



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Civil

**Evaluación de las emisiones de CO₂ a causa de los patrones de movilidad de
estudiantes y personal administrativo de la Universidad del Azuay**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de Ingeniero Civil

Gutiérrez Ochoa Andy Steven

Silva Ramon Elian Alejandro

Director: Ing. Mateo Coello Salcedo, M.Sc.

Cuenca-Ecuador

2025

DEDICATORIA

A mis padres, Carmen Ramón y Ángel Silva, por su amor, apoyo incondicional y los sacrificios que me han permitido alcanzar esta meta. Este logro también es suyo, porque gracias a su esfuerzo y enseñanzas hoy culmino una de las etapas más importantes de mi vida.

A mi hermano Cristhian Silva, por su confianza, paciencia y por siempre desear lo mejor para mí. Le agradezco por estar presente en cada etapa y por su apoyo incondicional.

A mi tío Alejandro Pineda, por ser una fuente de inspiración y ejemplo de perseverancia. Su dedicación, consejos y motivación me impulsaron a esforzarme cada día por mejorar y alcanzar mis objetivos.

Elian Alejandro Silva Ramon

Dedico este trabajo a mis padres, quienes con su esfuerzo, paciencia y amor me han acompañado en cada paso de mi vida. A ellos les debo no solo mi formación académica, sino también los valores que hoy me permiten culminar esta etapa.

Asimismo, dedico este logro a mi familia y amigos, que siempre creyeron en mí y me motivaron a seguir adelante aun en los momentos más difíciles.

Andy Steven Gutiérrez Ochoa

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios por guiarnos con fortaleza, salud y perseverancia a lo largo de este proceso.

A la Universidad del Azuay, por brindarnos los conocimientos, valores y herramientas necesarias para nuestro desarrollo profesional y personal.

De manera especial, expresamos nuestra gratitud a nuestros docentes y tutores, quienes con paciencia y dedicación nos brindaron su guía. En particular, agradecemos a nuestro director, Ing. Mateo Coello Salcedo, M.Sc., por su orientación y compromiso para que este trabajo llegara a su culminación.

Extendemos también un sincero agradecimiento al Dr. Diego Correa, Ph.D., por compartirnos su amplio conocimiento y experiencia, no solo durante el desarrollo de esta tesis, sino a lo largo de toda nuestra formación universitaria. Su sabiduría, apoyo constante y calidad humana han sido fundamentales en nuestro crecimiento académico y personal.

Finalmente, agradecemos a nuestros compañeros y amigos por su apoyo, motivación y por acompañarnos en este camino de esfuerzo, aprendizaje y crecimiento.

RESUMEN

La presente investigación evalúa las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas a los patrones de movilidad de estudiantes, docentes y personal administrativo de la Universidad del Azuay durante el periodo 2023–2024. Se aplicó una encuesta institucional para recopilar información sobre el origen del viaje, la frecuencia de desplazamiento y el modo de transporte. Con base en las coordenadas geográficas procesadas en Google Colab y utilizando la API de Google Routes, se estimaron las distancias hogar–campus y las emisiones directas de CO₂ conforme al enfoque *Tank-to-Wheel* (TTW). Los resultados muestran que el automóvil particular y el bus urbano concentran la mayor proporción de emisiones dentro de la comunidad universitaria. Este estudio aporta una línea base útil para orientar estrategias institucionales de movilidad sostenible y reducción de la huella de carbono en el campus.

PALABRAS CLAVE

Movilidad sostenible; Emisiones de CO₂; Huella de carbono; Transporte universitario; Universidad del Azuay.

ABSTRACT

This research evaluates the carbon dioxide (CO₂) emissions associated with the mobility patterns of students, faculty, and administrative staff at the Universidad del Azuay during the 2023–2024 academic period. An institutional survey was applied to collect information on trip origin, travel frequency, and mode of transportation. Based on geographic coordinates processed in Google Colab and using the Google Routes API, home–campus distances and direct CO₂ emissions were estimated according to the *Tank-to-Wheel* (TTW) approach. The results show that private cars and urban buses account for the highest proportion of emissions within the university community. This study provides a useful baseline to guide institutional strategies for sustainable mobility and the reduction of the carbon footprint on campus.

KEYWORDS

Sustainable mobility; CO₂ emissions; Carbon footprint; University transport; Azuay University.

CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN.....	IV
PALABRAS CLAVE.....	IV
ABSTRACT	V
KEYWORDS.....	V
INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMÁTICA	5
JUSTIFICACIÓN.....	7
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
1.1 DEFINICIÓN DEL PÚBLICO OBJETIVO Y DELIMITACIÓN DEL PERÍODO DE ESTUDIO	9
1.2 APLICACIÓN DE LA ENCUESTA INSTITUCIONAL	10
1.3 OBTENCIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS.....	11
1.3.1 FUENTE DE COORDENADAS.....	11
1.3.2 ESTANDARIZACIÓN DEL FORMATO GEOGRÁFICO	12
1.4 DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS.....	12
1.4.1 PROCEDIMIENTO GENERAL	12
1.4.2 JUSTIFICACIÓN DEL CRITERIO DE EXCLUSIÓN POR DISTANCIA.....	13
1.5 DISTANCIA MANHATTAN	14
1.6 GOOGLE ROUTES API DE GOOGLE MAPS	14
1.7 ANÁLISIS DE FUENTES PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN DE CO ₂ POR MODO DE TRANSPORTE.....	15
1.8 CONSOLIDACIÓN EN BASE DE DATOS	16
1.9 METODOLOGÍA	18
CAPÍTULO 2: RESULTADOS.....	20
2.1 DEFINICIÓN DEL PÚBLICO OBJETIVO Y DELIMITACIÓN DEL PERÍODO DE ESTUDIO	20

2.2	APLICACIÓN DE LA ENCUESTA INSTITUCIONAL	22
2.2.1	BASE DEPURADA CON EL MÉTODO MANHATTAN	22
2.2.2	BASE DEPURADA CON LA API DE GOOGLE ROUTES	23
2.3	OBTENCIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS.....	24
2.4	DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS.....	25
2.5	EMISIONES DE CO ₂ POR TIPO DE TRANSPORTE	27
2.6	COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES ENTRE ESTUDIANTES Y PERSONAL ADMINISTRATIVO	31
2.7	EMISIONES TOTALES SEMANALES Y PORCENTAJE DE CONTRIBUCION DE CO ₂ POR GRUPO DE LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA	32
2.8	COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO ₂ SEGÚN EL MEDIO DE TRANSPORTE	33
2.9	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	35
2.10	CONCLUSIONES	37
	REFERENCIAS.....	38
	ANEXOS.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fases y criterios de depuración aplicados para la estimación de distancias (Manhattan vs. Google Routes)	13
Tabla 2: Composición de la población universitaria analizada por grupo de participantes.	20
Tabla 3: Frecuencia de desplazamiento diario (base Manhattan depurada)	22
Tabla 4: Distancia promedio calculada (base Manhattan depurada)	23
Tabla 5: Frecuencia de desplazamiento diario (base API de Google Routes depurada)	23
Tabla 6: Distancia promedio calculada (base API de Google Routes depurada)	24
Tabla 7: Coordenadas válidas por base de trabajo.....	25
Tabla 8: Parámetros geográficos utilizados	25
Tabla 9: Emisiones de Co2 por tipo de transporte.	28
Tabla 10: Emisión total semanal de CO ₂ por tipo de transporte de estudiantes.	29
Tabla 11: Emisión total semanal de CO ₂ por tipo de transporte de personal administrativo.	30
Tabla 12: Emisiones totales de CO ₂ generadas por estudiantes y personal administrativo de la Universidad del Azuay.....	31
Tabla 13: Emisiones totales semanales y porcentaje de contribución de Co2 por grupo de la comunidad universitaria.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.....	5
Fig. 2.....	21
Fig. 3.....	29
Fig. 4.....	30
Fig. 5.....	31
Fig. 6.....	33
Fig. 7.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Preguntas realizadas en la encuesta.....	41
Anexo 2: Código distancia Manhattan.....	42
Anexo 3: Código distancia Google Routes.	43

INTRODUCCIÓN

El transporte es un impulsor clave del forzamiento climático: en 2019 emitió ~8,9 GtCO₂e y fue el cuarto sector emisor, equivalente a ~15% de los GEI y ~23% del CO₂ energético (IPCC, 2022; IEA, 2020–2024). En 2023, las emisiones energéticas globales crecieron 1,1% hasta 37,4 Gt, lo que evidencia la persistente dependencia del transporte de combustibles fósiles (IEA, 2024). Estas tendencias tensionan los presupuestos de carbono compatibles con 1,5–2 °C y obligan a cuantificar con rigor las fuentes difusas, como la movilidad cotidiana (IPCC, 2022; IEA, 2024).

En ese marco, el transporte ha mostrado una de las tasas de crecimiento más rápidas de GEI en 2010–2019 (~1,8% anual), impulsado por el uso intensivo de vehículos privados y la recuperación de la aviación, acercándose a ~8 GtCO₂ en 2022 (IPCC, 2022; IEA, 2023). Este aumento dificulta que las mejoras de eficiencia compensen la expansión de la demanda, subrayando la necesidad de intervenciones sobre los patrones de viaje cotidianos y las decisiones modales (IPCC, 2022; IEA, 2023).

Dentro de las instituciones de educación superior, los desplazamientos de estudiantes y personal constituyen una fracción sustantiva de la huella institucional; en la USC representaron ~7% del total (Winterfeldt, 2024). La predominancia del auto unipersonal, junto con restricciones percibidas de seguridad, tiempo y conveniencia, sostiene emisiones elevadas pese a la existencia de planes de movilidad (Roknaldin, 2025). Por ello, han emergido flujos metodológicos específicos para contabilizar y reducir las emisiones del “corporate commuting” en entornos universitarios (Winterfeldt, 2024; Roknaldin, 2025; Jiang & Kurnitski, 2024).

De manera consistente, estos estudios convergen en que la estimación robusta requiere: a) datos de actividad (distancia, frecuencia, ocupación) a partir de georreferencias

domiciliarias; b) una selección justificada de métricas de distancia (línea recta/Euclíadiana, Haversine, Manhattan o red vial) según su validez morfológica; c) factores de emisión específicos por modo —incluida la electricidad ($\text{kWh}\cdot\text{km}^{-1} \times$ factor de la red)—; y d) tratamiento explícito de incertidumbre y sensibilidad (IPCC, 2022). Marcos recientes integran encuestas, SIG/redes (OSM/GTFS) y escenarios de mitigación para “corporate commuting” universitario (Jiang & Kurnitski, 2024) (IPCC, 2022; Jiang & Kurnitski, 2024).

En este contexto, la huella de carbono de los desplazamientos se define como el total de GEI emitidos, expresados en CO₂e, asociados a los viajes entre hogar y campus. Es imprescindible fijar límites del sistema (p. ej., solo operación o ciclo de vida) y una unidad funcional adecuada, como gCO₂e·persona·km, para habilitar comparaciones entre modos y escenarios (IPCC, 2022; GHG Protocol, 2013). En ámbitos universitarios, estas decisiones determinan la inclusión de rutas, ocupación y estacionalidad, afectando la comparabilidad interanual y entre sedes (Jiang & Kurnitski, 2024).

La contabilidad puede abordarse en distintos alcances: tank-to-wheel (TTW) capta las emisiones por combustión/uso; well-to-tank (WTT) incorpora producción y distribución del energético; well-to-wheel (WTW) suma ambos; mientras que la evaluación de ciclo de vida (LCA) añade fabricación y fin de vida del vehículo e infraestructura (Wang, 2005; Bieker, 2021; O’Connell et al., 2023). La elección (TTW/WTW/LCA) modifica la intensidad de emisiones de BEV y biocombustibles, al depender de la mezcla eléctrica y de posibles cambios indirectos en el uso del suelo (ICCT, 2025).

Para un enfoque operativo TTW, se utiliza la ecuación $E = \sum m_{dm} \times F_{Em} = \sum d_{dm} \times F_{Em}$, donde d_{dm} es la distancia (persona·km o vehículo·km) y F_{Em} el factor de emisión del modo m (GHG Protocol, 2013). Los ajustes por ocupación convierten v·km a p·km y evitan sobreestimar autos unipersonales

o subestimar buses con alta carga (IPCC, 2022). La incertidumbre se propaga desde dmd_mdm (elección de métrica) y FEmFE_mFEm (fuente, año base, mezcla eléctrica), por lo que se recomiendan análisis de sensibilidad (Jiang & Kurnitski, 2024).

La forma de medir la actividad varía por flota: en transporte público se recomienda trabajar en p·km, dado que el consumo se reparte según la ocupación observada; en auto/moto suele modelarse en v·km y luego transformarse a p·km con la tasa de ocupación (GHG Protocol, 2013; IPCC, 2022). Para caminar se asume ≈ 0 en TTW, mientras que la bicicleta eléctrica requiere WTW por el uso de electricidad y mantenimiento (ICCT, 2021). Estas distinciones son cruciales para metas de mitigación realistas en campus (von Winterfeldt et al., 2024).

Los factores de emisión (FE) deben provenir de repositorios trazables y actualizados: DESNZ/DEFRA (Reino Unido), EEA/EMEP (UE), EPA (EE. UU.) y directrices IPCC (DESNZ, 2024; EEA, 2024; EPA, 2023; IPCC, 2022). Para combustibles fósiles, EMEP/EEA reporta FE por kg de combustible (diésel, gasolina, GLP, gas) y métodos por nivel (Tier) (EEA, 2024). Para electricidad, el FE depende de la intensidad de la red y puede variar estacionalmente, por lo que conviene emplear datos locales (ICCT, 2021).

Además de los FE, resultan críticos la distancia, la frecuencia semanal, la estacionalidad (semestres, exámenes), el modo y la ocupación (carpooling/carga de buses). El GHG Protocol (Categoría 7: commuting) ofrece fórmulas basadas en distancia y pautas de muestreo útiles cuando no existen censos completos (GHG Protocol, 2013). La evidencia en campus confirma una notable heterogeneidad modal y temporal que incide en los inventarios y en la evaluación de escenarios (von Winterfeldt et al., 2024; Roknaldin, 2025).

Por último, la selección de métricas de distancia incide directamente en la cuantificación. La distancia euclíadiana subestima las rutas reales; Haversine modela arcos

sobre una esfera; Manhattan (L1) aproxima mallas ortogonales; y la geodésica elipsoidal mejora la precisión a escalas grandes (Sinnott, 1984; Karney, 2013). Su validez depende de la morfología urbana y la conectividad vial, por lo que, cuando sea posible, deben validarse frente a la distancia de red (OSM/GTFS) (Jiang & Kurnitski, 2024).

En la práctica, Haversine y Manhattan ofrecen formulaciones cerradas y bajo costo computacional, pero difieren en su sesgo según la trama urbana y las barreras geográficas; la geodésica elipsoidal reduce errores sistemáticos en regiones extensas (Sinnott, 1984; Karney, 2013). En consecuencia, la selección debe equilibrar precisión y costo y reportar la sensibilidad del inventario a la métrica elegida (p. ej., $\pm x\%$ en CO₂e) (Jiang & Kurnitski, 2024).

Con este sustrato metodológico, la literatura muestra que los traslados pueden representar una fracción relevante de las emisiones institucionales y que medidas de gestión de la demanda (tarifas de estacionamiento, TDM, bicicletas eléctricas, teletrabajo) reducen p·km y reconfiguran la mezcla modal (von Winterfeldt et al., 2024; Roknaldin, 2025). Los rangos de intensidad por persona dependen de la ocupación, la accesibilidad al transporte público (TPr) y la disponibilidad de infraestructura activa (IPCC, 2022).

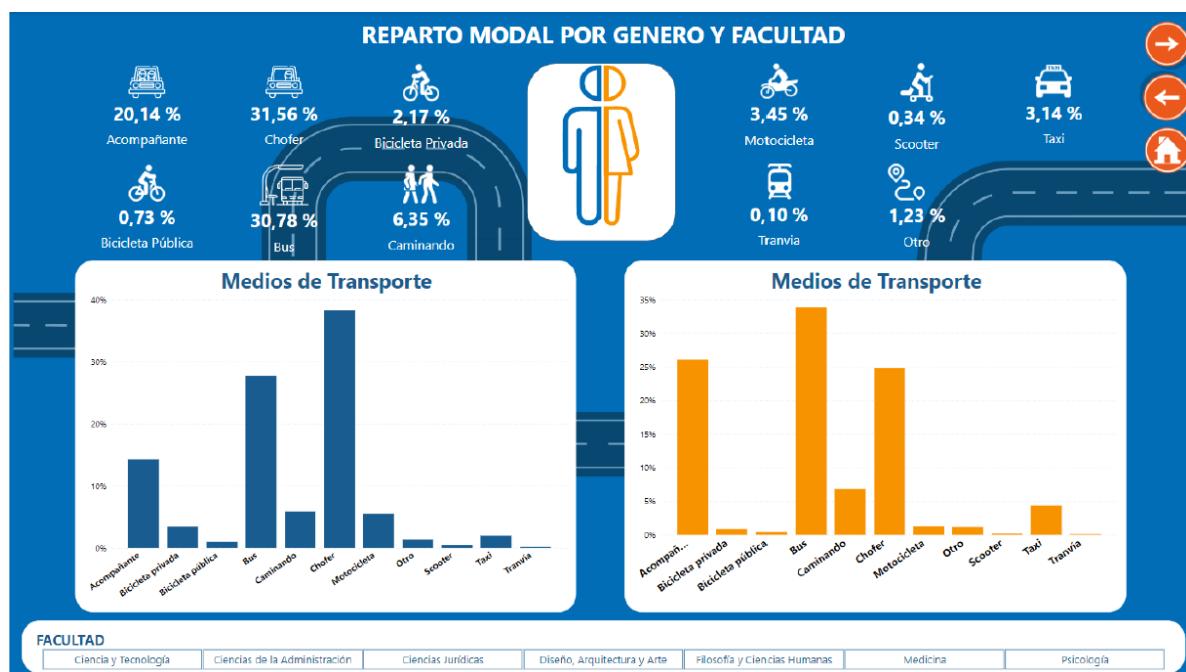
En este sentido los inventarios resultan especialmente sensibles a: (i) los factores eléctricos locales (WTW), (ii) la ocupación real, (iii) la métrica de distancia y (iv) la estacionalidad académica. Los rangos típicos por persona-día varían ampliamente entre campus orientados al automóvil y aquellos con TPr robusto y modos activos, lo que refuerza la necesidad de datos locales y de construir escenarios replicables de mitigación (ICCT, 2021; DESNZ, 2024; von Winterfeldt et al., 2024).

PROBLEMÁTICA

En la Universidad del Azuay, la alta demanda de vehículos particulares, especialmente durante las horas pico, representó un desafío en términos de movilidad y sostenibilidad. Los patrones de movilidad dentro del campus se reflejaron en datos obtenidos de estudios previos, los cuales detallaron los medios de transporte utilizados por la comunidad universitaria.

Fig. 1

Hoja de dashboard del reparto modal por género y facultad de los estudiantes



Nota: Hoja de dashboard del reparto modal por género y facultad de los estudiantes (López et al., 2024)

Según los resultados obtenidos, se observó que el uso de vehículos privados y del transporte público fueron las opciones predominantes, con el bus representando el 30,78% y el automóvil privado el 31,56%. Por otro lado, las opciones más sostenibles, como la bicicleta y el caminar, mostraron una representación mucho menor, con solo un 6,35% de estudiantes que eligieron caminar y un 2,17% que utilizaron bicicletas. Estos datos evidenciaron la prevalencia del transporte privado y público, lo que contribuyó considerablemente a la congestión vehicular y al aumento de las emisiones de CO₂.

Estudios realizados en otras universidades, como la Universidad de La Laguna, demostraron que el 70% de las emisiones de CO₂ provenían de los desplazamientos del alumnado en coche hacia sus campus. Este fenómeno no solo incrementó los tiempos de viaje, sino que también tuvo un impacto directo en el medio ambiente, ya que el uso masivo de vehículos particulares produjo grandes cantidades de emisiones de CO₂, uno de los principales gases de efecto invernadero responsables del cambio climático.

Si bien la Universidad del Azuay implementó iniciativas para promover la movilidad sostenible, como el proyecto “A la U en bici”, que fomentó el uso de bicicletas eléctricas, el predominio del transporte propio continuó siendo significativo. La falta de datos precisos sobre las emisiones de CO₂ generadas por estos patrones de movilidad dificultó la toma de decisiones basadas en evidencia y la implementación de estrategias efectivas para reducir la huella de carbono institucional. Por ello, se consideró necesario realizar una evaluación detallada de las emisiones de CO₂ derivadas de los desplazamientos hacia el campus, con el fin de aportar información técnica que apoye la gestión ambiental universitaria.

JUSTIFICACIÓN

El transporte constituyó una necesidad diaria para la comunidad universitaria; sin embargo, su uso excesivo, especialmente de los vehículos privados, se convirtió en una de las principales fuentes de contaminación ambiental. Las emisiones de dióxido de carbono CO₂ derivadas de este tipo de transporte deterioraron la calidad del aire, aceleraron el cambio climático y afectaron la salud pública.

La Universidad del Azuay, como institución de educación superior, concentró una gran cantidad de desplazamientos diarios de estudiantes, docentes y personal administrativo, lo que generó un impacto ambiental considerable. Este estudio abordó esa problemática al evaluar las emisiones de CO₂ generadas por los patrones de movilidad de la comunidad universitaria y su contribución a la huella de carbono total.

Disponer de esta información permitió identificar los modos de transporte más contaminantes y proponer alternativas sostenibles, como el uso de la bicicleta, el transporte público o los medios no motorizados. Además, los resultados sirvieron como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones institucionales orientadas hacia una movilidad más responsable, contribuyendo a la reducción de emisiones y al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad ambiental de la universidad.

OBJETIVO GENERAL

Cuantificar la emisión de CO₂ generado por la comunidad universitaria de la Universidad del Azuay en sus traslados hacia la universidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una metodología para calcular la distancia Manhattan entre múltiples puntos geográficos y el campus central de la Universidad del Azuay.
- Establecer los modos de transporte que generan una emisión de CO₂.
- Calcular la cantidad de CO₂ emitida, por los diferentes modos de transporte, considerando tipo de vehículo, kilómetros recorridos y factor de emisiones de cada modo de transporte

CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 DEFINICIÓN DEL PÚBLICO OBJETIVO Y DELIMITACIÓN DEL PERÍODO DE ESTUDIO

La definición del público objetivo constituye una etapa fundamental dentro del proceso metodológico, ya que permite establecer con claridad el universo de estudio y las unidades de análisis pertinentes para alcanzar los objetivos de la investigación. Según (Hernández-Sampieri et al., 2014), la correcta delimitación de la población evita sesgos de selección y garantiza que los hallazgos sean válidos y consistentes con el fenómeno investigado. En el mismo sentido (Babbie, 2021), sostiene que identificar adecuadamente a los participantes permite establecer criterios operativos y facilitar el diseño de procedimientos sistemáticos para la recolección y análisis de datos.

En esta investigación se trabajó bajo un enfoque censal, debido a que se consideró a la totalidad de los integrantes de la comunidad universitaria de la Universidad del Azuay que registraron información de movilidad mediante la Encuesta Institucional de Movilidad. La población estuvo conformada por tres grupos claramente definidos: estudiantes matriculados, docentes activos y personal administrativo que realiza actividades presenciales en el campus. Este enfoque resulta pertinente cuando el tamaño de la población permite su procesamiento completo sin necesidad de aplicar técnicas de muestreo, lo que favorece la precisión y confiabilidad de los datos (Tamayo, 2011).

El período académico 2023–2024 fue seleccionado como referencia temporal para el desarrollo del estudio debido a que constituye la base de datos institucional más reciente y completa disponible para la investigación. Además, este período ha sido empleado en trabajos académicos anteriores relacionados con movilidad universitaria y sostenibilidad en

la Universidad del Azuay, lo cual fortalece la comparabilidad metodológica y asegura coherencia longitudinal dentro de esta línea investigativa. De acuerdo con (Hernández-Sampieri et al., 2014), la delimitación temporal debe justificarse en función de la pertinencia de los datos, mientras que (Babbie, 2021) enfatiza que el uso de series temporales consistentes contribuye a la continuidad científica y facilita la replicabilidad de estudios.

Las fuentes de información utilizadas para definir la población de estudio fueron exclusivamente institucionales, lo que garantiza la fiabilidad de los registros y su validez metodológica. Esta delimitación constituyó la base para las fases posteriores de procesamiento estadístico, análisis de movilidad y estimación de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

1.2 APLICACIÓN DE LA ENCUESTA INSTITUCIONAL

La recolección de datos constituyó una etapa fundamental dentro del enfoque cuantitativo, ya que permite obtener información estructurada y verificable sobre el fenómeno de estudio (Hernández-Sampieri et al., 2014). En esta investigación se empleó como instrumento principal la Encuesta Institucional de Movilidad de la Universidad del Azuay, aplicada durante el período académico 2023–2024 a estudiantes, docentes y personal administrativo de la institución.

La encuesta formó parte del proceso de preinscripción académica, lo que garantizó una amplia cobertura de la comunidad universitaria y redujo los posibles sesgos de participación (Babbie, 2021). El levantamiento de la información se realizó mediante un formulario digital alojado en la plataforma oficial Intranet UDA, lo que facilitó el acceso universal y permitió un proceso de recopilación ágil, controlado y automatizado (Arias, 2012).

El instrumento estuvo conformado por preguntas cerradas y semiestructuradas, orientadas a identificar la frecuencia de desplazamiento, los modos de transporte empleados y la disposición a adoptar alternativas sostenibles de movilidad. La estructura completa del cuestionario institucional se presenta en el Anexo 1, respetando su formato y redacción original.

1.3 OBTENCIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS

La obtención de coordenadas correspondió a la fase metodológica orientada a identificar, validar y estandarizar la ubicación geográfica del punto de origen declarado por cada integrante de la comunidad universitaria. Este proceso resultó indispensable para asegurar la consistencia espacial de la base de datos que se empleará posteriormente en el cálculo de distancias y en la estimación de emisiones de CO₂, en concordancia con los objetivos y alcances ya establecidos en la sección metodológica previa.

1.3.1 FUENTE DE COORDENADAS

Las coordenadas geográficas (latitud y longitud) del punto de origen se obtuvieron directamente de la Encuesta Institucional de Movilidad 2023–2024 de la Universidad del Azuay, donde cada participante reportó su lugar habitual de residencia o punto de partida. El uso de esta fuente institucional permitió garantizar uniformidad de criterios y evitó procesos de geocodificación manual susceptibles de introducir errores.

Adicionalmente, se definió una coordenada de destino fija correspondiente al campus central de la Universidad del Azuay, utilizada de forma homogénea en todos los cálculos: Latitud –2,918554; Longitud –79,001596 (WGS 84). Esta ubicación se obtuvo mediante Google Earth, constituyéndose en la variable espacial de referencia para la estimación subsecuente de distancias.

1.3.2 ESTANDARIZACIÓN DEL FORMATO GEOGRÁFICO

Todas las coordenadas se trabajaron en grados decimales (Decimal Degrees, DD) bajo el sistema de referencia geodésico WGS 84 (EPSG:4326), estándar internacional para estudios geográficos y análisis espacial. Sobre el conjunto de datos se efectuaron verificaciones de control para asegurar:

- uso correcto del separador decimal
- asignación adecuada al hemisferio sur (latitudes negativas)
- asignación adecuada al hemisferio occidental (longitudes negativas)
- coherencia con la localización geográfica del Ecuador.

1.4 DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS

La depuración de la base de datos tuvo como finalidad garantizar la calidad metodológica de la información utilizada en las etapas posteriores del estudio, eliminando inconsistencias y registros que no cumplían con los criterios establecidos para el análisis. Este proceso se desarrolló de manera progresiva y sistemática, asegurando la trazabilidad y coherencia en la preparación de los datos (Hernández-Sampieri et al., 2014).

1.4.1 PROCEDIMIENTO GENERAL

La base inicial proveniente de la encuesta institucional fue sometida a controles de consistencia destinados a identificar y excluir registros que presentaban problemas estructurales o ausencia de información relevante para el estudio. Se aplicaron los siguientes criterios iniciales de depuración:

- Eliminación de registros duplicados.
- Exclusión de registros con coordenadas geográficas incompletas o inválidas.

- Eliminación de registros con información faltante en la variable *modo de transporte* (P7).
- Corrección de errores de formato en latitud y longitud, cuando fue posible.
- Identificación y exclusión de valores atípicos evidentes.

Esta primera depuración permitió consolidar una base preliminar depurada, apta para la aplicación de los métodos de cálculo de distancia definidos en las etapas siguientes.

Depuración asociada a los métodos de cálculo de distancia

Debido a que el estudio empleó dos métodos distintos para la estimación de distancias el método Manhattan y la API de Google Routes fue necesario aplicar dos fases de depuración consecutivas con el fin de garantizar la compatibilidad metodológica.

Etapa	Descripción	Método aplicado	Criterio utilizado
Depuración 1	Limpieza inicial posterior al cálculo preliminar de distancias.	Método Manhattan (Google Colab)	Exclusión de registros con distancias >150 km.
Depuración 2	Validación final posterior al cálculo de distancias definitivas.	API de Google Routes	Exclusión nuevamente de distancias >150 km.

Tabla 1: Fases y criterios de depuración aplicados para la estimación de distancias (Manhattan vs. Google Routes).

1.4.2 JUSTIFICACIÓN DEL CRITERIO DE EXCLUSIÓN POR DISTANCIA

El umbral de 150 km se estableció como límite máximo admisible de desplazamiento, considerando que el estudio se enfoca en la movilidad cotidiana hacia el campus universitario. Este valor representa la distancia máxima realista dentro del área de influencia institucional, correspondiente a desplazamientos desde cantones como Cañar, Azogues, Paute y Gualaceo hacia la ciudad de Cuenca.

Los registros que superaron dicho valor se clasificaron como inconsistentes, por corresponder a viajes no cotidianos o a errores en los datos, y fueron excluidos del análisis.

Esta decisión metodológica se sustenta en criterios de realismo operativo y coherencia con los principios de análisis de transporte urbano propuestos por (Todd Litman, 2025).

1.5 DISTANCIA MANHATTAN

La distancia Manhattan es una métrica utilizada para determinar la distancia entre dos puntos de una trayectoria en forma de cuadrícula. A diferencia de la distancia euclíadiana, que mide la línea más corta posible entre dos puntos, la distancia de Manhattan mide la suma de las diferencias absolutas entre las coordenadas de los puntos. Este método se denomina "distancia Manhattan" porque, como un taxi que circula por las calles cuadriculadas de Manhattan, debe recorrer las líneas de la cuadrícula. (Chugani, 2024)

El método Manhattan tiene en cuenta los patrones de carreteras y las barreras topográficas que pueden sesgar el método de distancia en línea recta. (Fletcher, 2003)

1.6 GOOGLE ROUTES API DE GOOGLE MAPS

La Google Routes API es un servicio de la plataforma Google Maps Platform que permite calcular rutas óptimas, distancias y tiempos de desplazamiento entre uno o varios puntos geográficos. Esta herramienta utiliza información cartográfica y datos de tráfico en tiempo real para ofrecer recorridos precisos según el modo de transporte seleccionado, como automóvil o bicicleta.

Según la documentación oficial de Google (Descripción general de Compute Routes | Routes API | Google for Developers, s/f), la Routes API combina las funcionalidades tradicionales de las APIs *Directions* y *Distance Matrix* en una interfaz más eficiente, permitiendo integrar fácilmente los cálculos de rutas en aplicaciones, modelos de transporte o proyectos de investigación que requieren estimaciones espaciales precisas.

1.7 ANÁLISIS DE FUENTES PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ POR MODO DE TRANSPORTE

Para determinar los niveles de emisión de dióxido de carbono (CO₂) asociados a cada tipo de medio de transporte utilizado por los estudiantes de la Universidad del Azuay, fue necesario aplicar distintos métodos de obtención de datos, dependiendo de las características particulares de cada vehículo.

En primer lugar, para el modo de transporte en automóvil, se llevó a cabo un estudio en campo dentro de los dos parqueaderos de la Universidad del Azuay. En esta fase, se realizó una observación directa de los vehículos que ingresaban al campus con el objetivo de identificar el modelo de automóvil más frecuente entre los usuarios. Tras varias jornadas de observación, se determinó que el modelo Kia Picanto era el vehículo que presentaba mayor recurrencia. Una vez identificado el modelo representativo, se procedió a investigar las especificaciones técnicas del automóvil, especialmente su cilindraje, ya que este parámetro incide directamente en el nivel de emisiones del motor. Con esta información, se consultaron fuentes oficiales y bases de datos técnicas de fabricantes automotrices para determinar el factor de emisión promedio de CO₂ (g/km) correspondiente a dicho tipo de vehículo.

En el caso del modo de transporte en motocicleta, se siguió una metodología similar. Se realizó un levantamiento de información en campo, observando los distintos tipos y modelos de motocicletas presentes en los parqueaderos universitarios. Posteriormente, se identificó el cilindraje más común entre los usuarios, información que permitió seleccionar un modelo representativo. Con base en ello, se investigaron los niveles promedio de emisión de CO₂ asociados a motocicletas de dicho cilindraje, recurriendo a fuentes técnicas y estudios de emisiones vehiculares publicados en literatura especializada.

Para el modo de transporte en taxi, el procedimiento se basó en una investigación documental y observacional. Se analizaron los modelos y características técnicas más comunes de los taxis que operan en la ciudad de Cuenca. Con estos datos, se consultaron los factores de emisión promedio para vehículos de transporte público tipo taxi, tomando como referencia estudios realizados por entidades de control ambiental y datos de fabricantes automotrices.

Finalmente, para el modo de transporte en bus, el proceso fue una investigación rigurosa de los modelos de buses que operan en el sistema de transporte urbano de Cuenca. Se recopilaron datos sobre los principales modelos de buses utilizados, sus características técnicas (tipo de motor, capacidad, consumo de combustible y norma Euro aplicable) y sus respectivos factores de emisión. Esta información se obtuvo mediante la revisión de fuentes oficiales, estudios previos sobre emisiones del transporte público en Ecuador. Con esta información fue posible determinar un valor representativo del factor de emisión de CO₂ para el transporte en bus, el cual se empleó en los cálculos posteriores de emisiones.

1.8 CONSOLIDACIÓN EN BASE DE DATOS

Durante el procesamiento de la información obtenida en la hoja de cálculo, fue necesario realizar un proceso de depuración y validación de datos con el fin de garantizar la coherencia y confiabilidad de los resultados del estudio. En esta etapa, se revisaron minuciosamente todas las distancias registradas por los estudiantes según su modo de transporte y punto de partida.

En primer lugar, se descartaron los registros que presentaban distancias anómalas o poco realistas, especialmente aquellas que superan los 150 kilómetros en un solo trayecto (ida y vuelta). Este tipo de valores se consideró inconsistente con la realidad del

desplazamiento diario de los estudiantes o personal administrativo, ya que resultaría poco probable que se recorra una distancia tan extensa en un solo día. Por lo tanto, dichos datos fueron eliminados del análisis para evitar sesgos o alteraciones en el cálculo de las emisiones totales.

Asimismo, se aplicó un filtro por tipo de medio de transporte, con el propósito de concentrar el estudio únicamente en los modos de movilidad que generan emisiones directas de dióxido de carbono (CO_2). En este sentido, se excluyeron de la base de datos los registros correspondientes a modos de transporte no motorizados, como caminar, bicicleta y scooter eléctrico, ya que estos no producen emisiones directas de gases de efecto invernadero durante su uso. La eliminación de estos datos permitió centrar el análisis en los modos de transporte motorizados (automóvil, motocicleta, taxi y bus), que representan las principales fuentes de emisiones dentro del ámbito de estudio.

Este proceso de depuración fue esencial para asegurar la validez y consistencia del conjunto de datos, eliminando valores atípicos o no representativos. De esta manera, los cálculos posteriores de emisiones de CO_2 se realizaron sobre una base de datos precisa, confiable y acorde con los objetivos del estudio.

1.9 METODOLOGÍA

La encuesta se llevó a cabo durante el periodo 2023-2024 y recopiló información relevante de los estudiantes, como la facultad y escuela a la que pertenecen, así como el punto de partida de sus desplazamientos, representado mediante coordenadas de latitud y longitud. Estas coordenadas se obtuvieron gracias a la tecnología GPS, la cual funciona a través de una red de satélites que envían señales a los dispositivos receptores, permitiendo calcular de manera precisa la ubicación geográfica de cada estudiante.

Además, la encuesta incluyó la frecuencia con la que los estudiantes asistían a la universidad. Este dato fue indispensable para la aplicación de la metodología de cálculo, ya que, por ejemplo, si un estudiante acudía una vez al día, se consideraba el recorrido de ida y vuelta (multiplicando por dos). En el caso de quienes asistían dos veces, se multiplicaba por cuatro, y así sucesivamente.

De igual manera, se registró el medio de transporte utilizado por cada estudiante, entre los cuales se contemplaron: automóvil como conductor, automóvil como acompañante, bus, motocicleta, scooter y taxi.

Para esta investigación se evaluaron distintos métodos para calcular la distancia entre los puntos de origen y destino de los desplazamientos:

Distancia Manhattan se caracteriza por sumar las diferencias absolutas entre las coordenadas de latitud y longitud. Su utilidad radica en que aproxima los recorridos en forma de cuadrícula, lo que puede resultar adecuado en ciudades con calles rectas y paralelas. No obstante, este método no refleja con exactitud las rutas reales utilizadas por los estudiantes, ya que ignora los condicionantes del entorno vial, como intersecciones, giros, pendientes o caminos restringidos (Shahid et al., 2009).

Distancia calculada con la API de Google Maps: este método, implementado mediante la Google Routes API, integra información actualizada de la red vial y permite estimar la distancia y el tiempo de recorrido considerando factores reales de movilidad. La herramienta incorpora datos sobre intersecciones, sentido de circulación, clasificación de vías, tráfico en tiempo real o histórico, peajes y modos de transporte específicos (Yamasaki, 2022). Esto posibilita obtener trayectorias más cercanas a las que los estudiantes efectivamente utilizan en sus desplazamientos cotidianos.

Con base en estas consideraciones, se decidió utilizar la API de Google Maps como fuente principal para el cálculo de distancias. Esta elección responde a la necesidad de obtener resultados más precisos y representativos de la movilidad universitaria, ya que la herramienta incorpora variables de infraestructura vial y condiciones reales de tráfico, garantizando estimaciones más confiables para el cálculo de emisiones de CO₂ en la Universidad del Azuay.

CAPÍTULO 2: RESULTADOS

2.1 DEFINICIÓN DEL PÚBLICO OBJETIVO Y DELIMITACIÓN DEL PERÍODO DE ESTUDIO

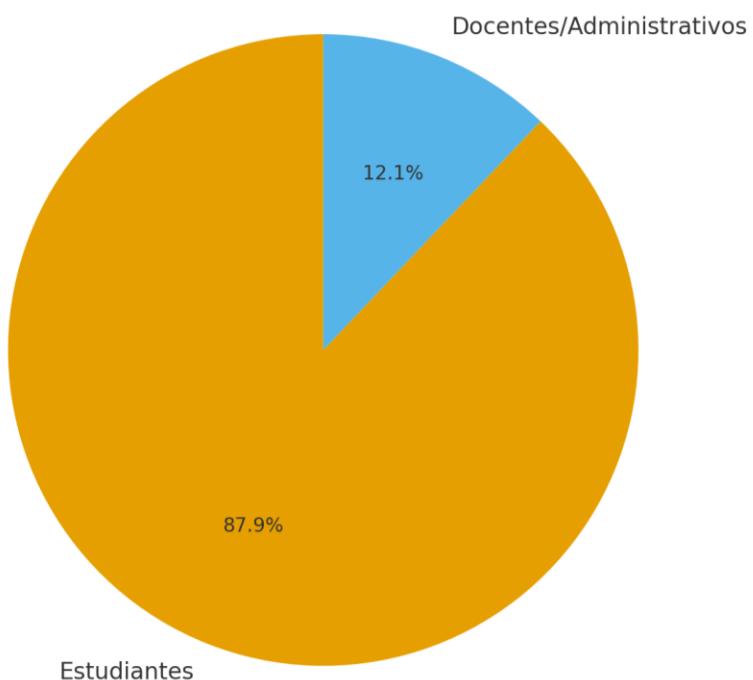
En correspondencia con lo establecido en el Punto 1 de Materiales y Métodos, se consideró como población de estudio a la comunidad universitaria de la Universidad del Azuay durante el período académico 2023–2024. Para esta fase se trabajó con la base de datos original proveniente de la Encuesta Institucional de Movilidad, sin aplicar aún procesos de depuración ni filtros metodológicos, con el fin de presentar la línea base de análisis utilizada en el estudio. Muestra la composición total de registros recopilados, conformados por estudiantes, docentes y personal administrativo.

Grupo	Total	%
Estudiantes	4,399	87,9%
Docentes/Administrativos	606	12,1%
Total	5,005	100%

Tabla 2: Composición de la población universitaria analizada por grupo de participantes.

Fig. 2

Participación relativa de estudiantes y docentes/administrativos (base inicial)



Nota: Fuente propia.

Como se observa en el gráfico, la población estudiantil constituye el grupo mayoritario, representando el 87.9% del total, mientras que los docentes y administrativos corresponden al 12.1%. Esta distribución refleja la estructura real de la comunidad universitaria y confirma que los estudiantes generan la mayor demanda de movilidad, aspecto que será relevante en los análisis posteriores. A partir de esta base inicial se desarrollan las siguientes etapas metodológicas, cuyos resultados se presentan a continuación siguiendo el orden establecido en el capítulo de Materiales y Métodos.

2.2 APLICACIÓN DE LA ENCUESTA INSTITUCIONAL

En correspondencia con lo descrito en el apartado “Aplicación de la encuesta institucional” de la sección Materiales y Métodos, la encuesta institucional aplicada a la comunidad universitaria permitió obtener los registros necesarios para el análisis de movilidad. Para garantizar la calidad de la información utilizada, fue necesario realizar dos procesos de depuración consecutivos: el primero correspondiente a la base trabajada con el método de Distancia Manhattan y el segundo asociado a la base procesada con la API de Google Routes. En ambos casos se eliminaron registros con información incompleta, incoherente o con distancias mayores a 150 km, criterio establecido metodológicamente para asegurar la coherencia territorial del estudio. A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras cada depuración.

2.2.1 BASE DEPURADA CON EL MÉTODO MANHATTAN

La primera depuración permitió consolidar un total de 3 834 estudiantes y 490 docentes/administrativos con información válida para el análisis.

Frecuencia	Conteo Estudiantes (N = 3 834)	% Estudiantes	Conteo Docentes/Adm. (N = 490)	% Docentes/A dm.
1 vez al día	1 183	30,8 %	159	32,4 %
2 veces al día	1 683	43,9 %	230	46,9 %
Más de 2 veces al día	968	25,3 %	101	20,7 %
Total	3 834	100%	490	100%

Tabla 3: Frecuencia de desplazamiento diario (base Manhattan depurada)

Los resultados muestran que en ambos grupos el patrón predominante de desplazamiento es de dos viajes diarios (ida y vuelta al campus universitario), representando el comportamiento modal más común de la comunidad académica.

Métrica	Estudiantes (N = 3 834)	Docentes/Administrativos (N = 490)
Distancia promedio – Método Manhattan	14,148 km	6,682 km

Tabla 4: Distancia promedio calculada (base Manhattan depurada)

La distancia promedio recorrida es mayor en el grupo de estudiantes debido a su dispersión geográfica en parroquias rurales y cantones cercanos, mientras que los docentes y administrativos residen mayoritariamente dentro del área urbana de Cuenca.

2.2.2 BASE DEPURADA CON LA API DE GOOGLE ROUTES

Posteriormente se trabajó con la base depurada tras el cálculo definitivo de distancias mediante la API de Google Routes. Luego de aplicar los mismos criterios de control (datos completos y distancias ≤ 150 km), quedaron 3754 estudiantes y 495 docentes/administrativos.

Frecuencia	Estudiantes (N = 3 754)	Conteo		Docentes/Adm.	%
		Estudiantes	Docentes/Adm.		
1 vez al día	1 168	31,1 %	159	32,1 %	
2 veces al día	1 645	43,8 %	231	46,7 %	
Total	3 754	100%	495		100%

Tabla 5: Frecuencia de desplazamiento diario (base API de Google Routes depurada)

Los resultados confirman el mismo patrón modal identificado previamente con el método Manhattan, conservando la tendencia de desplazamiento bidireccional diario en la mayoría de la población analizada.

Métrica	Estudiantes (N = 3 754)	Docentes/Administrativos (N = 495)
Distancia promedio – API de Google Routes	12,821 km	7,891 km

Tabla 6: Distancia promedio calculada (base API de Google Routes depurada)

En comparación con el método Manhattan, el uso de la API de Google Routes permitió obtener valores de distancia más precisos al considerar la red vial real y las condiciones actualizadas del tráfico, lo que explica la ligera variación respecto a los promedios iniciales. Esta ventaja metodológica se sustenta en estudios que muestran la viabilidad de estimar distancias y tiempos de viaje mediante servicios de ruteo que operan sobre la red vial y el tráfico actualizados, como la API de Google (Wang & Xu, 2011). Asimismo, la documentación oficial de Google Routes API indica que el servicio calcula rutas considerando condiciones de la vía en tiempo real (tráfico, sentidos de circulación, cierres, peajes) y devuelve métricas de distancia y duración —incluida la duración en tráfico—, lo que respalda su idoneidad para estimaciones operativas basadas en trayectos reales (Google Maps Platform, 2025)

2.3 OBTENCIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS

En concordancia con el punto de Materiales y Métodos, se consolidaron las coordenadas de origen reportadas por la comunidad universitaria y se fijó como destino único el campus de la Universidad del Azuay (Lat. -2,918554; Long. -79,001596). Todas las coordenadas se trabajaron en grados decimales (WGS84 / EPSG:4326) y corresponden a registros válidos (sin vacíos, con formato correcto y dentro del ámbito territorial definido). Los orígenes se distribuyen principalmente en Cuenca y zonas aledañas, incluyendo desplazamientos desde cantones de la provincia del Cañar.

Grupo	Manhattan (≤ 150 km)	API de Google Routes (≤ 150 km)
Estudiantes	3 834	3 754
Docentes/Administrativos	490	495
Total	4 324	4 249

Tabla 7: Coordenadas válidas por base de trabajo

Elemento	Valor / Descripción
Sistema de referencia	WGS84 – EPSG:4326 (grados decimales)
Coordenada destino (campus UDA)	Lat. -2.918554; Long. -79.001596
Naturaleza de los orígenes	Domicilio/punto de partida reportado
Cobertura espacial de los orígenes	Cuenca y zonas aledañas; incluye cantones de Cañar
Criterios de validez espacial	Formato válido; en territorio; ≤ 150 km

Tabla 8: Parámetros geográficos utilizados

Con la obtención y validación de las coordenadas geográficas se consolidó la estructura espacial origen–destino del estudio, garantizando que cada registro corresponda a ubicaciones reales dentro del territorio analizado. Es importante aclarar que en esta etapa no se efectuaron aún cálculos de distancia ni emisiones, ya que el propósito fue exclusivamente georreferenciar la base de datos depurada. La consistencia observada entre la base trabajada con el método Manhattan y la obtenida con la API de Google Routes confirma la estabilidad espacial del conjunto de datos, lo que permite continuar con el proceso de análisis previo al cálculo definitivo de las emisiones de CO₂ en función de las distancias recorridas y el modo de transporte utilizado.

2.4 DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS

En esta fase se consolidó la base de datos definitiva, garantizando que los registros utilizados para el análisis cumplan con los criterios de consistencia establecidos metodológicamente. Luego de aplicar los filtros de limpieza, eliminación de valores inconsistentes y verificación de coordenadas geográficas válidas, se procedió a una

depuración progresiva mediante dos etapas: inicialmente con el método Manhattan y posteriormente con la API de Google Routes.

Como resultado de este proceso, de los 5 005 registros iniciales provenientes de la encuesta institucional, fueron validados para análisis final 3 754 registros de estudiantes y 495 registros de docentes/administrativos, correspondientes a la base depurada final obtenida mediante la API de Google Routes (≤ 150 km). Esta validación representa la población que será utilizada de manera oficial en las siguientes etapas de estimación de distancias recorridas y emisiones de CO₂.

La depuración final permitió asegurar que la investigación continúe únicamente con datos trazables, completos y espacialmente coherentes, fortaleciendo la confiabilidad del análisis y preservando la representatividad del estudio.

2.5 EMISIONES DE CO₂ POR TIPO DE TRANSPORTE

Para estimar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por los desplazamientos diarios de los miembros de la comunidad universitaria, se aplicó la siguiente ecuación (Vanessa et al., 2016)

Ecuación para el cálculo de emisiones de Co2

$$gCO_2\text{emitidos} = AD_i * EF_i$$

Donde:

gCO₂ = gramos de CO₂

AD = datos de actividad

EF = factor de emisión de CO₂

i = tipo de combustible o modo de transporte usado

Nota: (Vanessa et al., 2016)

Los cálculos de las emisiones se basaron en los factores de emisión específicos para cada medio de transporte. Estos factores fueron ajustados según el número promedio de pasajeros, siguiendo la metodología de estudios previos, lo que permitió determinar una base de cálculo coherente para la comunidad universitaria.

Medio de transporte	Factor de emisión (g/km*pas)	Ajuste por pasajeros	Fuente
Auto propio (conductor)	125	-	(Harvey & Crooks, 2024)
Auto acompañante	$125 / 2 = 62.5$	Se divide entre dos personas.	(Harvey & Crooks, 2024)
Taxi	$241.91 / 2 = 120.96$	Se divide entre dos personas.	(Parra, 2019)
Motocicleta	167	-	(Secretaría Distrital de Ambiente, 2017)
Bus urbano	$812 / 5 = 162.4$	La capacidad real de un bus urbano en Cuenca es de 90 pasajeros; sin embargo, para los cálculos se asumió un valor ocupacional de 5 personas.	(Cedeño Toala & Cruz Macías, 2024) (Municipalidad de Cuenca-PMEP, 2015) (Piedra, 2019)

Tabla 9: Emisiones de Co2 por tipo de transporte.

Se calcularon las emisiones promedio (por persona a la semana) y las emisiones totales (por grupo a la semana) para estudiantes y personal administrativo.

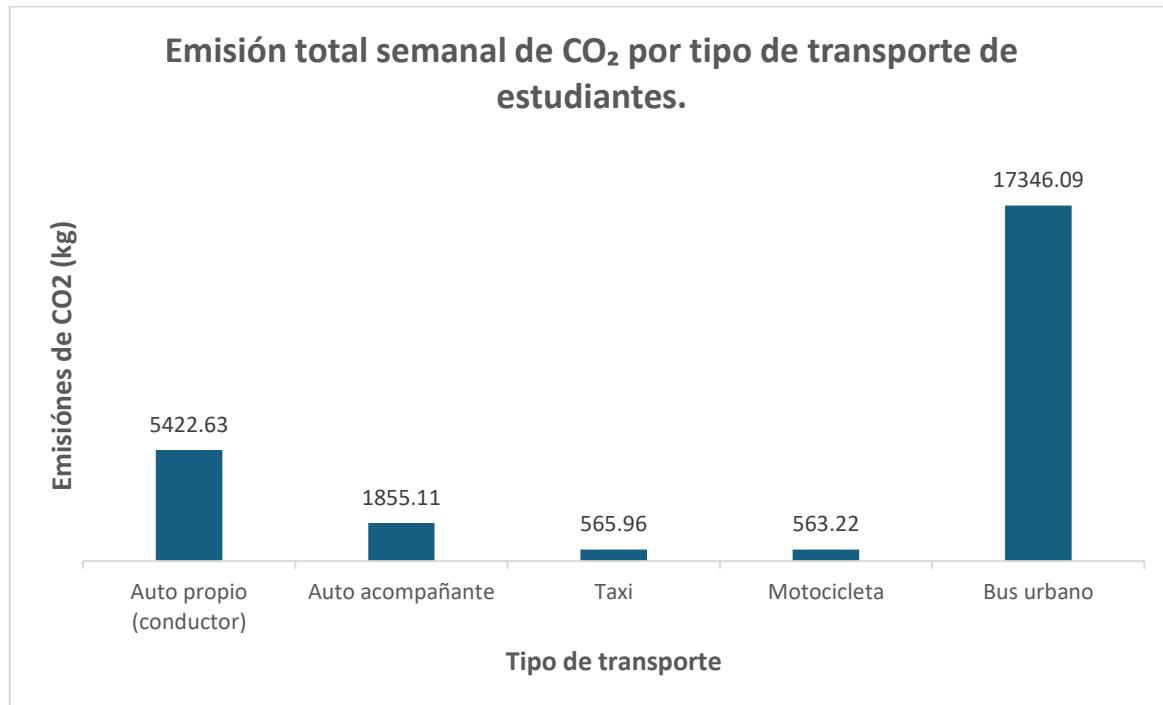
Estudiantes:

Medio de transporte	Emisión total (kg/semana)
Auto propio (conductor)	5422.63
Auto acompañante	1855.11
Taxi	565.96
Motocicleta	563.22
Bus urbano	17346.09

Tabla 10: Emisión total semanal de CO₂ por tipo de transporte de estudiantes.

Fig. 3

Emisión total semanal de CO₂ por tipo de transporte de estudiantes.



Nota: Fuente propia.

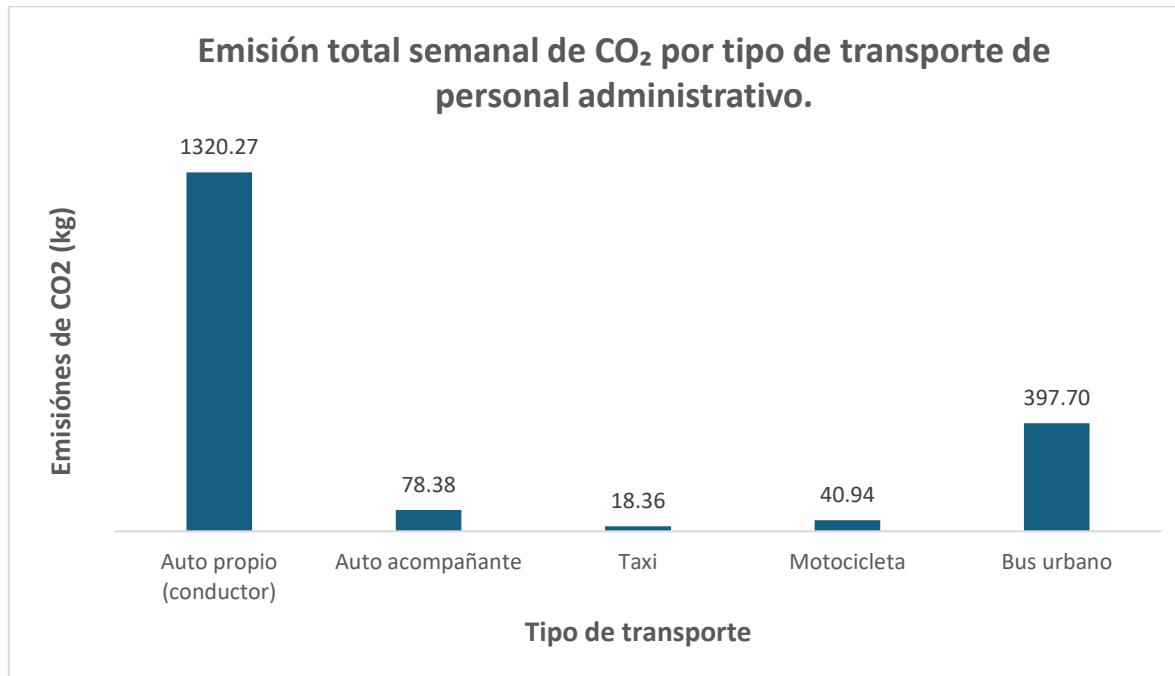
Personal administrativo

Medio de transporte	Emisión total (kg/semana)
Auto propio (conductor)	1320.27
Auto acompañante	78.38
Taxi	18.36
Motocicleta	40.94
Bus urbano	397.70

Tabla 11: Emisión total semanal de CO₂ por tipo de transporte de personal administrativo.

Fig. 4

Emisión total semanal de CO₂ por tipo de transporte de personal administrativo.



Nota: Fuente propia.

2.6 COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES ENTRE ESTUDIANTES Y PERSONAL ADMINISTRATIVO

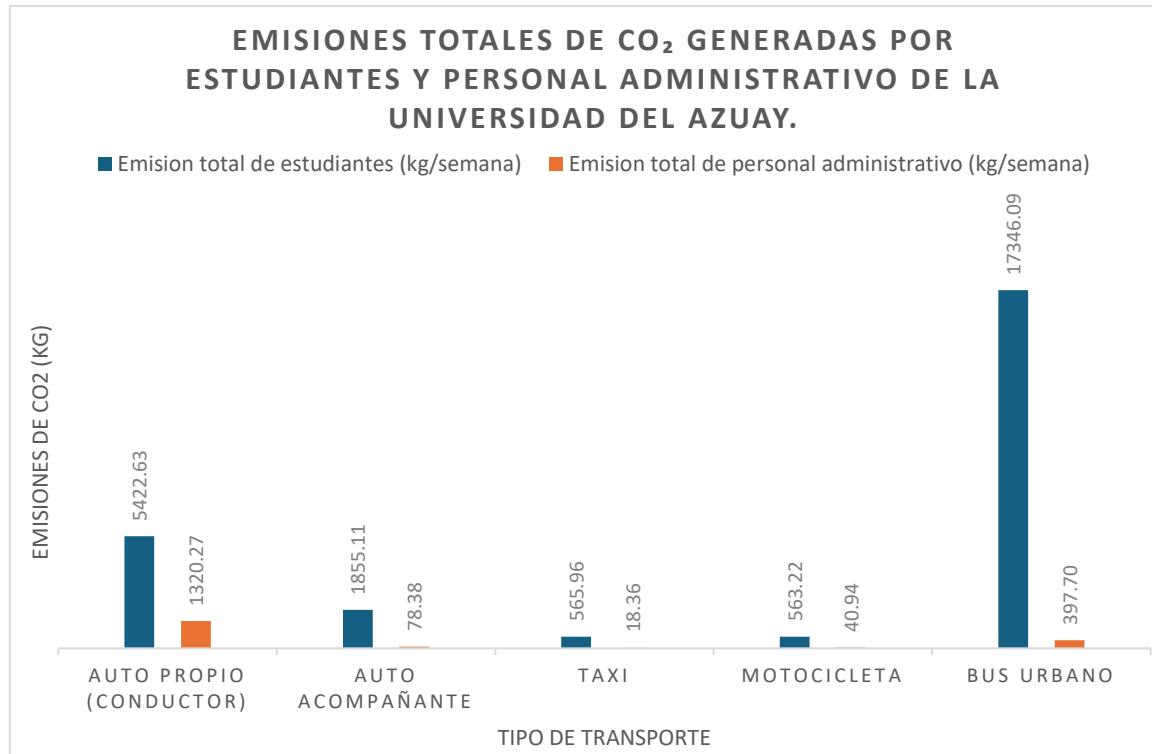
Se compararon las emisiones totales de CO₂ generadas por cada grupo, evidenciando una diferencia significativa en los patrones de movilidad.

Medio de transporte	Emisión total de estudiantes (kg/semana)	Emisión total de personal administrativo (kg/semana)
Auto propio (conductor)	5422.63	1320.27
Auto acompañante	1855.11	78.38
Taxi	565.96	18.36
Motocicleta	563.22	40.94
Bus urbano	17346.09	397.70

Tabla 12: Emisiones totales de CO₂ generadas por estudiantes y personal administrativo de la Universidad del Azuay.

Fig. 5

Emisiones totales de CO₂ generadas por estudiantes y personal administrativo de la Universidad del Azuay.



Nota: Fuente propia.

El auto propio (conductor) fue el medio de transporte con las mayores emisiones totales semanales en ambos grupos.

2.7 EMISIONES TOTALES SEMANALES Y PORCENTAJE DE CONTRIBUCION DE CO₂ POR GRUPO DE LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA

Al consolidar los resultados, la emisión total semanal de la comunidad universitaria se cuantificó en 27608.65 kg, con los estudiantes contribuyendo con la mayor proporción.

Grupo	Número de personas	Emisión total (kg/semana)	% total de emisiones
Estudiantes	3743	25753.01	93.28
Personal administrativo	494	1855.64	6.72

Tabla 13: Emisiones totales semanales y porcentaje de contribución de Co2 por grupo de la comunidad universitaria.

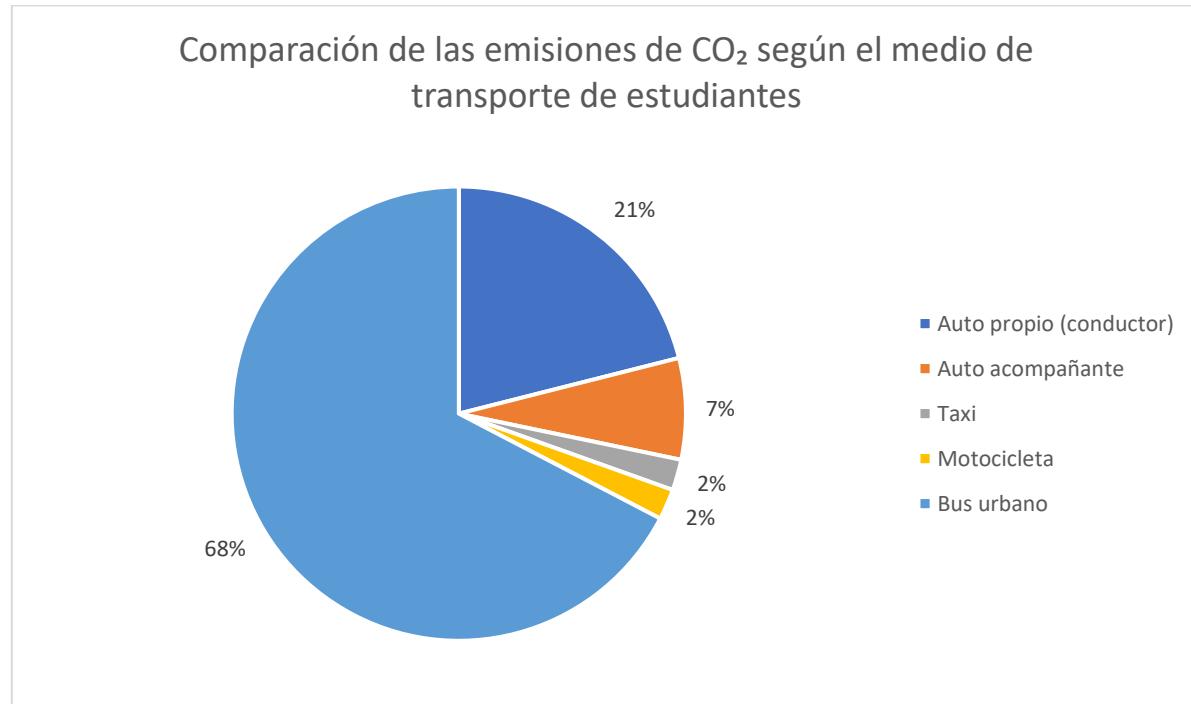
La comparación entre ambos grupos muestra que los estudiantes generan el 93,3% del total de las emisiones semanales de CO₂ de la comunidad universitaria, mientras que el personal administrativo aporta el 6,7%. Esta diferencia se debe principalmente al mayor número de estudiantes y a la frecuencia con que se desplazan hacia la universidad.

2.8 COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ SEGÚN EL MEDIO DE TRANSPORTE

Se analizó el porcentaje de las emisiones totales atribuibles a cada medio de transporte dentro de cada grupo para identificar los principales focos de contaminación.

Fig. 6

Comparación de las emisiones de CO₂ según el medio de transporte de estudiantes.

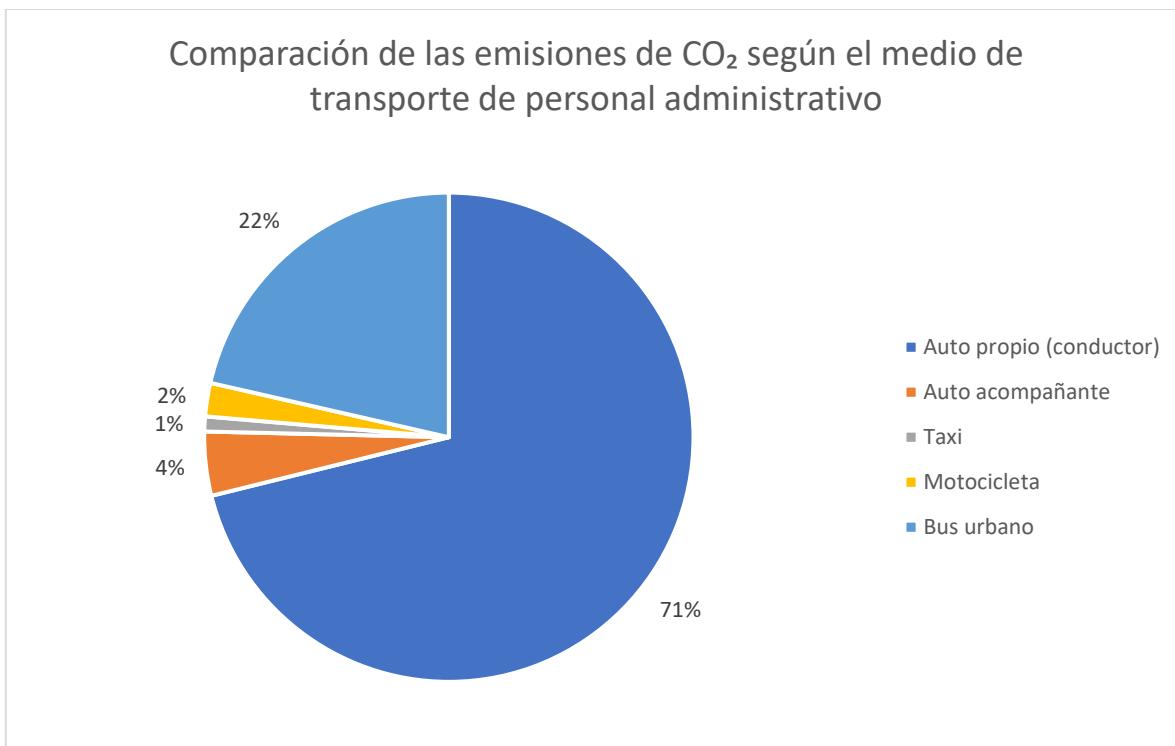


Nota: Fuente propia.

El bus urbano representó la mayor fuente de emisiones para los estudiantes, constituyendo el 68% del total de sus emisiones.

Fig. 7

Comparación de las emisiones de CO₂ según el medio de transporte de personal administrativo.



Nota: Fuente propia.

De manera marcada, para el personal administrativo, el auto propio (conductor) generó el 71% de sus emisiones totales.

2.9 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidencian que el bus urbano representa la principal fuente de emisiones dentro de la comunidad universitaria, con un 68 % del total generado por los estudiantes. Sin embargo, se debe interpretar cuidadosamente, ya que no necesariamente implica que el transporte público sea menos sostenible que los vehículos particulares. La diferencia se da en la ocupación utilizada en los cálculos, que en este estudio fue de 5 pasajeros por bus. Este valor se adoptó basado en estudios previos realizados en Cuenca (Municipalidad de Cuenca-PMEP, 2015)

Si se considera una tasa de ocupación promedio más representativa, como 70 % de la capacidad del bus urbano 63 pasajeros de los 90 disponibles, la relación de pasajeros por kilómetro (pax/km) cambiaría significativamente: el valor de 5 pax/km pasaría a cerca de 63 pax/km. En consecuencia, las emisiones específicas por persona disminuirían de 162,4 g/pax·km a aproximadamente 12,9 g/pax·km, lo que transformaría al bus urbano en uno de los modos más eficientes en términos de emisiones por pasajero transportado.

Por tanto, los resultados no deben interpretarse como una recomendación de promover el cambio del transporte público hacia el automóvil particular. Por el contrario, confirman que fortalecer el uso del transporte público, aumentar su eficiencia operativa y ocupacional, e incentivar su modernización tecnológica son estrategias más efectivas para reducir la huella de carbono universitaria. Mejorar la frecuencia, comodidad y puntualidad del servicio podría aumentar la demanda y, en consecuencia, disminuir la emisión promedio por usuario.

En el caso del personal administrativo, se observó una fuerte dependencia del automóvil privado. Este patrón refleja la influencia de factores de conveniencia, disponibilidad horaria y percepción de confort. La promoción del uso compartido del vehículo o incentivos institucionales como estacionamientos preferenciales para autos compartidos podrían contribuir a mitigar las emisiones en este grupo.

Sin embargo, el estudio presenta algunas limitaciones que conviene destacar a modo de autocritica, con el fin de que futuras investigaciones puedan superarlas y obtener resultados aún más precisos:

- No se contó con datos observacionales sobre la cantidad promedio de pasajeros. Se deberían incluir conteos para cada tipo de transporte.
- Solo se analizaron los desplazamientos hogar–universidad. No se consideraron viajes intermedios. Incorporar esos factores permitiría estimar emisiones más representativas
- Los factores de emisión se tomaron de literatura y estudios nacionales, pero podrían actualizarse con mediciones locales.

Estas observaciones constituyen una guía útil para quienes deseen replicar o ampliar el estudio en el futuro. Pese a sus limitaciones, la metodología demostró ser útil, replicable y adaptable a otros contextos universitarios.

En resumen, los resultados señalan que no es el tipo de transporte lo que determina por sí mismo el nivel de emisiones, sino la eficiencia con la que se utiliza. Optimizar estos factores, especialmente en el transporte público, podría reducir notablemente la huella de carbono de la Universidad del Azuay y servir como base para estrategias de movilidad sostenible a nivel institucional.

2.10 CONCLUSIONES

El estudio permitió cuantificar las emisiones de CO₂ generadas por la comunidad universitaria de la Universidad del Azuay durante el periodo 2023–2024, alcanzando un total de 27 608,65 kg de CO₂ por semana, de los cuales los estudiantes aportaron el 93,28 % y el personal administrativo el 6,72 %.

En relación con el primer objetivo específico, se diseñó y aplicó una metodología basada en la distancia Manhattan, que permitió estimar las distancias promedio de 14,15 km para estudiantes y 6,68 km para personal administrativo. Posteriormente, el uso de la API de Google Routes mejoró la precisión de los cálculos al incorporar la red vial real y las condiciones del tráfico.

Respecto al segundo objetivo, se identificaron como principales fuentes de emisión los modos motorizados: automóvil, motocicleta, taxi y bus urbano. El bus urbano generó el 68 % de las emisiones de los estudiantes, mientras que el automóvil particular concentró el 71 % de las del personal administrativo, evidenciando diferencias modales entre ambos grupos.

En cuanto al tercer objetivo, el cálculo de emisiones basado en factores específicos mostró que el bus urbano y el automóvil privado concentraron más del 80 % del total de CO₂ emitido. Se demostró que la eficiencia depende directamente de la ocupación del vehículo, por lo que aumentar la carga de pasajeros reduciría significativamente las emisiones por persona.

REFERENCIAS

- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación científica*. Editorial Episteme.
- Babbie, E. (2021). *The Practice of Social Research* (15a ed.). Cengage Learning.
- Bieker, G. (2021). *A GLOBAL COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE AND ELECTRIC PASSENGER CARS*.
www.theicct.orgcommunications@theicct.org
- Cedeño Toala, A. J., & Cruz Macías, B. (2024). Huella de Carbono del Servicio de Transporte Urbano Público en la Ciudad de Jipijapa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(6), 4560–4572. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15176
- Descripción general de Compute Routes | Routes API | Google for Developers*. (2025, noviembre 5).
<https://developers.google.com/maps/documentation/routes/compute-route-over?hl=es-419>
- GHG Protocol. (2013). *Chapter7*.
- Google Maps Platform. (2025, septiembre 18). *Routes API documentation*.
https://developers.google.com/maps/documentation/routes?utm_source=chatgpt.com
- GOV.UK. (2024). *Informes de gases de efecto invernadero: factores de conversión*.
<https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2024>
- Harvey, C., & Crooks, A. (2024, julio 19). *Prueba del Kia Picanto: consumo, costes de funcionamiento y CO2 | Carbuyer*. <https://www.carbuyer.co.uk/kia/picanto/mpg>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). McGraw-Hill Education.
- IPCC. (2022). *Chapter 10: Transport*.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-10/>
- Jiang, Q., & Kurnitski, J. (2024). Comprehensive Workflow for Documenting Corporate Commuting Emissions: A University Case Study with Two Alternative Approaches. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 474 LNCE, 68–77. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1514-5_8

- Karney, C. F. F. (2013). Algorithms for geodesics. *Journal of Geodesy*, 87(1), 43–55.
<https://doi.org/10.1007/s00190-012-0578-z>
- Kouridis, C., Samaras, C., Hassel, D., Mellios, G., McCrae, I., Hickman, J., Zierock, K.-H., Keller, M., Rexeis, M., Andre, M., Winther, M., Gorissen, N., Boulter, P., Katsis, P., Joumard, R., Rijkeboer, R., Geivanidis, S., Hausberger, S., Karageorgiou, T., & Lekaki, D. (2024). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory*.
- López, V., Steven, J., Tenezaca, M., & Andrés, J. (2024). *Dashboard de indicadores de movilidad para la comunidad universitaria de la Universidad del Azuay*.
- Municipalidad de Cuenca-PMEP. (2015).
- Negri, M., & Bieker, G. (2025). *Life-cycle greenhouse gas emissions from passenger cars in the European Union A 2025 update and key factors to consider*. www.theicct.org
- O'connell, A., Pavlenko, N., Bieker, G., & Searle, S. (2023). *A COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF EUROPEAN HEAVY-DUTY VEHICLES AND FUELS*. www.theicct.orgcommunications@theicct.org
- Parra, M. (2019). *Estimación de emisiones contaminantes de CO₂, en taxis con cilindrada menor a 1500 cc, mediante Modelo IVE a través de conducción eco eficiente en la ciudad de Cuenca*.
- Piedra, J. (2019, mayo 19). *Los buses pasan a tener un máximo de ocupación del 30%, entendamos que un bus urbano tiene una capacidad de 90 personas. Si hablamos de un 30% estamos hablando de 27 personas para garantizar distanciamiento social (EMISION DE RADIO)*. <https://x.com/tomebamba/status/1262849265010978817>
- Roknaldin, A., Kruke, L., Qiao, A., John, R. S., & von Winterfeldt, D. (2025). Reducing carbon emissions from student commuting in higher education. *Environment Systems and Decisions*, 45(1). <https://doi.org/10.1007/s10669-024-09996-5>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2017, febrero 20). *Motos, las que más producen emisiones de CO₂ » Observatorio Ambiental de Bogotá*.
<https://oab.ambientebogota.gov.co/motos-las-que-mas-producen-emisiones-de-co2/>
- Shahid, R., Bertazzon, S., Knudtson, M. L., & Ghali, W. A. (2009). Comparison of distance measures in spatial analytical modeling for health service planning. *BMC Health Services Research*, 9. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-9-200>
- Tamayo, M. (2011). *El proceso de la investigación científica*. Editorial Limusa.

Todd Litman. (2025). *Evaluating Transportation Equity: Guidance for Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning*. Victoria Transport Policy Institute.
chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.vtpi.org/equity.pdf>

Vanessa, ", Bedoya, R., & Marquet, O. (2016). Estimación de las emisiones de CO 2 desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín Carme Miralles-Guasch. *Revista Transporte y Territorio*, 15.

Von Winterfeldt, D., John, R. S., Kruke, L., & Hopper, J. (2024). *Reducing Carbon Emissions from Student Commuting A Research Report from the Pacific Southwest Region University Transportation Center*. <https://doi.org/10.25554/7acd-2s78>

Yamasaki, E. (2022, septiembre 28). *Presentamos la API de Rutas: la nueva versión mejorada de las API de Direcciones y Matriz de Distancias*.
https://mapsplatform.google.com/resources/blog/announcing-routes-api-new-enhanced-version-directions-and-distance-matrix-apis/?utm_source=chatgpt.com

ANEXOS

Anexo 1: Preguntas realizadas en la encuesta

Nº	Pregunta
P1	¿Regularmente cuántas veces al día Usted se desplazaba hacia la Universidad?
P2	¿En qué horario(s) Usted solía desplazarse hacia la Universidad regularmente?
P3	¿Cuál es el horario en que más tarde sale de la universidad?
P4	¿Cuál era aproximadamente la distancia regular que Usted recorría desde su lugar de origen (hogar, trabajo, etc.) hasta la Universidad?
P5	¿Cuánto tiempo Usted suele tardar en desplazarse desde su lugar de origen (hogar, trabajo, etc.) hacia la Universidad?
P6	¿Cuánto se demora en el viaje de regreso al salir de la universidad?
P7	¿Qué medio de transporte Usted utilizó regularmente para desplazarse hacia la universidad?
P7.1	¿Cuántos buses Usted tomaba para desplazarse desde su lugar de origen (vivienda, trabajo, etc.) hacia la Universidad regularmente?
P7.2	¿Qué tan satisfecho se siente con el servicio de bus?
P7.2.	¿Qué mejoraría del servicio de bus?
1	
P7.3	¿Qué tan rápido encuentra estacionamiento al llegar a la universidad?
P7.3.	¿Cuánto gasta mensualmente por el uso de su vehículo? (incluir costo de parqueadero, costo de combustible y mantenimiento vehicular)
P7.3.	¿Por qué no utiliza el bus?
2	
P7.3.	Si mejora las condiciones del servicio del bus, ¿lo usaría para sus desplazamientos a la universidad?
3	
P8	¿Cuáles son las principales razones por la que Usted utilizó este medio de transporte?
P9	Cuando va a la universidad, ¿utiliza más de un modo de transporte?
P9.1	¿Cuál es su segundo modo de transporte que más utiliza?
P10	Si Usted tuviese la opción de utilizar otro medio de transporte para desplazarse hacia la universidad, ¿qué medio de transporte le gustaría utilizar?
P11	¿Cuáles son las razones por las que le gustaría utilizar este medio de transporte?
P12	¿Estaría Usted dispuesto a compartir un auto con otras personas al viajar hacia la Universidad?
P13	¿Estaría dispuesto a utilizar la bicicleta como su principal medio de transporte para llegar a su destino?

Nota: Elaboración propia (2025), con base en Universidad del Azuay (2024).

Anexo 2: Código distancia Manhattan

```
import math
import pandas as pd
from google.colab import files
from IPython.display import display

# Mostrar todas las filas en pantalla
pd.set_option('display.max_rows', None)

# Punto fijo (Universidad del Azuay)
LAT_LLEGADA = -2.918554
LON_LLEGADA = -79.001596

def manhattan_distance_km(lat1, lon1, lat2, lon2):
    lat_km = abs(lat1 - lat2) * 111
    avg_lat = math.radians((lat1 + lat2) / 2)
    lon_km = abs(lon1 - lon2) * (111 * math.cos(avg_lat))
    return lat_km + lon_km

# Subir archivo Excel
print("📁 Carga tu archivo Excel (.xlsx)")
uploaded = files.upload()

for nombre_archivo in uploaded.keys():
    df = pd.read_excel(nombre_archivo)
    break

# Limpiar espacios en los encabezados
df.columns = df.columns.str.strip()

# Ver columnas disponibles
print("\n📋 Columnas detectadas en tu archivo:")
print(df.columns)

# Nombres de columna esperados
col_lat = 'latitud'
col_lon = 'longitud'

if col_lat not in df.columns or col_lon not in df.columns:
    print(f"❌ Las columnas '{col_lat}' y '{col_lon}' no se encontraron. Revisa el archivo.")
else:
    # Calcular distancia
    df['Distancia (km)'] = df.apply(
```

```

        lambda row: manhattan_distance_km(row[col_lat], row[col_lon],
LAT_LLEGADA, LON_LLEGADA),
        axis=1
    )
df['Distancia (km)'] = df['Distancia (km)'].round(2)

print("\n\ufe0f Distancias calculadas:")
display(df[[col_lat, col_lon, 'Distancia (km)']])

# OPCIONAL: guardar en archivo de salida
# df.to_excel('distancias_calculadas.xlsx', index=False)
# print("🔗 Archivo 'distancias_calculadas.xlsx' generado.")

```

Nota: Fuente propia.

Anexo 3: Código distancia Google Routes.

```

import math
import pandas as pd
from google.colab import files
from IPython.display import display
import googlemaps
import time
import math

# 🔑 Tu API Key de Google Maps
API_KEY = "AIzaSyC03Q4dhxRY_NHf8MFGc_K4vPzPw6wcvqg"
gmaps = googlemaps.Client(key=API_KEY)

# ⚙ Punto fijo (Universidad del Azuay)
LAT_LLEGADA = -2.918554
LON_LLEGADA = -79.001596
DESTINO = (LAT_LLEGADA, LON_LLEGADA)

def manhattan_distance_km(lat1, lon1, lat2, lon2):
    """
    Calcula la distancia de Manhattan en kilómetros entre dos puntos
    geográficos dados en latitud y longitud.
    Se considera la curvatura terrestre para ajustar la distancia
    longitudinal.
    """
    lat_km = abs(lat1 - lat2) * 111
    avg_lat = math.radians((lat1 + lat2) / 2)
    lon_km = abs(lon1 - lon2) * (111 * math.cos(avg_lat))

```

```

        return lat_km + lon_km

# 📁 Subir archivo Excel
print("📁 Carga tu archivo Excel (.xlsx) con columnas 'latitud' y
'longitud'")
uploaded = files.upload()

for nombre_archivo in uploaded.keys():
    df = pd.read_excel(nombre_archivo)
    break

# Limpiar espacios en los encabezados
df.columns = df.columns.str.strip()

# ✅ Revisar columnas
col_lat = "latitud"
col_lon = "longitud"

if col_lat not in df.columns or col_lon not in df.columns:
    print(f"❌ El archivo debe tener columnas llamadas '{col_lat}' y
'{col_lon}'")
else:
    # Crear lista de coordenadas
    origenes = df[[col_lat, col_lon]].values.tolist()
    distancias_manhattan = []
    distancias_google = []

    # Procesar en bloques de 25 (límite API)
    bloque_size = 25
    for i in range(0, len(origenes), bloque_size):
        bloque = origenes[i:i + bloque_size]

        # Calcular Manhattan
        for lat, lon in bloque:
            dist_m = manhattan_distance_km(lat, lon, LAT_LLEGADA,
LON_LLEGADA)
            distancias_manhattan.append(round(dist_m, 2))

    # Calcular Google Maps
    try:
        resultado = gmaps.distance_matrix(
            origins=bloque,
            destinations=[DESTINO],
            mode="driving" # 🚗 Cambiar a walking, bicycling o
transit si necesitas

```

```

        )

        for fila in resultado["rows"]:
            elemento = fila["elements"][0]
            if elemento["status"] == "OK":
                km = round(elemento["distance"]["value"] / 1000,
2)
            else:
                km = None
            distancias_google.append(km)

    except Exception as e:
        print(f"⚠️ Error en el bloque {i//bloque_size+1}: {e}")
        distancias_google.extend([None] * len(bloque))

    # Pausa pequeña para no sobrecargar la API
    time.sleep(1)

# Agregar columnas al DataFrame
df["Distancia Manhattan (km)"] = distancias_manhattan
df["Distancia Google Maps (km)"] = distancias_google

# 📋 Mostrar resultados
print("\n📋 Distancias calculadas:")
display(df[[col_lat, col_lon, "Distancia Manhattan (km)",
"Distancia Google Maps (km)"]])

# 📁 Guardar en Excel
salida = "distancias_calculadas.xlsx"
df.to_excel(salida, index=False)
print(f"\n📥 Archivo '{salida}' generado y listo para
descargar.")

```

Nota: Fuente propia