



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Facultad de Economía e Empresa

Trabajo de fin de grado

Huella de carbono en Economía Sostenible

El transporte en la Facultad de Economía y Empresa de la
Universidade da Coruña

César Franco Grandío

Tutor: José Benito Pérez López

Grado en Economía

Curso académico 2023/24

Trabajo de Fin de Grado presentado en la Facultad de Economía e Empresa
de la Universidade da Coruña para la obtención del Grado en Economía

Resumen

En un mundo globalizado y en el que la sostenibilidad económica está ganando importancia, conocer la huella de carbono es una herramienta fundamental para evaluar los costes de las externalidades negativas de las emisiones de CO₂. Este trabajo surge de una necesidad del Comité Ambiental de la Facultad de Economía y Empresa (FEE) y, empleando técnicas estadísticas aprendidas en el grado más sofisticadas que las de los estudios previos, se analiza la huella de carbono derivada de los desplazamientos de los miembros de la FEE de la Universidade da Coruña, con el fin de conocer su impacto medioambiental y económico y establecer posibles alternativas. Paralelamente, al centrarse en la FEE, se pretende obtener una muestra de datos más numerosa y significativa para este centro. Mediante la inferencia estadística, se pueden establecer conclusiones para la población partiendo de la muestra de datos recopilada y, a través de un modelo de regresión lineal clásico, podemos conocer la influencia de las variables estudiadas sobre la huella de carbono. Los resultados obtenidos prueban la dificultad de emplear muestreos aleatorios y, al mismo tiempo, la mayor precisión conseguida. Las conclusiones ilustradas en este trabajo siguen la línea de lo esperado a través de la teoría económica. Obtenemos que el medio de transporte utilizado y la distancia recorrida son las variables relevantes en nuestro estudio, influyendo de forma positiva en la huella de carbono y el correspondiente coste social.

Palabras clave: Desarrollo sostenible, huella de carbono, coste, cuantificación, muestreo aleatorio, análisis, inferencia estadística.

Número de palabras: 14980

Abstract

In a globalized world where economic sustainability is gaining importance, understanding the carbon footprint is a fundamental tool for evaluating the costs of the negative externalities of CO₂ emissions. This work arises from a need identified by the Environmental Committee of the Faculty of Economics and Business (FEE) and, using more sophisticated statistical techniques learned during the degree than those used in previous studies, analyzes the carbon footprint resulting from the travel of FEE members at the University of A Coruña, with the aim of understanding its environmental and economic impact and establishing possible alternatives. Simultaneously, by focusing on the FEE, we aim to obtain a bigger and more significant data sample for this center. Through statistical inference, conclusions for the population can be drawn from the collected data sample, and using a classic linear regression model, we can determine the influence of the studied variables on the carbon footprint. The results obtained demonstrate the difficulty of using random sampling and, at the same time, the increased precision achieved. The conclusions illustrated in this work align with economic theory expectations. We find that the mode of transport used and the distance travelled are the relevant variables in our study, positively influencing the carbon footprint and the corresponding social cost.

Keywords: Sustainable development, carbon footprint, cost, quantification, random sampling, analysis, statistical inference

Índice

1. Introducción.....	7
1.1. Motivación.....	7
1.2. Objetivos.....	8
2. Revisión de la literatura	9
2.1. Desarrollo económico sostenible.....	9
2.2. Huella de carbono.....	16
2.3. Coste Social del Carbono.....	19
2.4. El modelo de estimación DICE.....	22
3. Metodología estadística y datos	25
3.1. Muestreo aleatorio	25
3.2. Trabajo de campo	27
3.3. Descripción de los datos	32
3.4. Inferencia estadística	48
4. Análisis de resultados y recomendaciones	52
4.1. Análisis estadístico y econométrico	52
4.2. Análisis económico.....	58
4.3. Recomendaciones.....	59
5. Conclusiones	61
6. Agradecimientos	63
7. Bibliografía.....	64

Índice de figuras

Figura 1 Evolución de la población mundial	11
Figura 2 Tasa de crecimiento de la población	11
Figura 3 Composición del consumo energético por medio de transporte	14
Figura 4 Estadísticas del uso del servicio de bicicleta en A Coruña.....	15
Figura 5 Evolución de emisiones de GEI (t CO ₂ e /habitante)	18
Figura 6 Evolución del PIB (US\$ corrientes)	19
Figura 7 Precio por tonelada de dióxido de carbono	20
Figura 8 Mensaje enviado a los individuos seleccionados	28
Figura 9 Distribución buscada y obtenida	30
Figura 10 Distribución de la población, muestra TFG y muestra OMA.....	31
Figura 11 Evolución temporal de respuestas	32
Figura 12 Composición en torno al sexo	36
Figura 13 Rangos de edad de las respuestas	37
Figura 14 Mapa Campus UDC	38
Figura 15 Localización respuestas obtenidas.....	39
Figura 16 Composición de la muestra según relación y residencia	41
Figura 17 Radio desplazamientos residentes ciudad	42
Figura 18 Medios transporte residentes ciudad.....	43
Figura 19 Medios transporte residentes ciudad según relación	43
Figura 19 Medios transporte residentes ciudad según relación	44
Figura 20 Huella de Carbono promedio residentes ciudad.....	44
Figura 21 Recorrido línea de autobús universitario	45
Figura 22 Medios de transporte desplazados.....	46

Figura 23 Medios de transporte área metropolitana (km).....	47
Figura 24 Medio de transporte área metropolitana en km	48
Figura 25 Hipótesis contraste de medias	49
Figura 26 Hipótesis contraste de varianzas	50
Figura 27 Densidad de datos con transformación logarítmica.....	55
Figura 28 Salida MRLC.....	57

Índice de tablas

Tabla 1 Formas de pago del autobús urbano en A Coruña.....	16
Tabla 2 Composición de población y de muestra deseada	27
Tabla 3 Categorías de viaje	29
Tabla 4 Factores de emisión de CO2 según el medio de tte.....	29
Tabla 5 Comparativa tamaños muestrales.....	31
Tabla 6 Variables recogidas.....	33
Tabla 7 Comparativa estadísticos muestrales.....	35
Tabla 8 Clasificación viajes.....	40
Tabla 9 Resumen datos según residencia	42
Tabla 10 Huella de Carbono y SCC para desplazados	46
Tabla 11 Estimación total FEE	52
Tabla 12 Estimación FEE por grupos.....	53
Tabla 13 Test KS y SW	54
Tabla 14 Resultado contraste de varianzas	55
Tabla 15 Resultado contraste de medias	56
Tabla 16 Resultados económicos total FEE.....	58

1. Introducción

1.1. Motivación

La contaminación derivada de las emisiones de CO₂ supone un riesgo para el medioambiente y un reto para las autoridades. Conocer las causas es el primer paso para poder establecer medidas con el fin de atenuar las consecuencias no deseadas. La Universidade da Coruña (UDC) muestra su preocupación por este problema enmarcando la contaminación medioambiental en uno de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los ODS son líneas de actuación establecidas por las Naciones Unidas con el fin de lograr un mundo más sostenible para el año 2030. La UDC incorpora y aplica estos objetivos a través de la Oficina de Cooperación y Voluntariado. A través del decimotercer ODS se pretende conocer y establecer solución a las acciones realizadas por el ser humano que amenazan la vida en la Tierra cómo la conocemos. A través de diferentes medios, la UDC realiza estudios de impacto medioambiental.

La idea de este Trabajo Fin Grado (TFG) surge de una demanda del Comité Ambiental de la Facultad de Economía y Empresa (FEE) de la UDC. Este comité tiene como objetivo principal la obtención de la Bandera Verde del Green Campus. Para obtener este galardón, el centro ha de acreditar el cumplimiento de determinadas medidas sostenibles ambientalmente que se dividen en siete pilares; uno de ellos es la movilidad sostenible. Una de las iniciativas del área de Movilidad Sostenible de este comité es calcular la Huella de Carbono generada por los desplazamientos a la universidad. La Oficina de Medio Ambiente (OMA) de la universidad realiza un estudio semejante a nivel universitario. Este estudio se realiza mediante Inferencia Estadística a partir de una muestra obtenida de una encuesta ad-hoc entre la población de UDC. La necesidad de un estudio particular para la FEE está motivada porque la representación de la FEE en el análisis es insuficiente. El Comité propone al autor de este trabajo el diseño, cálculo y obtención de resultados de la huella de carbono por la movilidad de la población de FEE.

Por otro lado, se ha observado que la encuesta que realiza la OMA-UDC a toda la población universitaria es voluntaria y no aleatoria. Este tipo de muestreo no-aleatorio es habitual en muchos estudios, incluyendo publicaciones científicas, aunque posteriormente se apliquen técnicas de Inferencia Estadística que supone la

aleatoriedad de la muestra. Este trabajo se plantea el uso de un muestreo aleatorio o, al menos, evaluar las dificultades para su aplicación real.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es obtener una estimación lo más precisa posible de la huella de carbono de los desplazamientos con motivos académicos que realiza el personal y los estudiantes de la FEE y su coste. Estos resultados serán transmitidos al Comité Ambiental de este centro, respondiendo así a su demanda. La información recompilada también podrá ser utilizada por la OMA para enriquecer aún más su estudio y obtener resultados más precisos.

Los resultados de la huella de carbono serán obtenidos mediante técnicas de Muestreo e Inferencia Estadística aprendidas a lo largo del grado. Aplicando técnicas econométricas, también aprendidas en el grado, se emplearán los datos recopilados para, adicionalmente, analizar la relación entre los factores más influyentes en las emisiones de CO₂ de los elementos estudiados y, así, elaborar con ellos un modelo de la huella de carbono de la movilidad de la FEE.

Con respecto a la muestra de datos, este trabajo tiene el objetivo de obtener una muestra significativa a nivel de FEE. Un objetivo adicional será evaluar la dificultad de obtener una muestra aleatoria, de alguno de los tipos de muestreo aleatorio estudiados a lo largo del grado, que permitiría incrementar la precisión de los resultados.

2. Revisión de la literatura

2.1. Desarrollo económico sostenible

La economía sostenible consiste en el modo de administrar unos recursos de forma que se fomente el desarrollo económico teniendo en cuenta la protección del medio ambiente y la equidad social. El principal objetivo de este modelo económico es la conservación del bienestar actual y futuro de las personas (Jacobs, 1996).

El medio ambiente es el espacio formado por todos los elementos que nos rodean, naturales o creados por el ser humano. En él, se desarrolla la vida y todas las interacciones entre las especies y organismos. Todos los seres vivos dependen del medio natural para sobrevivir, por eso resulta crucial preservar el equilibrio entre sus elementos (BBVA, 2024).

Dentro del entorno natural encontramos diversos ecosistemas. Los ecosistemas consisten en subunidades funcionales independientes formadas por organismos vivos y su entorno físico. Estas unidades tienden a ser autosuficientes y mantener un equilibrio que garantice su supervivencia, pero cualquier acción nociva exterior puede desestabilizar las relaciones internas del ecosistema y provocar su extinción

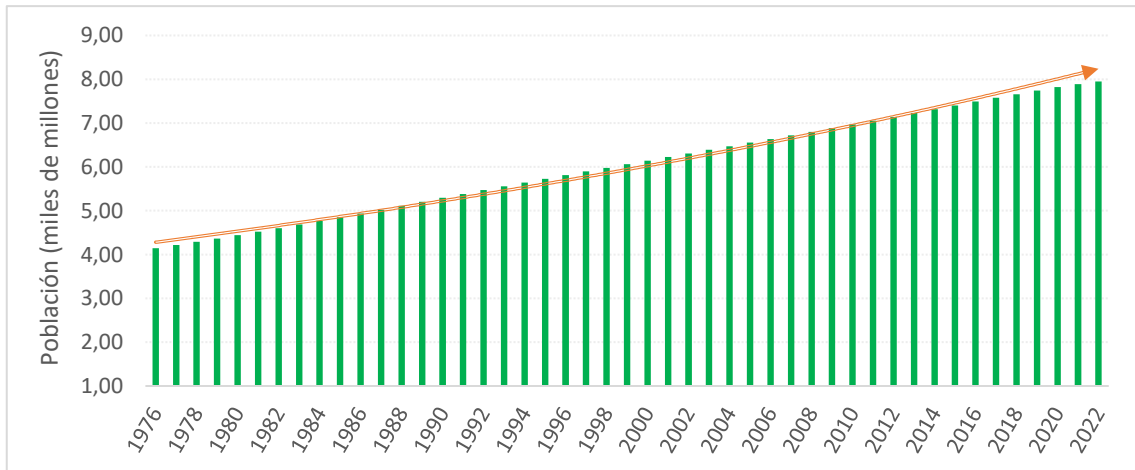
La actividad del ser humano durante años ha provocado grandes desafíos en términos medioambientales, desde el cambio climático y la contaminación, hasta la destrucción de hábitats y pérdida de la biodiversidad. Estas acciones no sólo tienen consecuencias biológicas, sino que también conllevan repercusiones económicas y sociales graves.

Podemos considerar que la primera vez que un organismo consiguió ligar las preocupaciones medioambientales con el crecimiento económico fue en 1987. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), preocupada por las políticas económicas basadas en el crecimiento a toda costa, encargó a una serie de expertos la realización de un informe de situación (Goodland et al., 1997). En el documento se pretendía que analizaran los desafíos ante los que se encontraban y, a la vez, propusieran posibles soluciones para mitigar esos efectos nocivos. Este estudio se llamaría *Our Common Future (Nuestro Futuro Común)*.

La comisión designada por la ONU estaba presidida por la noruega Gro Harlem Brundtland, que acabó dando nombre a cómo se conoce el trabajo (*Informe Brundtland*). En este estudio se establecen las primeras bases de lo que hoy en día llamamos desarrollo sostenible, referido en un principio como *desarrollo duradero*. Asimismo, se establece su definición como aquel que “satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (World Commission on Environment and Development, 1987). En este sentido, se identifica y expone que los recursos son limitados y los ritmos de consumo de aquel entonces eran demasiado elevados. Los objetivos de aquel informe no eran erradicar o cambiar radicalmente el sistema en el que vivían, sino establecer una serie de pautas para que se llevaran a cabo los cambios pertinentes y revertir la situación. Con estas propuestas, se pretende que “la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación de los progresos [...] se vuelvan acordes con las necesidades presentes tan bien como con las futuras” (Goodland et al., 1997).

Un área que preocupó a los investigadores era la demografía. Los ritmos de crecimiento de la población eran inquietantes para la comisión. La década previa al informe (1976-1986), la tasa de crecimiento se elevaba hasta 1.77% anual de media, según datos del Banco Mundial (World Bank Group, 2023). Esta situación se ve reflejada en la figura 1. Del mismo modo, podemos observar cómo en el último año de esta serie se alcanzan casi 5.000.000 de habitantes en el planeta. Estos datos no serían problemáticos de no ser por la limitación de los recursos, que podemos clasificar en renovables o no renovables, dependiendo de su ritmo de regeneración (IMC-CNR, 2017). Consideramos recursos renovables a aquellos que no existen en una cantidad limitada o que su ritmo de regeneración es superior al de uso o destrucción. Son no renovables aquellos que están presentes en el planeta en una cantidad limitada o que su ritmo de regeneración es inferior al de explotación, proceso que conocemos como sobreexplotación y que puede conducir al recurso hacia la desaparición.

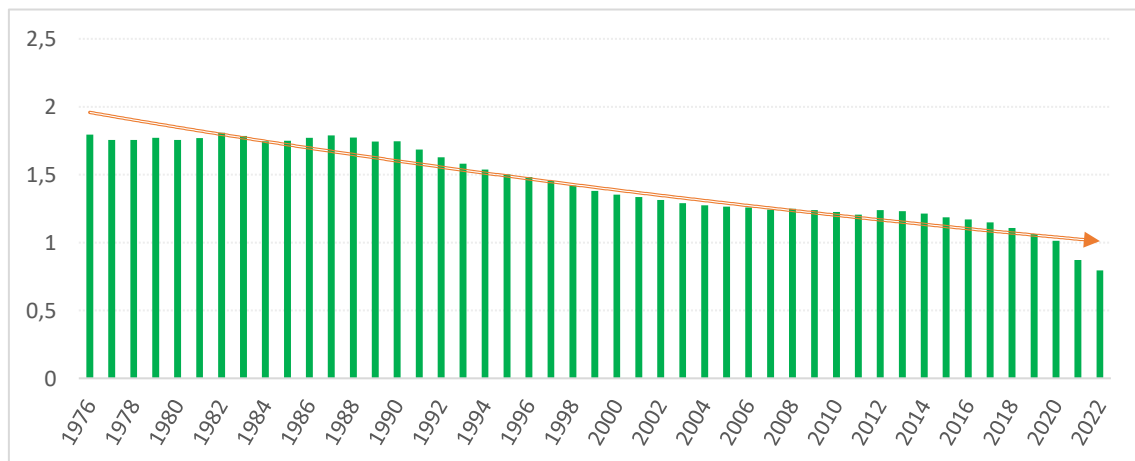
Figura 1 Evolución de la población mundial



Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial (BM)

Los recursos limitados y el elevado ritmo de crecimiento de la población supusieron una preocupación para la comisión designada por la ONU. Los investigadores alertaron de los efectos que tendría continuar con esa tendencia y los mensajes calaron hondo en la población y en los gobiernos. Las autoridades comenzaron a adaptar sus políticas sociales, económicas y ambientales a las recomendaciones de la comisión. En la figura 2 se muestran los efectos de estas medidas, pues vemos como la tasa de crecimiento de la población comienza un ciclo a la baja a partir de la última década del siglo XX. Se observa también una fuerte caída en los años posteriores a la publicación del informe Brundtland, consiguiendo que el índice reflejado en el gráfico baje hasta el 1.18% en lo que llevamos de siglo XXI. Actualmente, la población, en términos globales, sigue aumentado, pero a unos ritmos más controlados.

Figura 2 Tasa de crecimiento de la población



Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial (BM)

Otro de los puntos en el que los científicos hicieron hincapié fue en la energía. En su camino en la búsqueda de un desarrollo más sostenible, estimaban que, si se pretendía potenciar el desarrollo de todos los países del mundo, estos deberían pasar por un proceso de industrialización. Durante este proceso, los niveles de consumo de energía serían increíblemente elevados y, si se basaran en combustibles fósiles, el planeta no sería capaz de asumirlo. Se planteó en el estudio buscar otras formas de producir energía que no comprometieran el medioambiente y desarrollar los medios para hacerlos más eficientes energéticamente. Los científicos también ponen el foco en el transporte. En un mundo cada vez más globalizado, las mercancías viajan de un lugar a otro del planeta, muchas veces sin tener en cuenta el coste medioambiental que acarrea ese transporte (Wackernagel & Rees, 2002). Ya se hablaba en 1987, fecha de publicación del informe, de establecer límites a las emisiones contaminantes, como fijar objetivos de calidad del aire o gravar la actividad de determinadas entidades que resultan perjudiciales para el medioambiente.

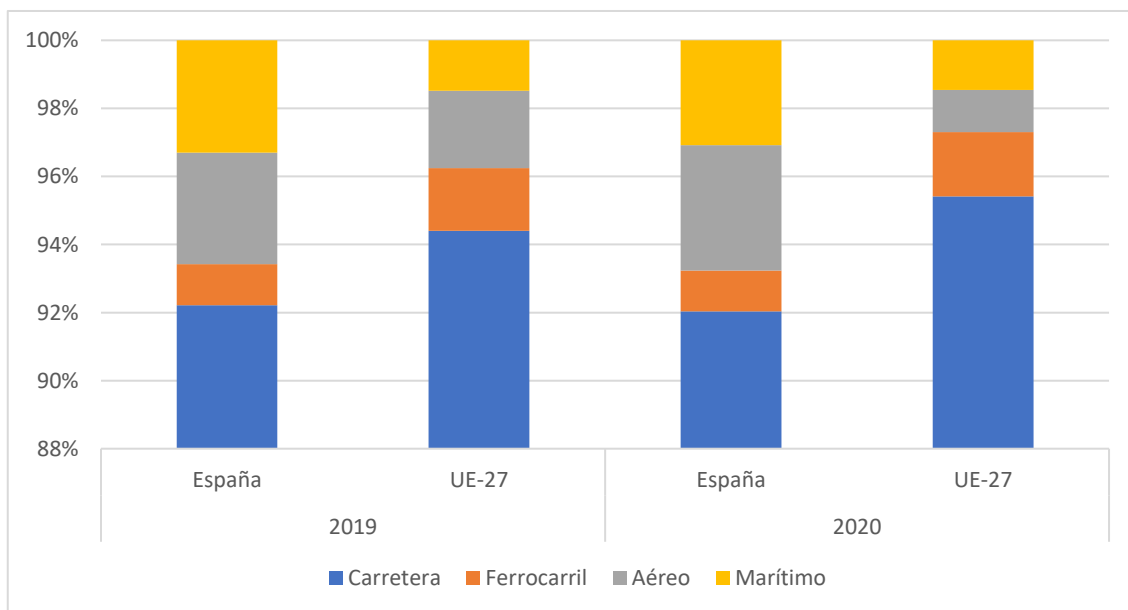
Resulta casi imposible identificar el comportamiento y reglar el uso de todas las sustancias que pueden ser contaminantes, pues cada vez son más y más diversas. El encargado de regir esta materia es un reglamento emitido en 2006 por el Parlamento Europeo, en el que se expone que existen cerca de cien sustancias diferentes identificadas que resultan perjudiciales para el planeta. Los principales elementos contaminantes y más preocupantes para nuestro estudio son los gases de efecto invernadero (GEI) y, dentro de estos, el dióxido de carbono (CO₂).

La forma de actuar de los GEI se ciñe estrictamente a su nombre, pues hacen como un invernadero sobre la superficie terrestre. La Tierra recibe energía del Sol. Parte de esta energía es absorbida por la superficie terrestre, calentándose y emitiendo rayos infrarrojos hacia las capas exteriores del planeta. La atmósfera de la Tierra está formada por tres gases principalmente: Nitrógeno, Oxígeno y Argón. Estos tres gases permiten que la radiación infrarroja emitida pueda ser liberada hacia el Espacio. El problema radica cuando los GEI se acumulan en la atmósfera, impidiendo que los rayos emitidos por la superficie terrestre puedan avanzar, haciéndolos rebotar de vuelta a la superficie, como si de un invernadero se tratase. Las repercusiones de este efecto son preocupantes, desde consecuencias nocivas hacia la salud por una sobreexposición a este tipo de radiación hasta, la más evidente, que es el aumento de la temperatura media del planeta. Esto es lo que se conoce como Cambio Climático.

El sector del transporte y el industrial son los dos mayores emisores de GEI, debido a que también son los mayores consumidores de energía. El consumo de energía final debido al transporte representó el 36.2% del total para España, mientras que la industria en sí solo representó el 26.1%, según informa el Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana para el año 2020, último año del que se han publicado los datos (Ministerio de Transporte, 2022). A pesar de que el 2020 podría no ser muy preciso debido al COVID-19, si comparamos los datos en términos porcentuales con los años previos no se observan diferencias notables. Un indicador útil para verlo en perspectiva es el consumo de energía por unidad de PIB producida, en el que España se asemeja mucho a la media de la Unión Europea (en torno a los 2700 GJ/Millón USD), pero se desvía considerablemente de países comparables como Francia (2401 GJ/Millón USD) o Italia (2571 GJ/Millón USD).

Dentro de la energía consumida por el transporte, el transporte por carretera representa el 92.2% sobre el total para 2019, como muestra la figura 3. Para el 2020 el dato es del 92.03%, corroborando como, en valores porcentuales, el COVID-19 no alteró el consumo de energía por sectores. Si lo comparamos con la Unión Europea para estos mismos períodos, observamos que la UE-27 tiene una composición en la que el transporte por carretera representa el 94,4% y 94,5% respectivamente (Ministerio de Transporte, 2023). Esto se debe a que, a pesar de que en regiones de Centroeuropa el ferrocarril está muy desarrollado, se hace casi imposible el transporte marítimo, implicando que se tengan que usar medios alternativos. Por la contra, países en vías de desarrollo (PVD), como pueden ser algunos países del Este, cuentan con infraestructuras más limitadas, provocando que la mayor parte de su transporte sea por carretera.

Figura 3 Composición del consumo energético por medio de transporte



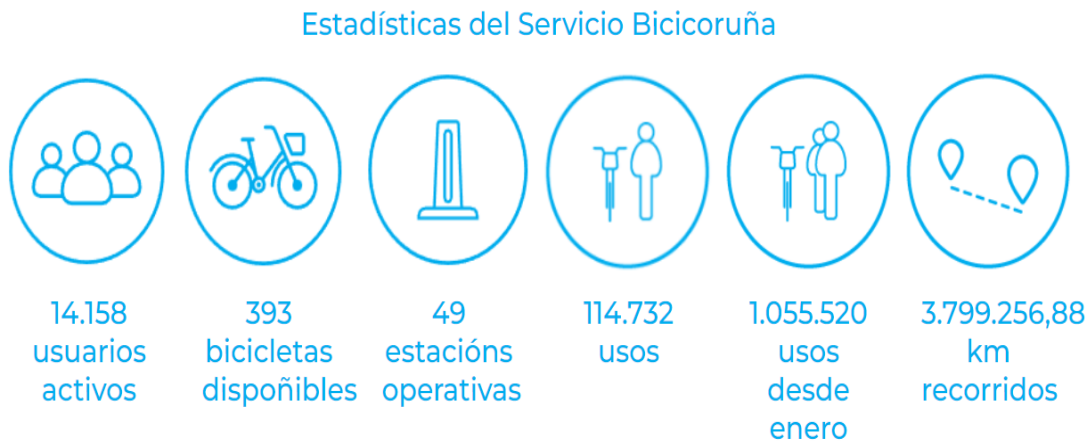
Fuente: Elaboración propia con datos de Eurostat

En España, además de ser el transporte por carretera el mayor consumidor de energía, la principal fuente de energía de este sector son los hidrocarburos. Según datos de la Asociación Nacional de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC, 2023), en el año 2022 sólo 9.6% de los turismos y 6.1% de los autobuses eran eléctricos puros. Asimismo, si añadimos a los vehículos híbridos enchufables y a los propulsados por gas, la cuota de mercado resultante de los motores diesel y gasolina rondaría el 60%. Si llevamos este hecho al ranking de países de la UE en matriculaciones de vehículos eléctricos e híbridos obtendríamos un pésimo resultado, muy alejados de la media europea y en última posición con respecto a países comparables como Portugal, Francia, Alemania o Italia. Este lastre en la transición hacia el uso de vehículos con menores emisiones contaminantes resulta notablemente perjudicial en términos medioambientales.

Si nos centramos en el municipio de A Coruña, observamos que existe un Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) que aboga por el transporte público como principal medio de desplazamiento por la ciudad (Concello de A Coruña, 2014). En el documento se detalla cómo la ciudad pretende alejar los vehículos privados de las zonas más céntricas, a la vez que desarrolla alternativas de movilidad, como la bicicleta o el autobús urbano. En el caso de la bicicleta, el Concello ha apostado fuertemente por este medio de transporte, ampliando el mapa de red ciclable para alcanzar los más de 50 km de carril bici existentes en la ciudad. También se ha realizado una alta inversión en el

desarrollo de una aplicación móvil que proporcione toda la información al usuario, en el aumento de estaciones de recogida de bicicletas y en el aumento de la flota de bicicletas existentes, incorporando una gran cantidad de modelos eléctricos. Este paquete de medidas ha surgido efecto, logrando más de 14.000 usuarios en el año 2024 y más de 1.000.000 viajes, como muestra la figura 4.

Figura 4 Estadísticas del uso del servicio de bicicleta en A Coruña



Fuente: Bicoloruña (Concello de A Coruña)

En el caso del transporte público, con el PMUS se pretendía alcanzar un mayor número de usuarios. Las medidas van desde abaratar y facilitar los pagos hasta un aumento de las líneas, frecuencia y paradas disponibles. Estas acciones también han generado una respuesta notablemente positiva, pues según datos de la empresa responsable de los autobuses urbanos de A Coruña, en 2023 se realizaron más de 24,5 millones de viajes. Es un aumento del 24.2% con respecto al año anterior. Dentro de esos viajes, en torno al medio millón fueron realizados por universitarios (tabla 1).

Tabla 1 Formas de pago del autobús urbano en A Coruña

Formas de pago	2023	2022	2019
Contado	8,3%	13,6%	15,8%
Tarjeta General	66,0%	58,2%	54,1%
Tarjeta Social	11,9%	15,1%	18,1%
Tarjeta UDC	2,1%	1,8%	1,3%
Otros	0,3%	0,3%	0,4%
Transbordos Xunta	2,1%	2,1%	2,1%
Transbordos Existentes	5,9%	5,6%	5,4%
Transbordos Ida y Vuelta	1,4%	1,3%	1,1%
Menores de 13 años	2,0%	2,0%	1,7%

Fuente: elaboración propia a través de los datos de Tranvías de La Coruña S.A.

Se puede conocer la cantidad de universitarios empleando el autobús público en A Coruña gracias al acuerdo que universidad y ayuntamiento mantienen. En él se establece la subvención del 50% de la tarifa por parte de la autoridad gubernamental. Con esta medida se pretende fomentar el uso del transporte público entre los estudiantes, con dos principales propósitos. Por una parte, crear un hábito de uso entre gente joven y potenciales usuarios, con el objetivo mantenerlo en el tiempo y ajustarse a los objetivos del PMUS. Por otro lado, disminuir las emisiones de CO₂ y descongestionar el tráfico rodado al evitar los desplazamientos en vehículos privados de sus 11618 estudiantes, según datos de la Universidade da Coruña (UDC)

2.2. Huella de carbono

Las emisiones contaminantes tienen impacto en todos los ámbitos, desde el área social, biológica y hasta la económica. Para nuestro análisis, nos centraremos en qué supone esa contaminación para la economía.

La principal manera de cuantificar las emisiones de GEI es a través de la huella de carbono. Este indicador trata de englobar todas las emisiones contaminantes y las mide

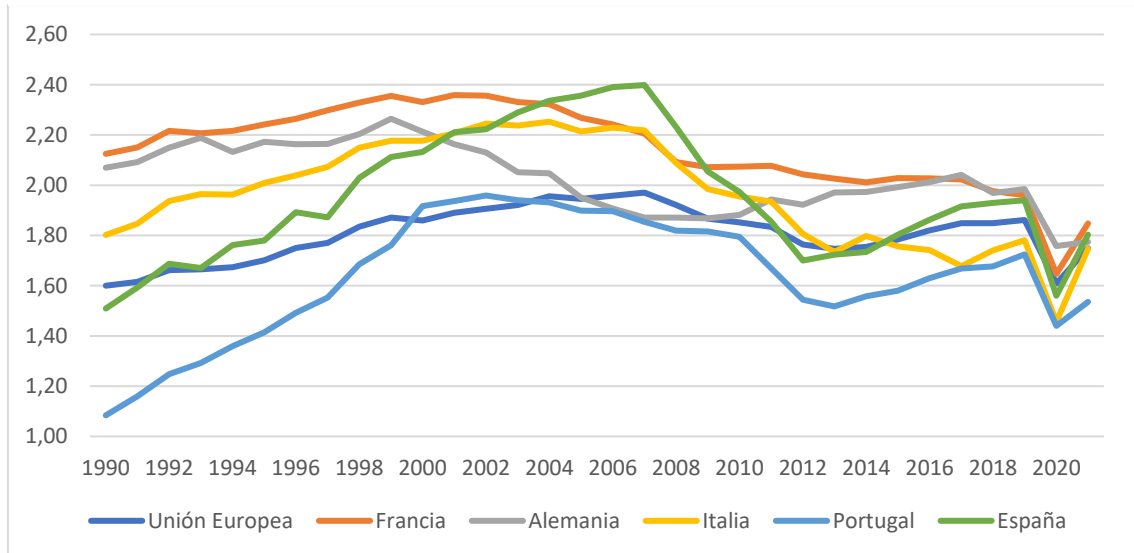
en masa de CO₂ equivalente (CO_{2e}). El CO_{2e} es una medida que relativiza en cuanto a propiedades caloríficas el efecto de todos los GEI con respecto al dióxido de carbono (CO₂). Se emplea el CO₂ porque es el más abundante entre los GEI (sobre un 76%) y, también, de los más potencialmente peligrosos debido a su larga vida atmosférica. Mientras que los otros principales componentes de los GEI, el CH₄ y el N₂O, permanecen en la atmósfera alrededor de 12 y 114 años respectivamente, el CO₂ puede permanecer miles de años (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2024).

La unidad de medida está unificada a nivel mundial y es clave para evaluar las situaciones medioambientales de los países, elaborar las posibles actuaciones o aplicar las correspondientes sanciones. Existe un organismo internacional que se encarga de establecer las directrices a seguir por los países en materia de emisiones contaminantes. Esta entidad es el departamento de cambio climático de las Naciones Unidas, que se entiende como un ente organizativo que actúa con libertad, pero sin desprenderse de la matriz, que son las Naciones Unidas. El departamento trabaja por convenciones y su máximo exponente es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC o UNFCCC en inglés). A raíz de este tratado realizado a finales del siglo XX surgieron otros documentos de talla internacional como el Protocolo de Kioto (1997) o el Tratado de París (2015). La secretaría de la CMNUCC es la encargada de regular, controlar y aprobar las emisiones de los países que forman parte de la ONU.

Gracias al trabajo realizado por la CMNUCC, podemos conocer la posición de los países teniendo en cuenta su huella ecológica. Para poder comparar países, una medida útil es calcular la huella ecológica en toneladas de CO_{2eq} por habitante. La figura 5 nos muestra la evolución de los últimos 30 años de España, algunos países comparables y la media de la Unión Europea. En la figura se observa cómo España alcanza sus máximos valores entre 2005 y 2008 para luego caer abruptamente hasta el 2013. Se corresponden exactamente con los períodos de expansión y recesión de la economía española. En el año 2008, se produce la explosión de la burbuja especulativa que estaba haciendo crecer el Producto Interior Bruto (PIB) nacional. El movimiento especulativo en España estaba centrado en el sector de la construcción, un área intensiva energéticamente. Esta situación dejó mella en las economías, como podemos observar en la figura 6. Si comparamos los movimientos de España en con el resto de países o con la media de la UE, vemos el fuerte carácter cíclico de la economía española, pues en las fases en las que la economía se encuentra en expansión crece a ritmos elevados y, paralelamente, lo hacen al igual las emisiones de GEI. Por la contra,

en períodos recesivos, la caída de la economía es notable y le cuesta salir de esa etapa más tiempo, es decir, cae más abajo que los demás y tarda más en recuperarse y alcanzar los niveles previos. Las emisiones de CO_{2e} siguen el mismo patrón que la economía para el caso español. La principal diferencia entre las emisiones y el PIB es que la primera variable no volvió a alcanzar los niveles previos a la crisis.

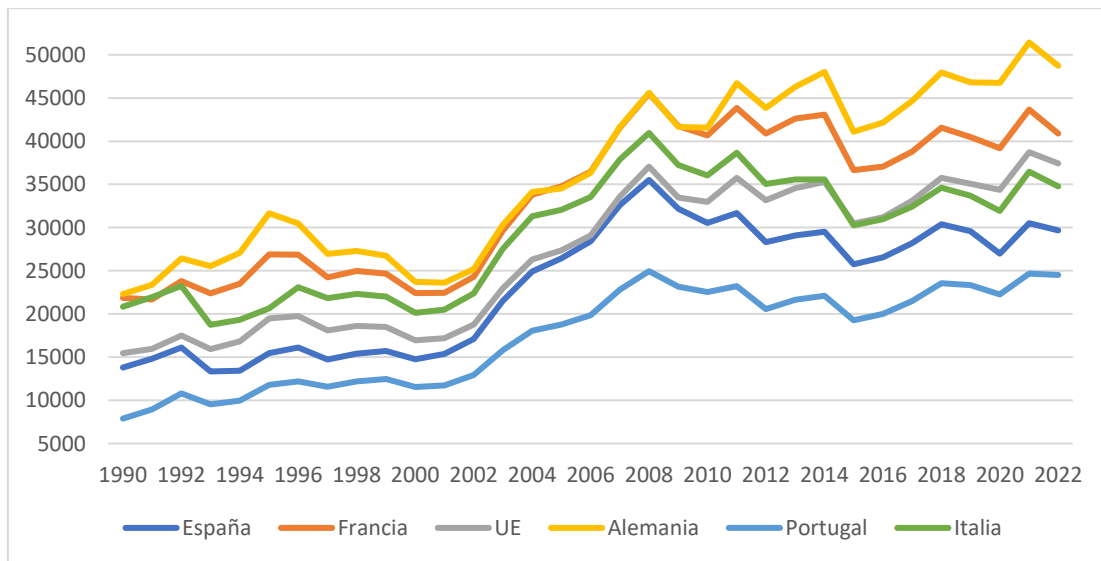
Figura 5 Evolución de emisiones de GEI (t CO_{2e} /habitante)



Fuente: elaboración propia basada en los datos de UNFCCC y BM

La tendencia a la baja de las emisiones de CO_{2e} se debe a las regulaciones medioambientales y a la concienciación social. Por la parte gubernamental, se han establecido normativas que regulan y limitan las emisiones de gases contaminantes, como se recomendaba en el *Informe Brundtland*. En el ámbito social, se ha producido una mayor concienciación de las personas en términos medioambientales, proliferando iniciativas propias de actividades menos contaminantes.

Figura 6 Evolución del PIB (US\$ corrientes)



Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial

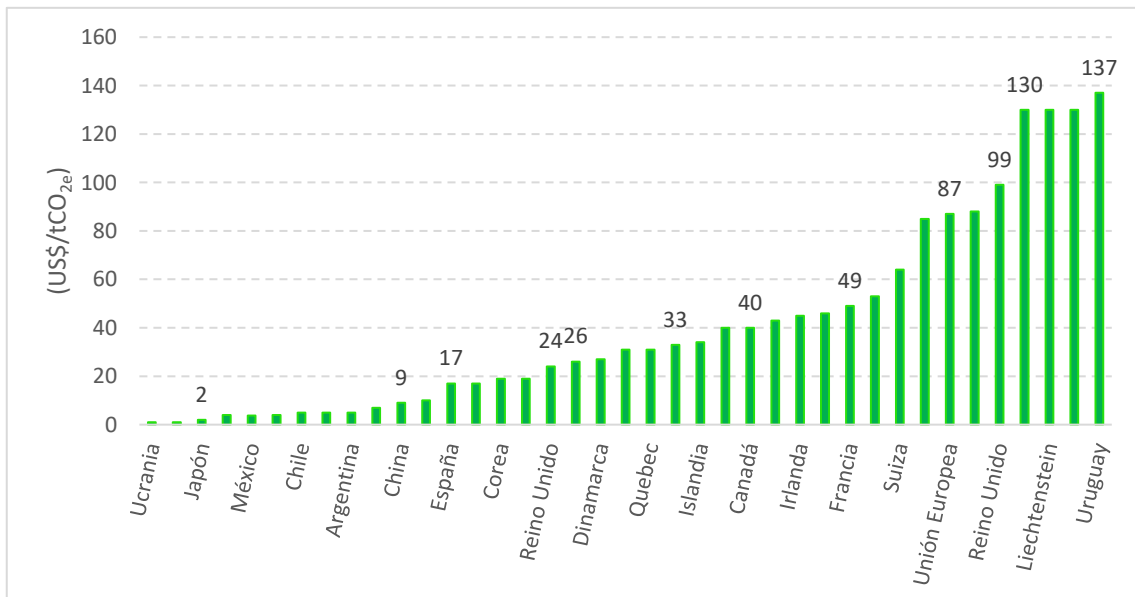
2.3. Coste Social del Carbono

La huella de carbono también tiene un impacto sobre la economía, como mencionamos previamente. Este hecho se conoce como *Coste Social del Carbono* (SCC, por sus siglas en inglés). Se trata de un indicador encargado de asignar un valor monetario a los daños medioambientales y sociales causados por la emisión de una unidad adicional de CO₂, es decir, calcula el coste marginal de las emisiones de CO₂, generalmente medido en toneladas. El SCC calcula los perjuicios producidos por estas emisiones, desde daños en tierras de cultivo hasta disminuciones de la productividad del trabajo. Además, el indicador también incluye los perjuicios evitados por la no emisión de esa unidad adicional de CO₂. Teniendo en cuenta todo lo que engloba el SCC, los responsables de realizar y evaluar las políticas medioambientales obtienen toda la información posible, no solo del coste de implementación, sino también de los beneficios derivados por la reducción de la huella ecológica (Dionisio, 2021).

El principal desafío que encuentran los investigadores a la hora de estimar el SCC es que el indicador engloba todas las interacciones del ser humano emisoras de GEI con los impactos en el bienestar, resultando imposible encontrar un método que asigne

un coste a todas y cada una de estas relaciones. Una solución rápida sería establecer un precio al carbono, es decir, asociarle un valor monetario a la emisión de una tonelada de CO_{2e}. El principal problema es que no existe un precio mundial, ni tan siquiera dentro del mismo país todas las empresas que emiten GEI tienen la misma tarifa. Esta situación beneficia a determinadas empresas o sectores a nivel nacional y a los países más permisivos a nivel internacional, pues el coste de emitir una tonelada de CO₂ es más bajo. Así lo refleja el Banco Mundial (BM) en su informe *States and Trends of Carbon Markets* de 2023 (World Bank Group, 2023). En el documento mencionado, el BM, explica cómo se ha producido una subida generalizada de los precios del carbono, pero existe una gran desigualdad entre países, dificultando la transición ecológica hacia la reducción de emisiones de CO₂. Vemos en la figura 7 que el precio del carbono en España en abril de 2022 era de 17 US\$ por tonelada de CO_{2e} mientras que la media de la Unión Europea era de 87 US\$ y otros países comparables como Francia y Alemania situaban su precio en 49 y 33 US\$ respectivamente. El coste del carbono siempre tendrá un valor positivo o, por lo menos, así ha sido hasta la actualidad. Por este motivo, un valor alto de las emisiones implica un coste elevado y viceversa, por lo que nos podremos referir al valor de las emisiones o al coste de las mismas para sacar conclusiones.

Figura 7 Precio por tonelada de dióxido de carbono



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial

La forma más viable y precisa de estimar el SCC es a través de los Modelos de Evaluación Integrada (IAMs, por sus siglas en inglés). Los IAMs tienen una base matemática a través de la que logran representar interacciones complejas entre diferentes escalas espaciales y temporales, procesos y actividades (IPCC-WGI, 2007). Estos modelos ofrecen una visión esquemática de las consecuencias de determinadas decisiones. Para plasmar un posible escenario, los IAMs evalúan, entre otras muchas variables, las concentraciones de GEI derivadas de la actividad antropogénica, el aumento de la temperatura mundial derivado o los cambios en la conducta (producción y consumo) del ser humano a raíz del Cambio Climático. La mayor parte de variables que analizan estos modelos están relacionadas entre sí, creando cadenas de incógnitas. Si estas incógnitas se calcularan por separado, sería muy complicado estudiar el efecto conjunto y aplicarlo luego al análisis medioambiental.

Actualmente, existen tres modelos principales utilizados para realizar las estimaciones. Son el Modelo Integrado Dinámico del Clima y la Economía (DICE), el Marco Climático para la Incertidumbre, la Negociación y la Distribución (FUND) y el Análisis de Políticas de Efecto Invernadero (PAGE).

Los dos últimos, FUND Y PAGE, son modelos que tomaron como referencia el DICE. El modelo FUND, se creó a finales de siglo XX, en una época en la que la globalización estaba en auge. El principal objetivo con el que se construyó este estimador era analizar el impacto climático de las transferencias de capital internacionales. En la actualidad, se utiliza para análisis enfocados más concretamente en los costes y los beneficios de las políticas aplicadas.

El modelo PAGE se centra en los efectos del aumento de la temperatura media del planeta. Está más desarrollado que sus antecesores. En él se incluyen muchos más países y sectores a analizar, mayor cantidad de GEI y sus efectos, panoramas más fatalistas y tiene una estructura más sencilla, pues interpreta la producción y las emisiones de CO₂ como variables exógenas. Las estimaciones hechas a través del modelo PAGE nos aportan una visión amplia y precisa de la situación estudiada.

2.4. El modelo de estimación DICE

El modelo DICE es el que más nos interesa para nuestro estudio. En él se interpreta la economía sostenible bajo la perspectiva neoclásica, asimilando conceptos derivados del modelo de crecimiento de Ramsey-Cass-Koopmans. Las economías reducen su huella de carbono y aumentan la inversión en capital en la actualidad, reduciendo así el consumo, para disminuir el impacto medioambiental y poder aumentar el consumo en un futuro.

El modelo de estimación al que nos referimos fue desarrollado por William Nordhaus en 1991. Resultó ser un instrumento revolucionario, pues recordemos que hacía menos de un lustro que el *Informe Brundtland* había enviado una alerta para dar mayor relevancia a los problemas medioambientales. Estas estimaciones sirvieron de apoyo a economistas y políticos para conocer cómo la acumulación de GEI en la atmósfera acababa incidiendo sobre indicadores reseñables como el bienestar social o el PIB nacional. Como muestra de la efectividad y relevancia de su trabajo, Nordhaus fue galardonado con el premio Nóbel en Economía por su desarrollo del modelo.

Tres bloques componen el modelo DICE: el módulo geofísico, el módulo económico y la función de bienestar. Los dos primeros módulos se retroalimentan entre ellos y se influyen mutuamente, mientras que la función de bienestar es dependiente directamente del módulo económico e, indirectamente, del módulo geofísico. Para nuestro análisis, los que más interés despiertan son la parte económica y de bienestar (Ruiz Velasco, 2017).

En la parte de bienestar encontramos que el objetivo de este modelo es mejorar el nivel de vida o consumo, actual y futuro. La premisa que sigue este análisis es que la sociedad, para maximizar su bienestar, prefiere aumentar su consumo, generalmente. Además, hemos de añadir que el consumo tiene un coste marginal creciente, es decir, a medida que se aumenta el consumo, cada unidad incrementada reporta un poco menos de valor. También se tiene en cuenta que una parte de la función de bienestar del trabajador está compuesta por su productividad, que estará estrechamente ligada a su consumo. Un individuo con una productividad alta va a tener una renta elevada pero un consumo relativamente bajo debido a que dedica más parte de su tiempo al trabajo. Existe esa relación inversa entre el trabajo y el consumo en la que los individuos deciden el punto de equilibrio, es decir, la duración de su jornada laboral.

La función de bienestar también incluye una función de utilidad que reporta la satisfacción de los individuos cuando reciben una cantidad de bienes o servicios a través del consumo y una tasa de descuento social. Este último elemento representa el sacrificio en el momento actual por los beneficios obtenidos en el futuro y se muestra como una tasa de descuento por unidad de tiempo sobre el bienestar futuro. Para verlo con mayor claridad, supongamos que en el momento actual tenemos la posibilidad de gastar 10.000€ para fomentar el desarrollo sostenible y, al hacerlo, en un futuro obtenemos 15.000€ como beneficio. Para saber la viabilidad de estas acciones debemos calcular cuánto suponen las cantidades para cada generación o momento del tiempo. Si concebimos un escenario donde las generaciones futuras serán más pobres que la actual, el beneficio reportado por esos 15.000€ supondrá una mayor ganancia de utilidad que la pérdida generada a la generación actual por desembolsar los 10.000€. Todo está en función de cómo serán económicamente las generaciones futuras y de la tasa ρ . La tasa de descuento ρ ya fue incorporada por Ramsey en su modelo a principios del siglo XX y representa el egoísmo intergeneracional. Lo que muestra es la sensibilidad en la que los individuos valoran la utilidad que una acción reportará a generaciones futuras en función de la pérdida de utilidad que ese individuo recibirá en el presente.

En el módulo económico, el modelo DICE está construido para estimaciones a largo plazo y no desagrega la producción por sectores, si no que muestra el impacto en la producción en su conjunto. Como hemos mencionado previamente, el punto de vista neoclásico de esta estimación hace que se considere que las economías reducen su consumo actual e invierten en capital para en el futuro poder eliminar esas reducciones en el consumo. Para obtener el resultado por la parte económica del modelo, Nordhaus incluyó en el estudio estimaciones acerca de la producción, las emisiones industriales, las inversiones, el capital y el consumo.

La principal estimación de este bloque es la producción, que se obtiene a través de la función de daños climáticos, la función de mitigación de las emisiones, la mano de obra, la productividad de los factores y el capital. Las inversiones vienen dadas por la aplicación sobre la producción de una tasa de ahorro. El consumo es la otra parte de las inversiones, es decir, se entiende para este modelo que de la renta total (asimilada como producción) la parte que no se invierte/ahorra se consume. Es el nexo común entre este módulo y la función de bienestar. Las emisiones industriales se toman como variable exógena.

En el módulo geofísico, el modelo DICE incluye ecuaciones que relacionan la economía con variables sobre contaminación medioambiental. Tiene en cuenta el ciclo del carbono, la masa de la huella de carbono, incluso el forzamiento climático, etc. Nordhaus confiere a esta parte de su modelo un carácter más físico y geológico.

En términos agregados, obtenemos del modelo DICE que es capaz de identificar la existencia de externalidades negativas en el mercado que no están reflejadas en los precios de los productos, respaldando así una pequeña intervención del gobierno para corregirlas.

3. Metodología estadística y datos

Los resultados previstos en este trabajo se basan en la aplicación de las técnicas de Muestreo e Inferencia Estadísticas aprendidas a lo largo del grado. En este apartado se presentan algunas de ellas, así como los datos obtenidos con el trabajo de campo.

3.1. Muestreo aleatorio

La población objetivo de este estudio es la comunidad universitaria perteneciente a la FEE, formada por estudiantes y personal de la universidad. En el estudio realizado por la OMA se comprueba que estos colectivos tienen un comportamiento diferente con respecto a la huella de carbono de sus desplazamientos. Por este motivo, para incrementar la precisión de los resultados utilizando un tamaño de muestra lo más reducido posible, consideramos que el método de muestreo aleatorio más apropiado para este caso es el muestreo aleatorio estratificado.

En concreto, en este estudio utilizaremos un muestreo aleatorio estratificado con reposición y afijación proporcional a cada colectivo utilizado. Esta técnica se emplea cuando en una población existen estratos homogéneos con respecto al carácter que se investiga, con lo que se deben analizar de forma diferente para poder obtener estimaciones más precisas (menos errores). Además, garantiza que todos los estratos estén representados. En cada estrato se toma una muestra aleatoria simple. Por tanto, en el proceso se seleccionan aleatoriamente los individuos que van a formar parte de la muestra, volviendo a añadirlos al conjunto después de ser seleccionados. Esta técnica implica que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados, y un mismo individuo puede ser seleccionado más de una vez en el muestreo.

Los estratos en los que se va a dividir la población se basan en su relación con la universidad: alumnos de grado, alumnos de máster, personal docente e investigador (PDI) y personal de administración y servicios (PAS).

A la hora de calcular el tamaño de muestra (n) se utiliza la fórmula (1). Para ello, es necesario establecer primero el nivel de significación y la precisión. El nivel de significación (α) que se utiliza en este estudio es el 5%, habitual en Economía. Este concepto hace referencia a la probabilidad de que el parámetro estudiado no esté

contenido en el intervalo establecido. A la hora de establecer la precisión requerida, consideramos un error relativo máximo del 4%. Este error se obtiene dividiendo el error absoluto de la estimación de un parámetro (e , mitad de la amplitud del intervalo de confianza) entre la estimación puntual del parámetro. $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ representa el cuantil correspondiente a la mitad del nivel de significación elegido de la distribución normal, y σ es la desviación típica poblacional.

$$n = \frac{Z_{\frac{\alpha}{2}}^2 \sigma^2}{e^2} \quad (1)$$

La varianza poblacional se desconoce, porque no se dispone de los datos de huella ecológica de todos los individuos de nuestra población (que es precisamente lo que se quiere calcular). Para estimar también se utiliza el Muestreo e Inferencia Estadística, pero como todavía no se ha recopilado la muestra, lo habitual es realizar un muestreo piloto para estimarlo o bien utilizar los datos de un estudio previo. En este caso nos basamos en los resultados de estudios previos realizados con propósitos y muestras similares al nuestro. En concreto, se trata de un trabajo de investigación de cálculo de la huella ecológica realizado a nivel universitario (Pérez-López et al., 2021). Los autores son investigadores en las áreas de transportes y economía de la UDC. A partir de ahora nos referiremos a este trabajo como *el artículo de los investigadores de transportes y economía*. Para estimar la varianza poblacional se utiliza el estadístico cuasi-varianza muestral, calculado utilizando la fórmula (3) con los datos de la muestra, donde \bar{x} es el estadístico media muestral, que se calcula con los datos de la muestra según se indica en la fórmula (4).

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3)$$

En la tabla 2 se muestra el tamaño poblacional de cada estrato, así como el tamaño muestral calculado según el procedimiento explicado anteriormente. En el grupo de los alumnos de máster, a pesar tener el mismo tamaño poblacional que PDI, el tamaño muestral no es el mismo porque la variabilidad de cada grupo es diferente.

Tabla 2 Composición de población y de muestra deseada

	Grado	Máster	PDI	PAS	Total
Población	2007	129	129	22	2287
Muestra	322	24	28	4	378

Fuente: Elaboración propia

3.2. Trabajo de campo

Para realizar el muestreo aleatorio es necesario sortear aleatoriamente entre los individuos de la población y comunicarles a los elegidos que tienen que hacer la encuesta. El autor de este trabajo no tenía acceso a los correos institucionales de los encuestados por protección de datos. Por este motivo se solicitó la colaboración con el equipo decanal de la FEE. El procedimiento que se acordó fue el siguiente. Se elaboró un documento en el que se incluían los individuos resultantes del muestreo. Este archivo se envió al decanato de la FEE para que, posteriormente, nos devolviera las direcciones de correo electrónico únicamente de los elementos seleccionados. El documento se construyó de manera que no resultara tedioso para el decanato participar en este proceso.

Una vez obtenidas las direcciones de correo electrónico de los individuos que conforman la muestra, se envían un mensaje (figura 8) y la encuesta. El primer envío de esta notificación fue el 05/12/2023 y, posteriormente, el 09/02/2024 se remite un recordatorio. El 19/03/2024, tras más de un mes sin más respuestas, se cerró el cuestionario y se descargó la base de datos obtenida.

Figura 8 Mensaje enviado a los individuos seleccionados

Buenos días,

como parte del Plan de Acción de la Comisión Ambiental-Green Campus de la Facultad de Economía y Empresa de la UDC, estamos desarrollando un estudio de la huella de carbono de la movilidad en nuestra facultad. Este estudio se basa en una muestra aleatoria, en la que se incluyeron todos los miembros de la Facultad de Economía y Empresa (estudiantado y personal) para rellenar la siguiente encuesta. Si ha recibido este correo electrónico significa que ha sido elegido en esta muestra. Es imprescindible que responda este cuestionario (aunque ya hubiese realizado la encuesta general de la universidad), ya que esta comunicación fue enviada únicamente a un pequeño número de personas de nuestra facultad. Para no alterar los datos relacionados con el diseño del mismo, le solicitamos que complete esta encuesta y lo haga con la mayor precisión posible. Los datos enviados, así como cualquier información relativa a los participantes, serán tratados de forma totalmente anónima.

El enlace de la encuesta es el siguiente: <https://emapic.es/custom/mobilidade-desplazamientos-economicas>

Le agradecemos de antemano su cooperación y participación en este proceso.
Reciba un cordial saludo.

Fuente: Elaboración propia

Para que los individuos elegidos en la muestra y comunicados mediante correo electrónico pudiesen realizar la encuesta de forma anónima se solicitó la colaboración de la OMA. Esta entidad puso a nuestra disposición el uso de la herramienta que disponen para realizar la encuesta de su estudio sobre la huella ecológica: la Calculadora de Pegada Ecológica de la UDC. Es un instrumento desarrollado comúnmente por la OMA, el Grupo de Investigación Ferrotrans y el Laboratorio de Ingeniería Cartográfica (CartoLab). La Calculadora deriva de un trabajo de CartoLab, en el que elaboran una página web llamada Emagic. Esta web permite situar geográficamente el origen y destino de los desplazamientos del encuestado, y recoger el resto de datos muestrales a partir de determinadas preguntas. Cada individuo tiene un código único y totalmente anónimo que va asociado a una serie de desplazamientos; así, para un mismo individuo, podemos tener dos o más respuestas de viaje. Los desplazamientos se categorizan cómo se observa en la tabla 3.

Tabla 3 Categorías de viaje

Tipo de viaje	Descripción	Ejemplo
Tipo 1	Desplazamientos entre la residencia habitual durante el curso escolar y el centro de estudios	Un alumno que vive en un piso alquilado en A Coruña y se desplaza de lunes a viernes a la facultad
Tipo 2	Desplazamientos de personas que estudian en la UDC pero no son residentes en municipios cercanos a sus centros de estudios	Un alumno que reside en A Coruña durante el curso escolar pero es natural del municipio de Barreiros (Lugo) y viaja cada fin de semana desde A Coruña hasta Barreiros
Tipo 3	Viajes realizados entre centros universitarios	Un PDI que imparte clase en la Facultad de Economía y Empresa de lunes a miércoles y jueves y viernes imparte clase en la Escuela Politécnica de Ferrol

Fuente: Elaboración propia a partir de la documentación de la Calculadora de Pegada Ecológica de la UDC.

Para calcular la huella de carbono de cada encuestado, los datos muestrales se completan con los parámetros que se muestran en la tabla 4, que son los factores de emisión de CO₂ de cada modo de transporte, y que coinciden con los utilizados por la OMA en su estudio.

Tabla 4 Factores de emisión de CO₂ según el medio de tte

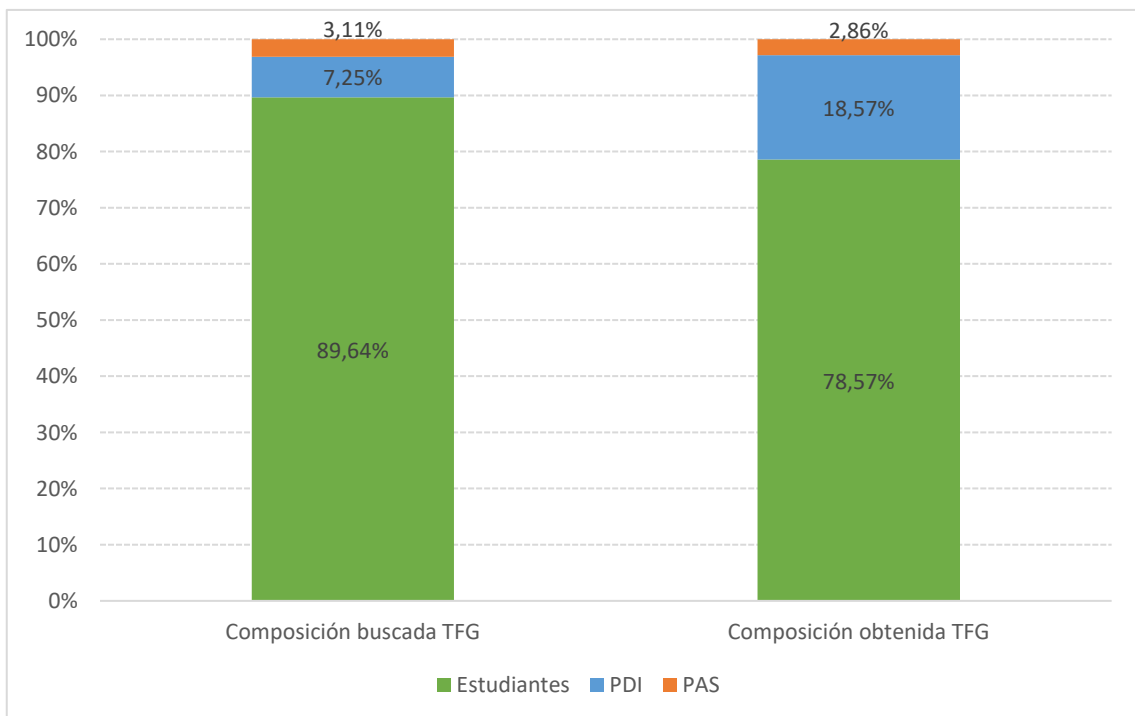
Medio de tte.	Coche (nº ocupantes)					Moto	Autobús	Tren	Bicicleta	A pié
	1	2	3	4	5+					
KG CO ₂ e/km *persoa	0,3	0,2	0,1	0,07	0,05	0,06	0,03	0,03	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir del artículo de los investigadores de transportes y economía.

A pesar de los reiterados avisos a los individuos elegidos, no se consiguió completar las respuestas en cada estrato. Se obtuvieron un total 86 respuestas de 70

individuos, lo que supone un 18.14% de los individuos seleccionados. El tamaño y composición de la muestra obtenida difiere del tamaño y composición de la muestra buscada, tal y como muestra la figura 9. Tras realizar varios intentos, no conseguimos obtener todas las respuestas y afijación deseada. Los resultados también muestran la dificultad de realizar muestreos aleatorios. Esta brecha entre la muestra buscada y obtenida supone un obstáculo que todos los estudios estadísticos pretenden salvar, puesto que es una gran complicación para el manejo e interpretación de los datos. De esta forma, observamos cómo muchos trabajos de este campo emplean muestreos no aleatorios para la obtención de los datos. Debido a la composición actual de la muestra obtenida los cálculos que se realizarán en este trabajo supondrán un muestreo aleatorio simple de tamaño 70, en lugar del muestreo aleatorio estratificado con afijación proporcional diseñado. La OMA, que es el organismo que elabora el estudio con el que podemos comparar nuestros resultados, emplea un muestreo no aleatorio para la recopilación de los datos y no los separa en estratos.

Figura 9 Distribución buscada y obtenida



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se comparan los tamaños muestrales inicialmente previstos, los finalmente obtenidos y los del estudio de la OMA referidos a la FEE. Al igual que se hizo

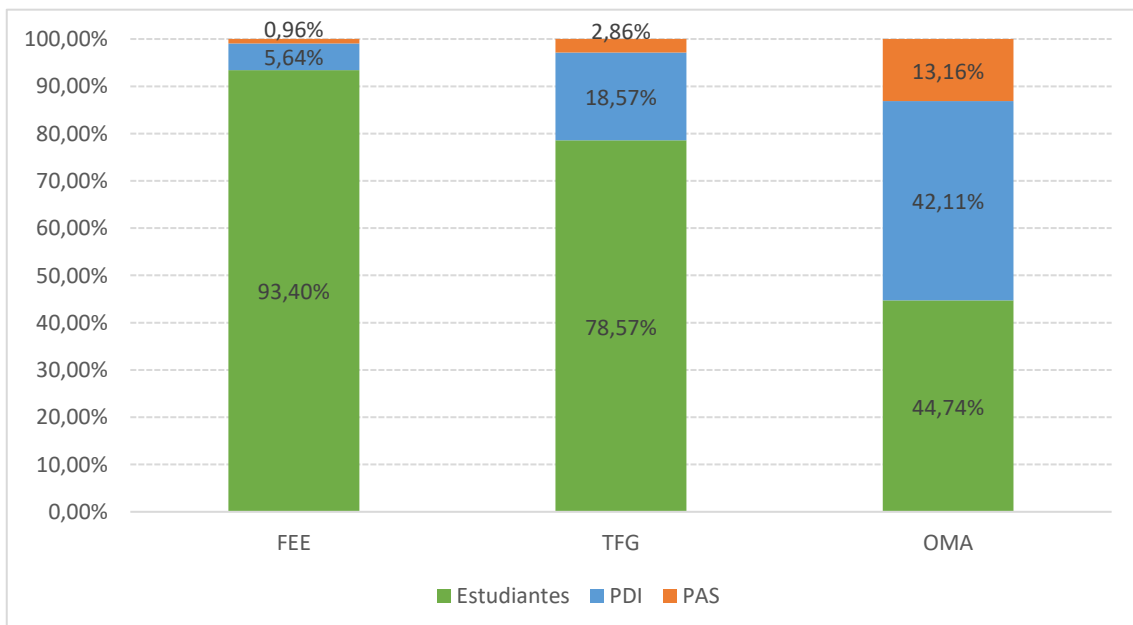
en el estudio de la OMA, debido a la baja significación obtenida en el grupo de estudiantes de grado y máster, decidimos agrupar ambos grupos bajo la etiqueta de “estudiantes”. En la tabla 5 también podemos observar cómo la muestra de nuestro estudio (o “muestra TFG”) cuenta con prácticamente el doble de respuestas de forma agregada. Por el contrario, en los grupos PDI y PAS la participación en la encuesta de la OMA fue mayor, aunque, si observamos la figura 10, vemos cómo claramente la distribución de la muestra del TFG se asemeja más a la de población que estamos estudiando (la comunidad universitaria de la FEE)

Tabla 5 Comparativa tamaños muestrales

	Estudiantes	PDI	PAS	Total
Muestra TFG: Tamaño deseado	346	28	4	378
Muestra TFG: Tamaño obtenido	55	13	2	70
Muestra OMA: Tamaño obtenido	17	16	5	38

Fuente: Elaboración propia

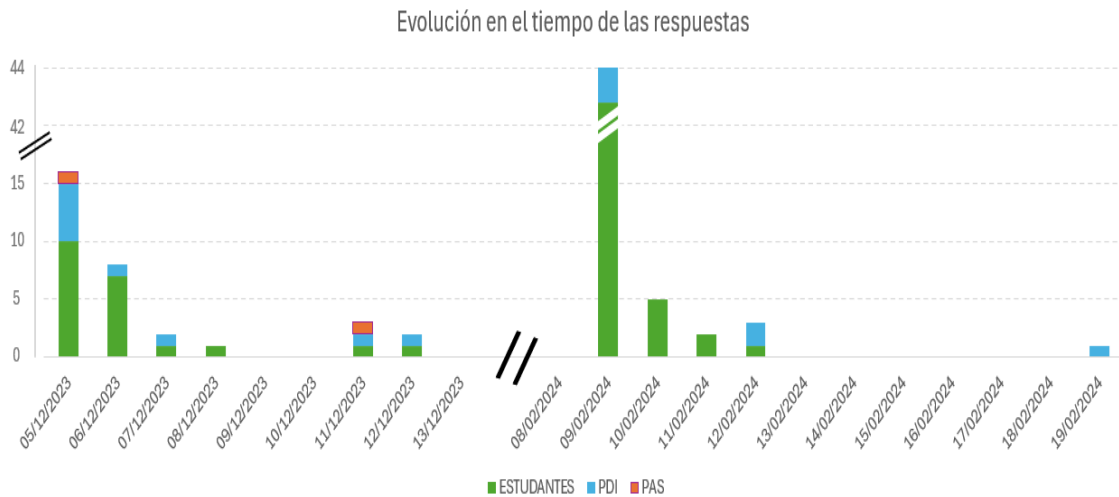
Figura 10 Distribución de la población, muestra TFG y muestra OMA



Fuente: Elaboración propia

La evolución de las respuestas en el tiempo también se concentró en los días posteriores al envío de la primera notificación y al posterior recordatorio, cómo se muestra en la figura 11. La participación del alumnado, se concentró, principalmente, en los días siguientes al envío del recordatorio, una vez pasado el período de exámenes.

Figura 11 Evolución temporal de respuestas



Fuente: Elaboración propia

Para poder conocer la calidad de nuestros resultados tomaremos como referencia el trabajo que realiza la OMA sobre el cálculo de la huella de carbono en la UDC. En el estudio se envía masivamente una encuesta como la realizada para este TFG, a pesar de que luego la OMA se centra más en los aspectos medioambientales. Cómo uno de los objetivos de este trabajo de fin de grado es ofrecer mayor cantidad de datos y más precisos, los resultados del mismo serán utilizados tanto por el Comité Ambiental de la FEE cómo por la OMA para enriquecer su estudio.

3.3. Descripción de los datos

En la tabla 6 se describen las variables que se recogieron en la encuesta y con las que trabajaremos a lo largo de este estudio.

Tabla 6 Variables recogidas

Variable	Descripción	Valor
País	País de origen del encuestado	España: 98,82% Irlanda: 1,18%
Provincia	Provincia de origen del encuestado	A Coruña: 83,53% Madrid: 9,41% Otros (4): 7,06%
Municipio	Municipio de origen del encuestado	A Coruña: 52,38% Madrid: 7,14% Santiago de Compostela: 5,95% Sada: 5,95% Otros (14): 28,58%
Código de grupo	Clave que debían incluir los encuestados pertenecientes a este estudio	prueba-economicas
Relación con la UDC	Rol que desempeña el encuestado en la universidad	Estudiantes: 80% PDI: 17,65% PAS: 2,35%
Género	Género de los encuestados de forma binaria. Las únicas opciones eran masculino y femenino	Femenino: 43,53% Masculino: 56,47%
Edad	Rango de edad en el que se encuentra el encuestado	Menos de 25 años: 71,7% Entre 25 y 35 años: 2,35% Entre 36 y 45 años: 5,88% Entre 46 y 60 años: 20%
Centro principal de la UDC	Centro principal en el que desenvuelve su actividad universitaria	Facultad de Economía y Empresa
Tipo de desplazamientos	Se pregunta al encuestado por el tipo de desplazamientos que realiza. El tipo 1 consisten en desplazamientos entre su domicilio habitual para el curso académico y la FEE. El tipo 2 son	Tipo 1: 85,88% Tipo 2: 8,24% Tipo 3: 5,88%
Modo de transporte	El medio de transporte empleado para realizar los trayectos	Autobús: 45,88% Coche: 41,17% Andando: 9,41% Tren: 3,53%
Distancia definida	Distancia entre el lugar de origen y el lugar de destino en línea recta	\bar{x} = 16,06 σ = 28,74
Frecuencia	Número de veces que repite ese trayecto	\bar{x} = 328,19 σ = 179,59
Distancia recorrida	Valor total de los km realizados por el encuestado (no en línea recta)	\bar{x} = 3527,53 σ = 4977,77
Huella ecológica	Cantidad de CO ₂ e generada a raíz de los viajes reportados	\bar{x} = 456,84 σ = 788,41
Coste social del carbono	Cálculo en euros del CO ₂ e emitido por el encuestado	\bar{x} = 24,79 σ = 42,78

Fuente: Elaboración propia

Las variables independientes que funcionan como base para nuestro trabajo serían las últimas en mostrarse en la tabla (Huella ecológica y Coste Social del Carbono). Se pueden emplear indistintamente para realizar los análisis, pues el Coste Social del Carbono (SCC) es resultado de una transformación escalar de la Huella ecológica. El valor de multiplicación es el coste monetario estimado por cada tonelada de CO_{2e} emitida.

En la tabla 7 se muestran los resultados de los principales estadísticos muestrales para las diferentes muestras a las que tenemos acceso. Además del tamaño muestral, se recoge la media, la varianza, el coeficiente de variación y el error relativo. A la hora de estimar la varianza, detectamos que hay un dato anómalo que nos distorsiona el cálculo. Se trata de un individuo que declara una distancia recorrida anualmente de 10.186.240 km entre la residencia habitual y el centro universitario. Es una desviación de más del 300.000% respecto a la media sin ese dato. Además, este individuo no ha calculado la distancia automáticamente, sino que ha introducido los km manualmente. Si comparamos la distancia introducida por la persona con las coordenadas geográficas que declara de lugar de origen y destino, vemos que no coincide. Teniendo en cuenta estas evidencias, se decide eliminar a este individuo de la muestra, pues se entiende que se ha producido un error a la hora de introducir los datos referidos a la distancia. A partir de ahora, nuestra muestra cuenta con un individuo menos del grupo “estudiantes”, pasando de 55 a 54 componentes. Tras omitir el dato anómalo, calculamos la varianza y obtenemos un valor de 0,9348 toneladas de CO₂ anuales. Con la varianza de nuestros datos podemos calcular el error estadístico o precisión de las estimaciones que realicemos con nuestra muestra. El tamaño muestral cumple con los requisitos del Teorema Central del Límite (TCL), que, en términos generales permite suponer la distribución asintóticamente normal de la media muestral, generalmente considerada para tamaños muestrales superiores a 30 individuos. Obtenemos que el error cometido es del 9,2%.

Tabla 7 Comparativa estadísticos muestrales

	Tamaño muestral	Media (t. de CO2e)	Varianza	Error tolerable(%)	Coefficiente de variación
Encuesta TFG (FEE)	68	0,6620	0,9348	9,2	1,4121
Encuesta OMA (FEE)	38	0,6781	1,0775	11,25	1,5890
Encuesta OMA (UDC)	685	1,6060	2,8717	18,36	1,7881
Encuesta TFG (FEE sin doble grado)	64	0,4431	0,7228	9,4	1,6312

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 también podemos observar cómo la muestra del TFG respecto a la FEE es la que presenta una menor dispersión de los datos. Su varianza, es inferior a la del resto de muestras y tiene un coeficiente de variación ligeramente más pequeño que la muestra de datos de la FEE de la OMA. Si comparamos nuestra muestra con la encuesta total de la OMA (a nivel universitario), observamos cómo el trabajo de la OMA tiene muchos más participantes, pero, a la vez, tiene una mayor dispersión entre los datos, es decir, no están tan agrupados en torno a la media. Asimismo, la muestra del TFG tolera un porcentaje de error menor, aumentando la precisión de sus.

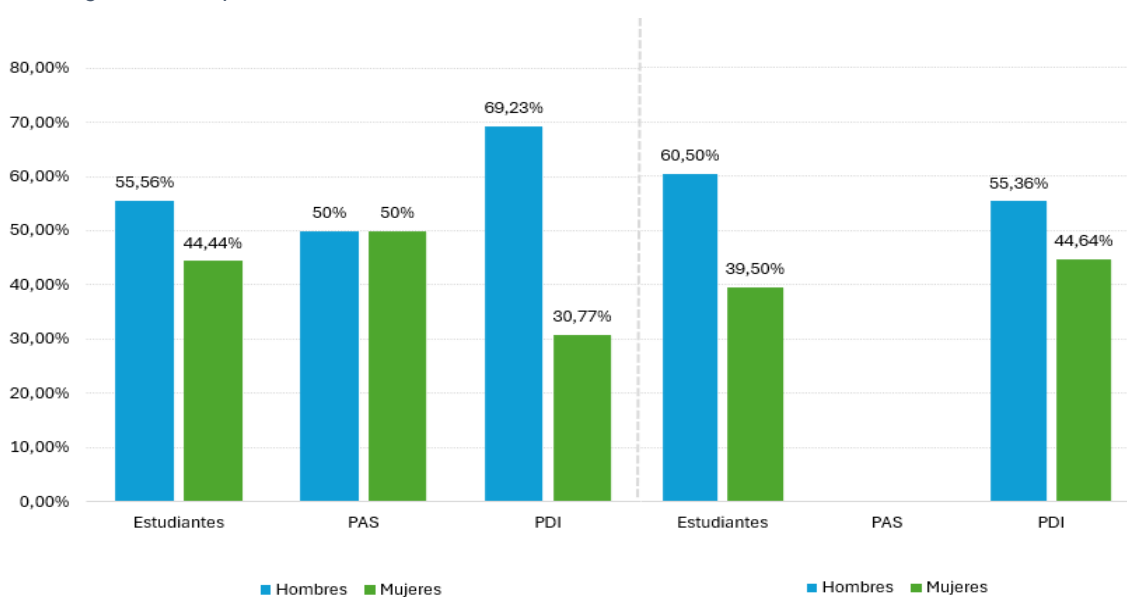
La última fila de la tabla 7 representa sólo a los alumnos participantes en la encuesta de este trabajo y que declaran como principal centro de estudios la Facultad de Economía y Empresa. En la encuesta se pregunta por el principal edificio en el que desarrollan su actividad universitaria. El problema radica en los alumnos de doble grado o el personal que no tiene cierta continuidad en una misma facultad. Para el primer grupo resulta casi imposible realizar un seguimiento detallado. Generalmente, se encuentran un cuatrimestre en una facultad y otro cuatrimestre en otro edificio. Para el segundo caso, más centrado en los PDI, puede ocurrir que, aunque estén vinculados a una facultad, impartan clase en otros centros. Como nuestro estudio trata de analizar a los miembros de la FEE, se entiende que estas personas forman parte de la FEE, aunque parte de sus desplazamientos no sean a la misma. Nos encontramos con datos de personas que han participado en este estudio, pero no han declarado que su centro principal de la UDC sea la Facultad de Economía y Empresa. Se trata de alumnos del doble grado de Derecho y ADE. Este grupo de individuos no resultan un obstáculo para el estudio, pues se sabe que forman parte de este a través de la clave que debían introducir a la hora de comenzar la encuesta. El único problema son las personas que,

sin formar parte de nuestro estudio, pertenecen a la FEE pero declaran otro centro principal de la Facultad. Ese grupo de personas, en el caso de que existieran, no se podría identificar. Una alternativa factible sería añadir al cuestionario otra pregunta de cuál es la titulación impartida o estudiada, por ejemplo. Estos cambios no alterarían substancialmente los resultados de los estudios, cómo se observa en la tabla, e incluyen el factor de mayor cantidad de respuestas y detalle para el encuestado.

Estos resultados son realmente brillantes, pues habíamos comentado previamente que uno de los objetivos de este trabajo era obtener una muestra más representativa para la Facultad de Economía y Empresa, mediante un mayor tamaño muestral y una mayor precisión en los resultados.

Tenemos una muestra formada por hombres y mujeres en cantidades balanceadas. Esta característica enriquece notablemente el estudio, pues elimina sesgo alguno que podríamos encontrar entorno a esta variable. En la figura 12 analizamos más profundamente la muestra y población en torno al sexo y la dividimos según su relación con la UDC. Observamos que la composición de nuestra muestra en torno al sexo es bastante parecida a la composición poblacional. Para los PAS no encontramos datos en la población. Dónde vemos más diferencia es para los PDI, teniendo nuestra muestra un mayor porcentaje de hombres. En general, la composición está equilibrada y hemos sabido llegar con nuestra encuesta a ambos sexos.

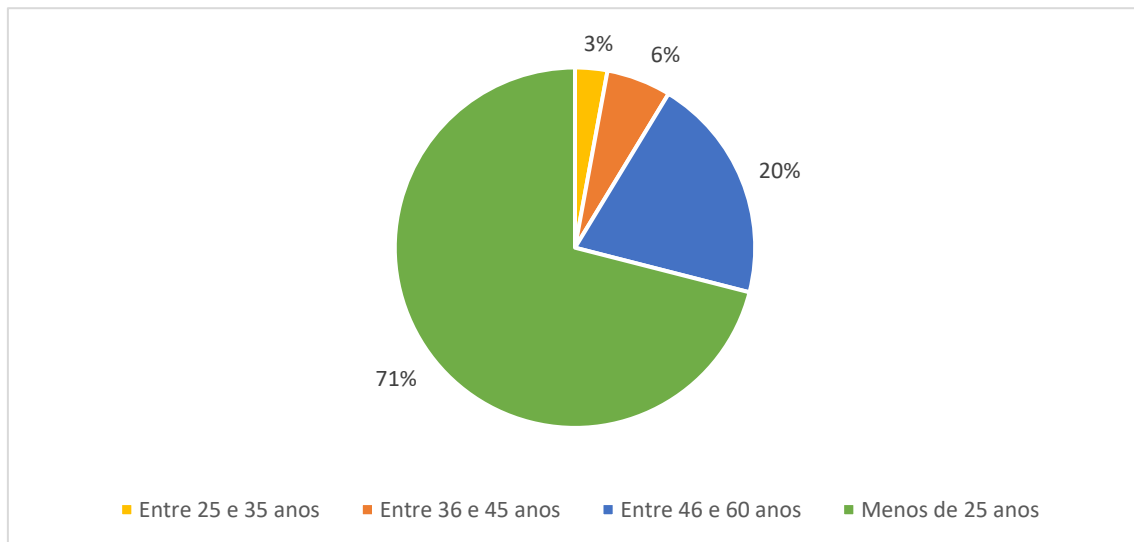
Figura 12 Composición en torno al sexo



Fuente: Elaboración propia

En el caso de la edad partimos de la hipótesis de que no existe ninguna relación directa entre la edad de un individuo y la cantidad de CO_{2e} que emita a la atmosfera. Otros factores ligados a la edad sí que pueden influir en los resultados. Por ejemplo, se supone que las personas de un rango de edad más maduro pueden tener cierta independencia económica y disponer de vehículo propio, mientras que las personas más jóvenes, sin grandes ingresos económicos, tienen que emplear el transporte público o el coche compartido. En nuestro estudio se toma la edad como una variable discreta dividida en intervalos como se muestra en la tabla 6. A través de la figura 13 podemos no existe ninguna relación directa entre la edad de un individuo y la cantidad de CO_{2e} que emita a la atmosfera. Otros factores ligados a la edad sí que pueden influir en los resultados. Por ejemplo, se supone que las personas de un rango de edad más maduro pueden tener cierta independencia económica y disponer de vehículo propio, mientras que las personas más jóvenes, sin grandes ingresos económicos, tienen que emplear el transporte público o el coche compartido. En nuestro estudio se toma la edad como una variable discreta dividida en intervalos.

Figura 13 Rangos de edad de las respuestas



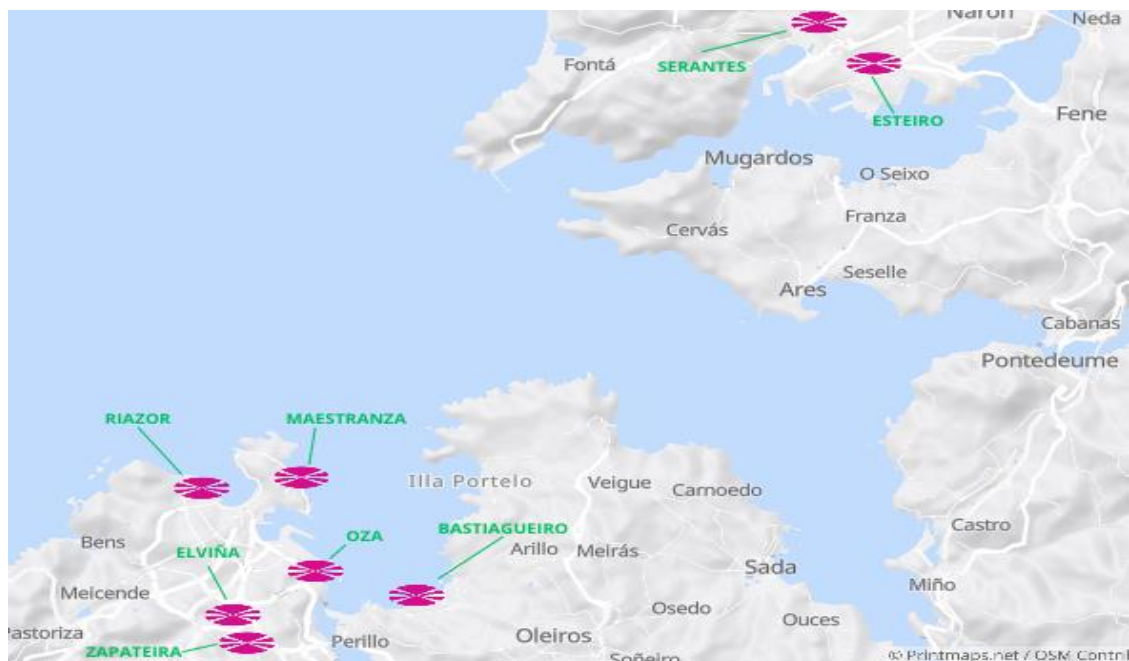
Fuente: Elaboración propia

El resto de variables reflejadas en la tabla 6 se pueden agrupar en dos grandes bloques: distancia y modo de transporte. Basándonos en los trabajos previos, como son el de los investigadores de transporte y economía o el de Bárbara Dionisio, se estima

oportuno estudiar la distancia y el modo de transporte con profundidad, pues se considera que pueden ser las variables más relevantes a la hora de encontrar resultados consistentes. Emplearemos técnicas estadísticas y econométricas más avanzadas orientadas al análisis del comportamiento de la distancia y del modo de transporte.

Una característica que puede ser clave para nuestro estudio es la localización espacial de los individuos. Comprobaremos si una persona que vive más alejada del centro de estudios tenderá a emitir una mayor cantidad de CO_{2e} mediante sus desplazamientos. Se puede deber a que recorre una mayor cantidad de km o que no es viable el uso de otras alternativas más sostenibles, como la bicicleta o recorrer el trayecto andando. En la figura 14 podemos ver la localización de los diferentes campus universitarios pertenecientes a la UDC. Se observa que dos de ellos se encuentran en Ferrol (Serantes y Esteiro) y el resto están situados en el área metropolitana de A Coruña. Dentro de este último grupo, un campus se sitúa en el ayuntamiento de Oleiros (Bastiaqueiro) y el resto se encuentran repartidos por diferentes puntos de la ciudad de A Coruña. El centro que es objeto de nuestro estudio, la FEE, pertenece al campus de Elviña. Este espacio se encuentra a la salida de la ciudad herculina, pero cuenta con buenas conexiones por carretera con la ciudad para acceder a él. Su localización puede ser clave a la hora de calcular la huella ecológica, pues no existen barrios residenciales cerca del campus, más allá de alguna residencia universitaria.

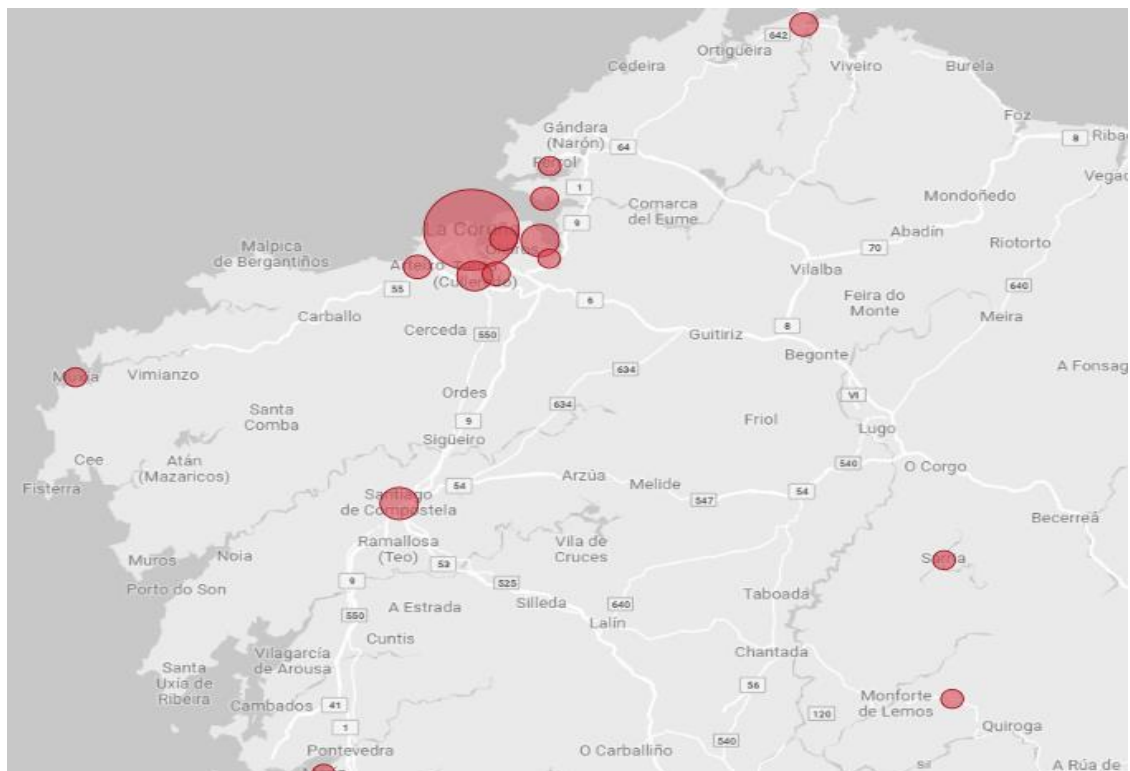
Figura 14 Mapa Campus UDC



Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 podemos observar un mapa con la distribución del origen de los encuestados. Esta imagen se elaboró en base a los datos reportados por los participantes del municipio al que pertenecen. En los datos obtenidos se observaba que la mayor parte de encuestados eran gallegos, en torno al 87%, aunque había un número reseñable de encuestados procedentes de la Comunidad de Madrid (9.3%), todos estudiantes y tan sólo uno era PDI. Luego también encontramos un par de estudiantes procedentes de Donostia (País Vasco) y un estudiante procedente de Dublín (Irlanda). Cómo se observa que la mayor parte de los datos están distribuidos por Galicia, se ha decidido centrar el mapa en esta comunidad autónoma, para así poder obtener resultados más detallados.

Figura 15 Localización respuestas obtenidas



Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto para estudiar de esta muestra es la forma de transporte de los encuestados. Analizaremos si el modo de transporte utilizado es significativo para nuestro trabajo. Una vez conocemos el ayuntamiento de origen de los individuos y el medio de transporte empleado, podemos analizar con profundidad nuestros datos. Tenemos que recordar que, previamente, habíamos hecho una aclaración sobre los distintos tipos de viaje que se podían detallar en la encuesta (véase tabla 3). Con este

conjunto de variables, podemos dividir nuestra población en tres grupos, cómo muestra la tabla 8.

Tabla 8 Clasificación viajes

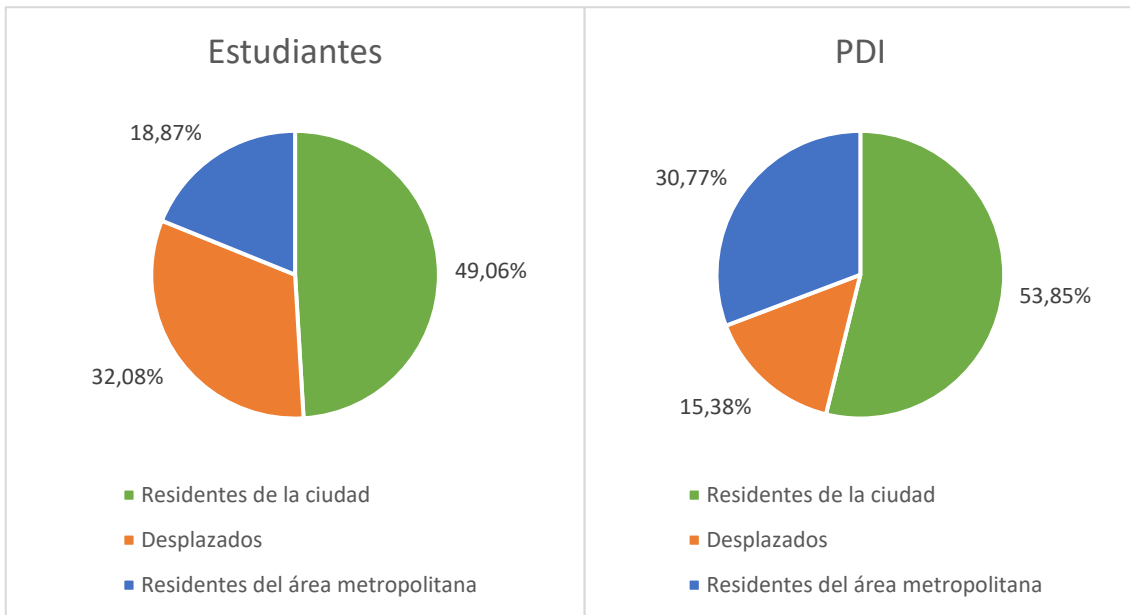
Denominación	Resumen
<i>Residentes de la ciudad</i>	Individuos habitantes y residentes de A Coruña. Sólo cuentan con desplazamientos tipo 1
<i>Desplazados</i>	Individuos habitantes de A Coruña durante el curso escolar pero residentes en otros lugares. Este grupo tiene una residencia en la ciudad herculina durante el año académico. Cuentan con desplazamientos tipo 1 (desde su residencia en A Coruña hasta la FEE) y desplazamientos tipo 2 ocasionalmente (desde A Coruña a sus lugares de procedencia) los individuos que no son habitantes ni residentes en A Coruña. Este grupo de personas se desplaza desde su lugar de origen hasta la universidad cada vez que tiene que acudir a la FEE
<i>Residentes del área metropolitana</i>	los individuos que no son habitantes ni residentes en A Coruña. Este grupo de personas se desplaza desde su lugar de origen hasta la universidad cada vez que tiene que acudir a la FEE

Fuente: Elaboración propia

A mayores, cada grupo también puede contar con desplazamientos tipo 3 (entre centros universitarios), pues este tipo de viajes no mantiene relación directa con el lugar de residencia.

A través de la figura 16 se ilustra la distribución de la muestra en función de la relación con la UDC y el lugar de residencia. Observamos cómo en ambos grupo, la mitad de sus componentes son residentes de la ciudad, así como, en el grupo de los estudiantes, los desplazados tiene un mayor peso sobre el total. Para el caso del PAS, el 100% de respuestas provienen de residentes de la ciudad.

Figura 16 Composición de la muestra según relación y residencia



Fuente: Elaboración propia

Si analizamos más al detalle cada grupo, obtenemos los datos que se reflejan a través de la tabla 9. En ella podemos observar el tamaño de la muestra para cada grupo, la composición en torno a su relación con la UDC, los medios de transporte utilizados y medias en torno a diferentes variables.

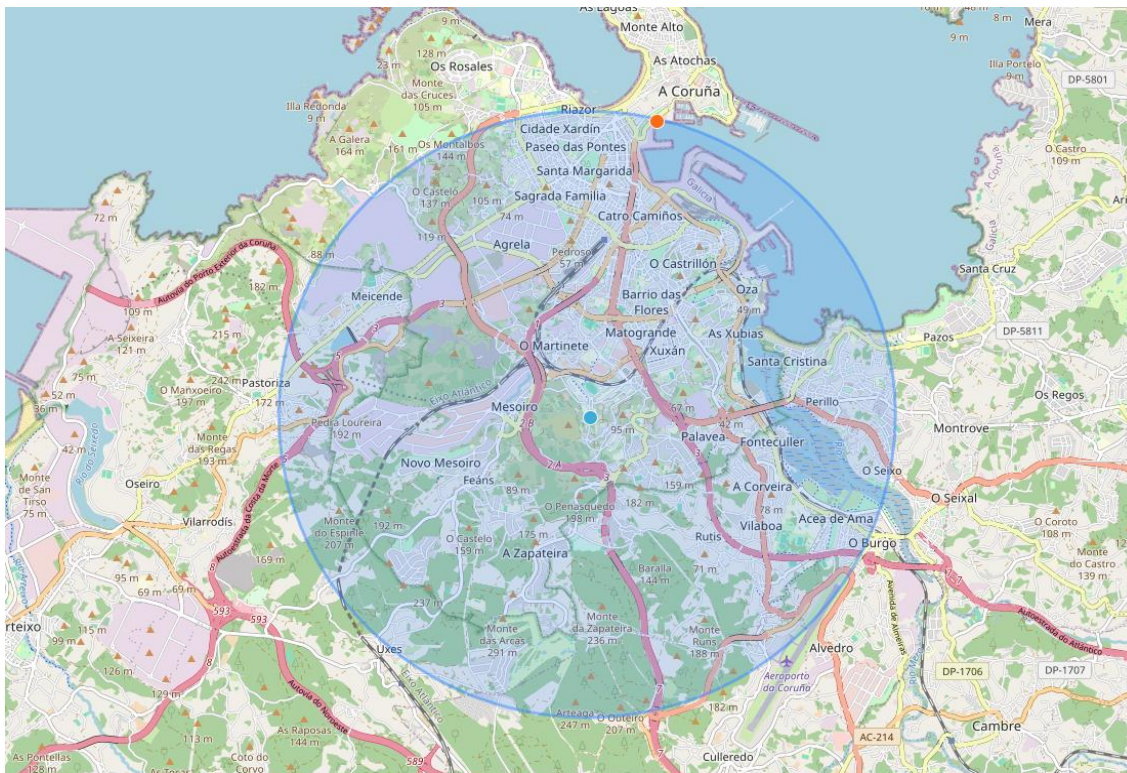
Obtenemos de los residentes una media de 6.37km cada viaje. Debemos tener en cuenta que esta cantidad es referida a la distancia realizada por carretera. Se estima que la distancia en línea recta es sobre el 40% de la distancia en carretera. La forma de A Coruña hace que las principales arterias viales de la ciudad no sean sinuosas. Teniendo en cuenta este factor, se decide estimar el radio de viajes de este grupo mediante la relación de que la distancia de los desplazamientos en línea recta es el 65% de la de los desplazamientos por carretera. Obtenemos que los viajes del grupo A se concentran en 4.1 km a la redonda de la FEE, un área que se corresponde a la representada en la figura 17.

Tabla 9 Resumen datos según residencia

Denominación	Tamaño	Composición	Media huella de carbono por individuo (kg de Co2e)	Media SCC por individuo (€)	Distancia media por viaje (km/viaje)	Medio de transporte (en función de los km realizados)
Residentes de la ciudad	35	Estudiantes: 74,29%	497,48	269,93	6,37	Andando: 2,74%
		PDI: 20%				Autobús: 43,4%
		PAS: 5,71%				Coche: 53,86%
Desplazados	17	Estudiantes: 88,24%	654,61	355,19	15,71	Andando: 1,87%
		PDI: 11,76%				Autobús: 56,71%
						Tren: 14,82%
		Coche: 26,61%				
Residentes del área metropolitana	16	Estudiantes: 75%	1029,86	558,8	12,96	Autobús: 31,78%
		PDI: 25%				Coche: 68,22%

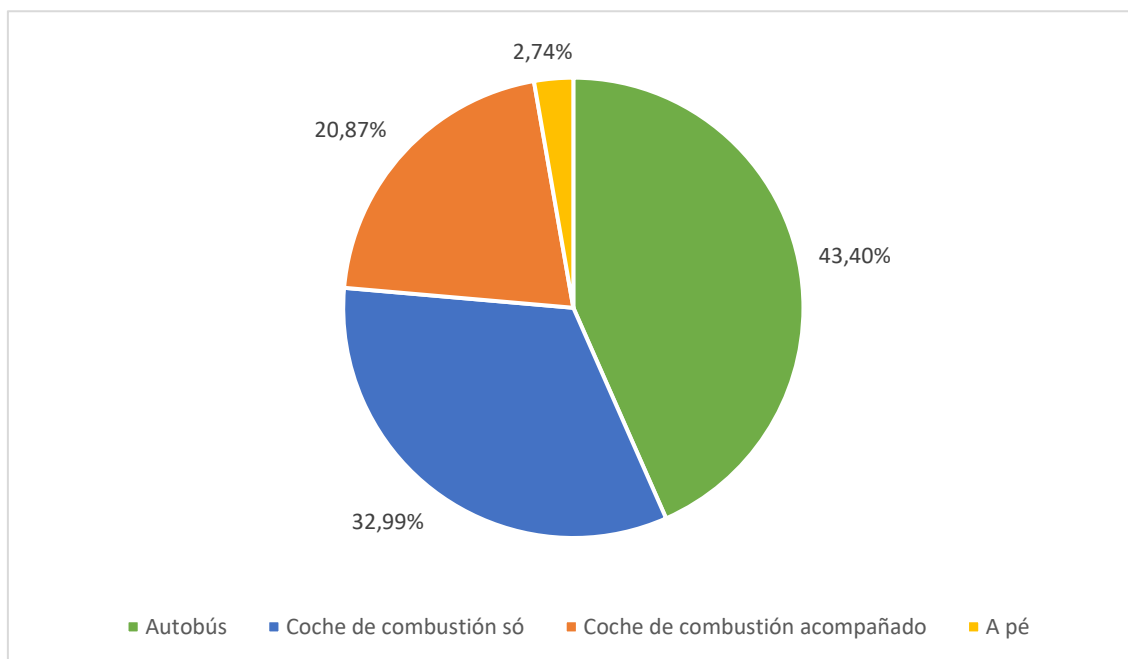
Fuente: Elaboración propia

Figura 17 Radio desplazamientos residentes ciudad



Fuente: Elaboración propia

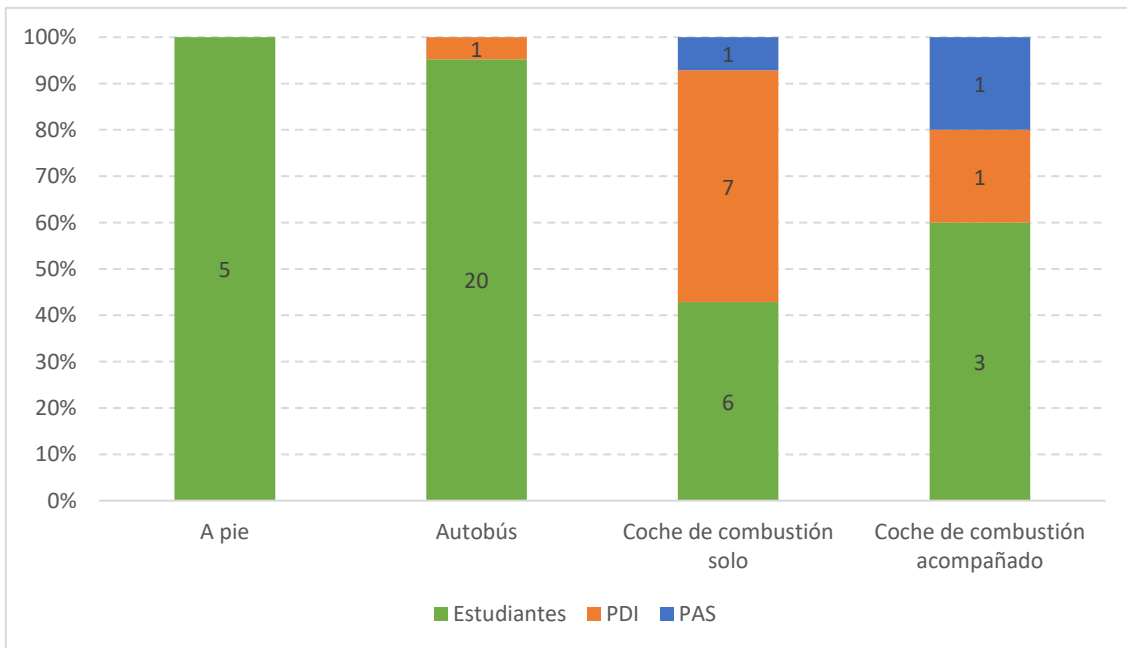
Figura 18 Medios transporte residentes ciudad



Fuente: Elaboración propia

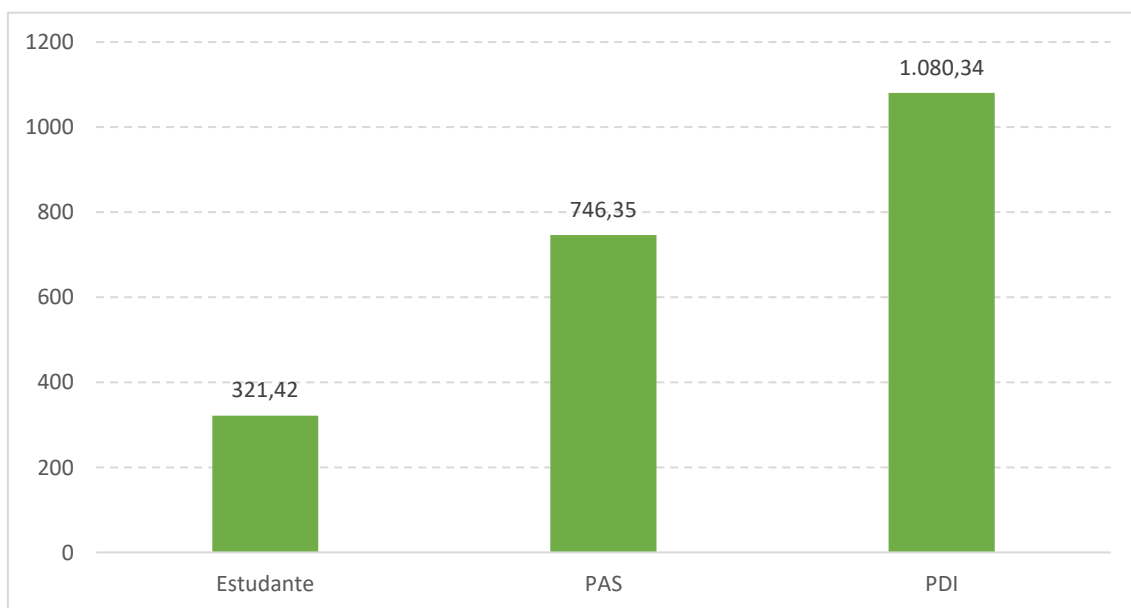
El medio de transporte preferido para los residentes de la ciudad es el autobús como se observa en la figura 18. Esta circunstancia se debe a que la muestra está formada en mayor parte por estudiantes. En la figura 19 se representa el medio de transporte utilizado en este grupo según su relación con la UDC. Observamos que los estudiantes tienden a alternativas de transporte más sostenibles, mientras que los PDI y PAS son partidarios del vehículo privado. Esta situación se refleja en la huella de carbono de cada individuo. A través de la figura 21, podemos ver como los estudiantes, utilizando el transporte público o realizando los trayectos caminando, tienen unas emisiones de CO_{2e} promedio tres veces menores a las de los PDI y PAS. Este resultado muestra la eficacia del uso del transporte público en términos medioambientales.

Figura 20 Medios transporte residentes ciudad según relación



Fuente: Elaboración propia

Figura 21 Huella de Carbono promedio residentes ciudad

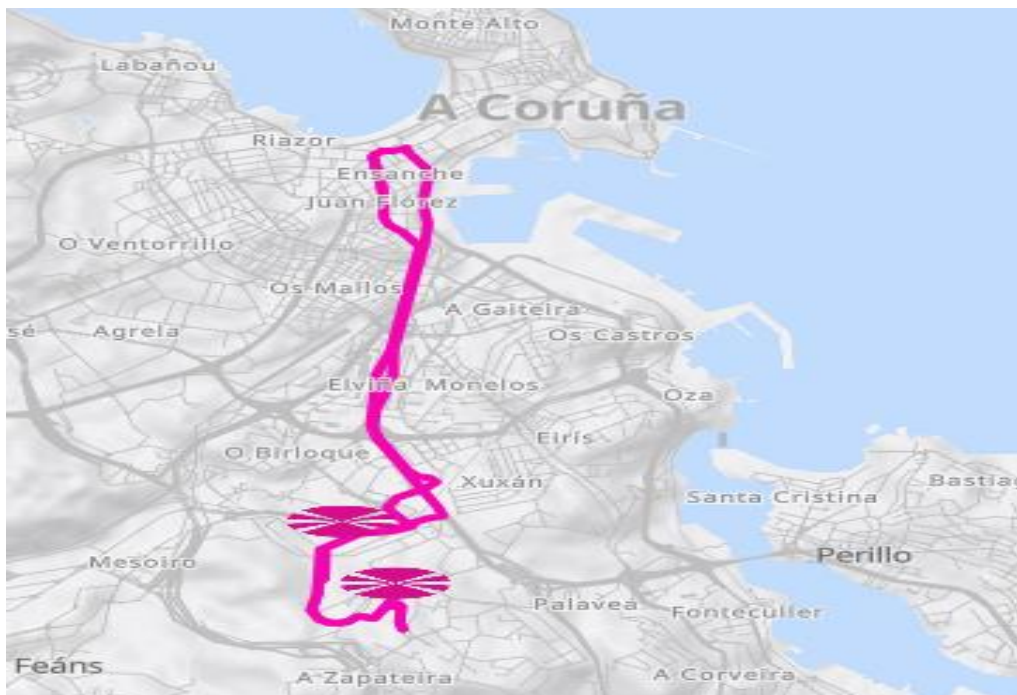


Fuente: Elaboración propia

El grupo de los desplazados está formado por una muestra más pequeña y compuesta en un 90% por alumnado. Nos encontramos ante una muestra que reporta escasos viajes de tipo 2. Se entiende que estos individuos pasan largas estadias en A Coruña y no viajan frecuentemente a sus municipios de origen, por ese motivo no

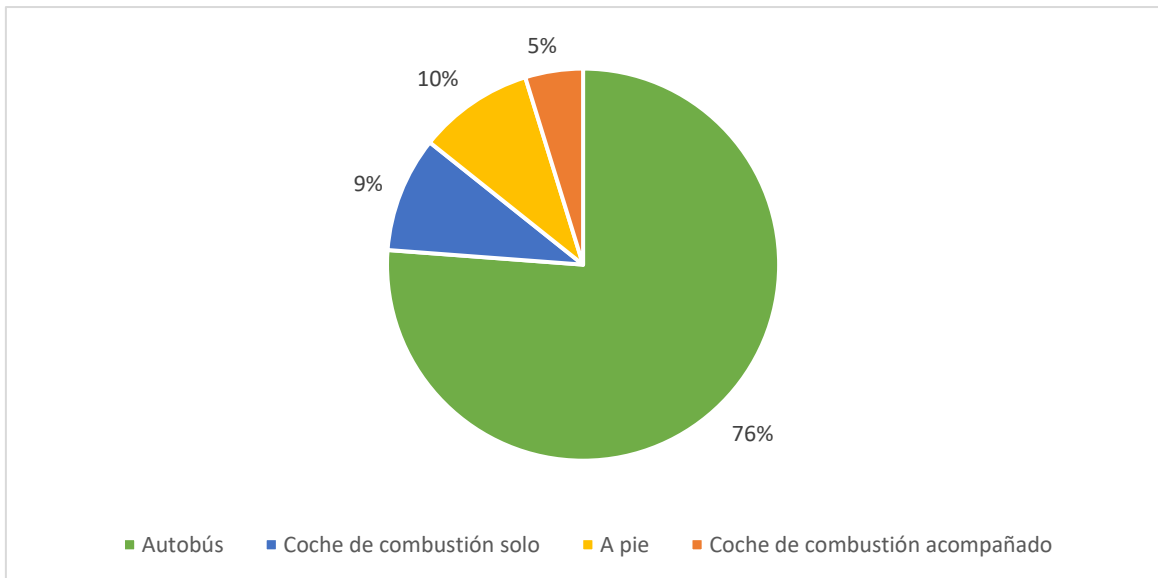
reportan viajes entre residencia del curso escolar y lugar de origen. Obtenemos un promedio de 17.91km por viaje. Debemos tener en cuenta que se incluyen los viajes a sus lugares de procedencia y los desplazamientos a la FEE. En este grupo se incluyen individuos procedentes de lugares alejados de A Coruña, por lo que alquilan una vivienda en la ciudad. Si observamos su localización espacial, notamos que ésta tiende a concentrarse en determinadas áreas. Por motivos de protección de datos y para salvaguardar la intimidad de los encuestados, no proporcionaremos información concreta que pueda resultar sensible. Obtenemos que los individuos del grupo B alquilan viviendas en los barrios de Os Mallos, A Gaitreira, Juan Flórez y Elviña, principalmente. La figura 21 nos muestra el recorrido de la línea UDC, que es el método de transporte público más directo hasta la FEE. Como observa en el mapa, los alumnos que buscan alquilar una vivienda lo hacen teniendo en cuenta la movilidad hasta el campus, concentrándose en zonas próximas a la línea universitaria. Además, en la figura 22 se muestra cómo el autobús es el medio de transporte preferido para los desplazados. El transporte público es empleado por alrededor del 80% de individuos que componen este grupo. Así, vemos como las figuras 21 y 22 encajan y se retroalimentan, pues los estudiantes buscan emplazamientos para vivir cerca de la línea universitaria y es el medio que utilizan para desplazarse hasta la universidad.

Figura 22 Recorrido línea de autobús universitario



Fuente: Elaboración propia

Figura 23 Medios de transporte desplazados



Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos para el grupo de desplazados en función al tipo de viaje realizado se muestran en la tabla 10. Podemos observar cómo, para los desplazamientos hasta la FEE (tipo 1) las emisiones de los desplazados, por término medio, son inferiores a las emisiones de los residentes en la ciudad para el mismo tipo de viajes. Esta circunstancia se debe a que los elementos del grupo de desplazados cuentan con un mayor porcentaje de usuarios de transporte público. Para los desplazamientos tipo 2 el valor es elevado debido a que se recorre un mayor número de km. A pesar de que la distancia es mayor en este tipo de viajes, el 75% de los individuos utiliza el tren para hacer estos recorridos.

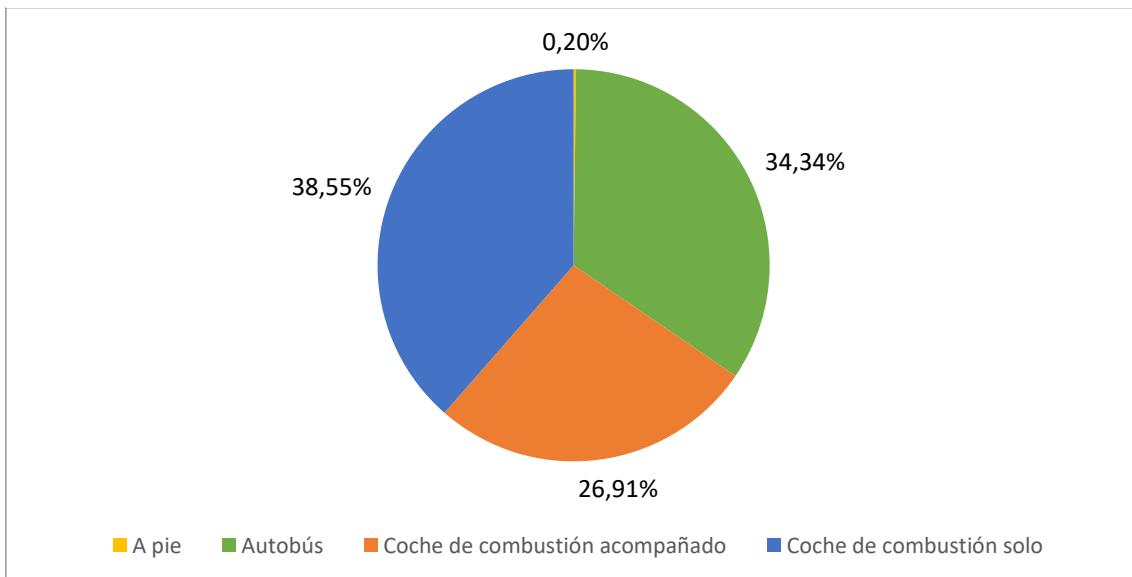
Tabla 10 Huella de Carbono y SCC para desplazados

Tipo de desplazamiento	Media huella ecológica (Kg Co2)	Media SCC (€)
Tipo 1	403,98	219,20
Tipo 2	856,21	464,58

Fuente: Elaboración propia

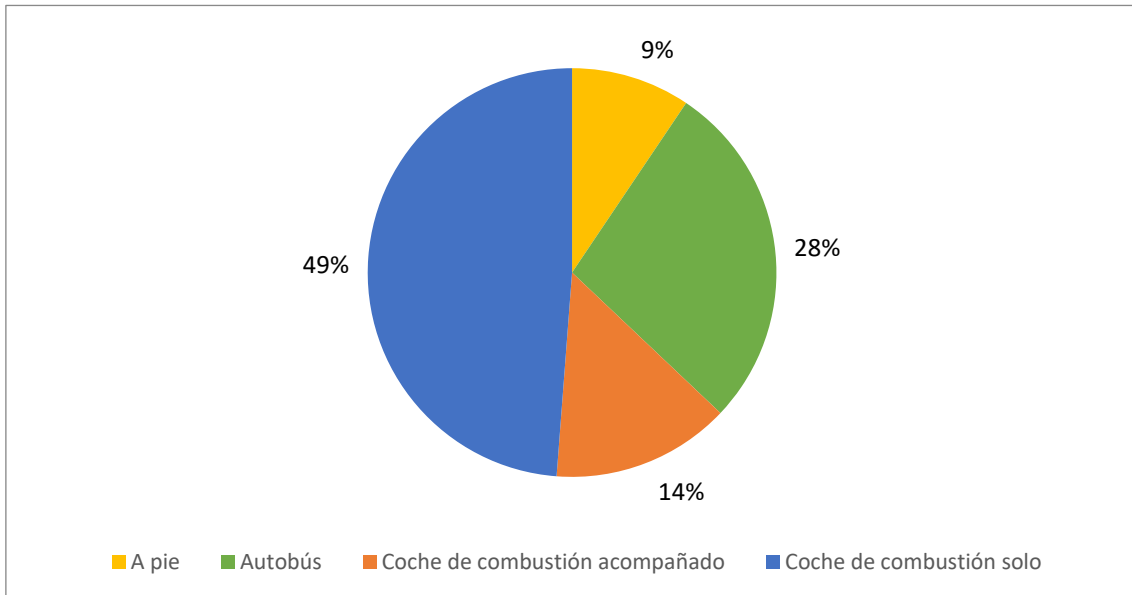
El grupo de residentes del área metropolitana de A Coruña está formado por 14 individuos que no residen en A Coruña y se desplazan todos los días a la FEE. Obtenemos un promedio de 12.96km por viaje. Como era de suponer, la distancia media que recorren para acudir a la FEE los individuos residentes del área metropolitana es superior a la de recorrida de media por los residentes de la ciudad o por los desplazados. La figura 23 muestra el peso de cada medio de transporte en los km recorridos para este grupo. Observamos cómo el medio de transporte elegido para estos desplazamientos es, mayoritariamente, el coche de combustión sólo. En su conjunto, en transporte público sólo se realizan una tercera parte de los km totales. Si analizamos el tipo de transporte utilizado en función del número de viajes obtenemos la figura 24. En ella observamos que el mayor número de viajes se realizan en coche de combustión sólo. Asimismo, vemos cómo el número de viajes a pie gana relevancia respecto a la figura 23 y cómo el peso del autobús disminuye. Esta circunstancia nos hace indicar que, para este grupo, para viajes de larga distancia se tiende a emplear el transporte público. Por la contra, para los desplazamientos próximos se emplea el vehículo privado, mayoritariamente sin acompañante. En el cómputo global del grupo de los residentes del área metropolitana de A Coruña, observamos cómo el transporte público no es la opción que eligen un mayor número de individuos, pero sí es la opción que eligen para realizar desplazamientos de más kilómetros.

Figura 24 Medios de transporte área metropolitana (km)



Fuente: Elaboración propia

Figura 25 Medio de transporte área metropolitana en km



Fuente: Elaboración propia

3.4. Inferencia estadística

En este trabajo se aplican algunas de las técnicas de análisis de la Inferencia Estadística univariante y bivalente incluidas en el contenido del grado. Por un lado, se han estimado parámetros poblacionales, principalmente el total de huella de carbono de la FEE y de algunos subgrupos poblacionales, su valor medio y su variabilidad. Como estimador de la media poblacional hemos utilizado el estadístico media muestral, descrito en la fórmula 4, que es el estimador de la media poblacional más eficiente y con distribución asintóticamente normal. El parámetro total se ha estimado multiplicando el estimador de la media muestral por el tamaño de la población que se está estimando. La varianza poblacional se ha estimado mediante el estadístico cuasi-varianza muestral, descrito en la fórmula (3), que es un estimador insesgado.

Además de las estimaciones puntuales, en el caso de la media y el total se han realizado estimaciones mediante intervalo de confianza (IC) de nivel de confianza $1 - \alpha = 95\%$, que es el habitual en Economía. Un intervalo de confianza incluye el parámetro que se quiere estimar con una probabilidad igual al nivel de confianza elegido. En el caso del intervalo de confianza de la media poblacional, $IC(\mu, 1 - \alpha)$, la forma de

este intervalo de la normalidad o log-normalidad de la variable poblacional, tal y como se estudió a lo largo del grado, aunque en último término se aplicaría el teorema central del límite según la fórmula (5) dado que los subgrupos que se han elegido cumplen el tamaño mínimo requerido para su aplicación, de 30 unidades. Al igual que en el caso de la estimación puntual, el intervalo de confianza del total poblacional se obtiene multiplicando el de la media poblacional por el tamaño de la población que se está estimado.

$$IC(\mu, 1 - \alpha) = \bar{x} \pm Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

Con el fin de obtener resultados fehacientes de la precisión de los resultados de este trabajo, realizaremos una serie de contrastes paramétricos entre nuestra muestra y la muestra de la OMA para la FEE. En este tipo de pruebas se establece una hipótesis que se refiere únicamente al valor de un parámetro desconocido de la población. Realizaremos un contraste de igualdad de varianzas y luego un contraste de medias.

Además de la estimación de parámetros, en este trabajo se aplican contrastes de hipótesis. Por un lado, en este estudio se han aplicado contrastes de hipótesis a los paramétricos estimados. Se han aplicado contrastes de hipótesis para comparar la huella de carbono total de subpoblaciones, utilizando la muestra recogida en este trabajo, y también se han comparado con los resultados obtenidos con la muestra de la OMA. El contraste de hipótesis de los paramétricos totales se realiza contrastando las medias, cuyas hipótesis se muestran en figura 25.

Figura 26 Hipótesis contraste de medias

Hipótesis Nula (H_0)	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$
Hipótesis Alternativa (H_1)	$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

Fuente: Elaboración propia

Para la aplicación de los contrastes de igualdad de medias poblaciones suele ser necesario realizar previamente contrastes de normalidad o log-normalidad y de igualdad de varianzas. El contraste de igualdad de varianzas se aplica para elegir el estadístico de contraste más eficiente para el contraste de medias poblacionales. Este contraste tiene las hipótesis que se muestran en figura 26. Los contrastes de normalidad son contrastes no-parámetros de bondad de ajuste a la distribución normal, donde la hipótesis nula consiste en que la variable poblacional sigue una distribución normal y la alternativa que no es así. Este contraste también se aplica para elegir el estadístico más eficiente en el contraste de medias poblacionales. Si la normalidad de la variable poblacional no se puede confirmar por la presencia de asimetrías, en muchas ocasiones sí se puede confirmar su log-normalidad. Los contrastes de log-normalidad consisten en aplicar los de normalidad al logaritmo de los datos. En presencia de log-normalidad se aplicarían los contrastes al logaritmo de la variable poblacional. En este trabajo se aplica el contraste de normalidad Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors (K-S) y el de Shapiro-Wilk (S-W). Ambos contrastes están implementados en el lenguaje de programación R, que se aprendió en las asignaturas de Estadística del grado y se ha utilizado en este trabajo para los cálculos estadísticos, junto con la hoja de cálculo Excel. El primero de los contrastes es más eficiente con muestras pequeñas, de menos de 50 individuos; el segundo utiliza un estadístico con convergencia asintótica, siendo más eficiente con muestras grandes.

Figura 27 Hipótesis contraste de varianzas

Hipótesis Nula (H_0)	$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$
Hipótesis Alternativa (H_1)	$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

Fuente: Elaboración propia

Por último, en este trabajo realizaremos un análisis econométrico multivariante de la variable huella de carbono. En concreto, aplicaremos un Modelo de Regresión Lineal Clásico (MRLC). La fórmula (5) muestra la estructura de un modelo MRLC, donde y es la variable dependiente, que en este caso es la huella de carbono; $\beta_i, i = 0, 1, \dots, m$ son

los coeficientes del modelo que se quieren estimar; $X_{ij}, i = 1, \dots, m$ son los valores de las m variables explicativas del modelo y ε_i es la perturbación o error aleatorio del modelo. El MRLC requiere la normalidad de la perturbación, que en el caso de esquema de variables dependientes fijas equivale a la normalidad de la variable poblacional. En caso de incumplimiento de esta hipótesis, pero sí presencia de log-normalidad, se puede aplicar sobre el logaritmo de la variable dependiente. Los parámetros de este modelo serán estimados por el método Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), utilizando los datos de la muestra recopilada en este estudio. El método de estimación MCO calcula los parámetros que minimizan la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores estimados, conocidos como errores o residuos.

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j X_{ij} + \varepsilon_i \quad (5)$$

Las variables explicativas son variables con una fuerte correlación lineal con la variable dependiente, aunque con una correlación lineal entre ellas lo menor posible, para evitar problemas de colinealidad. En este trabajo se ha partido de las variables explicativas propuestas en el Trabajo Fin de Máster (TFM) de Bárbara Dionisio (2021). Este modelo se aplicó a los desplazamientos unimodales emisores entre la residencia habitual del encuestado y su centro de referencia en UDC. Los desplazamientos unimodales son los que el encuestado declaró haber utilizado un único modo de transporte. Dentro de los desplazamientos, los emisores son los que se realizaron mediante algún modo de transporte emisor de CO₂ a la atmósfera. El modelo que se estimó en el TFM incluyó tres variables explicativas: el logaritmo de las distancias entre la residencia habitual y el centro de estudios; el tipo de relación con la UDC, que es una agrupación del colectivo al que pertenece el encuestado en dos tipos, Estudiante y Personal; y el tipo de modo de transporte emisor utilizado en los desplazamientos, que es una agrupación de los modos de transporte emisores en dos tipos, el Bus y el coche (compartido o no).

A partir de la estimación inicial de este modelo con todas las variables explicativas, se validará el modelo que incluya únicamente variables explicativas que se muestren significativas con los datos de la muestra recopilada en este trabajo, y que maximice la bondad de ajuste del modelo.

4. Análisis de resultados y recomendaciones

4.1. Análisis estadístico y econométrico

En este apartado se pondrán en práctica los cálculos explicados en los puntos anteriores. A través de estos cálculos, obtendremos los resultados que nos servirán de base para elaborar las conclusiones.

En la tabla 11 se muestran los resultados de la estimación puntual para el total de la FEE a partir de nuestra muestra.

Tabla 11 Estimación total FEE

Grupo	Total Huella de Carbono (t CO2e anuales)	Media Huella de Carbono (t CO2e anuales)	IC ($\alpha=0,05$)
Total FEE	1.513,9940	0,6620	(0´4398,0´8842)

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la anterior tabla los valores total y medio estimados para la población y el intervalo de confianza calculado de la media con un nivel de confianza del 5%. Esto nos ilustra que estamos al 95% seguros de que el valor de la huella de carbono media de la comunidad universitaria de la FEE se encuentra entre 0.4398 y 0.8842 toneladas anuales. Si profundizamos en el análisis, podemos realizar estimaciones puntuales por subgrupos. En la tabla 12 se muestra el valor medio estimado y el intervalo de confianza calculado para cada uno de los grupos que se reflejan. En esta tabla se han realizado tres agrupaciones: la primera en función de la relación con la UDC, la segunda en función del lugar de residencia y, finalmente, la tercera en función del medio de transporte empleado.

Tabla 12 Estimación FEE por grupos

Grupo	Media (t CO2e anuales)	IC ($\alpha=0,05$)
Estudiantes	0,5670	(0´3237,0´8103)
PDI	1,0351	(0´4526,1´6176)
PAS	0,7464	(0´6134,0´8794)

Grupo	Media (t CO2e anuales)	IC ($\alpha=0,05$)
Residentes en A Coruña	0,4975	(0´2542,0´7405)
No residentes	0,6546	(0´0319,1´2773)
Residentes del área metropolitana	1,0299	(0´6365,1´4233)

Grupo	Media (t CO2e anuales)	IC ($\alpha=0,05$)
A pie	0,0000	(0,0)
Coche	1,0197	(0´4318,1´6076)
Autobús	0,1839	(0´1027,0´2651)
Tren	0,3057	(0´1899,0´4215)

Fuente: Elaboración propia

Al dividir la población en su relación con la UDC, observamos que los PDI tienen un valor medio estimado notablemente superior al resto de colectivos. Como hemos visto en el apartado 3.3 de este trabajo, este colectivo, a pesar de ser mayoritariamente residente de la ciudad, tiende a usar más el vehículo privado para sus desplazamientos universitarios. Este hecho hace que tenga un valor medio estimado superior que los estudiantes, pues estos últimos son los principales usuarios del transporte público en nuestro estudio.

Por otro lado, desagregando la población en función del lugar de residencia, vemos cómo los residentes del área metropolitana tienen un valor medio superior al resto, mientras que, a su vez, los no residentes tienen una mayor amplitud de intervalo. Este hecho nos muestra la variabilidad existente en este grupo, pues cuenta con individuos que tienen muchos viajes de retorno a sus hogares y, asimismo, individuos que no viajan frecuentemente a sus localidades.

Finalmente, dentro de la clasificación en función del modo de transporte, observamos cómo el vehículo privado es el colectivo con el mayor valor medio de huella de carbono estimado, así como una gran amplitud de intervalo debido a la heterogeneidad de los viajes que realizan los individuos en el coche.

Como hemos comentado en el apartado 3.4, realizaremos un contraste de medias y un contraste de varianzas entre la muestra del TFG y la muestra de la OMA para la FEE.

Antes de realizar los contrastes de medias y de varianzas, debemos conocer si nuestros datos siguen una distribución Normal $[N(0,1)]$. Para ello realizamos los test de K-S y de S-W que se reflejan en la tabla 13. En cuanto a la distribución de los datos observamos, gracias a la densidad, que presentan una asimetría a la derecha (asimetría positiva) y no siguen una distribución Normal. Este hecho se puede deber a los usuarios que van a pie y tiene una huella de carbono nula. Comprobamos la distribución sin tener en cuenta los valores iguales a cero y también obtenemos una distribución asimétrica.

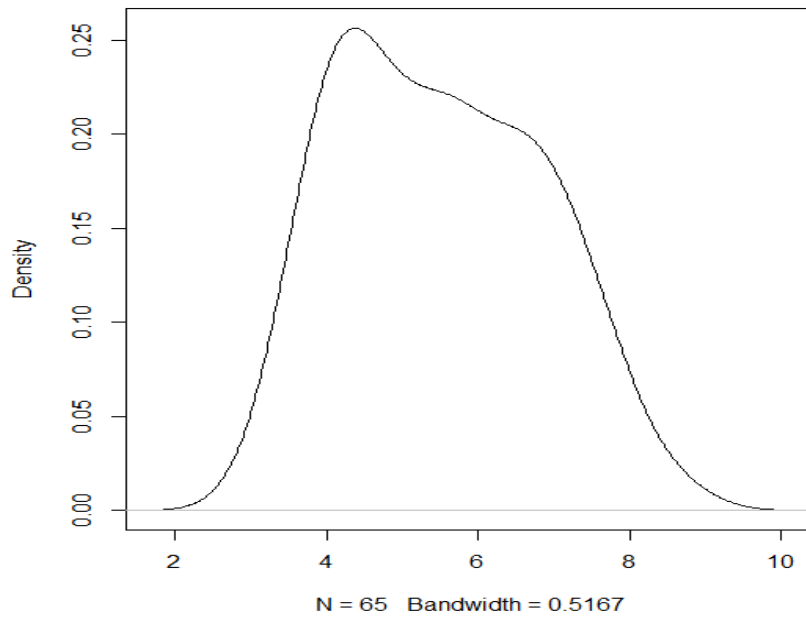
Tabla 13 Test KS y SW

Test de Kolmogorov-Smirnov		Test de Saphiro-Wilk	
D	0,2631	W	0,62684
p-valor	1,38E-12	p-valor	7,22E-12

Fuente: Elaboración propia

Podemos ahora comprobar la log-normalidad. A través del código de programación R, transformamos los datos usando logaritmos para conocer su distribución. Obtenemos el gráfico de densidad que se muestra en la figura 27. En él, ya podemos observar cómo disminuye la asimetría a la derecha, dando lugar a una distribución más semejante a la $N(0,1)$. La transformación logarítmica ha mejorado significativamente la normalidad de la de la distribución, lo que sugiere que los datos originales pueden ser mejor analizados bajo la suposición de una distribución log-normal.

Figura 28 Densidad de datos con transformación logarítmica



Fuente: Elaboración propia

. La siguiente prueba a realizar es el test de Fisher para comprobar la igualdad de las varianzas entre las muestras. Los resultados se muestran en la tabla 14. A raíz de este contraste obtenemos un p-valor de 0.2025, que es mayor que el p-valor convencional que tomamos de referencia ($\alpha=0.05$). Esta situación implica que no podemos rechazar la hipótesis nula (H_0), es decir, no existen evidencias estadísticas significativas que indiquen que la varianza de ambas muestras sea diferente. Para seguir comprobando las similitudes entre ambas muestras realizaremos un contraste de medias.

Tabla 14 Resultado contraste de varianzas

F	0,69315
Df num	64
Df denom	35
P valor	0,2025
IC al 95%	[0´3742 , 1´2194]

Fuente: Elaboración propia

En el contraste de igualdad de medias mostrado en la tabla 15 obtenemos un p-valor superior al nivel de significación tomado ($\alpha=0.05$). Este hecho muestra que no hay evidencias significativas para rechazar la hipótesis nula, con lo que no se puede afirmar que las medias de ambas muestras son significativamente diferentes.

Tabla 15 Resultado contraste de medias

t	-0,5898
Df	104
P valor	0,2025
IC al 95%	[-480 , 259,94]

Fuente: Elaboración propia

Realizados los contrastes entre la muestra del TFG y la muestra de la OMA para la FEE, observamos que no existen diferencias significativas ni entre las varianzas ni entre las medias de ambas muestras. Esta conclusión es relevante porque sugiere que la dispersión de los datos en ambas muestras es comparable, así como unas medias semejantes, lo que valida la consistencia y fiabilidad de nuestros datos.

Con respecto al análisis multivariante, realizaremos un MRLC partiendo del modelo establecido por Bárbara Dionisio. Sobre este modelo se han eliminado las variables irrelevantes para nuestro caso, como pueden ser el campus (es Elviña para todos) o la disponibilidad del carril bici (no hay datos de uso de bici). En los resultados del modelo de partida observábamos que el regresor referido a la relación con la UDC no era relevante y decidimos eliminarlo. Nos quedamos con un modelo en el que todos los regresores son significativos y cuyos resultados se muestran en la figura 29.

Figura 29 Salida MRLC

Modelo TFG

Variable dependiente: log(Huella de Carbono)

	Coeficiente	Error Estándar	t-valor	p-valor	
Intercepto	2,7163	0,19	14,3	< 2E-16	***
log (Distancia)	0,9528	0,0896	10,63	2,52E-14	***
Modo tte. Coche	1,7726	0,1481	11,97	3,71E-16	***

Error Estándar Residual (EER): 0,5243 en 49 grados de libertad

R2: 0,8635

R2 ajustado: 0,8579

Estadístico F: 155 en 2 y 49 grados de libertad

P-valor (F): <2,2E-16

Fuente: Elaboración propia

A través de los resultados podemos observar que, en el actual modelo, todos los regresores son relevantes. Lo vemos, principalmente, mediante su p-valor; siempre inferior a 0.05. Asimismo, el modelo también tiene buen ajuste. Observamos a través del R^2 que el modelo explica el 86.35% de la variabilidad del logaritmo de la Huella de Carbono. El R^2 ajustado difiere muy ligeramente del R^2 , corroborando así que los regresores introducidos son relevantes y que el modelo tiene buena bondad de ajuste.

Otro punto clave del MRLC es la interpretación de los coeficientes. El valor de la ordenada en el origen nos muestra cómo, si el resto de variables son igual a 0, el valor del logaritmo de la Huella de Carbono es igual a 2.7163. Despejando, obtenemos que la Huella de Carbono cuando el resto de variables valen cero es igual a $e^{2.7163}=15.1314$. Este hecho implica la existencia de una huella de carbono base. Para el regresor que hace referencia a la distancia vemos cómo un incremento de un 1% en la distancia implica un aumento del 0.9528% en la Huella de Carbono. Es lo que conocemos como elasticidad estimada. Lo principal que obtenemos de este valor es su signo. Su signo positivo implica que un aumento en esta variable da lugar a un incremento en la Huella de Carbono. El último de los regresores es un coeficiente de variable dummy. Lo que

nos muestra es la tasa de variación relativa estimada, es decir, la diferencia que hay sobre el logaritmo de la Huella de Carbono de usar el coche con respecto al autobús. Observamos que usar el coche tiene un impacto 1.7726 veces mayor que usar el autobús sobre la variable dependiente. En los tres casos, los signos estimados coinciden con lo esperado por la teoría económica

4.2. Análisis económico

El principal desafío de los análisis medioambientales es presentarlos de forma que se pueda mostrar su efecto. El método que se va a utilizar en este trabajo es cuantificar los resultados del estudio en términos económicos. Emplearemos la estimación del coste del carbono llamada Modelo DICE. Este trabajo desarrollado por William Nordhaus que hemos explicado previamente nos permitirá transformar las emisiones de CO_{2e} en euros. A través del modelo, el economista estadounidense estima un Coste Social del Carbono de 31\$ por tonelada para el año 2015 en 2010 US\$ (Nordhaus, 2017). También estima un crecimiento del SCC del 3% hasta 2050. Actualizando este valor, obtendríamos que el SCC para 2024 es de 58.32\$ actuales (2024), lo que correspondería aproximadamente a 54.26€. Aplicando este valor monetario a la cantidad de emisiones totales que tenemos en nuestro estudio, obtenemos un coste de 82.149,31€ para la comunidad universitaria de la FEE. Lo que significa este valor es que la población estudiada generó durante un año una cantidad de emisiones de CO₂ por el valor de más de ochenta mil euros.

Tabla 16 Resultados económicos total FEE

Grupo	Total Coste Social Carbono (€)	Media Coste Social Carbono (€)	IC ($\alpha=0,05$)
Total FEE	82.149,31	35,9218	(23 ' 8650,47 ' 9786)

Fuente: Elaboración propia

Otra forma de reflejar el impacto que suponen las emisiones de CO₂ es a través de la superficie forestal necesaria para absorber esa cantidad de emisiones. Se estima que un bosque promedio, conservado y de clima oceánico, puede absorber 10 toneladas de CO₂ por hectárea anualmente (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2024). La cantidad de CO₂ emitida que tenemos en nuestro estudio es de 1.514 toneladas anuales. Haciendo el cálculo, obtenemos que necesitaríamos 0.1514 hectáreas para absorber el dióxido de carbono emitido por los encuestados en sus desplazamientos hacia la universidad. Para darle un valor económico a este dato, podemos buscar cuál es el valor que tiene la superficie forestal. Observamos que Galicia, debido a su clima y a su situación geográfica, es una de las zonas donde el suelo forestal es más caro. En la comarca de A Coruña, el precio ronda los dos euros el metro cuadrado. Con estos datos, obtenemos que el coste del terreno necesario para absorber las emisiones que estamos estudiando sería de 3.028€. Cabe recordar que este sería el coste sólo del terreno. Si volvemos a la tabla 16, observamos que nos quedarían casi 80.000€ de costes. Esto hace ver que, aunque el CO₂ sea en parte absorbido por los árboles, la mayor parte del coste derivado de estas emisiones no se puede subsanar dedicando más superficie a la plantación forestal.

4.3. Recomendaciones

El problema que tratamos en este estudio no tiene una solución única. Mejorar los resultados depende de diversos factores, muchas veces enlazados entre sí.

Una posible solución pasaría por el endurecimiento de las medidas gubernamentales. La contaminación supone una externalidad negativa. Una forma que tiene los gobiernos para interiorizar este coste es a través de los impuestos *pigouvianos*. Estos podrían actuar de diferentes formas. Por un lado, podrían obligar a las universidades a realizar estudios exhaustivos como este para conocer la huella de carbono de sus miembros. De esta forma, gravar las entidades que no velen por su impacto medioambiental. Con esta iniciativa se trataría de fomentar, entre otras, la movilidad sostenible por parte de los centros universitarios.

Pensando concretamente en los resultados obtenidos, vemos que el uso del transporte público está bastante extendido entre la comunidad universitaria. Lograr aumentar los usuarios de este medio de transporte sería un gran logro, pero sería aún mayor logro mejorar los medios que se utilizan en el transporte público. La sustitución de autobuses con motores de combustión de hidrocarburos por autobuses eléctricos reduciría muy notablemente el impacto ambiental de la comunidad universitaria. La empresa que gestiona los autobuses urbanos está implementando y estudiando los efectos, habiendo introducido el primer autobús eléctrico en la flota en 2023 (Compañía de Tranvías de A Coruña, 2023). Tras conocer los datos del rendimiento del autobús, se podría realizar una hoja de viabilidad financiera, teniendo en cuenta múltiples factores como pueden ser los usuarios, el kilometraje recorrido, la amortización, etc.

Otra posible solución ante este problema es aumentar la visibilidad de las alternativas menos contaminantes. Realizar promociones sobre los caminos o las sendas ciclables en los campus podría aumentar el número de usuarios que viajan caminando o en bicicleta. A pesar de las inversiones realizadas por la UDC para construir el carril bici para acceder al campus de Elviña, en nuestro estudio no hay datos de usuarios de la bicicleta. Estos resultados se pueden achacar en primera estancia a la localización apartada del campus de Elviña o a la climatología inestable presente en la ciudad.

Finalmente, otra alternativa que podemos sugerir es la mejora de las comunicaciones de transporte público interurbano en el área metropolitana de A Coruña. Obtuvimos que los individuos que residen en los alrededores de A Coruña tienen altas tasas de contaminación debido a que emplean el coche para sus viajes. Una buena red de transporte interurbano facilitaría los desplazamientos hacia A Coruña de una forma más medioambientalmente sostenible. Al igual que en la mejora de flota del transporte urbano, habría que calcular la rentabilidad de esa mejora en el servicio y conocer la viabilidad del proyecto.

5. Conclusiones

La contaminación por emisiones de CO₂ es un desafío que está ganando importancia exponencialmente en el tiempo. Como se ha puesto de manifiesto en este trabajo, esta problemática medioambiental tiene una serie de causas y consecuencias que, en ocasiones, pasan desapercibidas. Conocer y cuantificar monetariamente las emisiones de CO₂ puede ser el punto de partida para avanzar en la solución del problema.

En este trabajo se evalúa y cuantifica en términos económicos el impacto ambiental de la movilidad de los individuos de la Facultad de Economía y Empresa (FEE) de la Universidade da Coruña . Para ello, se diseñó y recopiló una muestra aleatoria de 69 miembros de la FEE, los cuales nos reportaron 86 conjuntos de viajes. Se trata de un incremento de 132,43% respecto a los participantes de la misma facultad en la encuesta global de la universidad organizada por la Oficina de Medio Ambiente (OMA). Si a este aumento en la participación añadimos un contraste de varianzas entre la muestra elaborada en este TFG y la muestra de la OMA en el que no podemos rechazar la igualdad entre las varianzas, obtenemos un incremento en la precisión de las estimaciones. Las conclusiones obtenidas por la OMA están orientadas en la misma dirección que las obtenidas a través de este trabajo, pero estas últimas son más precisas. Además, debido al muestreo aleatorio y al trabajo de campo, la distribución de la muestra obtenida era muy similar a la poblacional, y se aseguró el cumplimiento de los supuestos metodológicos de las técnicas de inferencia estadística utilizadas.

Otro punto clave de este trabajo es la metodología empleada. Se decide utilizar unas técnicas estadísticas más sofisticadas, aprendidas en el grado. Se emplea un muestreo aleatorio para obtener los datos. Se observan las dificultades y las tediosas labores asociadas a este tipo de muestreo, a la par que se justifica por qué muchos investigadores apuestan por otros métodos para la recogida de datos.

Sobre la muestra se han obtenido una gran cantidad de resultados. Se ha mostrado como, al dividir a la población en torno al lugar de residencia, obtenemos resultados diferentes, obteniendo los residentes en el área metropolitana una huella de carbono y un coste social del carbono (SCC) superior a los residentes en la ciudad. El otro grupo, los desplazados, tiene una huella de carbono y un SCC superior a los residentes de la ciudad si tenemos en cuenta sus viajes al lugar de origen, pero, si solo tenemos en

cuenta los desplazamientos en la ciudad, obtenemos que son los que menor huella de carbono y SCC tienen. Asimismo, además de la residencia, analizamos el medio de transporte utilizado y vemos como los estudiantes son más propensos a utilizar transporte público, que tiene un impacto en la huella de carbono menor que el coche.

A través de las técnicas de inferencia estadísticas aprendidas en el grado de Economía se trasladan los resultados de la muestra a la población. Se obtiene que la estimación del total de huella de carbono de la FEE son 1.513,99 toneladas anuales, lo que equivale a 82.149,31€ a través de las estimaciones del modelo DICE. Si desagregamos por grupos, vemos como los estudiantes tienen una media notablemente inferior al resto de grupos, en parte por el mayor uso del autobús. A pesar de esta diferencia entre grupos divididos en función de la relación con la universidad, al realizar un Modelo de Regresión Lineal Clásico (MRLC) se obtiene que esta variable no es relevante para nuestro estudio. Este modelo explica el logaritmo de la huella de carbono en función del logaritmo de la distancia y del modo de transporte. Se obtiene que estas son los dos regresores relevantes en un modelo que tiene un buen ajuste y, además, afectan positivamente a la variable explicada, coincidiendo con los resultados esperados por la teoría económica. De este modo, se observa que las principales alternativas pasan por el fomento del transporte público como principal medio de desplazamiento y aumentar el número de individuos residentes en la ciudad, principalmente estudiantes, a través de viviendas de alquiler o residencias.

6. Agradecimientos

Este estudio no sería posible sin el apoyo de muchas personas que facilitaron la obtención de los datos. Quisiera agradecer, en primer lugar, el apoyo prestado por la Dra. Carmen Socorro Lema Fernández, decana de la FEE, facilitando el acceso a los datos; así como a la secretaria del decanato, la Dra. Amalia Blanco Louro, por la ejecución del proceso de selección empleado. Por otro lado, también agradecer la ayuda prestada por el director de la OMA, el Dr. Manuel Soto Castiñeira, por permitir el uso de la Calculadora de Pegada Ecológica da UDC y establecer conversaciones bilaterales con el fin de mejorar este trabajo y el de la OMA. Asimismo, agradecer a los desarrolladores de la aplicación mencionados previamente por facilitar su desarrollo y adaptación a este proyecto. No me gustaría terminar sin agradecerle el apoyo brindado a mi tutor, el Dr. José Benito Pérez López, mostrando siempre su predisposición hacia el buen trato, el rigor de los datos y la vocación a la enseñanza. Sin su trabajo y motivación este trabajo no hubiera sido posible.

7. Bibliografía

- Asociación Nacional de Fabricantes de Automóviles y Camiones. (2023). *Vehículo electrificado. Informe anual 2022*
- BBVA. (2024). *¿Qué es el medioambiente y por qué es clave para la vida?* BBVA NOTICIAS. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-medioambiente-y-por-que-es-clave-para-la-vida/>
- Bicicoruña (2024). <https://www.coruna.gal/bicicoruna/gl>
- Camarero, L., Almazán, A., Arribas, J. M., Mañas, B., & Vallejos, A. (2013). *Estadística para la investigación social (2ª)*. Garceta grupo editorial.
- Compañía de Tranvías de A Coruña (2024). <https://tranviascoruna.com/resultados-del-uso-del-transporte-publico-2023/>
- Convención Macro de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2024). Web oficial de las Naciones Unidas: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>
- Dionisio, B. (2021). *The Cost of transport Emissions: The case of the University of A Coruña*. Universidade da Coruña.
- European Environment Agency (2024). Web oficial de la Unión Europea: <https://prtr-es.es/conozca/sustancias-contaminantes->
- Emapic (2024). <https://emapic.es/>
- Goodland, R., Daly, H., El Serafy, S., & Von Droste, B. (1997). *Medio ambiente y desarrollo sostenible: Más allá del informe Brundtland*. Editorial Trotta SA.
- Greenpeace (2020). Web oficial de Greenpeace: <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/9386/huella-de-carbono/#huella-de-carbono>
- IMC-CNR, I. O. (2017). *Sostenibilidad medio ambiental en el sistema VET: Una poderosa herramienta para el futuro*.
- Jacobs, M. (1996). *La economía verde: Medio ambiente, desarrollo sostenible y la política del futuro*. Icaria Editorial.

- Ministerio de Transporte. (2023). *Observatorio del Transporte y la Logística en España. La descarbonización del transporte.*
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2024). *Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono.*
- Nordhaus, W. D. (2017). Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(7), 1518–1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>
- Perez-Lopez, J.-B., Orro, A., & Novales, M. (2021). Environmental Impact of Mobility in Higher-Education Institutions: The Case of the Ecological Footprint at the University of A Coruña (Spain). *Sustainability*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su13116190>
- R Core Team. (2024). *Web oficial del programa R.* <https://www.r-project.org/>
- Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España (2024). *Web del Gobierno de España:* <https://prtr-es.es/conozca/Sustancias-contaminantes-1026062012.html>
- Reglamento (CE) No 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de enero de 2006.*
- Ruiz Velasco, M. (2017). *Análisis del funcionamiento del modelo DICE y su aplicación a la economía del cambio climático* [Trabajo fin de master, Universidad de Cantabria].UCrea. <http://hdl.handle.net/10902/12664>
- Wackernagel, M., & Rees, W. (2002). *Our ecological footprint. Reducing Human Impact on the Earth.* New Society Publishers.
- World Bank Group. (2023). *State and trends of carbon pricing.*
- World Commission on Environment and Development. (1987) *Our common future.* Oxford University