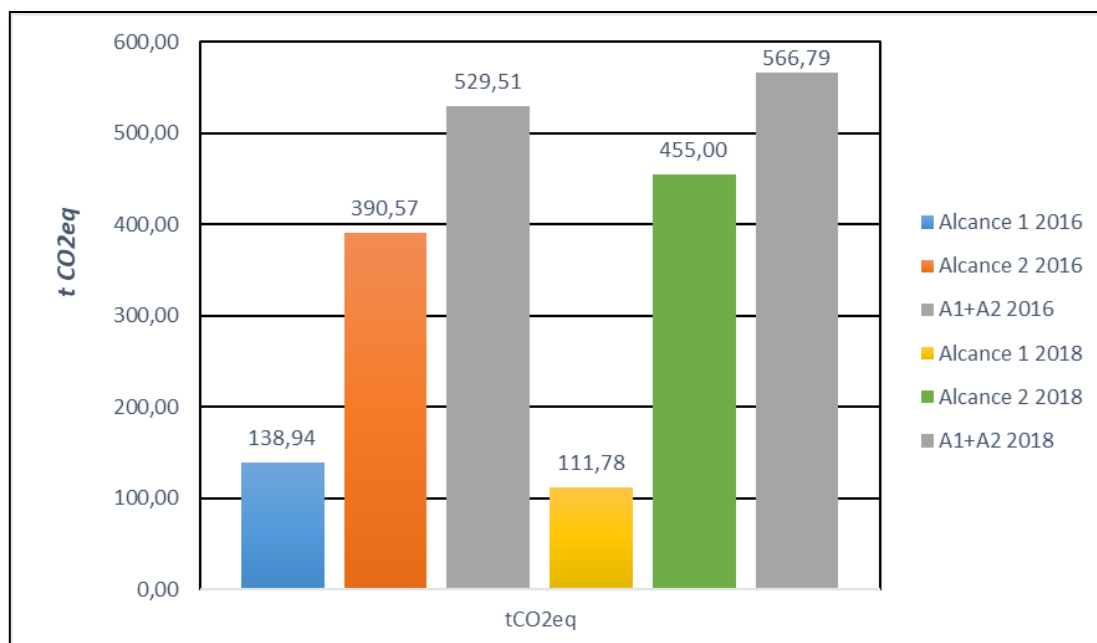


Figura 39: Resultados, expresado en tCO₂eq, de la Huella de Carbono del 2016 y la Huella Ambiental del año 2018 para la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Fuente: Elaboración propia

Los resultados expresados en la Figura 39 indican que en el año 2016 la Huella de Carbono de la ETSIMFMN alcanzaba 529,51 tCO₂eq, incluyendo los Alcances 1 y 2. El Alcance 1 corresponde con las emisiones de GEI producidas por el consumo de gas natural, gasóleo C, gasolina y diésel. Y en el Alcance 2 se consideran las emisiones de GEI producidas por el consumo de electricidad.

De forma análoga, en el año 2018 el cálculo de la Huella Ambiental para la categoría de impacto cambio climático, tiene como resultado un valor de 566,79 tCO₂eq, para los Alcances 1 y 2. Una posible razón por la cual este valor es ligeramente superior a los resultados obtenidos en 2016 es debido a la normalización del consumo eléctrico en los edificios tras las reformas y actualizaciones de equipos de climatización que se han llevado a cabo en los últimos años.

En lo que se refiere al Alcance 1 se aprecia una disminución de 27,16 tCO₂eq desde el año 2016 al 2018. Este descenso puede estar vinculado con la modernización de los equipos de jardinería y mantenimiento, que ha sido llevada a cabo en los últimos dos años, y a la eliminación de un vehículo automóvil con motor de gasolina, que formaba parte del inventario de la Escuela. Este vehículo se ha dado de baja según conversaciones mantenidas con el personal de la Escuela.

El Alcance 2 ha sufrido un aumento desde el año 2016 de 64,43 tCO₂eq. Este aumento puede estar ligado a las distintas metodologías de cálculo empleadas en cada año para la cuantificación de los alcances. Además, en la Huella Ambiental, a diferencia de la Huella de Carbono, en lugar de medir emisiones, se están midiendo impactos medioambientales. También, los factores

empleados para medir el alcance 2 vinculado al consumo eléctrico, sufren grandes fluctuaciones en el tiempo debido a los cambios repentinos que sufre semanalmente, a veces incluso diariamente, este sector.

5.2.2.1 Ratio de Huella de Carbono y de la categoría de cambio climático de Huella Ambiental en función de la superficie

La superficie de estudio analizada en 2016, correspondiente a la de los edificios de la ETSIMFMN, tiene un valor de 26.833,62 m².

Con este valor se calcula la ratio dividiendo las tCO_{2eq} de cada año (alcances 1 y 2) entre el dato de superficie. Se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{Ratio 2016} \left[\frac{tCO_{2eq}}{m^2} \right] = 0,0197$$

$$\text{Ratio 2018} \left[\frac{tCO_{2eq}}{m^2} \right] = 0,0211$$

Teniendo en cuenta estos valores, es conveniente señalar que el ratio publicado para el conjunto de la UPM en el año 2016 (Ortiz et al., 2016) fue de:

$$\text{Ratio UPM 2016} \left[\frac{tCO_{2eq}}{m^2} \right] = 0,024$$

A pesar de haber aumentado ligeramente respecto al año 2016, el ratio de la ETSIMFMN en el año 2018 sigue siendo inferior al del conjunto de la UPM.

5.2.2.2 Ratio de Huella de Carbono y de la categoría de cambio climático de Huella Ambiental en función de la población.

La tabla 13 muestra los valores de la población en la ETSIMFMN, que está compuesta por PDI (personal docente e investigador), PAS (personal de administración y servicios) y alumnos. En 2016 la población total alcanzaba los 1736 y en 2018 tiene un valor de 1467 personas.

Población	2016	2018
PDI	155	139
PAS	114	102
Alumnos	1467	1226
Total	1736	1467

Nota: PDI está referido a "Personal Docente e Investigador"; PAS está referido a "Personal de Administración y Servicios".

Tabla 13: Población Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural en los años 2016 y 2018. Fuente: Sección Económica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural.

Con estos valores se calcula el ratio poblacional, el cual consiste en dividir las tCO_{2eq} de cada año (alcances 1 y 2) entre la población total respectiva. Se obtienen los siguientes valores:

$$\text{Ratio 2016} \left[\frac{tCO_{2eq}}{\text{persona}} \right] = 0,305$$

$$\text{Ratio 2018} \left[\frac{tCO_{2eq}}{\text{persona}} \right] = 0,361$$

De manera análoga a los ratios de superficie, al enfrentar los valores se aprecia que el ratio para el año 2016 de la ETSIMFMN es superior al del conjunto de la UPM:

$$\text{Ratio UPM 2016} \left[\frac{tCO_{2eq}}{\text{persona}} \right] = 0,312$$

5.3 Medidas a adoptar por la Universidad Politécnica de Madrid para mejorar

Se van a proponer una serie de medidas a nivel UPM, para reducir aún más los impactos generados por la actividad de la Universidad.

1. Mejorar la comunicación de las medidas y estrategias del Plan de Sostenibilidad de la UPM: mediante el uso de redes sociales y demás canales de difusión, para que tanto los alumnos como el personal de las distintas escuelas puedan participar de forma más activa en las actividades y programas (Estévez Hernández, 2018).
2. Continuar y aumentar el presupuesto de becas para la realización de trabajos de fin de carrera, tesis doctorales y demás investigaciones vinculadas con la sostenibilidad de la UPM (Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia, 2018)
3. Incentivar estudios y proyectos vinculados con el empleo de energías renovables a modo de autoconsumo en las distintas instalaciones y centros de la UPM.
4. Mejorar el sistema de comunicación de lanzadera de autobús entre Montegancedo, El Barrial y Ciudad Universitaria mediante el incremento de la frecuencia de paso de los autobuses. Además, se propone la apertura de una línea que comunique con el resto de los campus de la UPM.

5.4 Medias a adoptar en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural.

Como propuestas concretas para la Escuela, se van a sugerir una serie de medidas encaminadas a disminuir los impactos generados que se han detectado, principalmente a través de la mejora de la gestión y eficiencia de la energía.

1. Con el fin de optimizar la regulación del consumo de electricidad y de gas natural en la Escuela, sería interesante contar con controles manuales de temperatura en función del día o la semana y no de la estación (como se realiza actualmente). De esta manera se aumentaría notablemente la eficiencia energética de los edificios de la Escuela logrando además reducir aún más los impactos generados por dichos consumos.

2. También, encaminado a reducir el consumo eléctrico y mejorar la eficiencia energética, se podría proponer un plan para sustituir toda la luminaria actual por luminaria LED en la totalidad de la Escuela. Debido a la gran inversión que supondría dicha medida sería interesante estudiar los puntos donde más se consume o dónde existe más demanda de luz, e ir comenzando por estos puntos la sustitución de la luminaria de forma paulatina.
3. Estudiar los consumos generados por la maquinaria frigorífica y demás dispositivos de la cafetería de la Escuela para establecer si es necesaria una nueva inversión con el objetivo de una modernización de los equipos. Esta medida también tendría aplicación a otros instrumentos y equipos que consumen mucha energía, provenientes de los distintos laboratorios de la Escuela.
4. Estudiar la posibilidad de sustituir las carretillas-dumper de gasoil presentes en la escuela (que forman parte del material de jardinería y mantenimiento de las instalaciones) por carretillas eléctricas o de bajo consumo que reduzcan los impactos generados por el consumo de gasóleo.
5. Plantear la posibilidad de la implantación de un sistema de gestión medioambiental, bajo estándares ISO 14001, así como un sistema de gestión de la Energía bajo los estándares ISO 50001. Se podría estudiar su implantación en al alguno de los centros (como la ETSIMFMN) y posteriormente extender los sistemas al resto de Escuelas con el fin de abarcar toda la UPM.
6. Estudiar si fuera viable aprovechar el agua del sistema de recirculación de la piscifactoría para generar energía de autoconsumo.
7. También, en la piscifactoría, sería interesante poder reutilizar esta agua (junto con el agua sin carga química proveniente de los laboratorios) para riego del Arboreto (Ordóñez, 2016).
8. Incentivar y mejorar la campaña de reciclaje que existe actualmente en la Escuela aumentando el número de puntos de reciclaje presentes (actualmente existen solo dos) que no son suficientes para abarcar las distintas áreas de la Escuela, debido a la gran extensión de esta.
9. Proponer una campaña de sensibilización de consumo de tinta y tóner a través de la cual se pueda revertir el consumo hacia niveles más bajos.

5.5 Futuras líneas de investigación

A consecuencia de la falta de datos para realizar comparaciones de las distintas categorías de impacto con respecto a años anteriores, sería interesante realizar la cuantificación de la Huella Ambiental en los próximos años. Debido a la gran capacidad de enfoque multicriterio que tiene este indicador, sería indicado comenzar a realizar trabajos e investigaciones de Huella Ambiental a nivel UPM, y no únicamente a nivel ETSIMFMN. Con esto, sería más fácil de llevar a cabo el seguimiento y la identificación de puntos significativos de impacto ambiental. Además de que ofrecería la posibilidad de concretar medidas específicas que ayuden a mitigar los impactos generados por la UPM. Con esto también se podría comprobar si el aumento de los ratios de la ETSIMFMN del año 2016 al año 2018 están localizados en la Escuela o es una incidencia que afecta al conjunto de la UPM.

6. Conclusiones

En primer lugar, hay que recalcar que la metodología empleada en este trabajo, a parte de ser una metodología nunca empleada con anterioridad en otros trabajos similares, ha sido totalmente adecuada al estudio que se ha propuesto. Los resultados obtenidos sirven de nexo y continuación con las cuantificaciones que se llevan realizando durante varios años, en el ámbito del cálculo de indicadores tipo huella referidos a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Así mismo, es conveniente señalar que las magnitudes obtenidas en los resultados guardan consonancia con dichos trabajos anteriores.

Respecto a la cuantificación de la Huella Ambiental de la ETSIMFMN y la propuesta de medidas y actuaciones:

1. Se han detectado impactos ambientales significativos tanto en el Alcance 1 y 2, como en el Alcance 3 provenientes del consumo eléctrico. Además, según los datos contrastados con años anteriores, el consumo eléctrico ha aumentado y como consecuencia, los impactos asociados.
2. Una de las fuentes de consumo que destacan en el Alcance 3 es la categoría de “Bienes fungibles”, en concreto el consumo de tinta y tóner. Sería interesante realizar campañas de sensibilización e información al personal y a los alumnos de la Escuela acerca de los

impactos que generan (principalmente por su ciclo de vida) consumos elevados de tinta y tóner.

3. Estos impactos generados deberán ser reducidos paulatinamente por medio de nuevas propuestas y actuaciones que, a corto y largo plazo, irán marcando el camino hacia una universidad fuertemente comprometida con el medio ambiente.

A la vista de los resultados de la comparación entre los datos obtenidos del cálculo de la Huella de Carbono de la ETSIMFMN 2016 (Montes UPM, 2016), y los obtenidos en la Huella Ambiental para la categoría de impacto cambio climático:

4. Podemos decir que a pesar de haber reducido los impactos generados en el Alcance 1 en un 19% aproximadamente, el Alcance 2 ha aumentado casi un 16%. Por ello, y por la relevancia que ha tenido esta fuente de impacto en el Alcance 3, los esfuerzos de reducción deberán ir encaminados en la reducción del consumo eléctrico, así como en la mejora y eficiencia de su consumo.

En el contexto socioeconómico y ambiental en el que se sitúa en este momento la UPM, y en concreto la ETSIMFMN:

5. Sacamos en claro que este trabajo de fin de grado, junto con el resto de los trabajos que se están realizando vinculados con la sostenibilidad en la universidad, están complementando las actuaciones para satisfacer los objetivos marcados por el Plan de Sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Madrid, que tratan de ajustarse a los requerimientos de la Agenda 2030 y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

7. Referencias bibliográficas

- Álvarez, S., Rubio, A., Rodríguez, A., Avilés, C., López, M., 2015 . *Conceptos Básicos de La Huella de Carbono*. Madrid. AENOR Ediciones.
- Álvarez, S., Tobarra, M.A., Zafrilla, J., 2018. *Corporate and Product Carbon Footprint under Compound Hybrid Analysis*. Application to a Spanish Timber Company. *Journal of Industrial Ecology*, in press.
- Avilés, C., 2016. *Responsables, Sostenibles y Universitarios Como Vía de Lucha Contra El Cambio Climático: El Caso de La Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y Del Medio Natural (UPM)*. *Revista de Responsabilidad Social de La Empresa* 24:215. Universidad Politécnica de Madrid.
- Bach, V., Lehmann, A., Görmer, M., Finkbeiner, M., Bach, V., Lehmann, A., Görmer, M., Finkbeiner, M., 2018. *Product Environmental Footprint (PEF) Pilot Phase-Comparability over Flexibility?*. *Sustainability (Switzerland)*. Último acceso: 5 de junio del 2019. Disponible en: (<https://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2898>).
- Canga, J.L., 2013. *¿Qué Es La Huella Ambiental de La Unión Europea?*. Comunidad ISM. Último acceso: 14 de junio del 2019. (<http://www.comunidadism.es/blogs/¿que-es-la-huella-ambiental-de-la-union-europea>).
- Comisión Europea, 2016a. *European Commission - Press Release - Desarrollo Sostenible: La UE Anuncia Sus Prioridades*. Último acceso: 14 de junio del 2019. Disponible en: (http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-3883_es.htm).
- Comisión Europea, 2016b. *What Environmental Impacts Does PEF Consider?*. Último acceso: 14 de junio del 2019. Disponible en : (<http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/communication/impact.htm>).
- Comisión Europea, 2019. *The Environmental Footprint Transition Phase - Environment - European Commission*. Último acceso: 14 de junio del 2019. Disponible en: (http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/ef_transition.htm).
- CREEA, 2011. *Exiobase - CREEA Booklet*. Último acceso: 31 de junio del 2019. Disponible en: (<https://www.exiobase.eu/index.php/9-blog/27-creea-booklet>).
- Cutanda, B., Alli, J.C., 2016. *Administración y Legislación Ambiental*. 9th ed. Dykinson, SL. Madrid.

- Domínguez, J.C., 2016. *Gestión de Las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de La E.T.I.M.F.M.N. Según Las Titulaciones Oficiales Del Año 2015*. Universidad Politécnica de Madrid.
- DiarioRenovables, 2019. *Generación Eléctrica En España 2018: Recuperación Renovable y Descenso En Las Emisiones | DiarioRenovables | Energías Renovables. Eólica, Solar, Fotovoltaica, Baterías, Movilidad Sostenible*. Último acceso: 14 de junio del 2019. Disponible en: (https://www.diariorenovables.com/2019/01/generacion-electrica-en-espana-2018_17.html).
- Ecoembes, 2017. *¿Sabes de Dónde Viene La Electricidad Que Consumes?*. Ecoembes. Último acceso: 14 de junio del 2019 . Disponible en: (<https://www.ecoembes.com/es/planeta-recicla/blog/sabes-de-donde-viene-la-electricidad-que-consumes>).
- Ecoinvent, 2016. *Ecoinvent Database*. Último acceso: 14 de junio del 2019. Disponible en: (<https://www.ecoinvent.org/database/database.html>).
- Escribano, R., Aramburu, M.P., López, A., 2013. *Arboreto de La ETSI de Montes*. Último acceso: 14 de junio del 2019. Disponible en: (<http://www2.montes.upm.es/ArboretoMontes/index.php/acerca-de/>).
- Estévez, U., 2018. *“La Universidad Sostenible. Nuevos Objetivos Para La ETSAM.”* Universidad Politécnica de Madrid.
- JRC Comisión Europea, 2010. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook: Framework and Requirements for Life Cycle Impact Assessment Models and Indicators*. Vasa. doi:10.278/33030.
- Lagüela, E., De La Cruz, J.L., Velo, A., Arias, S., Agustí, J., Strüber, D., García, M., Bacchetti, E., 2017. *Cómo Empezar Con Los ODS En Las Universidades*. Sustainable Development Solutions Network (SDSN) Australia / Pacífico. Red Española para el Desarrollo Sostenible. Madrid.
- López, L.A., Zafrilla, J.E., Álvarez, S., 2017. *La Huella de Carbono y El Análisis Input-Output*. AENOR Ediciones 6:107. España.
- Martínez, S., 2019. *Input-Output Analysis For The Quantification Of The Environmental Footprint. Case Studies In Spain*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Ministerio Para La Transición Ecológica, Gobierno de España (MITECO), 2015. *La ONU Presenta La Agenda 2030 Para El Desarrollo Sostenible*. Último acceso: 14 de junio del 2019.

Disponible en: (<https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/onu-agenda2030-desarrollo-sostenible.aspx>).

Naciones Unidas, 2015. *Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible*.

Último acceso: 14 de junio del 2019. Disponible en: (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>).

Ordóñez, D., 2016. *Huella Hídrica En Las Organizaciones. Caso De La E.T.S.I. De Montes, Forestal Y Del Medio Natural (2012-2014)*. Universidad Politécnica de Madrid.

Ortiz, J., 2015. *Gestión de La Sostenibilidad de Las Organizaciones. Implementación de La Norma 14064-2 En La Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y Del Medio Natural*. Universidad Politécnica de Madrid.

Ortiz, J., Rodríguez, A., Rubio, A., 2016. *Propuestas De Reducción De La Emisiones De Gases De Efecto Invernadero. Equipo de Huella de Carbono de Montes*. Universidad Politécnica de Madrid.

Pelletier, N., Allacker, K., Manfredi, S., Chomkham Sri, K., Maia De Souza, D., 2012. *Organisation Environmental Footprint (OEF) Guide*. Institute for Environment and Sustainability (IES). Organisation Environmental Footprint Guide-CONSOLIDATED VERSION. Último acceso: 14 de junio del 2019. Disponible en: (https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/footprint/OEF%20Guide_final_July%202012_clean%20version.pdf).

Rodríguez, C., 2015. *Gestión De Emisiones De Gases De Efecto Invernadero Como Parte De La Estrategia De Sostenibilidad De La Escuela Técnica Superior De Ingeniería De Montes, Forestal Y Del Medio Natural*. Universidad Politécnica de Madrid.

United Nations Environment Programme (UNEP), 1972. *Stockholm 1972 - Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment - United Nations Environment Programme (UNEP)*. Último acceso: 14 de junio del 2019. Disponible en: (<http://web.archive.loc.gov/all/20150314024203/http%3A/www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid%3D97%26articleid%3D1503>).

Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia, 2018. *Plan De Sostenibilidad Ambiental de La UPM*. Universidad Politécnica de Madrid. Último acceso: 28 de julio del 2019. Disponible en: (<https://www.upm.es/UPM/Calidad/Sostenibilidad/planSostenibilidadAmbiental>).

Wiedmann, T., Minx, J., 2008. *A Definition of 'Carbon Footprint'*. In: C. C. Pertsova, Ecological

Economics Research Trends: capítulo 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA. Último acceso: 26 de julio del 2019. Disponible en: (<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.467.6821&rep=rep1&type=pdf>).

Wood, R., Stadler, K., Bulavskaya, T., Lutter, S., Giljum, S., de Koning, A., Kuenen, J., Schütz, H., Acosta-Fernández, J., Usubiaga, A., Simas, M., Ivanova, O., Weinzettel, J., Schmidt, J., Merciai, S., Tukker, A., 2014. *Global Sustainability Accounting—Developing EXIOBASE for Multi-Regional Footprint Analysis*. Sustainability 7(1):138–63. Último acceso: 26 de julio del 2019. Disponible en: (<https://www.mdpi.com/2071-1050/7/1/138>).

World Commission on Environment and Development (WCED), 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations. Último acceso: 26 de julio del 2019. Disponible en: (<http://www.environmentandsociety.org/mml/un-world-commission-environment-and-development-ed-report-world-commission-environment-and>).