



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN DE LOS PATRONES
MOVILIDAD DE LA POBLACIÓN DE LA CIUDAD DE CUENCA MEDIANTE
TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: BRYAN FERNANDO JACHERO BRAVO

KEVIN PAÚL GÓMEZ PUNIN

TUTOR: ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Bryan Fernando Jachero Bravo con documento de identificación N° 0302553698 y Kevin Paúl Gómez Punin con documento de identificación N° 0106949720 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

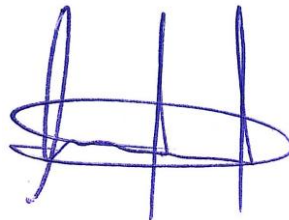
Cuenca, 06 de febrero del 2024

Atentamente,



Bryan Fernando Jachero Bravo

0302553698



Kevin Paúl Gómez Punin

0106949720

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Bryan Fernando Jachero Bravo con documento de identificación N° 0302553698 y Kevin Paúl Gómez Punin con documento de identificación N° 0106949720, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Desarrollo de un algoritmo de clasificación de los patrones movilidad de la población de la ciudad de Cuenca mediante técnicas de aprendizaje automático”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento cuando entregamos el trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

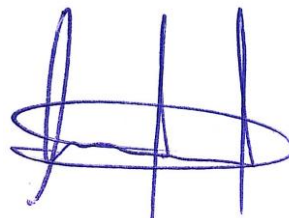
Cuenca, 06 de febrero del 2024

Atentamente,



Bryan Fernando Jachero Bravo

0302553698



Kevin Paúl Gómez Punin

0106949720

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Néstor Diego Rivera Cabrera con documento de identificación N° 0103898995, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN DE LOS PATRONES MOVILIDAD DE LA POBLACIÓN DE LA CIUDAD DE CUENCA MEDIANTE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO, realizado por Bryan Fernando Jachero Bravo con documento de identificación N° 0302553698 y por Kevin Paúl Gómez Punin con documento de identificación N° 0106949720, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 06 de febrero del 2024

Atentamente,



Ing. Nestor Diego Rivera Cabrera

0302553698

DEDICATORIA.

El presente trabajo de titulación lleva consigo el amor, la sabiduría y la inspiración a mi Abuelita María. Cada lección de vida muestra de amor incondicional que me diste han sido el cimiento sobre el cual he construido mi camino. Mi ángel del cielo. Has dejado una huella imborrable en mi corazón y en mi alma.

Con todo mi amor y cariño a mi Mamá Lucila y a mi Papá Ángel por su apoyo constante y sacrificios incansables, quienes me enseñaron que con humildad, esfuerzo y dedicación se pueden alcanzar los objetivos y las metas.

A mis queridos sobrinos: Angelito y Toñito. Cada página de esta tesis lleva consigo el deseo de construir un futuro que les inspire y les brinde conocimientos.

Este trabajo no solo es un reflejo de mi esfuerzo individual, sino también un tributo a mi familia que me ha sostenido en cada momento difícil, de alegría y de desafíos.

Bryan Fernando Jachero Bravo

DEDICATORIA.

El presente proyecto de titulación es dedicado a mi persona, por siempre tener presente la meta a cumplir sin importar por tantas madrugadas que apoyadas de mi fe y lucha por superarme.

Se la dedico a la persona que ha hecho posible que llegue a estos momentos, Fanny a quien, gracias a su apoyo constante, por ser esa guía en momentos claves de mi carrera universitaria. Sus palabras alentadoras, sabios consejos y amor desinteresado han sido el viento bajo mis alas. En los momentos más duros de mi vida siempre me recordó mi capacidad y fortaleza.

A mis abuelos así ya no estén a mi lado, pero siempre estuvieron apoyándome y estoy seguro de donde se encuentren ahora siempre me estarán bendiciendo en mis metas y objetivos.

Kevin Paúl Gómez Punin.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de titulación lleva la huella divina y mi gratitud hacia Papá Dios y la Virgen María Dolorosa. En los momentos difíciles encontré el consuelo, la fe y la certeza de no estar solo. Cada paso de este viaje está marcado por su gracia recordándome que mi fuerza y resiliencia provienen de las fortalezas que me brindan.

A mis Padres: Lucila y Ángel, quienes con sacrificio han allanado el camino para que yo persiga mis sueños, con sus ejemplares valores me enseñaron la importancia de perseverar y superar los obstáculos que se presentan en la vida.

Mis profundos agradecimientos a una parte invaluable de mi vida: Mi familia. Especialmente a mi tío Fernando, mis tías: Anita, Narcisa y Raquel. A mi Abuelo Homero. Y a mis Hermanas: Verónica y Thalía. Vuestra generosidad, sabiduría y

amor han sido faros que han iluminado mi camino.

Mi más profundo agradecimiento a mi tutor de tesis y guía invaluable. Ing. Néstor Rivera. Su compromiso, sabiduría y orientación han sido los cimientos sobre los cuales he construido este proyecto de investigación. Gracias por la oportunidad de aprender bajo su tutela, llevaré consigo sus enseñanzas en mi camino hacia el futuro.

A mis queridos compañeros y amigos de la universidad, vuestra amistad ha sido una fuente constante de apoyo, risas durante los años de estudio. A través de los altibajos de la vida universitaria, hemos creado recuerdos que atesoraré toda la vida. Gracias por estar a mi lado, por compartir este trayecto y por ser la inspiración detrás de muchos de mis éxitos.

Bryan Fernando Jachero Bravo.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a Dios por siempre ser un apoyo en todas las noches que solo me iluminaba la luz de la pantalla de mi computador, por darme la fuerza y superación, por permitirme tener cerca, a mi familia y amigos.

Agradezco a quien ha sido como una madre para mí, Fanny quien, con su amor, apoyo incondicional ha sido fundamental, para superar cada uno de los obstáculos presentes en este proceso, sus consejos sabios, sus palabras, su cariño me han ayudado mucho. Su firme confianza en mi persona es una de las cosas que más agradezco y estaré agradecido por siempre.

A mi madre Piedad, cuyo amor muy característico ha sido una de las principales motivaciones en mi vida y por a pesar de todo estar presente en este transcurso de mi vida.

Agradezco a Bryan, Pablito, Evelyn, Ney, por siempre estar atentos a cómo voy en mis estudios, entre bromas, consejos y conversatorios han logrado que tenga un aliento extra en este camino lleno de dificultades.

Un agradecimiento muy grande a mi tutor, Néstor Rivera, quien no solo ha sido un docente excepcional, sino también un amigo invaluable, Su magnífica personalidad y constante apoyo han sido fundamentales para culminar con éxito este trabajo final de titulación.

Por último, a toda mi familia, que de distinta forma me han demostrado que siempre puedo contar con ellos.

Infinitas gracias a todos.

Kevin Paúl Gómez Punin

RESUMEN

La investigación desarrollada en el presente trabajo de titulación está enfocada en el desarrollo de un algoritmo de clasificación para la obtención de patrones de movilidad mediante la adquisición en diferentes medios de transporte a través de datos geoespaciales. Para lograr los objetivos se establecieron varios segmentos, las cuales se desarrollarán en este trabajo, de esta manera se expone el siguiente extracto:

Como primer enfoque, se analiza la investigación bibliográfica realizada acerca de la definición del aprendizaje automático y el sistema de movilidad de Cuenca, para el entendimiento de la funcionalidad de los algoritmos de árboles de clasificación e inteligencia artificial y los patrones de movilidad.

En el segundo capítulo se adquirió los datos en distintos medios de transportes, se llevó desarrollo del algoritmo de árbol de clasificación y se ejecutó el entrenamiento de acuerdo con las variables cuantitativas obtenidas a través del cálculo computacional y como producto la obtención de la clasificación del comportamiento de los modos de desplazamiento Además se obtuvo y se analizó la matriz de correlación entre las variables obtenidas a través del modelo de clasificación.

En el tercer capítulo se analizaron los resultados de las variables de entrada y variables ramificadas del entrenamiento del algoritmo y la clasificación obtenidas a través del entrenamiento del modelo, los tiempos de paradas, distancia recorrida para cada modo de transporte. Además, los resultados de la matriz de confusión del modelo de clasificación, así como las predicciones obtenidas para cada modo de transporte y el histograma de la muestra de puntos por cada modo de transporte predicho.

Palabras Claves: Algoritmo, transporte, aceleraciones, sobreaceleraciones, árbol de clasificación, tiempos de parada, patrones de movilidad.

ABSTRACT

The research carried out in this thesis is focused on the development of a classification algorithm for obtaining mobility patterns through the acquisition of geo-spatial data across different modes of transportation. To achieve the objectives, several segments were established, which will be developed in this work. The following excerpt outlines the key points:

As a primary focus, the study begins by analyzing the literature regarding the definition of machine learning and the mobility system of Cuenca. This is done to understand the functionality of classification tree algorithms, artificial intelligence, and mobility patterns.

In the second chapter, data was acquired from various modes of transportation, and the development of the classification tree algorithm took place. Training was executed based on quantitative variables obtained through computational calculations, resulting in the classification of the behavior of transportation modes. Additionally, the correlation matrix between the variables obtained from the classification model was obtained and analyzed.

The third chapter delves into the analysis of the results of input variables and branched variables from the algorithm's training, as well as the classification obtained through model training. This includes stop times, distance traveled for each mode of transportation, confusion matrix results from the classification model, predictions for each mode of transportation, and the histogram of the sample points for each predicted mode of transportation.

Keywords: *Algorithm, transportation, accelerations, over-accelerations, classification tree, stop times, mobility patterns.*

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	V
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO.....	VIII
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
ÍNDICE GENERAL.....	XIV
1. INTRODUCCIÓN.....	20
2. PROBLEMA.....	20
2.1. Antecedentes.....	21
2.2. Importancia y Alcances.....	23
2.3. Delimitación.....	24
3. OBJETIVOS.....	25
3.1. Objetivo General.....	25
3.2. Objetivos Específicos.....	25
4. CAPITULO I.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1. Movilidad.....	25
4.2. Movilidad Humana.....	26
4.3. Comportamiento Espacial.....	26
4.4. Patrón de Movilidad.....	26
4.5. Análisis de Datos.....	27
4.6. Aprendizaje Automático (Aprendizaje Automático).....	27
4.7. Tiempos de paradas en los diferentes medios de transporte.....	27
4.8. GPS.....	28

4.9.	Algoritmo de Clasificación.....	29
4.10.	Árboles de decisión.	29
4.11.	Dispositivo Móvil.....	29
4.12.	Movilidad de la ciudad de Cuenca.	29
4.13.	Tipos de movilidad en la ciudad de Cuenca.	30
4.13.1.	Movilidad Peatonal.....	30
4.13.2.	Movilidad en bicicleta.	31
4.13.3.	Movilidad en transporte público.....	31
4.13.4.	Movilidad en transporte privado.....	31
4.14.	Medios de transporte comunes en la ciudad de Cuenca.	32
4.14.1.	Automóvil.....	32
4.14.2.	Taxi.....	32
4.14.3.	Autobús.....	33
4.14.4.	Bicicleta.....	33
4.14.5.	Peatón.	34
4.14.6.	Tranvía.....	34
5.	CAPITULO II..... ¡Error! Marcador no definido.	
5.1.	Adquisición de datos.	35
5.2.	Obtención de Velocidad.	38
5.3.	Obtención de Aceleración	39
5.4.	Obtención de la Sobreaceleración.	40
5.5.	Dinámica del modo de transporte.....	41
5.6.	Distancia Recorrida	44
5.7.	Tiempos de Parada.....	45
5.8.	Número de Paradas.....	46

5.9.	Descripción sobre los Árboles de Clasificación	47
5.10.	Desarrollo del Algoritmo de Clasificación	48
5.11.	Entrenamiento.....	48
5.12.	Correlación entre variables	49
6.	Capitulo III.	52
6.1.	Aceleración.....	54
6.2.	Sobreaceleración.....	56
6.3.	Tiempo de parada en Movilidad peatonal.	57
6.4.	Tiempo de parada en movilidad en Bicicleta.	58
6.5.	Tiempo de parada en movilidad en Tranvía.	59
6.6.	Tiempo de parada en movilidad en Bus	60
6.7.	Tiempo de parada en movilidad en Taxi.	62
6.8.	Tiempo de parada en movilidad en Vehículo Privado.	63
7.	CONCLUSIONES.....	70
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1	Imagen de ubicación de la ciudad de Cuenca.....	24
Figura 2.	Base de datos.....	36
Figura 3	Datos obtenidos en un archivo de texto.....	36
Figura 4	Adquisición de datos por rutas en entornos urbanos y rurales.....	37
Figura 5	Histograma de Velocidad.....	39
Figura 6.	Obtención de la aceleración.....	40
Figura 7.	Aceleración y sobreaceleración para movilidad en bicicleta.....	41
Figura 8.	Distancia recorrida en función del tiempo.....	45
Figura 9.	Diagrama de tiempos de parada por cada segmento de parada.....	46
Figura 10.	Diagrama de nuestra del inicio de parada y fin de parada del Tranvía.....	47
Figura 11.	Matriz de correlación.....	50
Figura 12.	Interpretación de la información obtenida.....	51
Figura 13.	Histogramas de los modos de transporte.....	52
Figura 14.	Histogramas unitarios de la velocidad.....	54
Figura 15.	Histogramas unitarios de la aceleración.....	55
Figura 16.	Histogramas unitarios de la sobreaceleración.....	57
Figura 17.	Gráfica de numero de paradas y tiempos de paradas en la movilidad peatonal...	58
Figura 18.	Gráfica de numero de paradas y tiempos de paradas en la movilidad em bicicleta.	59
Figura 19.	Gráfica de numero de paradas y tiempos de paradas en la movilidad de tranvía.	60
Figura 20.	Gráfica paradas y tiempos de paradas en bus.....	61
Figura 21.	Gráfica de paradas y tiempos de paradas en taxi.....	62
Figura 22.	Gráfica de numero de paradas y tiempos de paradas en la movilidad en vehículo privado.....	63

Figura 23. Resultados del entrenamiento del algoritmo de árbol de clasificación.	65
Figura 24. Resultados de entrenamiento del árbol de clasificación.....	66
Figura 25. Predicciones del algoritmo de los modos de transporte con respecto a su velocidad.	67
Figura 26. Resultado de los patrones de movilidad para una ruta.	68
Figura 27. Histograma de la mayor demanda de modo de transporte en una ruta.....	69

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1.....	51
Tabla 2.....	64

1. INTRODUCCIÓN

La comprensión de los patrones de movilidad de la población en entornos urbanos es importante para la planificación y gestión eficiente de ciudades, emergiendo como una solución el uso de técnicas avanzadas de aprendizaje automático y una herramienta la cual ayuda analizar y clasificar patrones de manera precisa.

Se han realizado análisis de la movilidad humana en diversos campos y los resultados pueden aplicarse en la industria y servicios.

Una vez analizado la relación entre personalidad y movilidad serán bases para el análisis de la movilidad humana y para la predicción de patrones de movimiento humano.

El presente proyecto se aborda el desafío de desarrollar un algoritmo de clasificación destinado a descifrar los comportamientos de movilidad de la población de Cuenca, los datos utilizados para el entrenamiento del algoritmo se obtienen de una aplicación destinada a la adquisición de datos como la velocidad, longitud, latitud y tiempo.

El enfoque de estudio se centra en la ciudad de Cuenca, un entorno urbano y rural en constante evolución que demanda soluciones adaptadas a su entorno. Mediante la aplicación de técnicas de Aprendizaje Automático, no solo se busca identificar y categorizar los distintos patrones de movilidad, sino también establecer un marco sólido para la toma de decisiones en ámbitos como la planificación del transporte, el diseño de las futuras infraestructuras además de la formulación de nuevas y mejoradas políticas urbanas.

2. PROBLEMA

En la actualidad, se carece de investigaciones e información que ofrezcan una matriz actualizada donde destaquen los patrones de movilidad de la población de Cuenca. El Plan de Movilidad de Espacios Públicos, en su análisis, presenta una matriz de origen-destino mediante

encuestas con margen de error del 5%, considerando el crecimiento poblacional del año 2012 (Municipalidad de Cuenca-PMEP, 2015). En el mismo sentido, se destaca la deficiente cobertura del transporte público en las zonas: Sinincay, El Tablón, Patamarca, Molinopamba, Capulispamba, Pachha, Monay-Baguanchi, Rayoloma, Pencas Altas y a su vez la carencia de registros de las parroquias ‘Checa, Octavio Cordero Palacios, Molleturo y Chaucha’ (Gómez & Méndez, 2017), lo cual conlleva al uso del vehículo privado y en el presente resulta deficiente la información y resultados debido a la expansión urbana. Por consiguiente, se presentan un alto crecimiento del parque automotor y la saturación de las distintas vías de la ciudad, desencadenando el aumento de niveles de contaminación.

Según (Flores, 2021) se manifiesta que la falta de información actual se debe estudios de movilidad inconclusos de las zonas urbana y rural, así como la asignación de competencias tempranas, deficiencia de marcos normativos y planificación, limitando al municipio planificar y gestionar temas de accesibilidad, movilidad y transporte.

El estudio de técnicas de aprendizaje automático compilando datos mediante aplicaciones de monitoreo es una alternativa para determinar los patrones de movilidad por la carencia informática del sistema de movilidad de las personas de Cuenca y la diferencia de error significativa de las encuestas de origen-destino, que no incluyen información sobre el recorrido de tallado, tiempos de traslado, patrones espaciales y temporales.

2.1. Antecedentes

En la actualidad, se carece de investigaciones e información que ofrezcan una matriz actualizada donde destaquen los patrones de movilidad de la población de Cuenca, lo que ha ocasionado una deficiente cobertura de transporte público en ciertas zonas de la ciudad, por ello se plantea la necesidad de desarrollar un algoritmo, que permita analizar y obtener

información precisa sobre los patrones de movilidad de la población a través de la compilación de datos mediante una aplicación desarrollada vinculada a la línea de investigación.

Según (Flores, 2021) su investigación surge como respuesta a la necesidad de desarrollar un instrumento de planificación que consolide políticas, tránsito y transporte en Cuenca. Por la estrecha relación con el territorio conurbano, el análisis de los patrones de movilidad revela una cifra significativa de 1.330.980 viajes diarios, destacando que casi el 22% de estos son externos, provenientes de la conexión entre Cuenca y sus parroquias, esta gran presión diaria de 241.040 viajes desde fuera hacia la ciudad recalca la urgencia de mejorar el acceso para los residentes. La complejidad en la planificación de la movilidad urbana se hace evidente, marcando la falta de un marco normativo consolidado y metodologías efectivas para gestionar de manera integral los desafíos de accesibilidad y transporte en Cuenca.

Se evidencia que los datos estadísticos y la fiabilidad de las encuestas no reflejan las dinámicas de la movilidad del entorno actual. En consecuencia, se han concebido matrices de movilidad que presentan resultados plenamente insatisfactorios al abordar el sistema actual de Cuenca. Por ello se plantea la necesidad de desarrollar un algoritmo, que permita analizar y obtener información precisa sobre los patrones de movilidad de la población a través de la compilación de datos mediante una aplicación desarrollada que está vinculada a la línea de investigación. La iniciativa busca dar una visión más precisa y actualizada de la movilidad urbana en dicha localidad para respaldar la toma de decisiones y el desarrollo de políticas públicas más efectivas.

En relación con el objetivo 12 del Plan de Creación de Oportunidades del Ecuador (secretaría nacional de Planificación, 2021), el proyecto está asociado a una de las metas fijadas para el año 2025 (12.2.2), que pretende reducir la huella ecológica mediante nuevos patrones

de movilidad para cubrir el transporte público y reducir el uso del vehículo privado, saturación de las vías y emisiones de gases contaminantes.

La motivación detrás de este proyecto se encuentra vinculada a los propósitos establecidos en la agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11, “Ciudades y Comunidades Sostenibles”,¹³ “Acción por el clima” (Unidas, 2018), puesto que se enmarca en la implementación de estrategias innovadoras destinadas al desarrollo de una movilidad sostenible mediante el proyecto “Caracterización de modelos de movilidad sostenible mediante la aplicación de arquitecturas de Machine Learning a las señales PID’s obtenidas a través de OBD II para el estudio de las emisiones contaminantes sobre la ciudad de Cuenca”.

La mayoría de los estudios empíricos sobre la movilidad en materia de transporte se basan en encuestas O-D, las cuales ofrecen información detallada de los patrones de movilidad de la población, las mismas presentan limitaciones prácticas importantes, como costos elevados y plazos de ejecución prolongados (Willumsen & De Dios Ortúzar, 2011)

Pese a los avances tecnológicos, persiste la limitación de acceso a información vital por la falta de una base de datos global gestionada por los gobiernos locales. El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es una herramienta valiosa, aunque se reconoce que falta mucho por recorrer, destacando la importancia del uso continuo de tecnologías para optimizar el servicio y materializar proyectos futuros, contribuyendo así un aporte importante para el gobierno local. (Flores, 2021)

2.2.Importancia y Alcances

El beneficio a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana se encuentra vinculada a los propósitos establecidos en la agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11, “Ciudades y Comunidades Sostenibles”, ya que se enmarca la

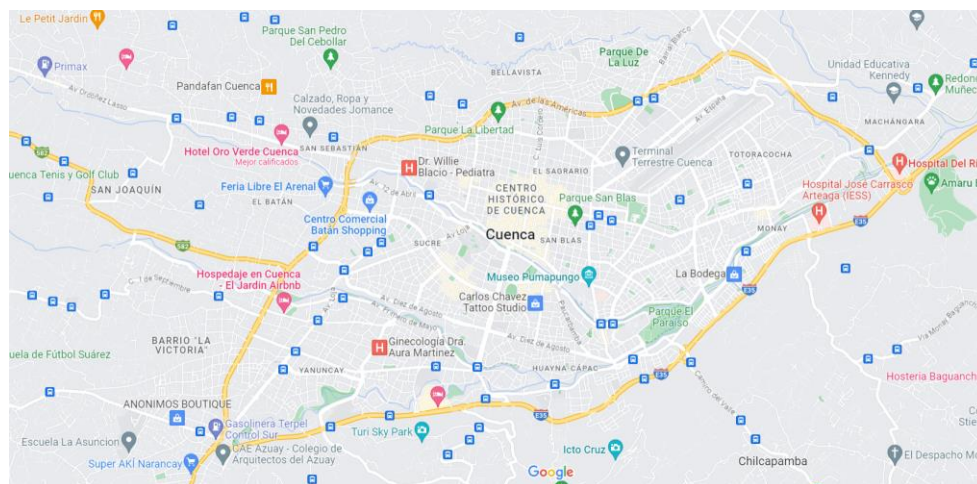
implementación de estrategias innovadoras destinadas al desarrollo de una movilidad sostenible.

2.3. Delimitación.

El presente proyecto, se llevará a cabo en la Provincia del Azuay, Ciudad de Cuenca, ubicada al sur del Ecuador, la cual tiene una altitud de 2500 m.s.n.m, una extensión de 70.59 km² y una población aproximada de 580000 habitantes.

Figura 1

Imagen de ubicación de la ciudad de Cuenca



Nota: Adaptado de Google Maps. <https://www.google.com/maps>

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General.

Desarrollar un algoritmo de clasificación de los patrones de movilidad de la población de la ciudad de Cuenca mediante técnicas de aprendizaje automático.

3.2. Objetivos Específicos.

- Analizar el estado del arte sobre todas las matrices y el sistema de movilidad en la ciudad de Cuenca a través de las fuentes bibliografía investigas.
- Desarrollar un algoritmo de clasificación que determine el sistema de movilidad actual de la población de Cuenca mediante técnicas de aprendizaje automático.
- Evaluar la eficiencia y precisión del algoritmo con las nuevas técnicas de aprendizaje automático para generar bases para futuras investigaciones.

4. ESTADO DEL ARTE.

4.1. Movilidad.

La movilidad representa uno de los desafíos más complejos que enfrentan las ciudades intermedias de América Latina. Factores como la dispersión urbana extremadamente amplia, deficiente calidad del transporte público, costo de desarrollo urbano y la percepción de inseguridad que ha ocasionado el incremento considerable del uso del vehículo privado como sistema de transporte principal y como resultado el incremento significativo de tráfico urbano exacerbando la contaminación ambiental y problemas de salud, impactando negativamente en la calidad del espacio urbano, afectando la calidad de vida de los ciudadanos. (Orellana, 2015)

4.2. Movilidad Humana.

Actualmente, la movilidad humana cumple una función en la sostenibilidad de las ciudades grandes que se enfocan en desarrollar aplicaciones que den automatización avanzada de servicios e infraestructura vial pública. El avance de las tecnologías GPS han ampliado la funcionalidad de los dispositivos, convirtiéndolo en una herramienta no solo de navegación y orientación, sino también en un instrumento para capturar viajes de ruta, que miden actividades a una escala de ciudad a cierta región.

La movilidad humana se puede determinar mediante dispositivos de posicionamiento como receptores GPS y teléfonos inteligentes, obteniendo datos espaciales y temporales, con frecuencias de una vez por segundo, como latitud, longitud, altitud, hora de recopilación. Cada muestra de posicionamiento comprende un conjunto de datos de secuencia de posicionamiento, estos conjuntos de datos para cada persona pueden ser transformados en modelos de movilidad individual. (PSE, 2009)

4.3. Comportamiento Espacial.

Es la representación de la expresión visual del desplazamiento de una persona o individuo, que se puede concebir como una secuencia de ubicaciones en el espacio y tiempo. Un individuo que ha estado en diversos puntos y en momentos distintos, al conectar las posiciones se forma una trayectoria en espacio-tiempo de esa persona. Esta representación de movimiento posibilita el cálculo de parámetros como distancia, tiempo, velocidad, dirección y duración.

4.4. Patrón de Movilidad.

Consisten en secuencias de expresiones construidas a partir de un pequeño conjunto de operadores y que representan etiquetas. Las variables pueden instanciarse en cualquiera de las

etiquetas del mapa y permite denotar clases complejas de trayectorias dentro de un lenguaje compacto y expresivo.

4.5. Análisis de Datos.

El análisis de datos implica llevar a cabo las operaciones específicas para lograr los objetivos de la investigación. No todas las operaciones pueden establecerse de manera estricta. La recopilación de datos y análisis preliminares pueden revelar problemas y dificultades que invaliden la planificación inicial del análisis de datos.

4.6. Aprendizaje Automático (Aprendizaje Automático).

Es una rama de la inteligencia artificial, capacita a las computadoras para aprender y mejorar su rendimiento sin una programación explícita. Comienza con la recolección y procesamiento de datos, seguido por la elección de un modelo y su entrenamiento mediante ejemplos. A medida que se presentan los datos, ajusta sus parámetros y aprende patrones. La evaluación se realiza con datos no utilizados. Una vez entrenado el modelo puede hacer predicciones o tomar decisiones sobre nuevos datos. (Cárdenas, 2018)

4.7. Tiempos de paradas en los diferentes medios de transporte.

Según (García, 2020), las paradas en trenes y en otros medios de transporte pueden predefinirse durante su trayecto o realizarse de manera eventual por necesidades de regulación del tráfico a circunstancias justificadas por el operador del vehículo. Estas paradas se clasifican en dos tipos:

Paradas comerciales: Aquellas paradas cuyo propósito es permitir el acenso y descenso de pasajeros esto en el caso de vehículos públicos.

Paradas Técnicas: Aquella que se lleva a cabo por razones derivadas de la operación, como cruces y adelantamientos programados o modificaciones en la composición de los medios de transporte.

En el contexto de otros medios de transporte público, según (Caicedo, 2013), los tiempos de paradas en buses se ve influenciados por la demanda de pasajeros que aborden, la demanda de pasajeros que descienden del vehículo y la interacción entre ambas demandas. En los buses, cinco variables principales ejercen impacto significativo en los tiempos de parada: la demanda de pasajeros, la distancia entre puntos de parada, los métodos de pago, los tipos de vehículos y la circulación dentro del vehículo.

Los diversos motivos y tipos de paradas en los medios de transporte son muy importantes para buscar ideas que ayuden a optimizar la eficiencia operativa y mejorar la experiencia del usuario de medios de transporte públicos.

4.8.GPS.

El sistema GPS permite a un individuo determinar su ubicación casi en cualquier lugar de la Tierra con un receptor sencillo, cuando el receptor captura la señal de los satélites, el procesador realiza un cálculo de trilateración para determinar la ubicación, al recibir más datos, el receptor promedia los cálculos y estima su precisión. Esta capacidad permite que la tecnología sea útil para recopilar datos espacio - temporales para observar y determinar las actividades de las personas.

Es ampliamente utilizado en transporte, servicios de emergencia y actividades diarias como operaciones bancarias y teléfono móvil, el GPS mejora la eficiencia y seguridad, es de acceso libre lo que beneficia a tareas que necesiten de esta herramienta. (NOAA, 2023).

4.9. Algoritmo de Clasificación.

La clasificación implica identificar, comprender y agrupar ideas y objetos en categorías previamente establecidas o “subpoblaciones”. Al emplear conjuntos de datos de entrenamiento que ya están categorizados, los programas de aprendizaje automático utilizan diversos algoritmos para asignar futuros conjuntos de datos a categorías específicas. Los algoritmos al aprender y aplicar patrones facilitan la automatización de tareas complejas, permitiendo realizar clasificaciones precisas en variedad de contextos.

4.10. Árboles de decisión.

Un tipo de algoritmo muy útil y de fácil comprensión, se caracteriza por organizar decisiones de manera jerárquica, donde cada nodo del árbol realiza una prueba sobre una característica específica. Al descender por el árbol las ramas representan diferentes resultados de las pruebas, y las hojas proporcionan las decisiones finales o las etiquetas de clasificación. Al ser un enfoque estructurado y visual facilita la interpretación de las decisiones tomadas por el algoritmo, además los árboles de decisión son adaptables y útiles en diversas situaciones, desde clasificación de datos hasta toma de decisiones en tiempo real.

4.11. Dispositivo Móvil.

Un dispositivo móvil se define como un aparato portátil con capacidades de procesamiento, con conexión permanente o intermitente a una red, con memoria limitada, diseñada para una o más funciones.

4.12. Movilidad de la ciudad de Cuenca.

(Cuenca GAD Municipal I, 2015) explica la relación de viajes estableciendo zonas de movilidad considerando barreras topográficas, ocurrencia de viajes, comportamiento vehicular,

entre otras, tomando zonas como acceso oeste (guayaquil), acceso sur (Loja), acceso norte (Cañar), acceso norte (Paute, Gualaceo, Chordeleg).

La movilidad que soporta Cuenca supone 1.330.948 viajes en días laborales, el 22% externos, originados de la relación entre la ciudad y sus parroquias. Concluyendo, se destaca que la ciudad experimenta una presión diaria aproximadamente de 241.040 desplazamientos externos.

En Cuenca, se infiere que el 88,7% de todos los desplazamientos originados en diversos en sectores de la ciudad tienen como destino el centro de esta. No obstante, un 7,4% se dirigen de suroeste a noreste y viceversa, mientras que solo un 3,9% viajan desde el suroeste al sureste y viceversa.

En el Centro Histórico de Cuenca la mayoría de los vehículos en las vías son de propiedad privada, representando un 62%, vehículos de carga con 15%, taxis con un 10%, motocicletas el 9% y autobuses un 4%. El espacio utilizado por vehículos privados para desplazarse resulta 20 veces mayor que el necesario para el transporte público. La gestión de las vías corresponde el 73% a vías locales, 18% vías colectoras, el 6% arteriales y 3% a expresas en el sistema vial jerarquizado.

La movilidad desde los sectores periféricos a la Ciudad es inequitativa y desarticulada de los territorios contiguos. (Flores, 2021).

4.13. Tipos de movilidad en la ciudad de Cuenca.

4.13.1. Movilidad Peatonal.

La movilidad a pie la practican muchas personas, ya sea para su lugar de trabajo, estudio, o situaciones personales sobre todo en el área urbana. El problema de esta movilidad es la poca importancia de la infraestructura peatonal en Cuenca, hay muchos lugares con poca o ninguna

infraestructura peatonal, incluso la gente camina en la calzada destinada para vehículos motorizados.

El 60% de los viajes interiores totales resultan ser a pie, señalando la zona de mayor autonomía por esta modalidad el Centro Histórico, El Ejido y Miraflores presentan también alto grado de demanda peatonal interna. (Cuenca GAD Municipal II, 2015)

4.13.2. Movilidad en bicicleta.

Hoy los gobiernos de Cuenca se han enfocado en mejorar esta movilidad con nuevas infraestructuras ya que es un transporte eficiente, saludable y amigable con el medio ambiente, dentro del medio urbano esta movilidad reducirá el consumo energético, las emisiones de gases y mayor fluidez vial.

4.13.3. Movilidad en transporte público.

En este aspecto los gobiernos han centrado gran importancia en crear políticas e infraestructuras que mejore este modo de movilidad ya que es el modo de transporte con mayor influencia desde el punto de vista social, económico y ambiental, pero a pesar de los múltiples esfuerzos se denota aun una problemática de servicio público en ciertas zonas de la ciudad lo que lleva a las personas a utilizar un medio de transporte privado ocasionando congestión en estas vías de acceso a la ciudad.

4.13.4. Movilidad en transporte privado.

Este método simboliza la tercera parte de los modos según (Cuenca GAD Municipal I, 2015), por los problemas de cobertura de transporte a zonas rurales, conllevan al uso de vehículos privados ocasionando problemas de acceso a la ciudad en las vías que unen a la ciudad.

4.14. Medios de transporte comunes en la ciudad de Cuenca.

4.14.1. Automóvil.

El vehículo como medio de transporte, ha dejado una huella significativa en la vida moderna. Desde su invención, los automóviles han brindado una movilidad sin precedentes, otorgando a las personas la libertad de desplazarse según sus necesidades. Este medio de transporte personal ha influido en la planificación urbana, facilitando la expansión de las ciudades y la creación de áreas suburbanas. A pesar de su éxito el automóvil ha presentado desafíos notables como la congestión del tráfico y la contaminación atmosférica. La transición hacia vehículos eléctricos y tecnologías de conducción autónoma refleja la búsqueda de alternativas más sostenibles. Aunque el automóvil sigue siendo una herramienta esencial en la vida cotidiana, su futuro implica encontrar un equilibrio entre la comodidad individual, la responsabilidad ambiental y la eficiencia en el uso del espacio urbano.

4.14.2. Taxi.

Representa un elemento esencial en el transporte, ofreciendo ventajas para residentes y visitantes. Su accesibilidad y disponibilidad destacan en entornos urbanos, proporcionando una opción de transporte convincente y flexible. La comodidad de un servicio puerta a puerta, junto con la seguridad y confiabilidad inherentes a conductores profesionales, contribuye a su popularidad. También destacan en situaciones de emergencia o desplazamientos rápidos ofreciendo eficacia y rapidez cabe recalcar que en entornos urbanos debido a la congestión esto se ve afectado por ello se reconoce la necesidad de abordar desafíos para garantizar un servicio equitativo y eficiente. Su contribución a la economía local a través de conductores emprendedores resalta su importancia en la comunidad.

4.14.3. Autobús.

La movilidad en autobús desempeña una función clave en el destacamento urbano y regional, ofreciendo una alternativa eficaz y accesible a grandes grupos de personas. Los autobuses son esenciales para la conectividad en áreas urbanas, sirviendo como la espina dorsal del transporte público. Su capacidad para llevar a múltiples pasajeros contribuye a reducir la congestión vial y minimizar las emisiones de gases contaminantes en comparación con los vehículos privados. Los autobuses también brindan accesibilidad a segmentos de la población que podrían carecer de otras opciones de transporte. Aunque enfrenta retos como la puntualidad y la comodidad, los avances tecnológicos y el enfoque en la sostenibilidad están mejorando la calidad y eficiencia de este medio de transporte crucial en la movilidad urbana.

4.14.4. Bicicleta.

La bicicleta como sistema de transporte, constituye una opción sostenible y saludable para desplazarse, su simplicidad y eficiencia la convierte en una elección popular tanto en entornos urbanos como suburbanos. Además de ser amigable con el medio ambiente y reducir las emisiones de carbono, el ciclismo promueve la salud cardiovascular y la actividad física. Infraestructuras que favorecen el uso de bicicletas como carriles exclusivos y estacionamientos seguros estimulan su adopción y contribuyen a una movilidad más equitativa. Aunque desafíos como la seguridad vial y la falta de infraestructura en algunas áreas puede limitar su expansión, la bicicleta emerge como un medio de transporte versátil que alivia la presión ambiental y fomenta un estilo de vida activo y saludable en el contexto de la búsqueda de soluciones sostenibles por parte de las ciudades.

4.14.5. Peatón.

Manera más simple y natural de moverse utilizando los propios pies, puede considerarse una forma de desplazamiento más lenta, pero caminar conlleva beneficios tanto para la salud personal como para el medio ambiente. Esta movilidad contribuye a la reducción de la huella de carbono y mejora la salud cardiovascular. Dada su accesibilidad universal, caminar es una opción viable en entornos urbanos y rurales, promoviendo la equidad en la movilidad. Puede estar limitado por distancias extensas y planificación urbana, caminar sigue siendo un método esencial de desplazamiento conectando a personas con su entorno y fomentando un estilo de vida activo y saludable.

4.14.6. Tranvía.

El tranvía, es una alternativa eficiente y sostenible en entornos urbanos. Este sistema ferroviario ligero se desplaza sobre rieles en rutas fijas, hoy ofreciendo una opción atractiva para la movilidad en áreas metropolitanas. Sus impactos positivos incluyen la reducción de la congestión del tráfico, la disminución de emisiones contaminantes y la mejora de la accesibilidad en entornos urbanos. Los tranvías representan una solución de transporte público que combina eficiencia y comodidad conectando áreas claves y promoviendo la movilidad sostenible en la ciudad. A pesar de que su implementación puede implicar inversiones significativas en infraestructura, los beneficios del impacto ambiental hacen que los tranvías sea una elección valiosa para mejorar la calidad de vida en áreas urbanas densas.

5. DESARROLLO DEL ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN.

Para el estudio se empleará la metodología del marco teórico con el fin de discernir los diversos medios de transporte utilizados por las personas para desplazarse en el entorno urbano y rural de Cuenca. La muestra seleccionada para el estudio es igual a 40 personas, dado que este número se considera adecuado y significativo para la investigación.

En el marco de esta investigación se emplea un algoritmo de árbol de clasificación para el análisis de los patrones de movilidad de la población en la ciudad de Cuenca, para tener un enfoque en la comprensión de cómo las personas se desplazan en el entorno urbano y rural de la ciudad, poniendo en práctica las capacidades de la inteligencia artificial y la clasificación para discernir de manera efectiva los comportamientos de movilidad.

5.1. Adquisición de datos.

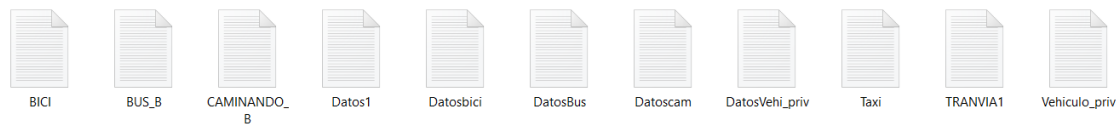
Para la obtención de datos se tomó una muestra de 40 personas (354096 muestras), entre ellos estudiantes y personas de características aleatorias que se desplazan en el entorno urbano y rural de Cuenca. El número de muestras seleccionadas se estimó al valor citado anteriormente dado que se considera adecuado y significativo para la investigación. Para la información de movilidad se preparan los datos de posicionamiento, que son recopilados por los dispositivos de posicionamientos, mediante la aplicación (GPS Logger) del sistema Android, los cuales llevan receptores GPS sin ninguna acción activa, los datos de posicionamiento se recopilan en segundo plano para garantizar el muestreo de datos aun estando con el móvil suspendido, de esta manera se extraen datos de latitud, longitud, altitud, velocidad y fecha y hora.

La aplicación GPS Logger tiene la capacidad de operar offline, es decir, sin conexión a internet y se destaca por su alta precisión en la determinación de la altura ortométrica (altitud sobre el nivel del mar), especialmente cuando se habilita la corrección de altitud EGM96, permite recopilar todos los viajes, siendo estos datos visibles en cualquier visor integrado, accediendo

directamente desde la lista de seguimiento de la aplicación. La información en cada archivo representa una serie de puntos temporalmente registrados mediante el GPS del dispositivo móvil, con intervalos de 1 segundo y disponibles en los formatos KML, GPX y TXT.

Figura 2.

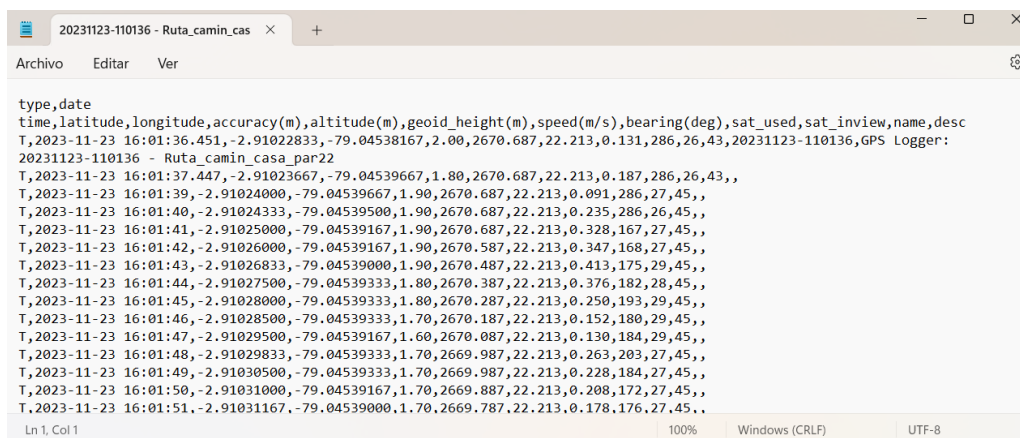
Base de datos.



Nota: Archivos unitarios de la obtención de datos en cada uno de los medios de transporte propuestos. Fuente: Autor.

Figura 3

Datos obtenidos en un archivo de texto.



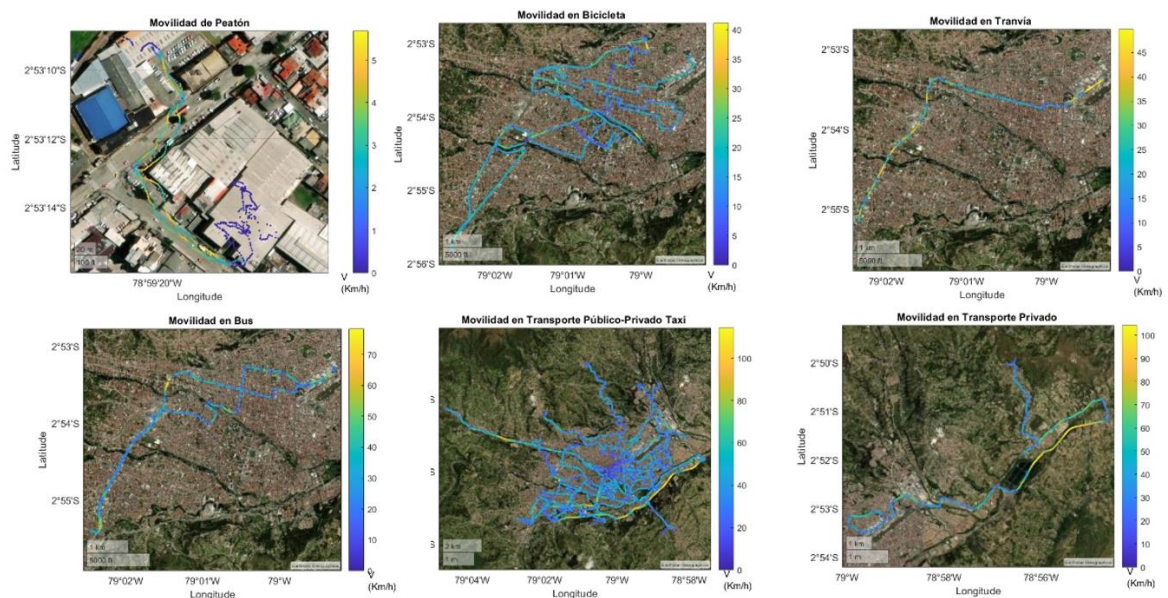
Nota: Ejemplo archivo tipo txt abierto desde un block de notas demostración de los datos que se obtienen en la toma de datos. Fuente: Autor.

Mediante el aprovechamiento de datos geoespaciales, es factible representar gráficamente las coordenadas geoespaciales asociadas a la ubicación de una persona que ha sido parte del proceso de monitoreo y prueba.

En la etapa inicial del desarrollo del algoritmo, se identificaron y clasificaron los distintos modos de transporte en la Ciudad de Cuenca, incluyendo Peatón Bicicleta, Tranvía, Bus, Taxi y Vehículo Privado. Se recolectaron datos primarios específicamente para cada modo de transporte, involucrando la observación de una persona promedio para el modo peatonal y trazando rutas de prueba basadas en ciclovías para el modo en Bicicleta. En el caso del Tranvía, se consideraron las únicas dos rutas del sistema ferroviario, mientras que para el Bus se recopilaban datos a lo largo de varias líneas en un solo trayecto para minimizar el margen de error. La toma de datos del Taxi se realizó durante dos días laborables, cubriendo zonas urbanas, rurales y el centro de la ciudad. Finalmente, para el modo de transporte particular se establecieron rutas tanto en zonas rurales como urbanas de Cuenca.

Figura 4

Adquisición de datos por rutas en entornos urbanos y rurales.



Nota: Rutas de recolección de datos tomadas en diferentes tiempos, rutas y diferentes medios de transporte. Fuente: Autor.

5.2. Obtención de Velocidad.

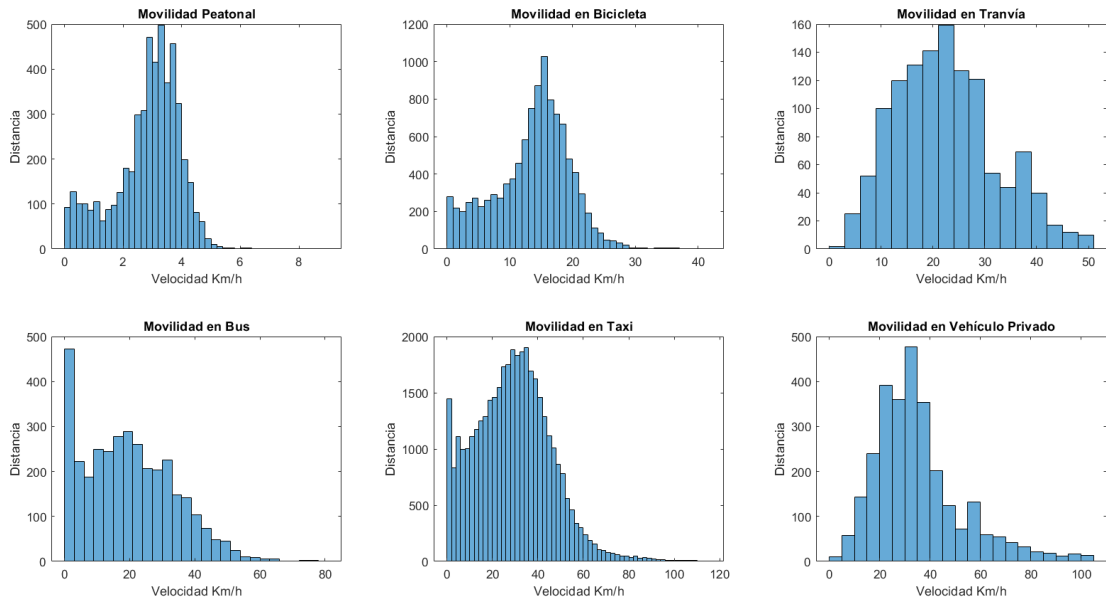
En el proceso de recopilación de datos, se observaron distintos niveles de velocidad asociados a cada modo de transporte, considerando la variable espacial. De manera notable, se identificó que el vehículo privado presenta las velocidades más elevadas, seguido por el modo de transporte en taxi y movilidad en bus. Además, se destacan velocidades mínimas en movilidad peatonal y en bicicleta. En cuanto a la movilidad en el tranvía los valores de velocidades se estiman una pequeña uniformidad a lo largo de una determinada distancia, esto es evidente debido a la ruta predefinida y preferencia con respecto a los otros sistemas de transporte.

Los registros de velocidad en cada archivo constituyen una secuencia de puntos recopilados y consolidados en un único archivo, obtenidos mediante dispositivos móviles equipados con tecnología GPS y con intervalos temporales de 1 segundo. El archivo registra la información de velocidad en metros por segundo (m/s), y para su análisis integral se procedió a realizar la conversión a kilómetros por hora (km/h), con el objetivo de unificar el sistema de unidades.

Este análisis detallado proporciona una comprensión más profunda de las variaciones de velocidad en los diferentes modos de transporte, lo cual es fundamental para la comprensión del sistema de movilidad. Sin embargo, en el capítulo 3 se presentan las velocidades medias, valores que determinarán y serán fundamentales para los patrones de movilidad.

Figura 5

Histograma de Velocidad.



Nota: Histogramas de velocidad de cada medio de transporte. Fuente: Autor.

5.3. Obtención de Aceleración

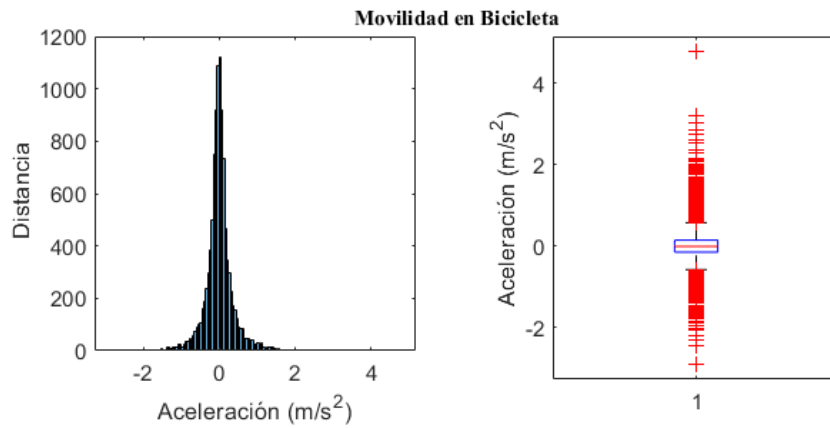
La aceleración se determinó mediante la variación de las velocidades entre puntos consecutivos dividida por la diferencia del tiempo correspondiente. Este método calcula la tasa de cambio de la velocidad con respecto al tiempo. Además, este enfoque facilita una comprensión más profunda de la dinámica del sistema de transporte, proporcionando información crucial para el estudio del comportamiento de los distintos modos de transporte.

$$aceleración_{(t)} = \frac{V_{GPS\ i+1} - V_{GPS\ i}}{t_{i+1} - t_i}$$

Ecuación 1. Cálculo de aceleración

Figura 6.

Obtención de la aceleración.



Nota: Diagramas sobre la obtención de aceleración. Fuente: Autor.

5.4. Obtención de la Sobreaceleración.

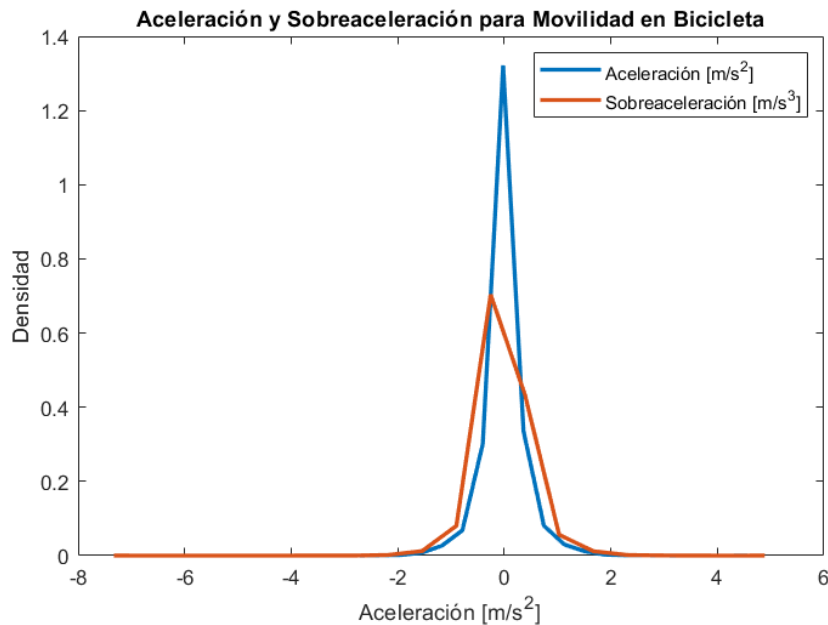
La sobreaceleración se define como la tasa de cambio de la aceleración, representada por la segunda derivada de la velocidad o tercera derivada de la posición con respecto al tiempo. Según (Alonso et al., 2021), interpreta como el comportamiento del vehículo que ejecuta una maniobra de adelantamiento. En este contexto, la sobreaceleración se ha establecido como la derivada de la aceleración. Este concepto proporciona una herramienta que facilita el análisis de la evolución temporal de la aceleración para un medio de transporte.

$$\text{sobreaceleración}_{(t)} = \frac{a_{i+1} - a_i}{t_{i+1} - t_i}$$

Ecuación 2. Cálculo de sobreaceleración.

Figura 7.

Aceleración y sobreaceleración para movilidad en bicicleta.



Nota: Diagrama de comparación entre la aceleración y sobreaceleración para la movilidad en bicicleta. Fuente: Autor.

5.5. Dinámica del modo de transporte

Dentro del análisis de los patrones de movilidad, resulta importante analizar la dinámica de cada modo de transporte. Este análisis es el punto de partida para determinar las fuerzas principales que intervienen y se oponen al movimiento del vehículo, siendo un indicativo de la relevancia para estudiar el comportamiento de la Movilidad Peatonal, en Bicicleta, en Tranvía, en Bus, en Taxi y en Vehículo Privado.

El cálculo de la resistencia total es el resultado de la sumatoria de cuatro fuerzas que se oponen al movimiento, las cuales son: resistencia aerodinámica, resistencia a la pendiente, resistencia a la rodadura y la resistencia a la inercia. (Dávalos, 2017) menciona que las fuerzas son parte del cálculo energético y de potencia del vehículo.

Para el caso de estudio de esta investigación se han establecido de manera teóricas parámetros y condiciones para los modos de transporte, debido al modo de transporte, dinámica y la geografía. De esta para el cálculo de todas las fuerzas son a partir de una masa unitaria que estará asociada con la velocidad de desplazamiento, pendiente del cuerpo en movimiento. Dado esta parametrización de igual manera al estar relacionadas con las fuerzas aerodinámicas la densidad será unitaria, el valor del coeficiente aerodinámico tendrá el valor de 1 y el área frontal general también será de 1.

$$Masa = 1; Densidad = 1; Cx = 1; \text{Área}f = 1$$

A continuación, se detallan las fórmulas de las fuerzas que intervienen en el movimiento

$$F_t = F_a + F_p + F_r + F_i$$

Ecuación 3. Cálculo de la resistencia total.

Donde :

F_t = Resistencia Total que se oponen al movimiento

F_a = Resistencia Aerodinámica

F_p = Resistencia por pendiente

F_i = Resistencia por inercia

El cálculo de la resistencia aerodinámica (F_a), dependerá de la velocidad de desplazamiento, el área frontal establecido para el caso de estudio, el coeficiente aerodinámico y la densidad unitaria.

$$F_a = \frac{1}{2} * A_f * \rho * Cx * V^2$$

Ecuación 4. Cálculo de la fuerza aerodinámica.

Donde:

$A_f = \text{Área frontal}$

$\rho = \text{densidad del aire } \left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$C_x = \text{Coeficiente aerodinámico}$

$V = \text{Velocidad (km/h)}$

La resistencia a la pendiente será determinada en función del ángulo (θ), para ello el cálculo de dicho ángulo será comprendido como el arcoseno de la variación de la altitud en relación con la distancia acumulativa, siempre y cuando la diferencia en la distancia acumulativa.

$$\theta(t) = \arcsin\left(\frac{\Delta Spa_n}{\Delta Alt_n},\right)$$

Ecuación 5. Cálculo del ángulo de la pendiente.

Donde:

$\theta(t) = \text{ángulo en grados con respecto al tiempo (t)}$

$\Delta Alt_n = \text{diferencia altitud en el punto n}$

$\Delta Spa_n = \text{diferencia en distancia acumulativa en el punto n}$

$$F_p = M * g * \text{Sin } (\theta)$$

Ecuación 6. Cálculo de la resistencia a la pendiente.

Donde:

$M = \text{masa unitaria (kg)}$

(θ) = ángulo en grados con respecto al tiempo (t)

Para el cálculo de la resistencia a la rodadura estará dada principalmente en función de la masa unitaria, coeficiente de rodadura (f_r) que a su vez estará asociada con la velocidad variable de desplazamiento (km/h) y estará ajustada con una componente de 0,0015.

$$F_R = M * g * f_r * \text{Cos}(\theta)$$

$$f_r = 0,015 + 0,01 \left(\frac{V}{360} \right)^{2.5}$$

Ecuación 7. Cálculo de la resistencia a la rodadura.

Donde:

M = masa unitaria (Kg)

V = Velocidad (km/h)

La resistencia por inercia determinada por la masa unitaria y la aceleración de desplazamiento.

$$F_i = M * a$$

Ecuación 8. Cálculo de la resistencia a la inercia.

Donde:

M = masa unitaria (Kg)

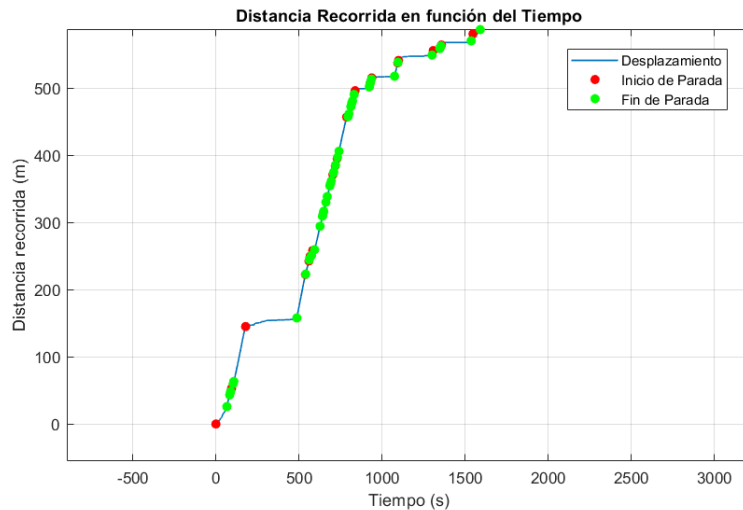
a = Aceleración (m/s^2)

5.6. Distancia Recorrida

La distancia recorrida para cada modo de transporte está comprendida por los tiempos de inicio de paradas y tiempos de fin de paradas

Figura 8.

Distancia recorrida en función del tiempo.



Nota: Ejemplo de la obtención de un diagrama de la distancia recorrida en función del tiempo en un medio de transporte.

$$Distancia\ recorrida = \frac{1}{3.6} \sum_{i=1}^n V_i \Delta t$$

Ecuación 9. Cálculo de la distancia recorrida.

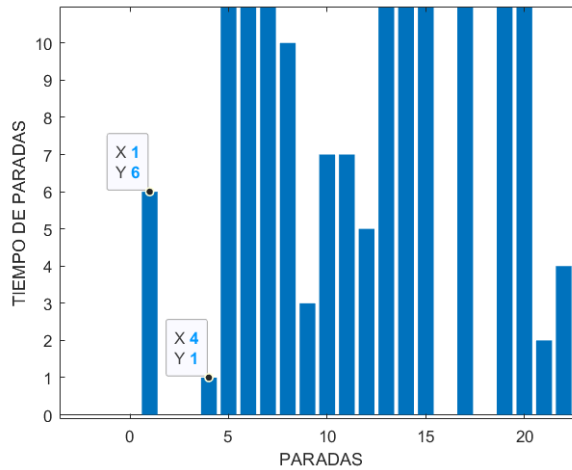
5.7. Tiempos de Parada

Para el cálculo de los tiempos de parada para cada modo de transporte se establecen umbrales de velocidad que corresponden a la velocidad promedio de la Movilidad Peatonal, en Bicicleta, en Tranvía, en Bus, en Taxi y en Vehículo Privado. Estos valores son utilizados posteriormente para identificar las paradas del peatón cuando su velocidad es inferior a cada umbral del modo de transporte establecido. Mediante un vector lógico de paradas se establece que, si cada elemento es verdadero, corresponde a la velocidad real del modo de transporte, falso caso contrario.

Para el tiempo total de parada se suma los intervalos de tiempo en el que el ente se detuvo.

Figura 9.

Diagrama de tiempos de parada por cada segmento de parada.



Nota: Ejemplo de relación del tiempo de parada con respecto a las paradas de un sistema de transporte. Fuente: Autor.

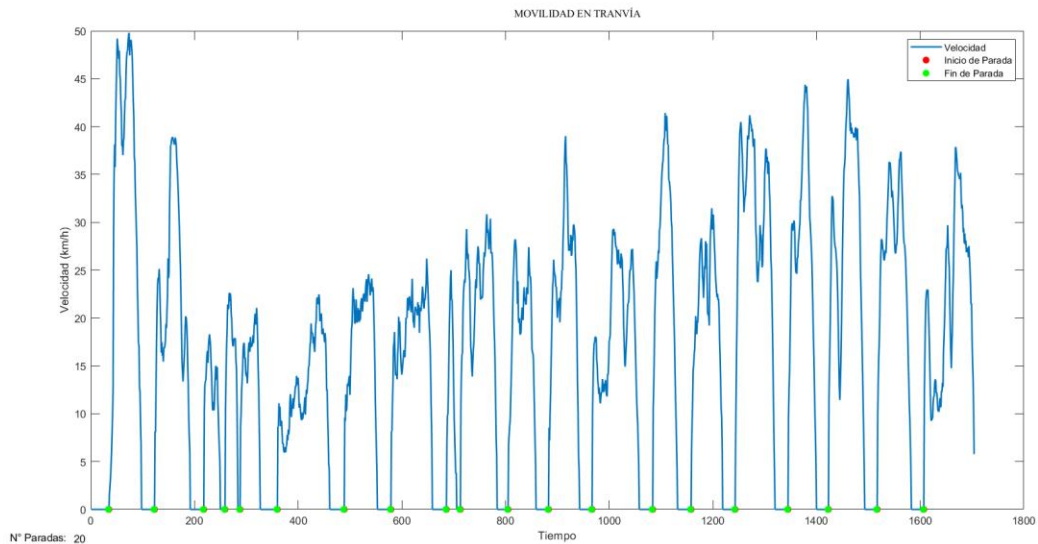
5.8. Número de Paradas

El número de paradas se puede determinar como la sumatoria de las frecuencias de los tiempos de parada final o la sumatoria de las frecuencias de los tiempos de parada inicial.

$$N_p = \sum_{i=1}^n a_i$$

Figura 10.

Diagrama de nuestra del inicio de parada y fin de parada del Tranvía.



Nota: En la siguiente grafica se muestra la velocidad con respecto al tiempo para saber el tiempo de parada desde que inicia hasta su final. Fuente: Autor.

5.9.Descripción sobre los Árboles de Clasificación

Las técnicas de computación conocidas como modelos de aprendizaje automático forman parte de la inteligencia artificial y se comprenden en dos ramas principales: el aprendizaje supervisado, que se utiliza cuando hay variables predictoras para predecir una variable específica, y el aprendizaje no supervisado, que analiza un conjunto de observaciones en busca de patrones.

Los árboles de clasificación se comprenden como representaciones gráficas utilizadas para tomar decisiones basadas en los valores de variables predictoras y determinar un valor probabilístico, además los árboles de clasificación constan de nodos raíces, ramas y hojas.

(Wolf, 2005) describe el enfoque del aprendizaje supervisado mediante árboles de decisión se cómo una técnica de aprendizaje.(Sharda et al., 2016) define el árbol de decisión como un

modelo de aprendizaje supervisado que asigna de manera jerárquica un dominio de datos a un conjunto de respuestas. La idea subyacente consiste en dividir de manera recursiva un dominio de datos(nodo) en dos subdominios, de tal manera que estos subdominios exhiban una ganancia de información superior a la del nodo original.

5.10. Desarrollo del Algoritmo de Clasificación

Para el presente trabajo de investigación se llevó a cabo el desarrollo de un algoritmo de aprendizaje de árbol de decisión para realizar la predicción de patrones de movilidad en un conjunto de datos contextuales recopilados de estudiantes y personas que radican en la ciudad de Cuenca. Este método resulta de mejores rendimientos a comparación de otro (Xiao et al., 2017) en sus hallazgos menciona que los modelos de conjunto basados en árboles consumen menos tiempo que otros y pueden manejar grandes volúmenes de datos en el futuro.

El modelo de algoritmo de árbol de decisión se implementó en el software Matlab y para el dominio de datos se introdujeron datos iniciales de cada modo de transporte: ‘Peatón’, ‘Bicicleta’, ‘Tranvía’, ‘Bus’, ‘Taxi’, ‘Vehículo Privado’, durante la construcción del árbol de decisión, se empleó una división del árbol a partir de las variables de entrada, a partir de ello se creó subdominios de (velocidad, aceleración, sobreaceleración) para una clasificación adecuada según las etiquetas (‘1=Peatón’,‘2=Bicicleta’,‘3=Tranvía’,‘4=Bus’,‘5=Taxi’, ‘6=Vehículo Privado’).

5.11. Entrenamiento

Para la parametrización y la optimización se realizan simultáneamente en cada nodo mientras se construye el árbol de decisión (división de los dominios de datos y subdominios) con el objetivo de obtener una ganancia de información en cada división. Este proceso se realizó de

forma recursiva hasta dividir el dominio de datos en varios subdominios, donde cada dominio presenta una clasificación óptima.

El modelo se comienza la descripción y análisis de cómo un dominio de datos formado por una sola característica en este caso las variables independientes pueden dividirse y asignarse a un conjunto de respuestas de clases (discretas). Sea $V1=\{X1,X2,X3.....Xn\},$, $Ax=\{Y1,Y2,Y3...Yn\}$, $Sx=\{N1,N2...Nn$, con un conjunto de etiquetas de clase asignadas $\{('1=Peatón', '2=Bicicleta', '3=Tranvía', '4=Bus', '5=Taxi', '6=Vehículo Privado')\}$. Entonces el nodo raíz del árbol de decisión es la característica $X1$, y su valor se utilizó para dividir el dominio de datos.

(Raínho Alves Torgo, 1999), menciona que con estos modelos no asumen ninguna forma fija de la superficie de regresión, ellos pueden fácilmente sobre ajustar la muestra de entrenamiento dada, al generar demasiadas áreas locales para aproximar la superficie desconocida.

5.12. Correlación entre variables

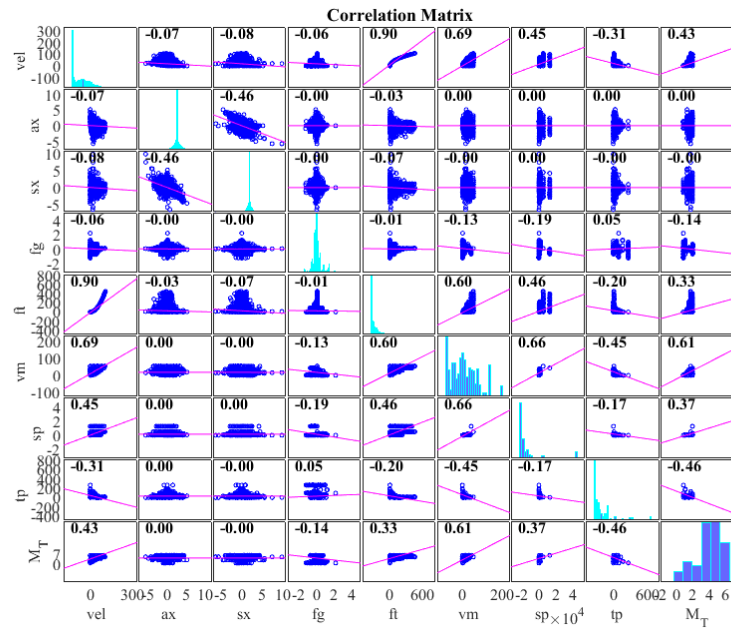
La gráfica de correlación está caracterizada por las variables dependientes calculadas que son la velocidad promedio, aceleración, sobreaceleración, sobreaceleración, resistencia a la rodadura, resistencia total que se opone al movimiento, distancia recorrida, tiempos de parada y velocidad promedio a partir de las variables de entrada.

La presencia de valores cercanos a -1 y 1 indican una asociación entre variables de los subdominios resultantes. Este hecho sugiere que, a través del entrenamiento y obtención del algoritmo de árbol de clasificación, se observó que la determinación de los patrones de movilidad conlleva, como primera consecuencia, que la resistencia total que se opone al movimiento está directamente influenciada por la velocidad de desplazamiento y las velocidades medias. Además, se constata que los modos de transporte están correlacionados con las velocidades medias de los modos. La resistencia a la rodadura también guarda relación

con las velocidades medias. La distancia recorrida de igual manera muestra una vinculación con las velocidades medias de cada tipo de transporte.

Figura 11.

Matriz de correlación.



Nota: Matriz de correlación resultados. Fuente: Autor.

En las variables analizadas, se destaca una alta correlación del 89,79% entre la velocidad y resistencia total que se opone al movimiento del vehículo. Esta fuerte conexión se explica por la relación directa entra la velocidad y la resistencia aerodinámica, siendo crucial para du terminación. En el caso de las velocidades medias, la correlación presentada resultó del 69,03%, y la variable de velocidad media está vincula tanto con la distancia recorrida como con los modos de transporte. Por otro lado, las variables con coeficientes cercanos al 60% y aproximadamente al 0% indican relaciones insignificantes entre sí. Tal es el caso de la resistencia a la rodadura, donde los porcentajes sumamente bajos indica que no depende directamente de la velocidad y la resistencia total. En cuanto a la sobreaceleración, su influencia en las variables mencionadas corresponde a valores mínimos, a excepción de la aceleración

donde la relación es moderada, aunque no alta. Aunque el coeficiente de relación es bajo, es importante señalar que para establecer los patrones de movilidad y analizar el comportamiento humano, los valores de aceleración y sobreaceleración son fundamentales, ya que serán utilizados para asignar etiquetas de transporte correspondientes. En la figura 12, se observan los valores de los coeficientes de la matriz de correlación, los cuales fueron generadas durante el proceso de entrenamiento del algoritmo.

Figura 12.

Interpretación de la información obtenida.

	vel	ax	sx	fg	ft	vm	sp	tp	medio
vel	1	-0.066162	-0.084837	-0.057174	0.89798	0.69039	0.45457	-0.30648	0.42674
ax	-0.066162	1	-0.45662	-0.0020502	-0.031504	0.00021378	0.0002804	0.00036016	3.1157e-05
sx	-0.084837	-0.45662	1	-5.0338e-05	-0.069334	-0.0030165	0.00012693	-0.00031391	-2.8838e-05
fg	-0.057174	-0.0020502	-5.0338e-05	1	-0.014958	-0.12767	-0.19419	0.048477	-0.13513
ft	0.89798	-0.031504	-0.069334	-0.014958	1	0.60206	0.46214	-0.20124	0.33307
vm	0.69039	0.00021378	-0.0030165	-0.12767	0.60206	1	0.65806	-0.4503	0.61489
sp	0.45457	0.0002804	0.00012693	-0.19419	0.46214	0.65806	1	-0.17409	0.37132
tp	-0.30648	0.00036016	-0.00031391	0.048477	-0.20124	-0.4503	-0.17409	1	-0.45629
medio	0.42674	3.1157e-05	-2.8838e-05	-0.13513	0.33307	0.61489	0.37132	-0.45629	1

Nota: Correlación de variables.

En la siguiente tabla se destacan los coeficientes de correlación más relevantes entre las variables mencionadas anteriormente. Estos coeficientes proporcionan una relación significativa entre las variables, siendo de particular importancia para comprender las interacciones en el contexto del estudio

Tabla 1

Coefficientes de correlación de las variables más significativas.

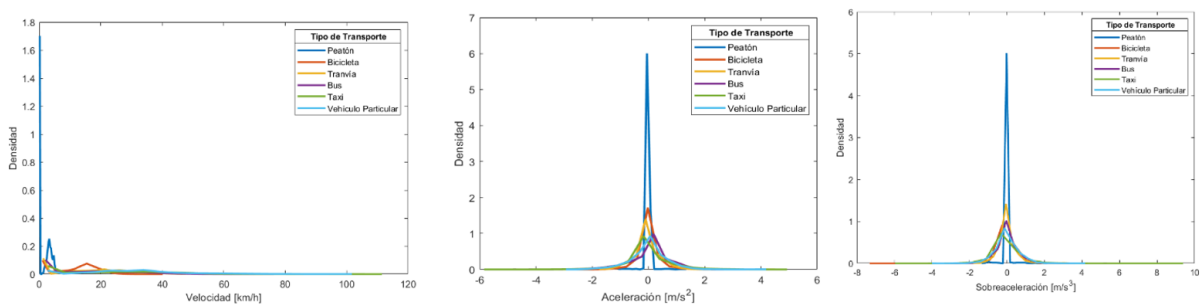
Variables.	ft	vm	sp
Vel	0.89798	0.69039	
vm	0.602	0.614	0.658

6. EFICIENCIA Y PRECISION DEL ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN.

Con el fin de representar gráficamente la distribución de la velocidad, aceleración y sobre aceleración, en relación con la frecuencia de ocurrencia para cada nivel, se propone una aproximación general de frecuencia de ocurrencia para establecer una comparación bajo el mismo rango para cada valor de cada uno y para cada modo de transporte, de esta manera a partir de un histograma de área unitaria construido por un conjunto de “N” frecuencias relativas de velocidad, aceleración y sobre aceleración, donde la densidad representa el ‘número de veces por cada frecuencia’, se emplea para comprender el número de veces que una persona se ha desplazado a distintas velocidades, distintos modos de transporte y en distintas zonas, tanto urbanas como rurales. La sumatoria de las áreas unitaria bajo la curva establecidas, para dicha sumatoria el valor comprende de 1.

Figura 13.

Histogramas de los modos de transporte.



Nota: Histogramas de todos los medios de transporte en el que se ha tomado los datos para el entrenamiento de la red. Fuente: Autor.

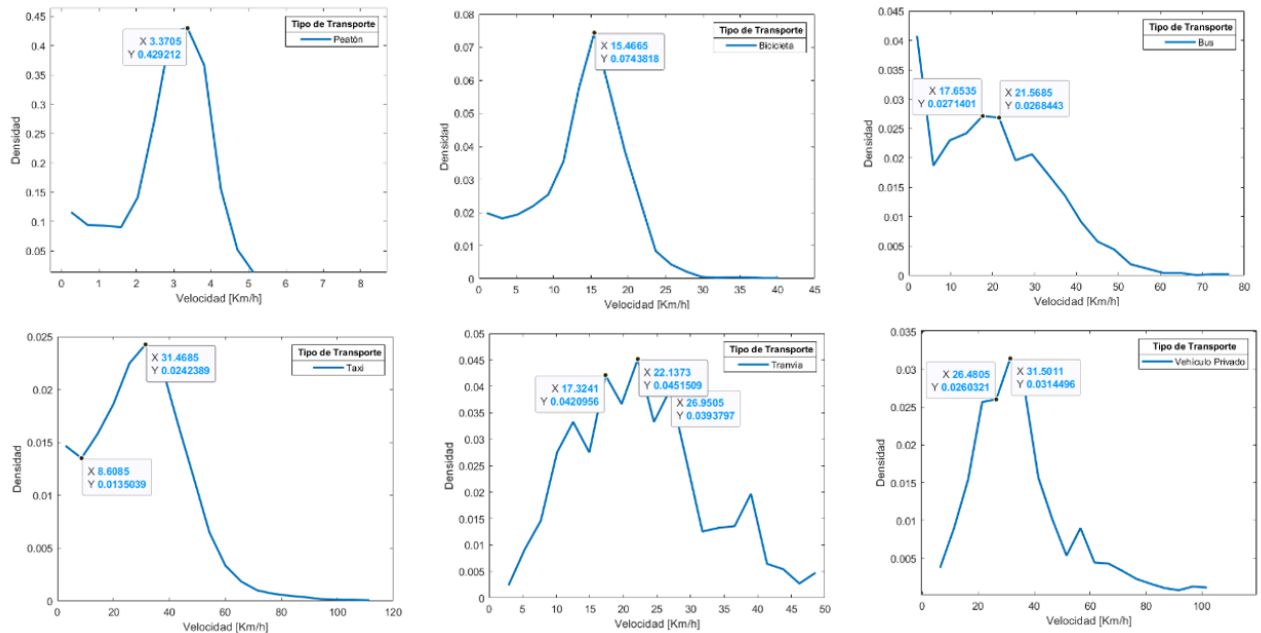
Para el modo de movilidad peatonal, la velocidad predominante de desplazamiento se sitúa mayoritariamente en torno a 3.37 km/h a una densidad correspondiente de 0.42. Para transporte en bicicleta se destaca una frecuencia de ocurrencia de 0,074 a 15.46 km/h. Esta característica de su velocidad se asocia con el desplazamiento para zonas rurales y urbanas.

Para el sistema de transporte público en Bus se reflejan densidades destacables de 0,027 y 0,026 para velocidades de 17,65 km/h y 21,56 km/h, valores que reflejan el rango promedio de velocidad con la cuál frecuentemente se desplaza esta red de movilidad, según (DURÁN, 2020), la velocidad promedio de los buses se encuentran 19,97 km/h. En relación con el Tranvía, la velocidad de desplazamiento más eventual fluctúa entre 17,32 km/h, 22,13 km/h y 26,90 km/h, señalando como el rango de velocidad característico en el cuál este modo de transporte se desplaza para realizar su recorrido. En el ámbito del sistema de transporte privado, específicamente el taxi, se establece una frecuencia significativa de 0,024 en función de la velocidad de 31,46 km/h, señalando como el valor típico de velocidad de desplazamiento de este modo de transporte, además se evidencia una frecuencia recurrente de 0,013 en 8,60 km/h, estos valores están asociados con el congestionamiento vehicular, según (Palacios & Vinueza, 2012) señala que en horarios de mayor afluencia la velocidad de traslado promedio es de 7 km/h a 9,37 km/h. Por último, en lo que respecta al vehículo privado, la frecuencia de ocurrencia más significativa se comprende entre 0,026 y 0,0231, correspondientes a velocidades de 23,48 km/h a 31,50 km/h, generalizando como un intervalo característico de velocidad de desplazamiento de este modo de transporte en zonas rurales.

Entre las velocidades más significativas según su frecuencia de ocurrencia en bus, tranvía, taxi y vehículo privado destaca un rango entre 1,5 km/h–3 km/h, lo que representa desplazamiento en horas de congestionamiento vehicular, donde (Palacios & Vinueza, 2012) destaca unas zonas de conflictos extendidos de 9h00–11h30 a 16h00–20h00 con velocidades de 2,9 2,71 km/h.

Figura 14.

Histogramas unitarios de la velocidad.



Nota: Histograma que muestra el comportamiento de la velocidad en los distintos medios de transporte: Fuente: Autor.

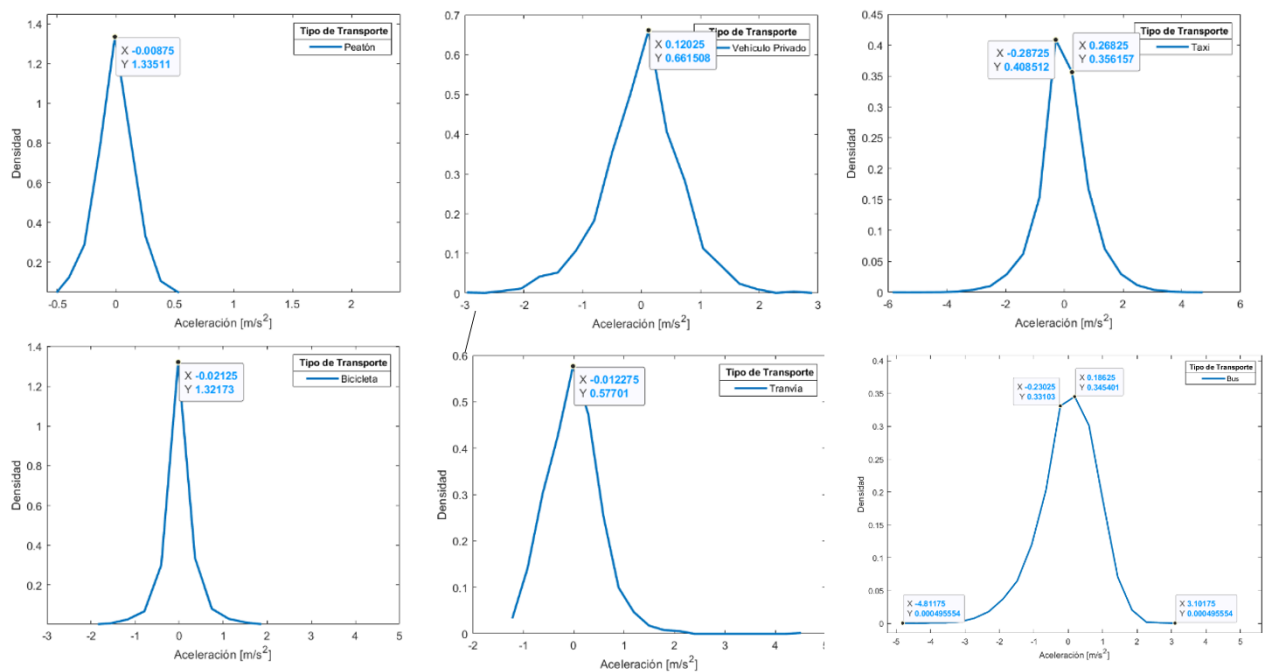
6.1. Aceleración

La movilidad peatonal está comprendida por aceleraciones desde $-0,5$ a $0,5 \text{ m/s}^2$ con una frecuencia de desplazamiento mayor de 1,33 en $0,008 \text{ m/s}^2$. Para transporte en bicicleta las aceleraciones se comprenden entre $-2,69$ hasta $4,56 \text{ m/s}^2$, manifestándose con mayor densidad de desplazamiento a $-0,021 \text{ m/s}^2$. La frecuencia de ocurrencia de aceleración para el modo de transporte del Tranvía se reflejó un valor típico de $0,57 \text{ m/s}^2$, según (Ortega & Pilco, 2017) establecen que la aceleración promedio para el Tranvía es $0,7 \text{ m/s}^2$ para velocidades hasta máximo de 50 km/h. En cuanto para el bus de transporte público los valores de aceleraciones se encuentran entre $-4,81$ y $3,10 \text{ m/s}^2$, sin embargo, los valores con más frecuencia se encuentran entre $-0,23$ y $0,18 \text{ m/s}^2$. Para el sistema de transporte privado del taxi las

fluctuaciones de aceleración con mayor densidad se encuentran entre $-0,28 \text{ m/s}^2$ y $0,35 \text{ m/s}^2$, (YUPANQUI, 2020), menciona que las aceleraciones para un taxi los valores fluctúan entre $0,64 \text{ m/s}^2$ y $-0,72 \text{ m/s}^2$. Por último para el vehículo privado las aceleraciones varía de $-2,96 \text{ m/s}^2$ y $2,89 \text{ m/s}^2$, no obstante para la mayor densidad de frecuencia comprende un valor de $0,12 \text{ m/s}^2$, (Guzmán & Idrovo, 2023) en su investigación, revelan que el transporte en bicicletas eléctricas y automóviles llegan desplazarse en 19 km/h con aceleraciones de $0,00397$ y $0,00632971 \text{ m/s}^2$, (CUSCO, 2019) menciona que la máxima aceleración se localiza tanto en primera marcha y las aceleraciones que casi llegan a cero se pueden encontrar como en todas las marchas, siempre y cuando la apertura del TPS sea constante.

Figura 15.

Histogramas unitarios de la aceleración.



Nota: Histograma que muestra el comportamiento de la aceleración en los distintos medios de transporte: Fuente: Autor.

6.2.Sobreaceleración.

(Castillo, 2021), Menciona que la sobreaceleración se conoce como el tirón o sacudida que experimenta un cuerpo al acelerar y es representada como la derivada de la aceleración respecto al tiempo, es función de ello, la sobre aceleraciones se describe como la tasa de cambio de la aceleración, (Rosero et al., 2022) señala que la sobreaceleración al igual que la aceleración dependerá de la ruta, sector de ciudad y tipo de transporte.

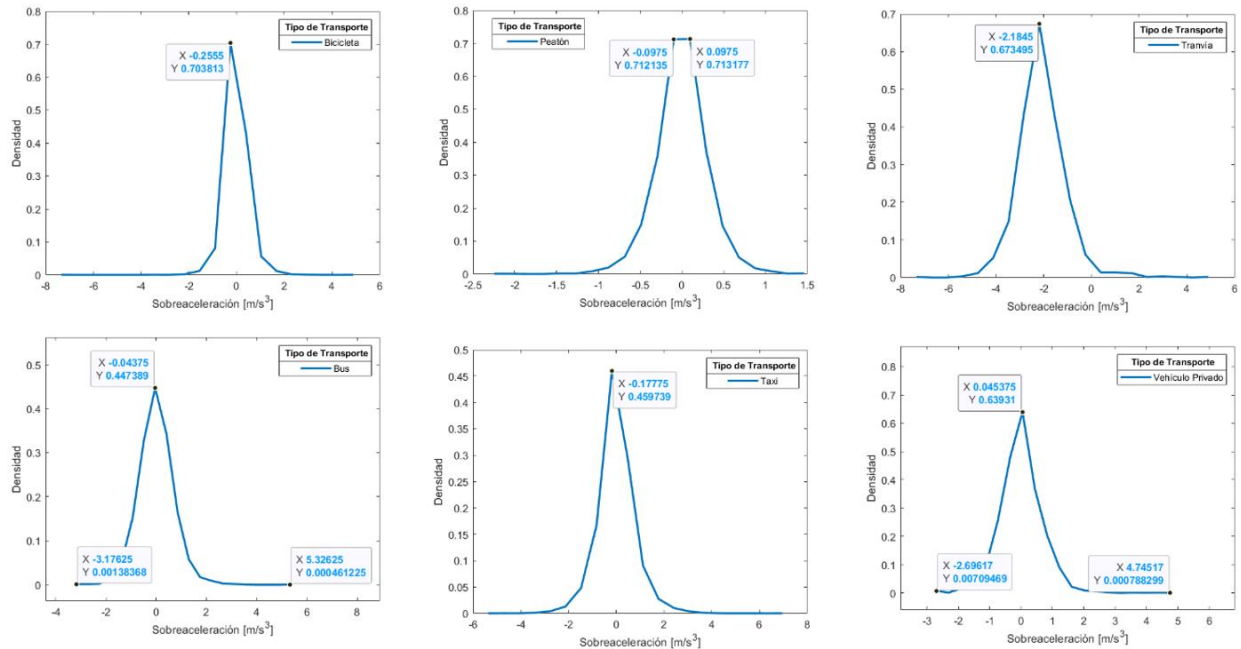
Según (Alonso et al., 2021), señala que un bajo nivel de sobreaceleración evita que se produzcan derrapes o pérdida de dirección. En la movilidad peatonal se evidencia un valor de sobreaceleración de $0,09 \text{ m/s}^3$ con mayor tasa de ocurrencia.

Para la movilidad en bicicleta, la sobreaceleración característica de este modo, se destaca un valor de $-0,25 \text{ m/s}^3$ en un índice frecuencial de 0,71, siendo un valor y a su vez la cifra típica brusca de aceleración de este modo de transporte. En cuanto la movilidad en tranvía el índice fluctuante característico de este modo de transporte ronda entre los -2.81 m/s^3 .

Para el Vehículo Privado el valor de sobreaceleración fluctúa entre $-2,69$ y $4,74 \text{ m/s}^3$ a bajas densidades, sin embargo, la densidad más frecuente se sitúa entre los $0,63 \text{ m/s}^3$, (Alonso et al., 2021) describe el sobre aceleramiento como la acción de cambiar abruptamente de carril durante una maniobra de adelantamiento con un límite entre -2 y 2 m/s^3 .

Figura 16.

Histogramas unitarios de la sobreaceleración.



Nota: Histograma que muestra el comportamiento de la sobreaceleración en los distintos medios de transporte: Fuente: Autor.

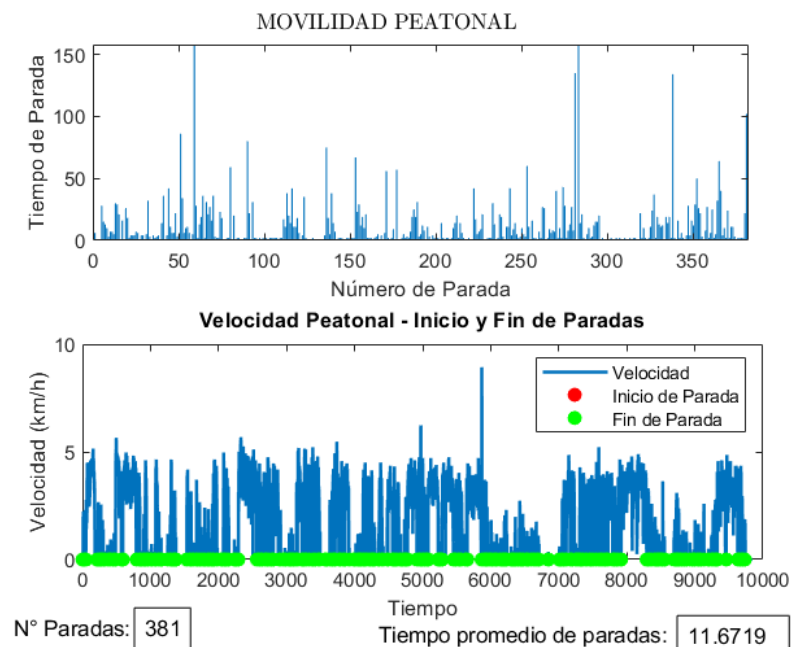
6.3. Tiempo de parada en Movilidad Peatonal.

Los tiempos de parada para todos los modos de transporte se relacionan con la velocidad y desplazamiento, y los números de parada se relacionan con la frecuencia de paradas destacadas por el individuo. Para la movilidad peatonal se han considerado un umbral de velocidad de 3,37 km/h, cuyo valor corresponde a la velocidad media de desplazamiento de un peatón. En la prueba de ruta solo se recopiló en un trayecto, donde empíricamente se tomó los datos de tiempos y números de parada para corroborar que el comportamiento peatonal sea verídico con la realidad, después se estableció un trayecto largo desde, cuyo trayecto implicaba más paradas y tiempos de paradas. El tiempo de parada al caminar es mínimo por ser accesible y eficiente, así como su impacto en el trayecto, que resulta de 4,06 segundos, en este trayecto se determinó

que la persona ha realizado 564 paradas. Estos periodos de detención pueden influirse principalmente por las interacciones con otros peatones y los cruces peatonales, donde se espera que los transeúntes cesen para garantizar una circulación segura y ordenada. Este diseño intuitivo y ágil del desplazamiento peatonal contribuye a su atractivo como movilidad eficiente e intrusiva en el entorno urbano.

Figura 17.

Gráfica de numero de paradas y tiempos de paradas en la movilidad peatonal.



Nota: Gráfica que explica el número de parada y las velocidades del peatón. Prueba 2.

Fuente: Autor.

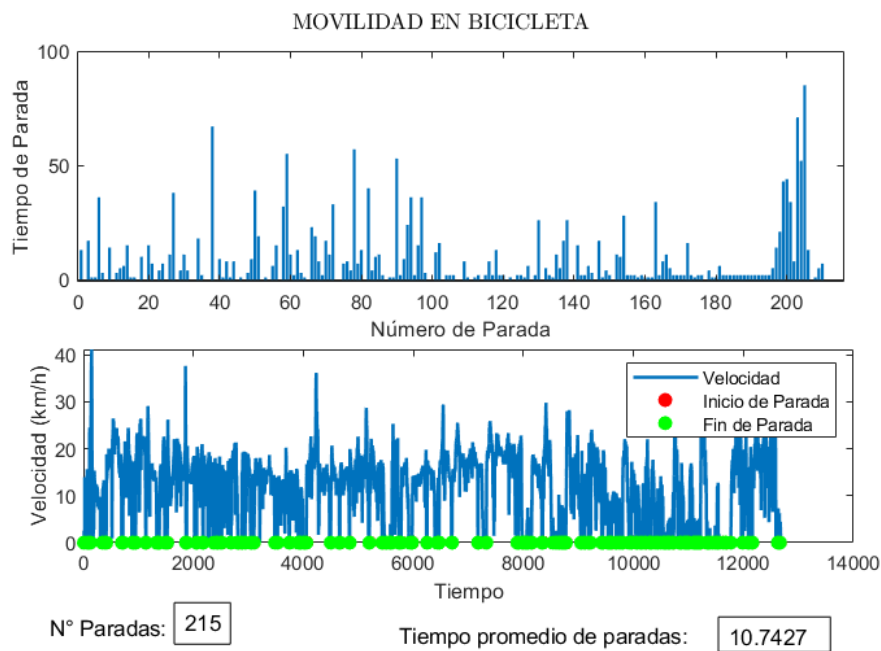
6.4. Tiempo de parada en movilidad en Bicicleta.

Según (Cuenca GAD Municipal I, 2015), las bicicletas a pesar de no ser un vehículo motorizado de transporte se consideran como vehículo sometiendo a las mismas normas de circulación que los medios motorizados, aunque su representación en la ciudad es la más pequeña de todas con apenas un 0,71%.

En relación con el medio de transporte en bicicleta, se ha registrado un valor de 215 paradas aproximadamente por un individuo promedio que efectúa un trayecto al largo de 50 km por zona urbana y rural. Para este propósito se ha considerado un umbral de estimación de 16 km/h, valor que se indica como la velocidad promedio de este modo de transporte. En cuanto al tiempo de parada, para una filtración de datos, se excluyeron valores excepcionalmente altos, considerados arrobaciones, para dicho valor durante el trayecto fue de 15,56 segundos.

Figura 18.

Gráfica de numero de paradas y tiempos de paradas en la movilidad em bicicleta.



Nota: Gráfica que explica el número de parada y las velocidades de la bicicleta. Fuente: Autor.

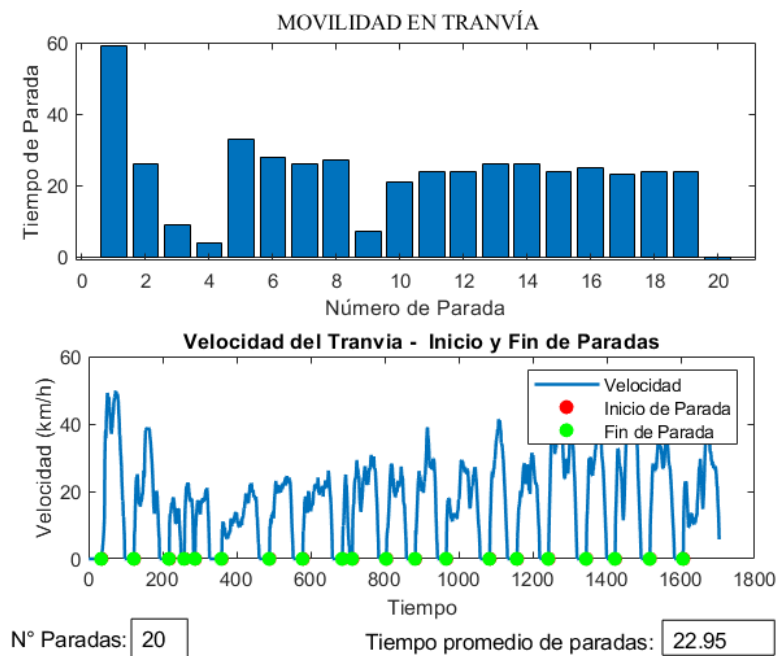
6.5. Tiempo de parada en movilidad en Tranvía.

El Sistema de Transporte tranviario dispone 20 paradas, las cuales 15 corresponden entre paradas comerciales, subida y bajada de pasajeros, y 5 paradas fueron técnicas debido a señales mal sincronizadas, igual que la imprudencia y el mal uso del espacio público de peatones y

conductores de otros medios de transporte. Como se debe a un sistema cuyo desplazamiento se va en un sistema de rieles fijos, los tiempos de paradas comerciales son similares y las técnicas varían según las eventualidades. El tiempo promedio de estas paradas es de 23,05 segundos, dando a entender que es un medio de transporte preferente a la hora de transitar en el entorno urbano, lo que le hace eficiente frente a otros medios de transporte.

Figura 19.

Gráfica de numero de paradas y tiempos de paradas en la movilidad de tranvía.



Nota: Gráfica que explica el número de parada y las velocidades del tranvía. Fuente: Autor.

6.6. Tiempo de parada en movilidad en Bus

En este tipo de sistema de transporte dispone de 120 paradas debido a que tienen gran relación con el número de pasajeros que suben y bajan del bus, como efecto los tiempos de las paradas no resultan ser semejantes. Además de que al transitar por zonas urbanas sobre todo en ciertas horas del día la congestión vehicular ocasiona que tenga mayor número de paradas con tiempos extendidos.

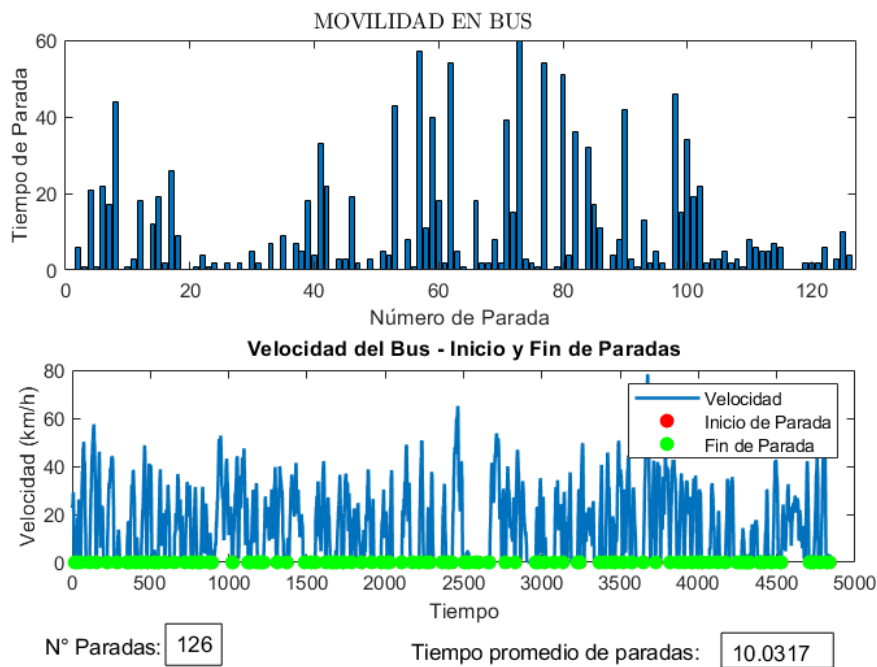
En una prueba tomada en diferentes líneas de buses se obtiene un resultado de 120 paradas con un tiempo promedio de 9,33 segundos, cabe recalcar que este tiempo promedio resulta de paradas técnicas dadas por la congestión vehicular, semáforos u otras circunstancias en el cual se forzó al bus a detenerse.

Según (Fernández et al., 2014) de acuerdo con su investigación donde, en resumen, los parámetros para buses en la ciudad de Londres son: tiempos muertos o paradas va desde 2,8 a 8,3 segundos, tiempos de subida, 1,6 a 8,4 segundos por pasajero y tiempo de bajada de 1,1 a 2,0 segundos por pasajeros.

De acuerdo con (Cuenca GAD Municipal I, 2015), este medio en su mayor parte está conformados por buses de transporte público que circulan en la ciudad y pocos buses que circulan por el entorno urbano con una representación del 2.7% del total.

Figura 20.

Gráfica paradas y tiempos de paradas en bus.



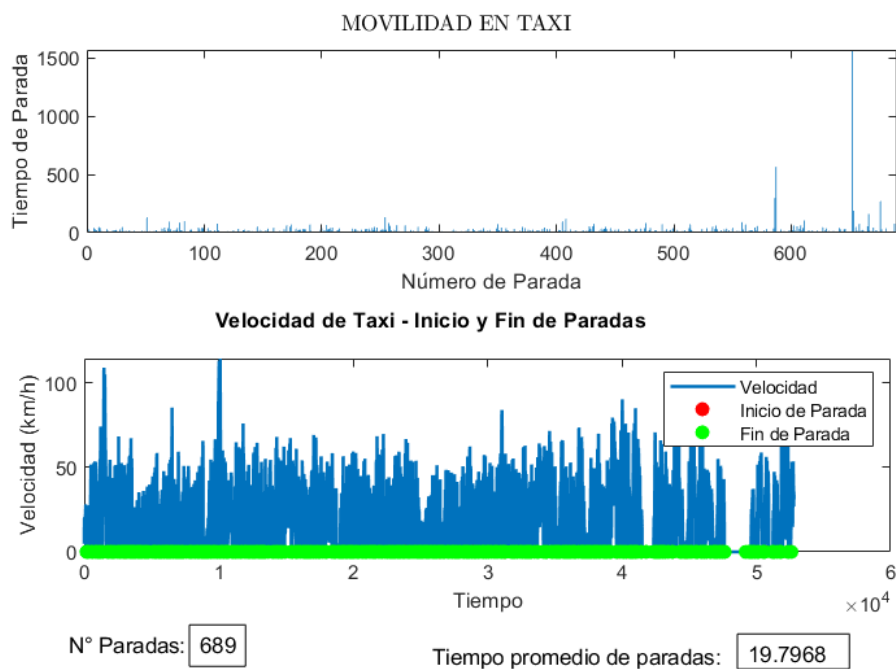
Nota: Gráfica que explica el número de parada y las velocidades de la bicicleta. Fuente: Autor.

6.7. Tiempo de parada en movilidad en Taxi.

En este medio de transporte en la prueba realizada cuenta con 403 paradas con un tiempo promedio de 8,71 segundos, esta prueba destaca por ser una de las rutas más largas en la toma de datos, además de que el vehículo estuvo en varias zonas como son urbanas, rurales, autopista, entre otras. El tiempo de parada influye por factores como la demanda de pasajeros, ubicación, la hora del día, las condiciones de tráfico y disponibilidad de taxis puede influir en estos tiempos.

Figura 21.

Gráfica de paradas y tiempos de paradas en taxi.



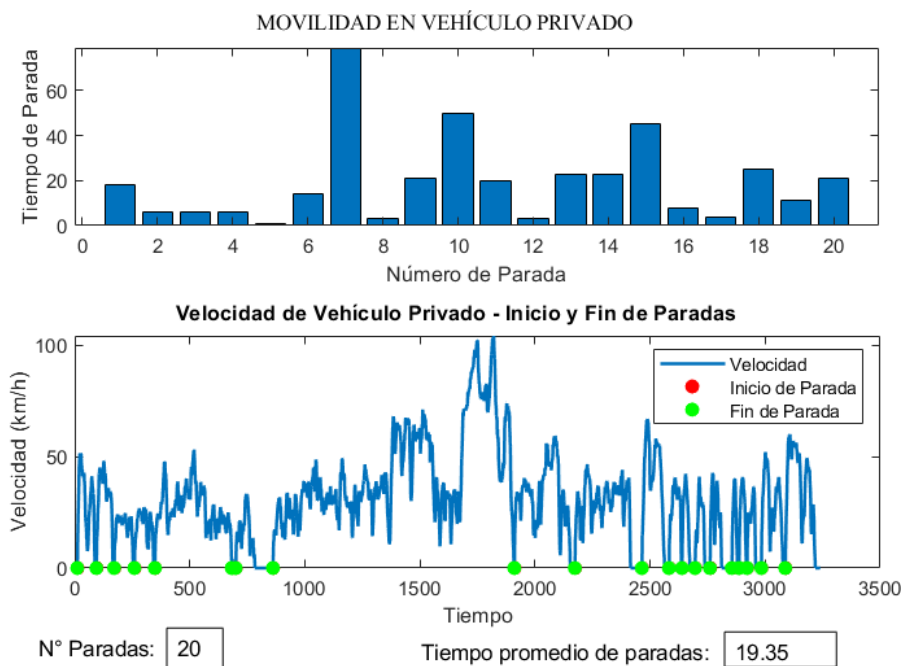
Nota: Gráfica que explica el número de parada y las velocidades del taxi. Fuente: Autor.

6.8. Tiempo de parada en movilidad en Vehículo Privado.

Este medio de transporte cuenta con las velocidades más altas, pero al adentrarse a zonas urbanas los tiempos de parada se ven afectados notablemente con un tiempo promedio de la ruta de prueba de 23.70 segundos, este tiempo se debe a la congestión vehicular en las zonas de mayor afluencia. Al ser un vehículo privado los tiempos de parada mayormente pueden ser ocasionados por el problema vehicular sobre todo en áreas urbanas, además de obstaculización de estacionamientos y los tiempos de semaforización son factores que influyen y que generalmente es evidenciado en el centro histórico y en la Av. Huayncapac.

Figura 22.

Gráfica de numero de paradas y tiempos de paradas en la movilidad en vehículo privado.



Nota: Gráfica que explica el número de parada y las velocidades del vehículo privado.

Fuente: Autor.

En la Tabla 2 se encuentran representados los cálculos computacionales de las variables de velocidad, aceleración y sobreaceleración promedio, así mismo como el tiempo promedio de paradas y número de paradas para cada modo de transporte. En contexto de lo que se ha mencionado anteriormente, las variables de velocidad promedio resultan ser significativas y muy representativas para cada modo de transporte, las cuáles serán fundamentales para la predicción y entrenamiento del algoritmo de árbol de clasificación. En cuestión de la aceleración y sobreaceleración promedio resultan valores muy bajos el cual representa anomalías para el comportamiento de desplazamiento. Para los tiempos promedios de parada y número de paradas están vinculadas directamente con la velocidad promedio de desplazamiento, producto de aquello se evidencia que el modo de transporte del tranvía satisface con las paradas que cuenta el transporte ferroviario, para los demás modos de transporte se evidencia que los tiempos y números de parada dependerán el entorno transitorio vehicular.

Tabla 2.

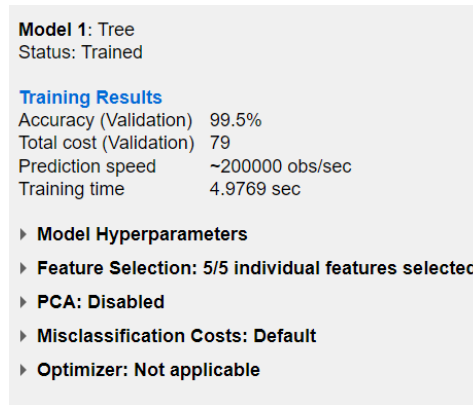
Variables de entrada de cada modo de transporte .

Modo de Transporte	Velocidad con mayor densidad (km/h)	Aceleración con mayor densidad (m/s^2)	Sobreaceleración a mayor densidad (m/s^3)
Peatón	3.370	-0.087	-0.975
Bicicleta	15.466	-0.021	-0.255
Tranvía	22.137	-0.0122	-2.184
Bus	21.568	0.186	-0.043
Taxi	31.468	-0.287	-0.177
Vehículo Privado	31.501	0.120	0.045

El parámetro de ajuste fue la profundidad máxima del árbol y se utilizó para controlar el sobreajuste. La Figura 23 se muestra cómo la profundidad del árbol no afecta el rendimiento del modelo. El mejor rendimiento fue del 99,95 %.

Figura 23.

Resultados del entrenamiento del algoritmo de árbol de clasificación.



The image shows a screenshot of a software interface displaying the training results for a Decision Tree model. The text is as follows:

```
Model 1: Tree
Status: Trained

Training Results
Accuracy (Validation) 99.5%
Total cost (Validation) 79
Prediction speed ~200000 obs/sec
Training time 4.9769 sec

▶ Model Hyperparameters
▶ Feature Selection: 5/5 individual features selected
▶ PCA: Disabled
▶ Misclassification Costs: Default
▶ Optimizer: Not applicable
```

Nota: Obtención de resultados de diferentes parámetros, primer entrenamiento.

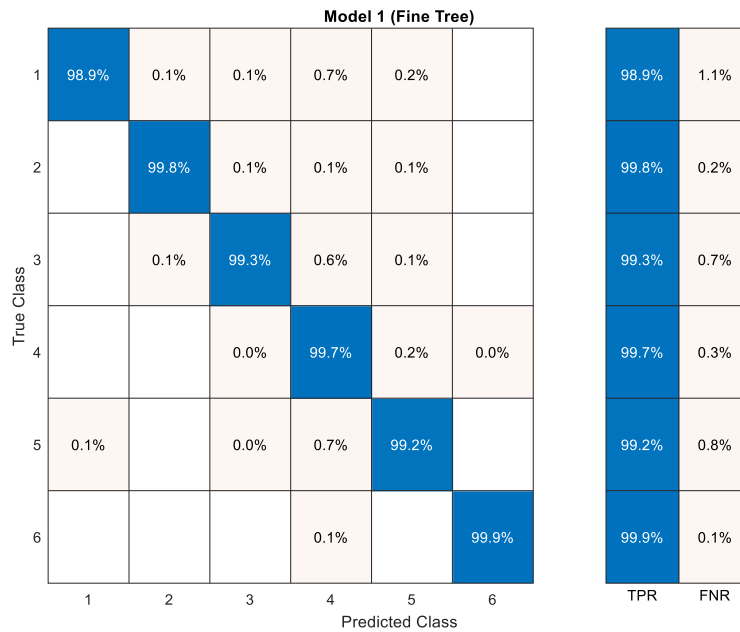
Fuente Autor.

Como resultado del entrenamiento y desarrollo del modelo de aprendizaje se obtuvo una matriz de confusión, el cual están representados el porcentaje de rendimiento por cada modo de transporte, siendo para la movilidad peatonal el 98.9%, en bicicleta el 99,8%, en tranvía el 99,3%, en bus el 99,7%, en taxi 99,2 % y en vehículo privado el 99,9%

El error cuadrático medio es bastante sensible a los valores atípicos. Estos elementos de datos pueden distorsionar la estadística de error cuadrático medio y posiblemente conducir a decisiones equivocadas en el proceso de crecimiento de un árbol.

Figura 24.

Resultados de entrenamiento del árbol de clasificación



Nota: Resultados del entrenamiento del árbol de clasificación predicciones en porcentaje.

Fuente: Autor.

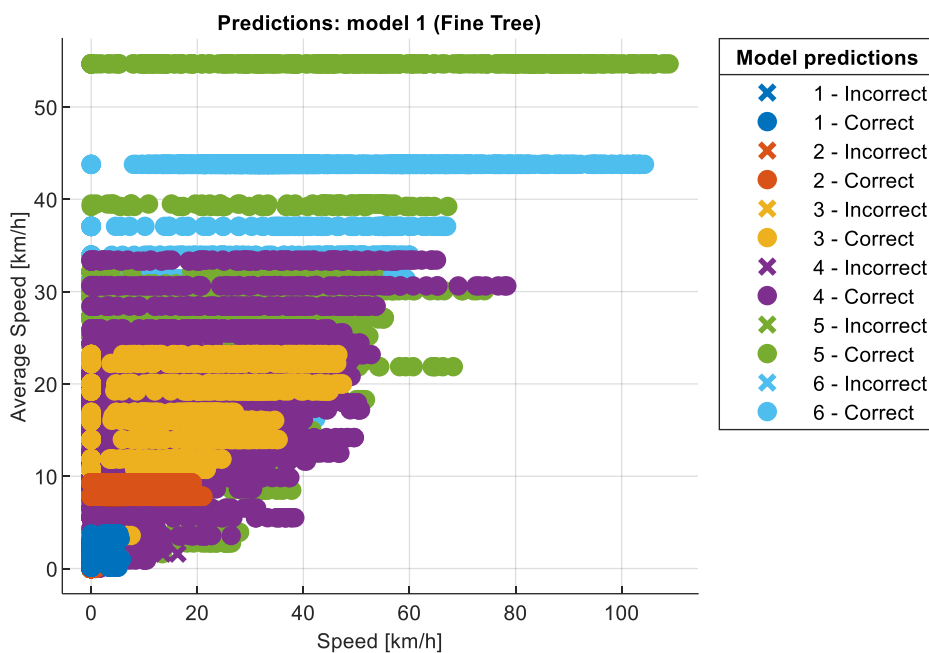
Para la predicción de los modos de transporte, el modelo del algoritmo del árbol se desarrolló y se entrenó a partir del cálculo computacional de las velocidades medias de cada modo de transporte en un trayecto total con respecto a un punto de partida y un final, en una segunda instancia, el árbol parametrizó y también obtuvo el cálculo de las velocidades medias por cada tramo de un trayecto completo. En función de ello se estableció aciertos de velocidad para cada modo de transporte y estableció errores de tal manera que efectúe el aprendizaje esperado para cada modo de transporte de acuerdo con su velocidad promedio de desplazamiento.

En la figura x se encuentran representados en el eje ‘x’ los valores de velocidades medias de ‘Peatón’, ‘Bicicleta’, ‘Tranvía’, ‘Bus’, ‘Taxi’, ‘Vehículo Privado’ por trayecto total cumplido, y en el eje ‘y’ se encuentran los valores de las velocidades medias por cada segmento del trayecto total por cada modo de transporte, los puntos graficados representan los aciertos por cada modo de transporte y las cruces marcadas indican los errores cometidos del algoritmo,

dicho de otra manera, señalan las instancias en las cuáles se ha incurrido en errores al categorizar cada modalidad de transporte con respecto a su velocidad de desplazamiento. Para ello los valores “1”, “2”, “3”, “4”, “5”, “6” representan a los modos de transporte: ‘Peatón’, ‘Bicicleta’, ‘Tranvía’, ‘Bus’, ‘Taxi’ y ‘Vehículo Privado’.

Figura 25.

Predicciones del algoritmo de los modos de transporte con respecto a su velocidad.



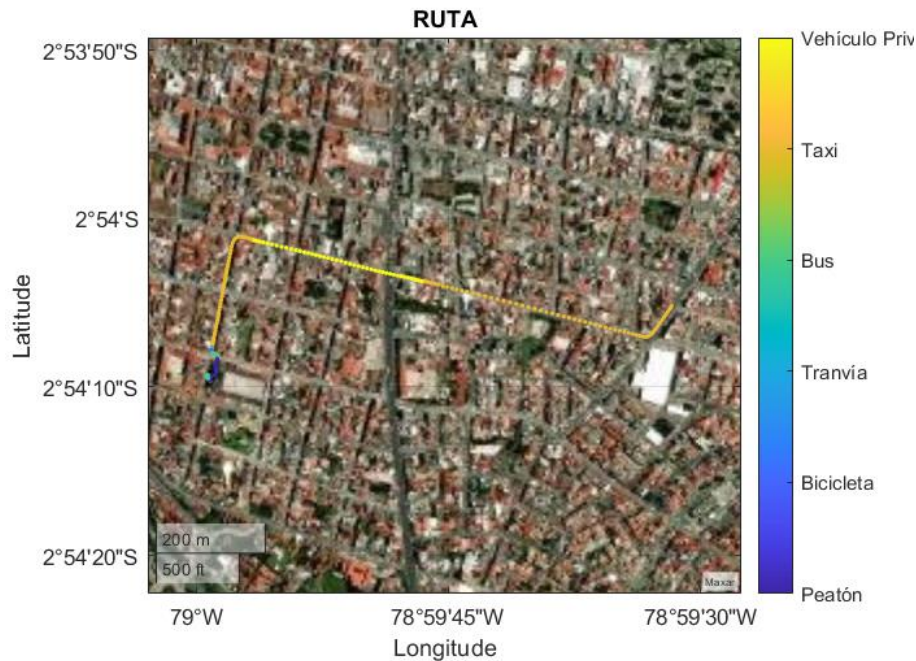
Nota: Predicción de velocidad para cada sistema de transporte

Fuente: Autor.

La manifestación de la eficiencia del entrenamiento y evolución del algoritmo de árbol de clasificación se manifiesta a través de la visualización de la figura 26 generada en el software Matlab. En esta representación, cada segmento delineado exhibe un tono cromático distintico asociado a un modo específico de transporte, permitiendo así la inferencia del medio de desplazamiento empleado por una persona a lo largo de una ruta.

Figura 26.

Resultado de los patrones de movilidad para una ruta.



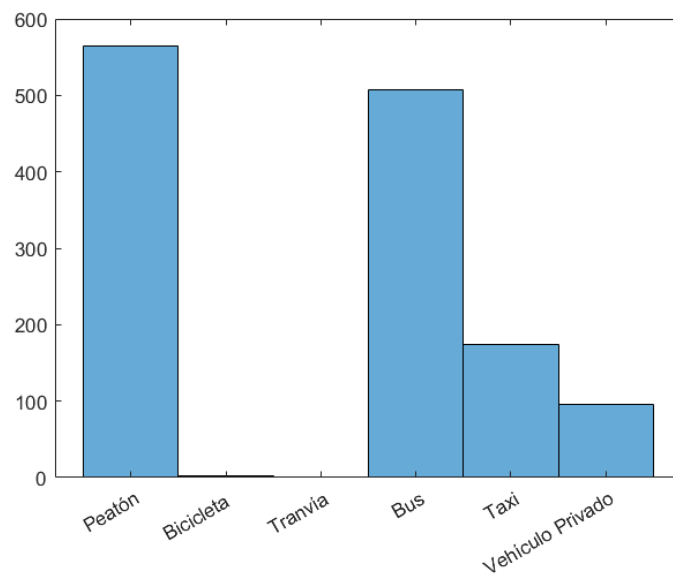
Nota: Patrones de movilidad obtenidos en una ruta

Fuente: Autor.

Por cada modo de transporte se evidencia a través de un histograma la captura de datos por cada modo de transporte con respecto al tiempo. En la figura 27 está representado el mayor registro de datos de transporte efectuada por una persona en un trayecto realizado, de tal manera se indica que durante el trayecto para la movilidad peatonal se ha registrado una mayor cantidad de capturas dando a comprender que el comportamiento de la persona durante un tiempo determinado se ha manifestado en su gran mayoría como peatón, seguido la movilidad en bus se manifiesta como el segundo modo de transporte que tiene mayor significancia en la ruta, para la movilidad del vehículo público-privado en taxi y movilidad en vehículo privado los registros comprende valores inferiores en relación a la movilidad peatonal.

Figura 27.

Histograma de la mayor demanda de modo de transporte en una ruta.



Nota: Característica de la demanda por cada patrón de movilidad.

Fuente: Autor.

7. CONCLUSIONES

El uso de datos obtenidos a través de dispositivos móviles con información GPS ha proporcionado una valiosa perspectiva sobre el comportamiento de la población de Cuenca en distintos modos de transporte. La recopilación de datos relacionados con velocidades de desplazamiento, aceleraciones y sobreaceleraciones en modalidades como la movilidad peatonal, en bicicleta, en tranvía, en bus, en taxi y en vehículo privado ha permitido desarrollar un algoritmo de árbol de clasificación.

El algoritmo de árbol de clasificación, tras el proceso de desarrollo y entrenamiento, ha facilitado cálculos computacionales de variables ramificadas, asumiendo parámetros unitarios para la masa, densidad, coeficiente aerodinámico y área frontal debido a la falta de información precisa sobre el medio de transporte predominante. El modelo resultante ha posibilitado el cálculo de velocidades medias de desplazamiento tanto para trayectos totales como para segmentos específicos de los trayectos.

El rendimiento del modelo general fue del 99,5%. Teniendo en cuenta que las trayectorias se clasificaron para zonas urbanas y zonas rurales.

Estos hallazgos no solo ofrecen una comprensión más profunda del comportamiento de movilidad en la Ciudad de Cuenca, sino que también establecen un enfoque metodológico valioso para futuras investigaciones y mejoras en la planificación del transporte urbano.

El estudio de los patrones de movilidad de una persona mediante el empleo algoritmos de árboles de clasificación, ha demostrado ser un desafío complejo. A pesar de los avances significativos en la capacidad de la inteligencia artificial para analizar grandes conjuntos de datos y dinámica del comportamiento humano hace que la determinación precisa de los patrones de movilidad sea una tarea ardua.

La utilización de algoritmos de árboles de clasificación ofrece una aproximación valiosa, pero se enfrenta a limitaciones inherentes a la complejidad de los factores que influyen en los desplazamientos individuales.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Alonso, M., García, C., Jiménez, F., & Álvarez, D. (2021). *OPTIMIZACIÓN DE UNA MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO APLICADA A VEHÍCULOS AUTÓNOMOS.*
- Caicedo Castro, J. D. (2013). *ESTIMACIÓN DE LAS FUNCIONES DEL TIEMPO PARADA PARA EL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO, TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO Y BUSES ALIMENTADORES DE TRANSMILENIO EN BOGOTÁ.* 8–9.
- Cárdenas, J. M. (2018). *EL MACHINE LEARNING A TRAVÉS DE LOS TIEMPOS, Y LOS APORTES A LA HUMANIDAD.*
- Castillo, M. (2021). *Estudio del confort en la conducción de turismos y motocicletas.*
- Cuenca GAD Municipal I. (2015). *PMEP_CUENCA_2015_TOMO_I.*
- Cuenca GAD Municipal II. (2015). *PMEPCUENCA2015_tomo_II.*
- CUSCO, L. (2019). *CARACTERIZACIÓN DE LA RESPUESTA DINÁMICA EN ACELERACIÓN DE UN VEHÍCULO AVEO 1.6 EN FUNCIÓN DE LOS PIDS OBTENIDOS A TRAVÉS DE OBD II.*
- Dávalos, D. (2017). *OBTENCIÓN DE UN CICLO TÍPICO DE CONDUCCIÓN PARA LOS VEHÍCULOS DE LA UNIÓN DE TAXISTAS DEL AZUAY.*
- DURÁN, C. (2020). *Mapas de calor de velocidad de buses y taxis en el cantón Cuenca.*
- Fernandez, R., Milagro, de L. A., & Swett, C. (2014). *RECOLECCIÓN DE DATOS Y CALIBRACIÓN DE MODELOS DE TIEMPO DE SERVICIO DE PASAJEROS EN BUSES Y METRO DE TRANSANTIAGO.* 4–5.

- Flores, E. (2021). *MOVILIDAD SOSTENIBLE EN LOS SECTORES PERIFÉRICOS: UN APORTE A LAS METODOLOGÍAS DE PLANIFICACIÓN ESPACIAL Y DEL TERRITORIO. EL CASO CUENCA - ECUADOR. - Tesis Doctoral.*
- Gómez, A., & Méndez, L. (2017). *DETERMINACIÓN DE LA MATRIZ ORIGEN-DESTINO MULTIMODAL DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY-UNIDAD EDUCATIVA LA ASUNCIÓN.*
- Guzmán, H., & Idrovo, J. (2023). *Análisis de parámetros técnicos de la utilización de bicicletas eléctricas en instituciones públicas y privadas en la ciudad de Cuenca.*
- Municipalidad de Cuenca-PMEP. (2015). *HACIENDO SITIO PARA TODOS: UNA CIUDAD INCLUSIVA.*
- NOAA. (2023). *Sistema de Posicionamiento Global.*
- Orellana, D. (2015). *Métodos para el análisis de patrones de movilidad no motorizada.*
- Ortega, J., & Pillco, J. (2017). *ANÁLISIS DEL IMPACTO ELÉCTRICO DEL MATERIAL RODANTE TRANVÍA DE CUENCA EN LA LÍNEA DE CORRIENTE CONTINUA.*
- Palacios, J., & Vinuesa, J. (2012). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RESTRICCIÓN DE FLUJO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE CUENCA.*
- PSE. (2009). *MOVILIDAD URBANA “MOVERSE POR LA CIUDAD” DOCUMENTO DE POSICIÓN DEL GRUPO SOCIALISTA.*
- Raíño Alves Torgo, L. F. (1999). *INDUCTIVE LEARNING OR TREE-BASED REGRESSION MODELS.*

- Rosero, F., Mera, Z., Rosero, R., Tapia, F., Imbaquingo, R., & Ramirez, J. (2022). Influencia del estado de conducción, tipo de vehículo y condiciones de viaje en las variables cinemáticas de las rutas en autobuses urbanos. Caso de estudio Ibarra-Ecuador. *Enfoque UTE*, 13(1), 42–57. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.770>
- Sharda, R., Voß, S., & Suthaharan, S. (2016). Machine Learning Models and Algorithms for Big Data Classification Thinking with Examples for Effective Learning. *Springer*, 36. <http://www.springer.com/series/6157>
- Willumsen, O., & De Dios Ortúzar, J. (2011). *MODELLING TRANSPORT* (J. De Dios Ortúzar & L. Willumsen, Eds.; 4th Edition).
- Wolf, R. (2005). *Data Mining Using Matlab*.
- Xiao, Z., Wang, Y., Fu, K., & Wu, F. (2017). Identifying different transportation modes from trajectory data using tree-based ensemble classifiers. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/ijgi6020057>
- YUPANQUI, D. (2020). *Determinación del rendimiento de combustible de una flota de taxis de 1400 centímetros cúbicos en la ciudad de Cuenca mediante parámetros de conducción normal*.