

# **IMPACTO SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO QUE GENERA LA MOVILIDAD EN LA UPM: CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO**

**Natalia Sobrino Vázquez**

Profesora Ayudante Doctora, ETSI Civil, Centro de Investigación del Transporte  
(TRANSyT), UPM, España

**Rosa María Arce Ruiz**

Directora del Centro de Investigación del Transporte  
Profesora Titular, ETSI Caminos, Canales y Puertos, UPM, España

## **RESUMEN**

La descarbonización de la movilidad urbana se ha convertido en uno de los principales objetivos de las ciudades, que ven cómo florecen diferentes planes y estrategias para hacer frente al cambio climático. Dentro de las ciudades, las universidades son áreas que propician la concienciación sobre estilos de vida respetuosos con el medio ambiente. El presente trabajo describe una acción que se puso en práctica en la Semana de la Movilidad Europea de 2019 en la Universidad Politécnica Madrid (UPM).

El objetivo fue que toda la comunidad UPM (más de 40.000 personas) conociese las emisiones de CO<sub>2</sub> diarias de sus desplazamientos a la UPM. Para ello, se realizó una sencilla encuesta de movilidad online en la que los encuestados indicaban los modos de transporte que utilizaban para llegar a los centros UPM, la distancia que recorrían y el motivo de escoger dichos modos. En 3 días que duró la campaña, se recogieron 2.149 respuestas.

El estudio incluye una metodología para calcular los factores de emisión de dióxido de carbono por modo de transporte del área metropolitana de Madrid. Los resultados demuestran que el transporte público es el modo principal utilizado por la comunidad UPM con más del 75% de viajes realizados, los modos privados representan el 17% y los modos blandos un 8%. Sin embargo, son los modos privados quienes emiten más del 55% de las emisiones de CO<sub>2</sub> totales de la UPM.

Tras un análisis en profundidad de los motivos que llevan a utilizar un modo u otro, se proponen un conjunto de políticas para la reducción de las emisiones. Se destaca la campaña de concienciación que se realizó en la Semana de la Movilidad con la difusión de los resultados en Ciudad Universitaria para hacer partícipe a la ciudadanía de los impactos al clima que tienen nuestras decisiones individuales.

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población en las áreas urbanas -en 2018 el 55% de la población mundial residía en áreas urbanas y se prevé que para el 2050 más del 70% de la población mundial se concentre en áreas urbanas (United Nations, 2019)- conlleva un aumento de la movilidad urbana con sus derivados impactos medioambientales, como son las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Una de las consecuencias es que la descarbonización de la movilidad urbana se ha convertido en uno de los principales objetivos de las ciudades, con la implementación de planes y estrategias para hacer frente al cambio climático.

Este es el caso de España, donde las principales ciudades están tomando medidas para frenar las emisiones GEI y la contaminación en las áreas urbanas a través de planes de acción y estrategias de cambio climático y energía limpia, que se complementan con planes de calidad del aire y eficiencia energética. Una de las medidas que lleva implementándose desde la aprobación de la Estrategia Española de Eficiencia Energética 2004-2012 (E4) (IDAE, 2003) y el siguiente Plan de Acción 2011-2020 de la E4 son los Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) junto con los Planes de Transporte al Trabajo (PTT) cuyos objetivos de reducción de emisiones son del 10% en las áreas urbanas. Entre muchas acciones, en el caso de la capital de España, en 2017 se aprobó el Plan de Calidad del Aire *PLAN A* (Ayuntamiento de Madrid, 2017) para cumplir con los objetivos de calidad del aire de la Unión Europea. Dentro de dicho plan se enmarca la *Zona de Bajas Emisiones (ZBE) Madrid Central* pionera en España, que comenzó a funcionar en diciembre de 2018, y donde se restringe el acceso libre de los vehículos en una amplia zona. Madrid Central tiene el doble objetivo de reducir la contaminación atmosférica y las emisiones GEI. Según apunta un estudio preliminar de Blázquez (2019), en los primeros meses demostró ser útil para mejorar la calidad del aire, aunque eran necesarias medidas más fuertes para lograr reducir de forma más notable las emisiones.

Otra medida son las campañas de información y comunicación a la ciudadanía. Diversas fuentes señalan que si los ciudadanos son más conscientes de las posibilidades de estilos de vida y hábitos de consumo respetuosos con el medio ambiente, se les puede alentar a experimentar en su vida diaria acciones que ayuden a reducir las emisiones de dióxido de carbono (Delmas et al. 2013; Klöckner, 2015). Sobre estas campañas de sensibilización e información a la población trata de enfocarse el presente trabajo. Aprovechando la Semana de Movilidad Europea de 2019 se puso en marcha una acción en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) preguntando a la comunidad universitaria qué modo de transporte utilizan para ir a la universidad, su distancia de recorrido y el motivo de escoger ese modo de transporte. Se calcularon sus emisiones asociadas, y se informó en una campaña de concienciación en el campus de *Ciudad Universitaria* la huella de carbono de su viaje diario a la universidad (Global Challenge, 2019).

El objetivo principal de este estudio es doble: en primer lugar, proponer una metodología para estimar las emisiones totales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) generadas por la comunidad UPM en su viaje diario a los campus, y en segundo lugar, comprender mejor las características del colectivo y cómo se viaja a la UPM para proponer una serie de políticas que den lugar a la reducción de la huella de carbono en la UPM. Esta comunicación se divide en varias secciones. A continuación se recogen estudios similares que analizan la movilidad en los campus universitarios y los impactos sobre el cambio climático (Sección 2). Seguidamente, se describe el caso de estudio de la UPM y la metodología llevada a cabo para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la movilidad en la UPM a partir de una sencilla encuesta online (Sección 3). Con la aplicación de dicha metodología al caso de estudio de la UPM, se analizan los resultados y se reflexiona sobre diferentes acciones que ayuden a la comunidad universitaria a reducir el impacto sobre el cambio climático de los movimientos diarios que se realizan a los centros de atracción de población, como son las áreas universitarias de las ciudades (Sección 4). Por último, se realizan las conclusiones y futuras investigaciones.

## **2. MOVILIDAD EN LOS CAMPUS UNIVERSITARIOS E IMPACTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

Recientemente, las universidades están desarrollando un creciente interés en políticas institucionales que promuevan la movilidad sostenible (Leona et al. 2018). En efecto, las universidades son lugares ideales para explorar el impacto de medidas que promuevan hábitos de transporte más saludables, debido a la mayor predisposición de los estudiantes universitarios y su personal a utilizar medios de transporte activos (Balsas et al. 2003). Este es el motivo por el que las universidades alrededor del mundo están promoviendo iniciativas sostenibles, donde las medidas sobre la movilidad son importantes.

Para poder proponer medidas se necesita, en primer lugar, conocer los impactos sobre el cambio climático que la movilidad en las áreas universitarias genera. Son varios los trabajos de investigación que han analizado las emisiones de GEI de la movilidad en las universidades por todo el mundo y que se recogen a continuación.

En Canadá, Mathez et al. (2013) analizaron las emisiones diarias al campus del centro de la ciudad de la universidad McGill en Montreal a través de una encuesta online a los estudiantes y trabajadores. Entre sus resultados cabe destacar que las diferencias de género no obtienen grandes disparidades de emisiones, sin embargo, sí que hay grandes diferencias entre estudiantes y personal de la universidad. Los estudiantes generan 3,6 veces menos de gCO<sub>2</sub>eq/persona-viaje que el personal de la universidad. Por modo de transporte utilizado, los conductores de vehículo privado son los que más emiten. Más recientemente, Hafezi et al. (2019) estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub> de la universidad Dalhousie en Nova Scotia a toda su comunidad. Entre los resultados encontraron que el personal de administración y servicios son los que más emiten por persona y día

(370,23gCO<sub>2</sub>/persona-día), siendo los resultados consistentes con los del estudio de Mathez et al. (2013).

En Estados Unidos, Appleyard et al. (2018) desarrollaron una metodología para calcular las emisiones anuales generadas por el transporte de sus viajeros a la universidad estatal de San Diego, en California, a través de una encuesta online. Los resultados son consistentes con investigaciones en otras universidades, y es que los que emiten más CO<sub>2</sub> per cápita son los miembros del colectivo de personal de la universidad, que en el caso de San Diego está explicado porque recorren más distancias para ir al campus y, además, más del 75% utiliza el vehículo privado. El estudio también incluye la evaluación de diferentes políticas, donde se destacan la utilización de vehículos eléctricos como una acción que podría reducir el 60% de las emisiones.

En Reino Unido e Irlanda, Davison et al. (2015) estudiaron los impactos sobre las emisiones del comportamiento modal de los estudiantes en 17 universidades de Irlanda y Reino Unido. Entre los resultados se destacó que los estudiantes que utilizan más el vehículo privado, y por ende lo que más emiten, corresponden a mujeres que estudian a tiempo parcial, mientras que los hombres tienden a utilizar más los modos activos. Las diferencias entre estudiantes de diferentes regiones son notables, siendo los estudiantes de Irlanda del Norte los más dependientes del coche y que recorren más distancias, con lo que son los más emisores. Por el contrario, los estudiantes escoceses emiten menos, pues son los que más utilizan los modos ferroviarios y modos activos.

Por último, en España, Pérez-Neira et al. (2020) analizaron los patrones de la movilidad de la Universidad de León y su potencial para mitigar las emisiones GEI. Los resultados son similares a los de estudios anteriores, el personal universitario emite el doble de emisiones de CO<sub>2</sub>eq por viaje a la universidad (728 gCO<sub>2</sub>eq/persona-viaje de los estudiantes frente a los 1531 gCO<sub>2</sub>eq/persona-viaje del personal de universidad). Además, aquellos que utilizan el coche son los que emiten el 95% de las emisiones totales por movilidad de la comunidad universitaria. Se proponen en el estudio diferentes medidas para reducir los impactos al cambio climático, como estrategias de educación y concienciación del personal, estimular el uso de modos activos, mejorar las infraestructuras de transporte público entre otras.

Como se recoge de los estudios anteriores, las universidades tienen la extraordinaria capacidad de generar conciencia sobre todos los aspectos de la sostenibilidad en las comunidades, siendo el transporte un sector clave en la sostenibilidad. El efecto del uso de los diferentes modos de transporte para ir a la universidad sobre las emisiones es significativo y demuestra la importancia de la educación y difusión del impacto de los viajes a la universidad para el desarrollo de una política sostenible de transporte.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Ámbito de estudio: campus universitarios de la UPM

La Universidad Politécnica de Madrid (UPM) es una universidad pública con diferentes sedes en el área metropolitana de Madrid, área que ocupa unos 8.030km<sup>2</sup> y cuenta con una población total de 6.663.394 habitantes repartidos en 179 municipios en 2019. La ciudad de Madrid es la capital de España, con una población total de 3.226.126 en 2016, cubriendo 605km<sup>2</sup> (Comunidad de Madrid, 2020). La UPM se reparte en cuatro campus principales (Figura 1): *Campus Ciudad Universitaria* (que incluye 9 escuelas y el complejo del rectorado), *Campus Madrid Ciudad* (que incluye 4 escuelas cercanas a la Zona de Bajas Emisiones de Madrid –Madrid Central-), *Campus Sur* (justo al lado de la carretera de circunvalación M-40 y que incluye 4 escuelas, 2 centros/institutos de investigación y 1 biblioteca) y *Campus Montegancedo* (en el municipio de Pozuelo de Alarcón, que incluye 1 escuela y 7 centros/institutos de investigación). La accesibilidad del transporte público cercano a estos campus, así como la presencia de áreas de estacionamiento gratuitas son factores que impactan directamente en la elección modal de los viajeros hacia estos campus (Tyrinopoulos y Antoniou, 2013). La Tabla 1 resume las principales características de los cuatro campus de la UPM, incluyendo el transporte público cercano o infraestructuras de transporte. Como es de esperar, los campus cercanos al centro de la ciudad de Madrid tienen una mejor conexión en transporte público y menos áreas de estacionamiento para vehículo privado que los que se encuentran a las afueras de la capital.

La comunidad de la UPM son más de 40.000 personas, representando el 1,37% de la población total de la ciudad de Madrid. Sus principales colectivos son: 39.000 estudiantes (incluyendo estudiantes de grado, postgrado y movilidad internacional), personal docente e investigador (PDI) con 3.300 personas y el personal de administración y servicios (PAS) con 1.890. En noviembre de 2019, la UPM plasmó su compromiso de lucha contra el cambio climático creando “Comité para la Descarbonización de la UPM”, por el cual la universidad ha fijado la meta intermedia de anular sus emisiones directas netas de gases de efecto invernadero en el año 2030, con el fin de alcanzar la neutralidad climática en 2040 (UPM, 2020).

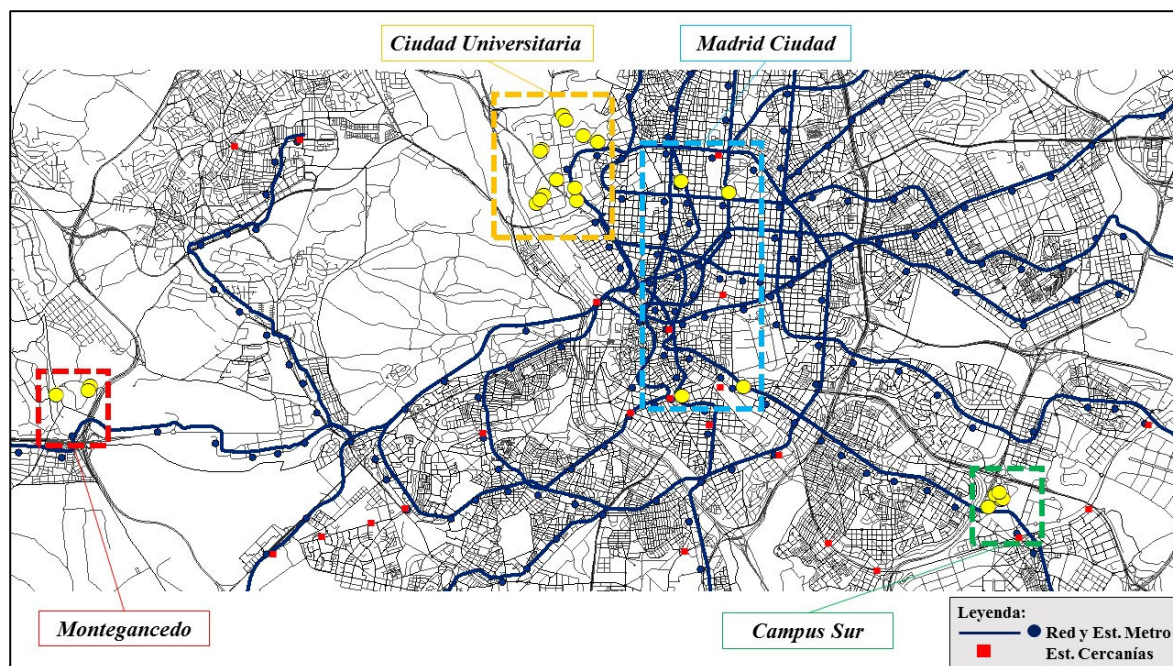


Fig. 1 – Mapa de los campus universitarios de la UPM en Madrid.

CAMPUS UPM	Nº EDIFICIOS	ESTACIONES DE METRO/CERCANÍAS	LÍNEAS DE AUTOBUS	SISTEMA DE BICICLETA PÚBLICA	PARKING GRATUITO	DISTANCIA AL CENTRO DE LA CIUDAD
<i>Ciudad Universitaria</i>	9 Escuelas y rectorado	2 estaciones de metro	Si, líneas urbana e interurbana	No	Si	4km
<i>Madrid Ciudad</i>	4 Escuelas cercanas a “Madrid Central”	4 estaciones de metro & 3 estaciones de cercanías	Si, urbanas	Si	Parcialmente	2km
<i>Campus Sur</i>	4 Escuelas & 2 centros/ institutos de investigación , 1 biblioteca	1 estación de metro & 1 estación de cercanías	Si, líneas urbana e interurbana	No	Si	7km
<i>Campus Montegancedo</i>	1 Escuela & 7 centros/ institutos de investigación	No	Si, línea interurbana y 1 línea exclusiva para personal UPM	No	Si	11,5km

Tabla 1 – Características de los campus UPM en 2019

### 3.2 Encuesta de movilidad online en la Semana de la Movilidad Europea 2019

En la celebración de la Semana de la Movilidad Europea 2019, la UPM dentro del programa *Global Challenge* realizó en septiembre de 2019 una sencilla encuesta online de tres días (martes 10, miércoles 11 y jueves 12 de septiembre de 2019) preguntando a toda la comunidad UPM qué modo de transporte utiliza para ir a los campus UPM (Global Challenge, 2019). La participación fue voluntaria y anónima. Un cuarto día (el 19 de septiembre) se realizó la difusión de los resultados (después de aplicar la metodología, ver Sección 3.3) de la encuesta en la salida del Metro de Ciudad Universitaria con el objetivo

de concienciar de los impactos del cambio climático al viajar a la universidad. El propósito de la encuesta fue comprender la elección modal diaria de la comunidad universitaria hacia los campus UPM y las principales razones de las elecciones modales (ver Tabla 2).

Preguntas	Respuestas
1. Género	Hombre / Mujer / No declara
2. ¿Cómo vienes a la universidad?	Pie / Bicicleta / Coche / Moto / Metro / Autobús Urbano (EMT) / Autobús interurbano / Tren - Cercanías / Otro (ej. Patinete)
3. ¿Por qué utilizas esos modos?	<i>Texto libre</i>
4. ¿A qué campus UPM vas?	Ciudad Universitaria / Madrid Ciudad / Campus Sur / Campus Montegancedo
5. ¿Podrías estimar los kilómetros que recorres para llegar a la UPM?	Hasta 5km / 5km-10km / 10-20km / Más de 20km
6. ¿A qué colectivo perteneces?	Estudiante / Personal Docente e Investigador / Personal de Administración y Servicios / Otros (proveedores, operarios, etc.).

**Tabla 2 – Diseño de la encuesta online**

### 3.2.1 Características de la encuesta

La encuesta fue respondida por un total de 2.142 personas de la UPM, siendo la tasa de respuesta del 4,8%. Para verificar si el número de encuestados cumple con los requisitos del tamaño mínimo de muestra, se utiliza la fórmula de Smith (Smith, 1979).

$$N_{min} = \frac{p(1-p)}{\frac{d^2}{Z^2} + \frac{p(1-p)}{N}} \quad (1)$$

Donde  $N_{min}$  es el tamaño de muestra mínimo,  $N$  es el tamaño de la población objetivo,  $p$  es la distribución de la respuesta desconocida ( $p=50\%$ ),  $Z$  es la normal para un 95% de confianza ( $Z=1,96$ ) y  $d$  es un nivel absoluto de precisión (se aplica  $d=5\%$ ). Según la ecuación [1], el tamaño mínimo de la muestra para la población de 44.190 de la UPM es de 381. Por lo tanto, el número total de encuestados cumple con los requisitos de un tamaño mínimo de la muestra.

Aunque se tiene una sub-representación de los estudiantes en la encuesta, y una sobrerrepresentación del PDI y del PAS (ver Tabla 3), lo cual es común en encuestas universitarias (Mathez et al. 2013; Appleyard et al. 2018).

	<b>Actual (absoluto; %)</b>	<b>Encuesta (absoluto; %)</b>
<i>Estudiantes</i>	39.000; 88,3%	1.641; 76.6%
<i>PDI</i>	3.300; 7.5%	273; 12.7%
<i>PAS</i>	1.890; 4,3%	228; 10.4%
<b>Total</b>	<b>44.190</b>	<b>2.142</b>

**Tabla 3 – Comparación del tamaño de la muestra con la población universitaria real.**

### 3.3 Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> por modo de transporte en el área metropolitana de Madrid

La estimación de los impactos sobre el cambio climático de los desplazamientos diarios individuales a los campus universitarios de la UPM se realiza combinando la distancia recorrida por diferentes modos de transporte y el factor de emisión medio específico de cada modo. De tal forma, que las emisiones diarias medias de CO<sub>2</sub> relacionadas con cada viaje se calculan de la siguiente forma (Stead, 1999; Nicolas y David, 2009; Ko et al. 2011; Sobrino & Monzon, 2013):

$$C_i = \sum_m D_{i,m} \times FE_m \quad (2)$$

Donde  $C_i$  representa las emisiones individuales de CO<sub>2</sub> de los viajes diarios al campus (gCO<sub>2</sub>/persona-viaje),  $i$  denota el individuo y  $m$  es el modo de transporte utilizado.  $D_{i,m}$  (km) es la distancia recorrida por el individuo  $i$  en el modo  $m$  que se deriva de la encuesta online (Sección 3.2.1, tomando el promedio de la distancia estimada),  $FE_m$  (gCO<sub>2</sub>/pas-km) es el factor de emisión medio del modo principal  $m$ . En el presente estudio se considera modo principal siguiendo la siguiente jerarquía de modos: transporte público (tren>autobús interurbano>metro>autobús urbano)>coche>moto>bicicleta>pie.

Dependiendo del modo de transporte y los datos disponibles, la estimación del factor de emisión podrá tener dos enfoques (*top-down* o *bottom-up*), ver Tabla 4. El enfoque *top-down* se basa en datos agregados a nivel macro (consumo total anual de energía, distancia total anual recorrida, tasa de ocupación anual). En el presente estudio, los factores de emisión se han estimado para el año 2017 (resultados en la Figura 2), que es el último año del que se dispone de datos suficientes para estimar dichos factores.

Se ha utilizado el enfoque *top-down* para estimar los factores de emisión del tren-cercanías, el metro y el autobús interurbano. En estos casos, el consumo anual de energía o las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales de la flota se divide entre la distancia total recorrida en km y la tasa de ocupación media de la flota para obtener el factor de emisión por pasajero y kilómetro. La principal fuente de datos es el *Informe Anual del Consorcio Regional de Transportes de Madrid* (CRTM, 2019), ya que son modos de transporte público.

Por otro lado, en el enfoque *bottom-up* se tienen en cuenta datos desagregados más detallados (tipo de la flota de vehículo, velocidad media, factor de emisión específico de

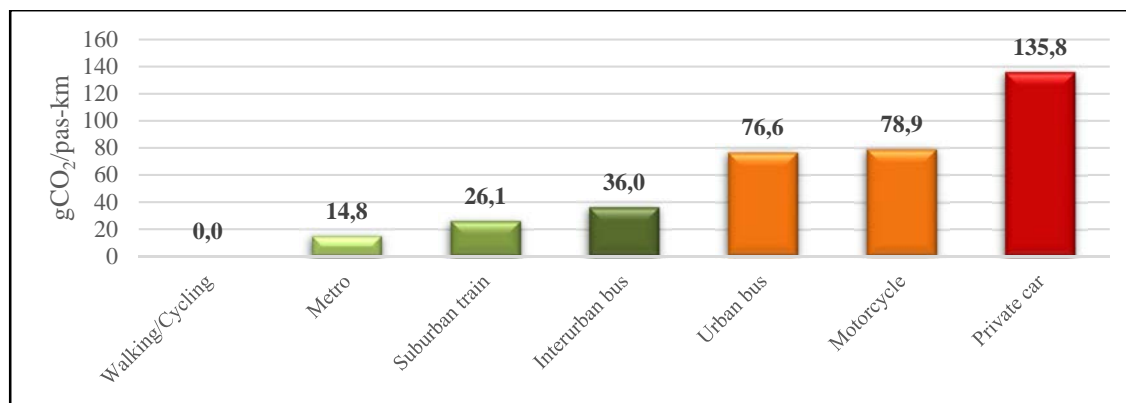


cada vehículo, etc.). Se ha empleado este enfoque utilizando la metodología oficial de la Agencia Europea de Medioambiente (EEA, 2019) para estimar los factores de emisión de los autobuses urbanos, coches y motos empleando los siguientes pasos:

1. Obtener las características del tipo de vehículo utilizando el último estudio de la flota de vehículos circulantes en Madrid en 2017 para motos y coches, así como el Informe anual de operaciones de EMT para autobuses urbanos (Ayuntamiento de Madrid, 2018; EMT 2018, respectivamente).
2. Para cada categoría de vehículo se ha estimado el factor de consumo (MJ/km) utilizando la guía EEA (2019) considerando una velocidad promedio en áreas urbanas de 13km/h para autobuses urbanos, 35km/h para motocicletas y 40km/h para automóviles (según estudios de tráfico en la ciudad de Madrid).
3. El factor de consumo estimado se transforma en emisiones de CO<sub>2</sub> utilizando la fórmula de la densidad del combustible de cada categoría de vehículo (MJ/g), así como el factor de emisión de combustión de cada combustible (gCO<sub>2</sub>/g de combustible) (EEA, 2019)
4. En función de la ponderación de todas las categorías de vehículos, se obtiene los gCO<sub>2</sub> por kilómetro por cada modo de transporte.
5. Finalmente, aplicando las tasas de ocupación, se obtienen los factores de emisión GEI por pasajero y kilómetro. Las tasas de ocupación son las siguientes: 13,6 para autobuses urbano; 1,1 para motocicletas y 1,2 para automóviles (según EMT 2018 y estudios de tráfico en la ciudad de Madrid).

MODO	TIPO DE ENFOQUE	FUENTE DE DATOS
Metro	Top-Down	- Para el consumo total de energía y las características de los trenes: <i>Informe anual de Metro Madrid</i> (Metro Madrid, 2018). - Para la producción y la demanda: <i>Informe Anual del Consorcio Regional de Transportes de Madrid</i> (CRTM, 2019)
Tren-Cercanías		- Para el consumo total de energía y las características de los trenes: <i>Observatorio del Ferrocarril en España</i> (OFE, 2018). - Para la producción y la demanda: <i>Informe Anual del Consorcio Regional de Transportes de Madrid</i> (CRTM, 2019).
Autobús interurbano		- Para el consume total de energía, características de la flota de autobuses, producción y demanda: Para la producción y la demanda: <i>Informe Anual del Consorcio Regional de Transportes de Madrid</i> (CRTM, 2019).
Autobús urbano	Bottom-Up	- Tipo de vehículo, velocidad media, ratio de ocupación: <i>Informe Anual de Operaciones de la EMT</i> (EMT, 2018). - Factor de consume y emisión por tipo de vehículo: <i>EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook</i> (EEA, 2019).
Moto		- Tipo de vehículo, velocidad media, ratio de ocupación: <i>Estudio del parque circulante en la ciudad de Madrid en 2017</i> (Ayuntamiento de Madrid, 2018).
Coche		- Factor de consume y emisión por tipo de vehículo: <i>EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook</i> (EEA, 2019).

**Tabla 4 – Estimación de los factores de emisión de CO<sub>2</sub> por modo: tipo de enfoque y fuente de datos.**



**Fig. 2 – Factores de emisión de CO<sub>2</sub> medios para los principales modos de transporte en Madrid en 2017 (Fuente: elaboración propia).**

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Características de los viajes a los campus UPM

*Distribución modal.* Los resultados mostrados en la Tabla 5 son similares a las conclusiones de investigaciones anteriores (Mathez et al. 2013, Davison et al. 2015, Appleyard, 2018, Pérez-Neira et al. 2020). Si observamos a toda la comunidad de la UPM, en la cual los estudiantes representan el 88% de la población total, se obtiene que el transporte público es el modo principal para viajar a los campus de la UPM (75,4%), seguido de los modos privados (automóvil y moto, 16,9%), y modos blandos (a pie y bicicleta, 7,6%). Por colectivos, la mayoría del personal contratado en la UPM realiza su viaje en automóvil (45,4% y 41,2% del PDI y PAS, respectivamente). Sólo el 39,2% del PDI usa el transporte público, un modo predominantemente utilizado por el 85,2% de los estudiantes. En proporción, los modos blandos (a pie y bicicleta) son más utilizados por el PDI que los estudiantes (a pie: 7,7% versus 5,7% respectivamente) y en el caso de la bicicleta es el 4% versus 1,3%, respectivamente. En cuanto al género (Tabla 6), no existe una clara diferencia causada por cuestiones de género, solo que los que los hombres viajan más en bicicleta que las mujeres (3,1% versus 0,6), y las mujeres viajan más en metro y autobús urbano que los hombres (46,3% versus 38,4%, respectivamente). Las personas que no declaran su género caminan más a la universidad que el resto. Con respecto a la distribución modal por campus, la Tabla 7 muestra que en los desplazamientos a los campus cercanos al centro de la ciudad, como Madrid Ciudad o Ciudad Universitaria, se utilizan más el transporte público y modos blandos que los que están a las afueras de la ciudad, con menos accesibilidad al transporte público. Se observa que cuanto más cerca está el campus al centro de la ciudad, menor es la proporción de viajes en modos privados (Figura 3). Esto significa que la ubicación y la buena accesibilidad al transporte público son clave cuando se busca la movilidad sostenible (Soria-Lara et al. 2017).

Colectivo UPM	A pie	Bicicleta	Tren - Cercanías	Bus interurbano	Metro	Bus Urbano	Coche	Moto	Otros
Estudiantes	5,7%	1,3%	20,5%	19,0%	35,7%	10,0%	6,6%	1,0%	0,2%
PDI	7,7%	4,0%	7,3%	4,8%	21,2%	5,9%	45,4%	3,7%	0,0%
PAS	2,6%	4,8%	9,6%	10,1%	22,8%	6,6%	41,2%	2,2%	0,0%
Total comunidad UPM	5,6%	2,0%	17,6%	16,2%	32,5%	9,1%	15,3%	1,5%	0,1%

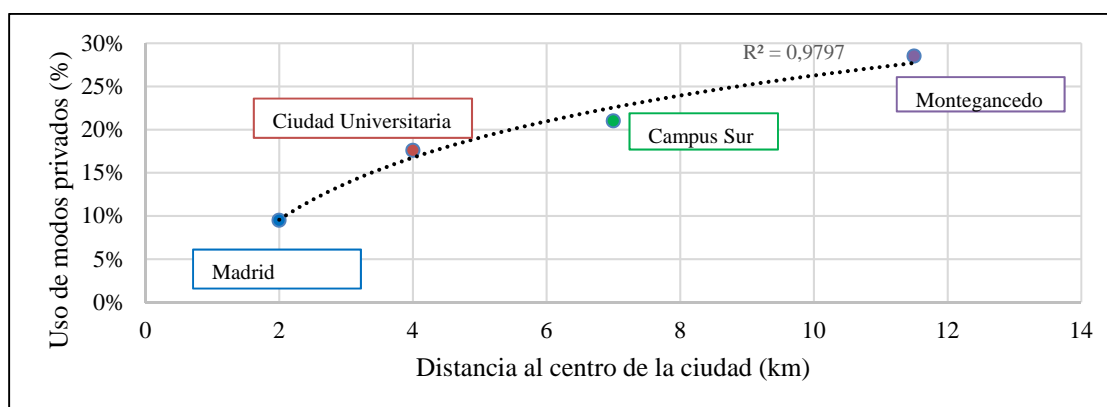
**Tabla 5 – Distribución modal por tipo de colectivo en la UPM**

Género	A pie	Bicicleta	Tren - Cercanías	Bus interurbano	Metro	Bus Urbano	Coche	Moto	Otros
Hombres	5,1%	3,1%	18,9%	16,7%	30,8%	7,6%	15,4%	2,1%	0,2%
Mujeres	6,0%	0,6%	16,1%	15,3%	34,9%	11,4%	14,9%	0,7%	0,2%
No declara	13,8%	0,0%	13,8%	24,1%	31,0%	3,4%	13,8%	0,0%	0,0%

**Tabla 6 – Distribución modal por género**

Campus UPM	A pie	Bicicleta	Tren - Cercanías	Bus interurbano	Metro	Bus Urbano	Coche	Moto	Otros
Ciudad Universitaria	6,6%	2,1%	11,5%	17,0%	35,4%	9,7%	16,1%	1,5%	0,2%
Madrid Ciudad	7,0%	1,8%	21,1%	11,5%	40,2%	8,6%	8,1%	1,4%	0,2%
Campus Sur	1,8%	2,9%	33,6%	10,0%	19,6%	10,7%	19,6%	1,4%	0,4%
Montegancedo	0,0%	0,6%	21,2%	37,0%	9,1%	3,6%	26,7%	1,8%	0,0%

**Tabla 7 – Distribución modal por campus**



**Fig. 3 – Relación entre la distancia del campus al centro de la ciudad y la distribución modal en viajes privados.**

*Criterios de selección del modo de transporte.* La gran mayoría de los encuestados respondieron a la pregunta de cuál es su principal motivo de elección del modo de transporte para los viajes a la universidad. Se puede comprobar (Tabla 8) que los encuestados en el que su modo principal es el modo blando están relacionados principalmente con vivir cerca de los campus universitarios. Por otro lado, el colectivo que utiliza el transporte público aprecia el tiempo, la comodidad y el coste del transporte como motivos principales de su elección. Los usuarios de los modos privados valoran muy notablemente el tiempo, la comodidad y la accesibilidad directa a los campus. Cabe destacar que el compromiso o concienciación por el medio ambiente no se encuentra entre los principales criterios de elección de modo de transporte. Se debería, pues, realizar un mayor esfuerzo en el colectivo universitario en la concienciación medio ambiental respecto a las elecciones diarias de movilidad.

Criterios	Modos Blandos	Transporte Público	Modos Privados
Tiempo	10,4%	31,1%	61,7%
Comodidad	9,7%	17,6%	14,1%
Costes	3,5%	12,7%	3,4%
Accesibilidad	0,7%	5,9%	9,8%
No tengo otra opción	0,7%	9,7%	2,5%
Medio Ambiente	8,3%	6,3%	0,9%
Accesibilidad directa	1,4%	5,3%	4,3%
Vivir cerca	50,0%	0,7%	0,3%
Seguridad	0%	2,7%	0%
No hay parking gratis	0%	0,3%	0%
No dispone de coche	0%	3,9%	0%
Salud y Actividad Física	11,1%	0,5%	0%
No hay bicicleta compartida	0%	0%	0,3%
Eficiencia	0%	2,2%	1,2%
Disfrute / Placer	4,2%	0,2%	1,5%

**Tabla 8 - Criterios declarados de elección de modo de transporte por parte del colectivo de la UPM**

#### 4.2 Resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub> medias en los viajes diarios a la UPM

Esta sección presenta los principales resultados del análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> medias generadas en los desplazamientos diarios a la UPM a partir de la información recogida en la encuesta y utilizando la metodología propuesta. De acuerdo con esto, los 2.142 encuestados en la UPM son responsables de la emisión de 1.532,2kgCO<sub>2</sub> en un día por todos los viajes desde sus hogares a la universidad, lo que significa un promedio de 715,3gCO<sub>2</sub>/viaje-persona. Sin embargo, estas emisiones se distribuyen de manera desigual dependiendo del colectivo de la UPM, la distancia al campus o el modo principal.

Comprender quién está emitiendo más ayudará a generar políticas que puedan reducir los impactos al cambio climático de los mayores emisores de dióxido de carbono.

Entre los diferentes colectivos de la UPM, la Figura 4 muestra los diferentes colectivos en el eje X y las emisiones GEI medias por viaje emitido por los individuos de cada colectivo en el eje Y. El eje secundario Y muestra el número de encuestados de la encuesta que pertenecen a esta categoría. Los mayores emisores son el personal de la universidad, con un promedio de 1.303,8gCO<sub>2</sub>/viaje-pers y 1.159 gCO<sub>2</sub>/viaje-pers, PAS y PDI, respectivamente. Estas cifras son más del doble del promedio de emisiones GEI de los estudiantes (559,7 gCO<sub>2</sub>/viaje-pers). Estos resultados son consistentes con los obtenidos en estudios similares anteriores como Mathez et al. (2013), Appleyard et al. (2018) y Pérez-Neira et al. (2020). Como se adelantaba en el subcapítulo 4.1, el personal de la UPM viaja más en vehículos privados que los estudiantes, modo más contaminante, y por lo tanto aumentan sus emisiones medias. En este caso, se deberían poner en práctica medidas específicas para este colectivo.

Si nos centramos en los cuatro campus UPM, la Figura 5 muestra que para los que viajan a los campus más distantes del centro de la ciudad las emisiones medias por viaje son más altas que para los que viajan a los campus más cercanos al centro de la ciudad (1.301,3gCO<sub>2</sub>/viaje-pers al *Campus de Montegancedo* a 11.5km del centro de la ciudad frente a 559,7 gCO<sub>2</sub>/viaje-pers al *Campus Madrid Ciudad* a tan solo 2 km del centro). Son necesarias, por tanto, medidas concretas para mejorar o reforzar la accesibilidad en transporte público en campus alejados de la ciudad.

Con respecto al modo principal, la Figura 6 muestra la distribución de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> por modo y la distribución modal de los encuestados UPM. Los resultados confirman que solo el 16% de los viajeros usan los modos privados (coche y moto), pero emiten más de la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> totales estimadas.

Finalmente, usamos la Curva de Lorenz para explorar la variabilidad de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los encuestados en sus viajes diarios a la UPM. Encontramos que el 10% de los emisores principales son responsables del 54% de las emisiones totales (con una media de 3,4 kgCO<sub>2</sub>/viaje-pers), mientras que si tomamos el 30% de los emisores principales contribuyen con el 76% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> (ver Figura 7). Por tanto, esta desigualdad pone en evidencia que son necesarias medidas más contundentes para los pequeños colectivos que, sin embargo, son los más contaminantes.

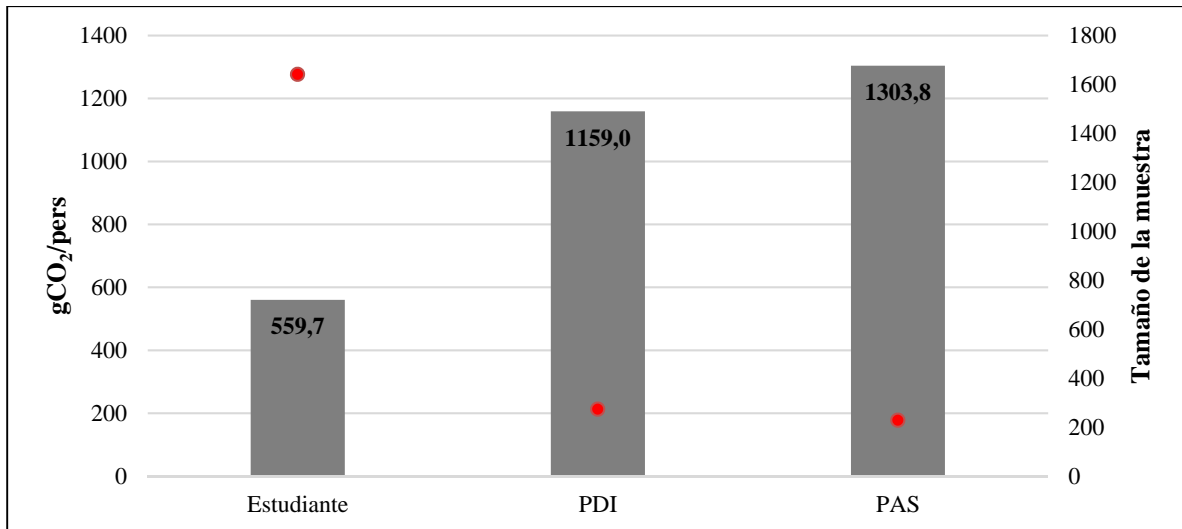


Fig. 4 – Emisiones medias de CO<sub>2</sub> por viaje y colectivo UPM

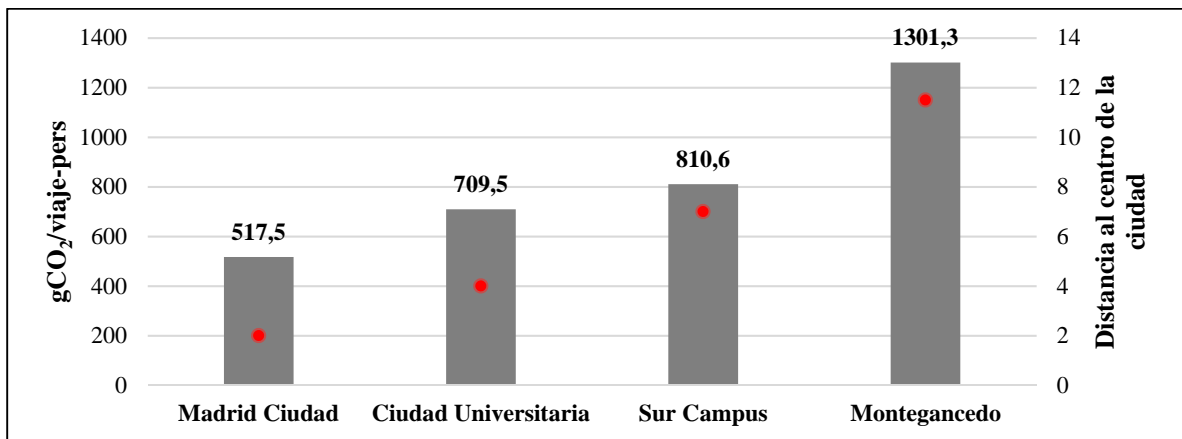
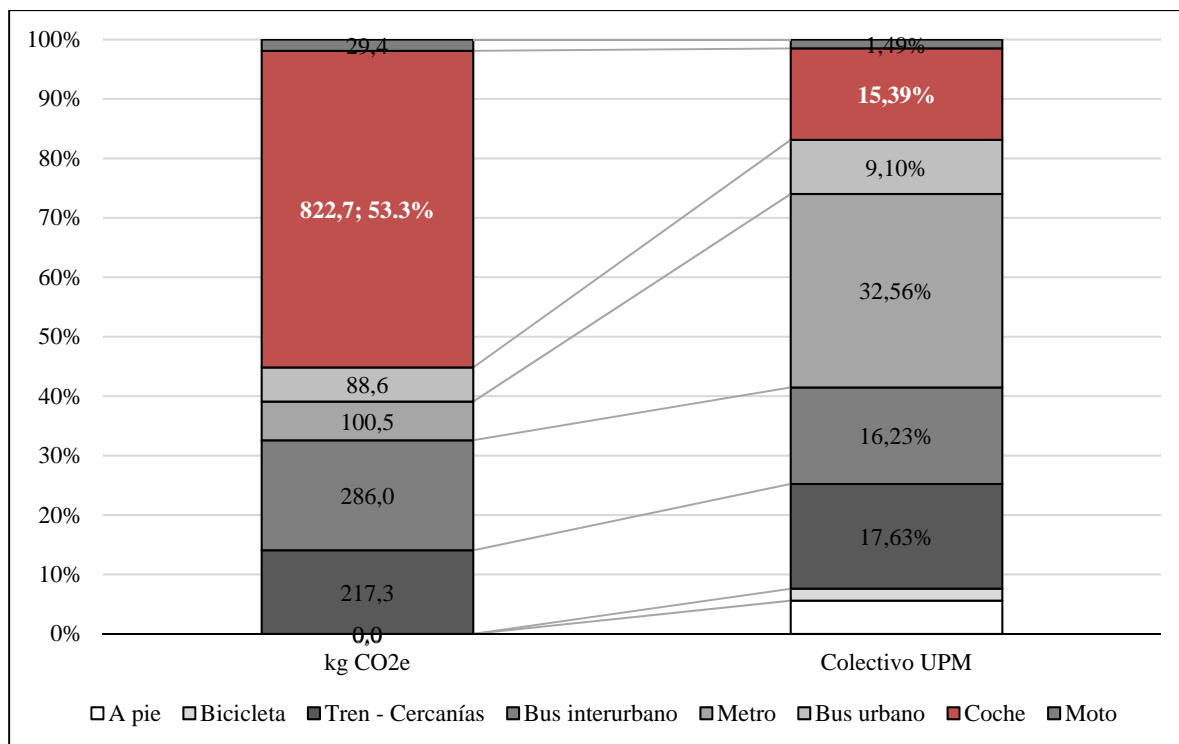
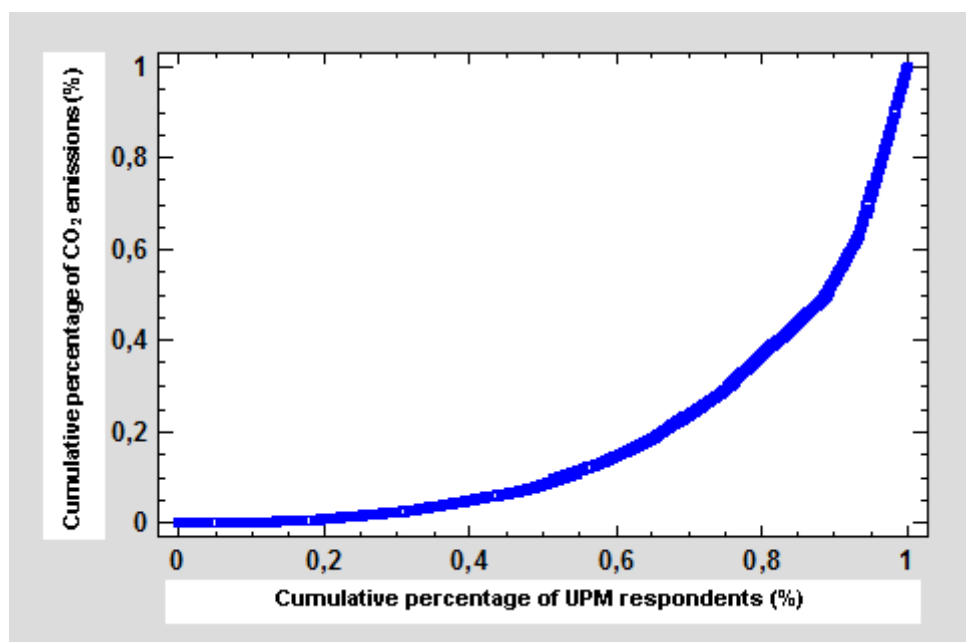


Fig. 5 – Emisiones medias de CO<sub>2</sub> por viaje a los cuatro campus y persona



**Fig. 6 – Emisiones de CO<sub>2</sub> totales diarias por distribución modal de los encuestados UPM y distribución modal UPM.**



**Fig. 7 – Curva de Lorenz de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los viajes diarios a la UPM**

### 4.3. Discusión y políticas universitarias

De los datos y resultados obtenidos para la comunidad universitaria de la UPM se deduce que el uso del coche privado para ir a la universidad genera más de la mitad de las emisiones, y solo representa el 15% de los viajes, por lo que es una prioridad que hay que atender. La reducción de los viajes en vehículo privado es el primer objetivo que debe conseguir la UPM.

Para hacer una mejor propuesta de acciones orientadas a reducir el uso del vehículo privado es importante, por un lado, destacar cuáles son los principales motivos del uso de vehículo privado en el colectivo UPM, en concreto, el menor tiempo de viaje, seguido de comodidad y accesibilidad directa entre el origen y destino (ver Tabla 8), y, por otro lado, analizar las opciones disponibles al vehículo privado. Por ello, una de las acciones que se pueden poder en marcha es el uso de coche compartido (car pooling) para las personas que vayan al mismo centro de destino mediante medios apps (similar a *BlaBlaCar*, pero exclusivo para la comunidad de la UPM). También, para frenar el uso del vehículo privado, se podría limitar el uso de los aparcamientos de vehículos privados en los centros de la UPM. Otra acción es el fomento del transporte público. Mediante ayudas y mejorando las frecuencias y accesibilidad en aquellos campus que están más alejados del centro de la ciudad. Aunque ya se vienen fomentando las ayudas al personal de la UPM para el uso del transporte público, que dichas ayudas sean mayores -por ejemplo, pagando el 50% del abono transporte).

Otra línea de acción es la educación: las universidades son espacios privilegiados para la creación de conocimiento y la introducción del concepto de “movilidad sostenible” en los planes de estudio y los procesos de aprendizaje de facultades, escuelas y otras instituciones públicas de gran valor (Larsen et al. 2013). Entre las medidas pueden estar campañas promocionales de modos alternativos (uso durante un tiempo gratuito de sistemas de bicicleta pública, sistemas de coches compartidos, vehículos eléctricos, etc.) que lleven a los usuarios a tener experiencias reales que les hagan cambiar sus hábitos. También sería interesante la difusión del impacto que generan sobre la sociedad sus acciones individuales.

En conclusión, es necesario establecer objetivos y estrategias para reducir las emisiones de carbono en las universidades. Esto es aún más importante dados los efectos de la COVID 19 en los patrones de movilidad, como es la reducción en el uso del transporte público debido al miedo al hacinamiento y la transmisión de virus (véase por ejemplo el estudio Jenelius y Cebecauer, 2020 en Suecia). Entonces, los planificadores de transporte tendrán la oportunidad de reformular la movilidad después de la pandemia de COVID-19 (Gutiérrez et al. 2020).

## 5. CONCLUSIONES

Pocas son las acciones que se han abordado hasta el momento para descarbonizar las universidades, pero el interés de las mismas por reducir sus emisiones tiene que vincularse a actuaciones importantes sobre la movilidad. Es verdad que sería necesario conocer la participación de la movilidad en el conjunto de las emisiones totales de la universidad, y ello debería ser objeto de investigación en un futuro próximo, pero, con carácter general, cabe pensar que el sector transporte representa un alto porcentaje de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la actividad en los campus.



Solamente con actuaciones decididas en varios frentes puede llegar a conseguirse un resultado de disminución de emisiones apreciable. Probablemente en las zonas en las que hay más posibilidades de uso de transporte público, las acciones habrán de ser de concienciación e incentivación. Sin embargo, en los campus más alejados del centro, las actuaciones ofrecen más posibilidades, porque el transporte público es, actualmente, una opción inexistente o escasa y es donde más posibilidades de mejora existen.

Es preciso plantear objetivos de reducción y medidas que los acompañen, buscando buenas prácticas y buscando los puntos y las acciones con las que se pueden obtener mejores resultados. Para ello, sería necesaria una investigación detallada de la contribución de cada campus, por un lado, y la aplicación de medidas inspiradas en las guías de movilidad sostenible al trabajo diseñadas para las empresas.

## AGRADECIMIENTOS

A la iniciativa *Global Challenge de la UPM* por proponer la acción de difusión de la huella de carbono de la UPM en la Semana de la Movilidad Europea 2019.

## REFERENCIAS

APPLEYARD, B., FROST, A.R., CORDOVA, E., MCKINSTRY, J. (2018). Pathways toward Zero-Carbon Campus Commuting: Innovative Approaches in Measuring, Understanding, and Reducing Greenhouse Gas Emissions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(24), pp. 87-97.

AYUNTAMIENTO DE MADRID. (2018). Estudio del Parque Circulante de la Ciudad de Madrid Año 2017. Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

AYUNTAMIENTO DE MADRID. (2019). PLAN A: Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Ciudad de Madrid. Disponible en: <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/CalidadAire/Ficheros/PlanACalidadAire2019.pdf>

BALSAS, C.J. (2003). Sustainable transportation planning on college campuses. *Transport Policy*, 10 (1), pp. 35-49.

COMUNIDAD DE MADRID. (2020). Anuario Estadístico de la Comunidad de Madrid 1985-2020. Población y Hogares. Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. Disponible en: <http://www.madrid.org/iestadis/fijas/estructu/general/anuario/ianucap02.htm>

CRTM. (2019). Informe Anual 2017. Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Disponible en: [https://www.crtm.es/media/651608/informe\\_anual.pdf](https://www.crtm.es/media/651608/informe_anual.pdf)

DAVISON, L., AHERN, A., HINE, J. (2015). Travel, transport and energy implications of university-related student travel: A case study approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 38, pp.27-40.

DELMAS, M.A., FISCHLEIN, M., ASENSIO, O.I. (2013). Information strategies and energy conservation behaviour: A meta-analysis of experimental studies from 1975 to 2012. *Energy Policy*, 61, pp. 729-739.

BLÁZQUEZ, N. (2019). Zonas de Bajas Emisiones. Herramienta contra la contaminación y el calentamiento del planeta. *Ecologistas en Acción*.

EEA. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report 13/2019. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

EMT. (2018). Informe de Gestión 2017. EMT. Disponible en: <https://www.emtmadrid.es/Ficheros/Informes-Anuales/EMT-Madrid-Informe-de-Gestion-2017.aspx>

GLOBAL CHALLENGE. (2019). Acción Movilidad Sostenible: #SomosZeroEmisiones. Disponible en: <http://globalchallenge.es/movilidad-sostenible/>

GUTIÉRREZ, A., MIRAVET, D., DOMÉNECH, A. (2020). COVID-19 and urban public transport services: emerging challenges and research agenda. *Cities and Health*.

HAFEZI, M.H., DAISY, N.S., LIU, L., & MILLWARD, H. (2019). Modelling transport-related pollution emissions for the synthetic baseline population of a large Canadian university. *International Journal of Urban Sciences*.

IDAE. (2003). Estrategia Española de Eficiencia Energética 2004-2012 (E4). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

JENELIUS, E., CEBECAUER, M. (2020). Impacts of COVID-19 on public transport ridership in Sweden: Analysis of tickets validations, sales and passenger counts. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, 100242.

KLÖCKNER, C.A. (2015). The psychology of pro-environmental communication: beyond standard information strategies. Springer.

KO, J., PARK, D., LIM, H., & HWANG, I.C. (2011). Who produces the most CO<sub>2</sub> emissions for trips in the Seoul metropolis area? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16 (5), pp. 358-364.

LARSEN, H.G., PETTERSEN, J., SOLLI, C., HERTWICH, E.G. (2013). Investigating the carbon footprint of a university - The case of NTNU. *Journal of Cleaner Production*, 48, 39-47.

LEONA, I., OREGIB, X., MARIETAA, C. (2018). Environmental assessment of four Basque university campuses using the NEST tool. *Sustainable Cities and Society*, 42, pp. 396-406.

MATHEZ, A., MANAUGH, K., CHAKOUR, V., EL-GENEIDY, A., HATZOPOULOU, M. (2013). How can we alter our carbon footprint? Estimating GHG emissions based on travel survey information. *Transportation*, 40, pp. 131-149.

METRO DE MADRID. (2018). Informe Anual de Gestión 2017. Metro de Madrid, S.A.

NICOLAS, J., & DAVID, D. (2009). Passenger Transport and CO<sub>2</sub> emissions: What does the French Transport Survey Tell us? *Atmospheric Environment*, 43 (5), pp. 1015-1020.

OFE. (2018). Informe 2017. Observatorio del Ferrocarril en España. Disponible en: <https://www.mitma.gob.es/ferrocarriles/observatorios/observatorio-del-ferrocarril-en-espana>

PÉREZ-NEIRA, D., RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, M.P., HIDALGO-GONZÁLEZ, C. (2020). The greenhouse gas mitigation potential of university commuting: A case study of the University of León (Spain). *Journal of Transport Geography*, 82, 102550.

SMITH, M.E. (1979). Design of small sample home-interview travel surveys. *Transportation Research Record*, 701, pp. 29-35.

SOBRINO, N. & MONZON, A. (2013). Management of Urban Mobility to Control Climate Change in Cities in Spain. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2375, pp. 55-61

SORIA-LARA, J.A., MARQUET, O., MIRALLES-GUASCH, C. (2017). The influence of location, socioeconomics, and behaviour on travel-demand by car in metropolitan university campuses. *Transportation Research Part D: Transport & Environment*, 53, pp. 149-160.

STEAD, D. (1999). Relationships between transport emissions and travel patterns in Britain. *Transport Policy*, 6 (4), pp. 247-258.

TYRINOPOULOS, Y. & ANTONIOU, C. (2013). Factors affecting modal choice in urban mobility. *European Transport Research Review*, 5, pp. 27-39.

UNITED NATIONS. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York: United Nations.

UPM. (2020). Nace el Comité para la Descarbonización de la UPM. Noticia online 11.02.2020. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: [http://www.upm.es/?id=6f1ce9727b930710VgnVCM10000009c7648a\\_\\_\\_\\_&prefmt=articulo&fmt=detail](http://www.upm.es/?id=6f1ce9727b930710VgnVCM10000009c7648a____&prefmt=articulo&fmt=detail)