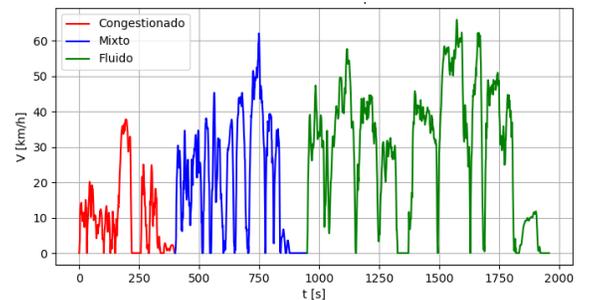
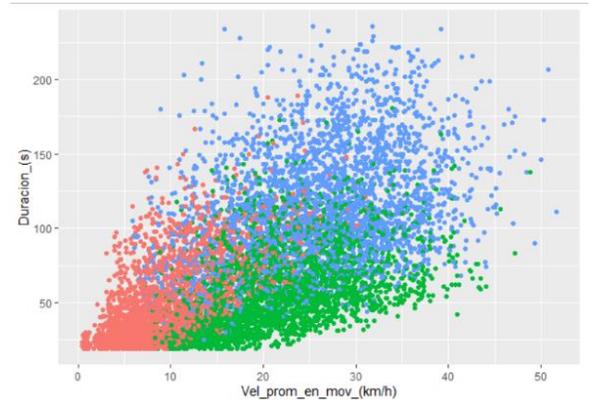
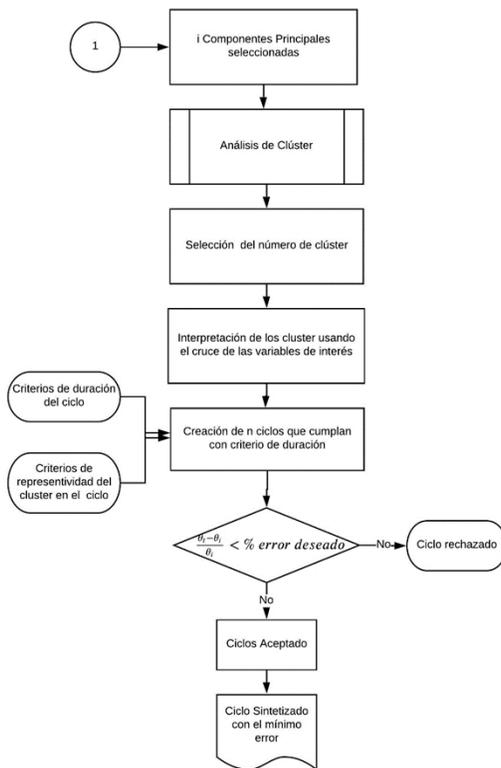


Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos (FECOC+)

Fase I: Determinación de los ciclos de conducción de fuentes móviles de carretera para Colombia



Ing.-Dr. John Ramiro Agudelo Santamaría
 Grupo Manejo Eficiente de la Energía (GIMEL)
 Universidad de Antioquia
 Medellín (Colombia)



**Unidad de Planeación Minero Energética
 UPME**

Director General Christian Jaramillo Herrera
 Subdirectora Demanda Lina Escobar Rangel
 Av. Calle 26 # 69 D-91 Torre 1, Piso 9°
 Bogotá D.C.
 (57-1) 222 06 01

Créditos

Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos (FECOC+) Fase I: Determinación de los ciclos de conducción de fuentes móviles de carretera para Colombia

Convenio Interadministrativo No. 001 de 2020

Unidad de Planeación Minero Energética UPME
Christian Rafael Jaramillo Herrera
Director General

Lina Patricia Escobar Rangel
Subdirectora de Demanda

Julieth Stefany García Collazos
Profesional especializada

Ejecuta

Universidad de Antioquia
Grupo de Manejo Eficiente de la Energía

Ing.-Dr. John Ramiro Agudelo, Ing. Mecánico, (john.agudelo1@udea.edu.co)
Ing.-Dr. Andrés Felipe Agudelo Santamaría. Profesor Dpto. Ing. Mecánica Universidad de Antioquia
Est.-Dra. Olga Cecilia Úsuga Manco. Profesora Dpto. Ing. Industrial Universidad de Antioquia
Ing.-Dra. Carmen Elena Patiño Rodríguez. Profesora Dpto. Ing. Industrial Universidad de Antioquia
Ing.-Dr. Andrés Felipe López García. Director Lab. Máquinas Térmicas Universidad de Antioquia

Equipo técnico y administrativo

Ing. Jackeline Saldarriaga Alzate
Ing.-Dr. Frank Alexander Ruiz Holguín
Ing.-MSc William Andrés González Mesa
Ing. Juan Esteban Vallejo Sosa
Ing. Donald Calle. Consultor experto en Transporte



John Ramiro Agudelo Santamaría

Director del proyecto
Profesor Dpto. Ingeniería Mecánica de la Universidad de Antioquia
Calle 67 No. 53-108. Bloque 19 1er. Piso Ala sur. Tel. (+574) 219 8547
Medellín – Colombia
Diciembre de 2020

Agradecimientos

A la empresa LAP TECHNOLOGIES del grupo empresarial EQUITEL, en especial a Pablo Piedrahita, Sebastián García y Juan Sebastián Malagón, por facilitarnos datos claves de movilidad instantánea de vehículos de carga en los principales corredores viales y regiones metropolitanas de Colombia.

A los profesores Víctor Cantillo Maza y Lesmes Corredor Martínez de la Universidad del Norte por su apoyo en la selección de rutas representativas para la campaña de mediciones en Barranquilla.

A la Secretaría de Tránsito y Seguridad Vial de Barranquilla por su apoyo con información para la caracterización del parque automotor de la ciudad.

A las Secretarías Distritales de Ambiente y de Movilidad de Bogotá, en particular al Ing. Hugo Enrique Sáenz Pulido, subdirector de calidad de aire, gracias a su visión tuvo lugar este proyecto. Gracias por su apoyo decidido y por facilitarnos información clave del distrito capital.

Al Ministerio de Transporte por conceder acceso a la información del RUNT, en especial a María José Puello - Profesional y Juan David Roldan Sierra- Líder del Grupo Ambiental. Al equipo de Logística y Transporte de Carga, por ilustrar y conceder el acceso a información detallada no disponible en línea del SICE-TAC y del RNDC, en particular a Juan Felipe Sanabria Saetta – Asesor en Logística, Sebastián Talero - Líder Grupo Logística y Carga, Cristian Camilo Sarmiento Chaves - Consultor grupo logística y carga y Luis Felipe Muñoz – Gerente Corredor Medellín – Costa.

A la Superintendencia de Transporte de Colombia, en particular a Laura Noreña del Grupo de Tecnologías de la información y las comunicaciones, por facilitarnos datos valiosos del transporte intermunicipal de pasajeros en el país.

Al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en especial a Gloria Ramírez – Profesional de la Subdirección Ambiental y a Margarita Jiménez – Líder de Transporte.

Al ingeniero John Jairo Posada, profesor de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia.

A los expertos que nos acompañaron en la reunión para validación y recomendaciones metodológicas y de información, en reunión del 27 de octubre.

A todos los contratistas, y muy en especial a quienes realizaron la campaña de medición de movilidad instantánea de buses, vehículos livianos y motocicletas en Bogotá, Barranquilla, Cali y Medellín, por arriesgar su salud en medio de esta situación de pandemia que vivimos actualmente.

A todo el equipo de trabajo!

John Ramiro Agudelo Santamaría

Facultad de Ingeniería
Universidad de Antioquia

RESUMEN EJECUTIVO

Dentro de los compromisos adquiridos por Colombia como suscriptor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), se encuentra el de remitir a la conferencia de las Partes los Inventarios Nacionales de Emisiones antropogénicas, las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) no controlados por el protocolo de Montreal, empleando para su desarrollo la metodología planteada por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

Para cumplir con los compromisos adquiridos, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y la Universidad de Antioquia, suscribieron el presente Convenio Interadministrativo de Asociación No. CV-001-2020 con el objeto de “*Aunar esfuerzos interinstitucionales para ampliar y complementar los Factores de Emisión de Combustibles Colombianos - FECOC+ por actividad, mediante la caracterización de las fuentes móviles más representativas y sus ciclos de conducción respectivos*”.

El grupo ejecutor adoptó la metodología que se presenta en la Figura R1, la cual se compone de cuatro fases. La primera fase consistió en analizar y depurar bases de datos de los vehículos de carretera del país, lo que permitió identificar por cada categoría vehicular cuáles eran los más representativos.

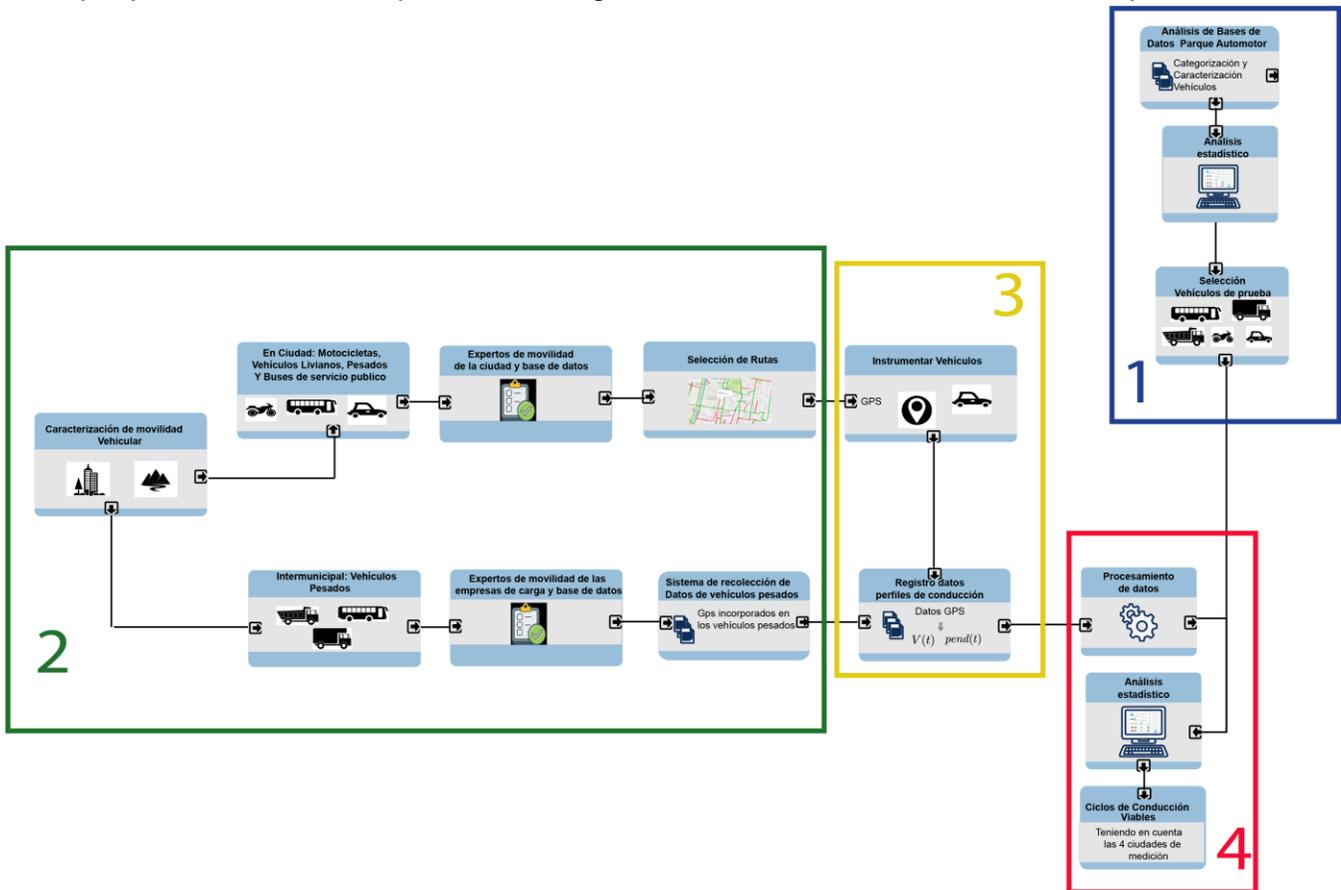


Figura R1. Vista esquemática de la metodología del proyecto FECOC+ Fase-I

| Participación por clase de vehículo frente al total RUNT 2020 | | |
|---------------------------------------------------------------|---------------|-----------|
| Vehículo | Particip. (%) | Cantidad |
| Motocicleta | 60,1 | 9'126.858 |
| Automóvil | 23,6 | 3'583.924 |
| Camioneta | 8,6 | 1'306.006 |
| Campero | 4,5 | 683.375 |
| Camión | 1,7 | 258.164 |
| Motocarro | 0,445 | 67.578 |
| Tractocamión | 0,298 | 45.255 |
| Volqueta | 0,295 | 44.800 |
| Bus | 0,197 | 29.917 |
| Buseta | 0,114 | 17.312 |
| Cuatrimotor | 0,104 | 15.793 |
| Microbús | 0,062 | 9.500 |

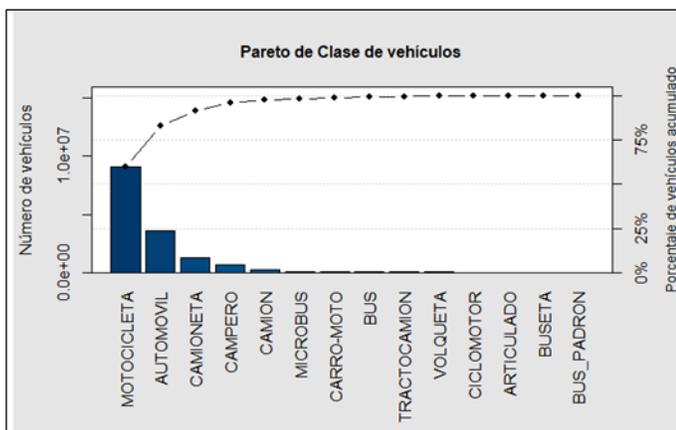


Figura R2. Diagrama de Pareto según clase de vehículos

A modo de ejemplo se muestra el análisis realizado sobre la categoría de vehículos livianos, compuesta por automóviles, camionetas y camperos.

VEHICULOS LIVIANOS (33.54% Total Nacional)

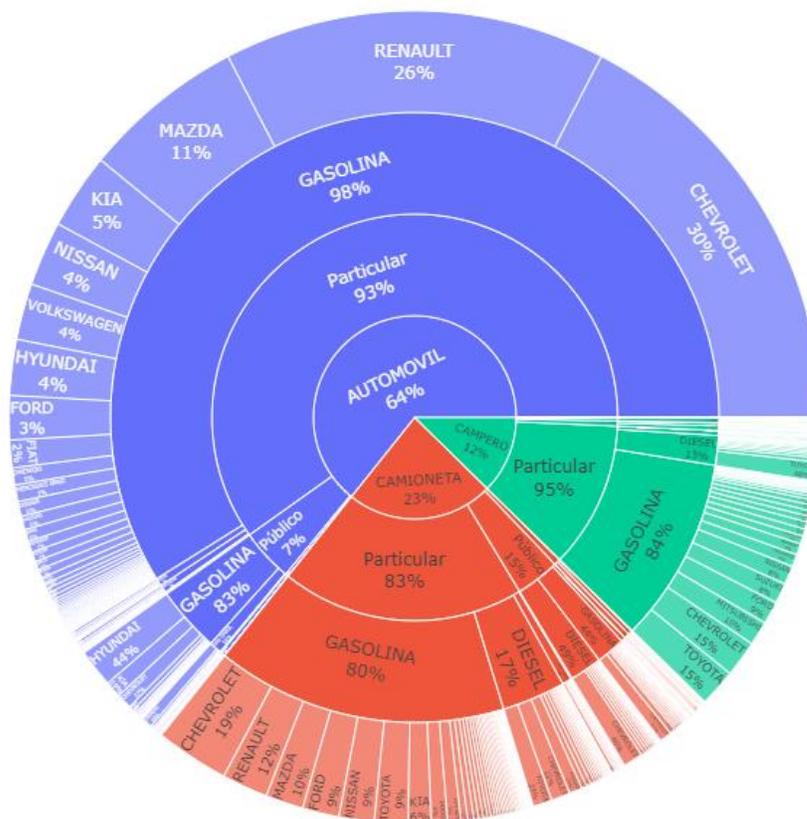


Figura R3. Clasificación de la categoría vehículos livianos según datos del RUNT de 2020

Un análisis adicional por mapas de calor permitió detectar, dentro de cada categoría vehicular, cuáles eran los vehículos más representativos por cilindraje del motor, año del modelo y capacidad de carga, como se muestra a modo de ejemplo a continuación para tractocamiones (Figura R4).

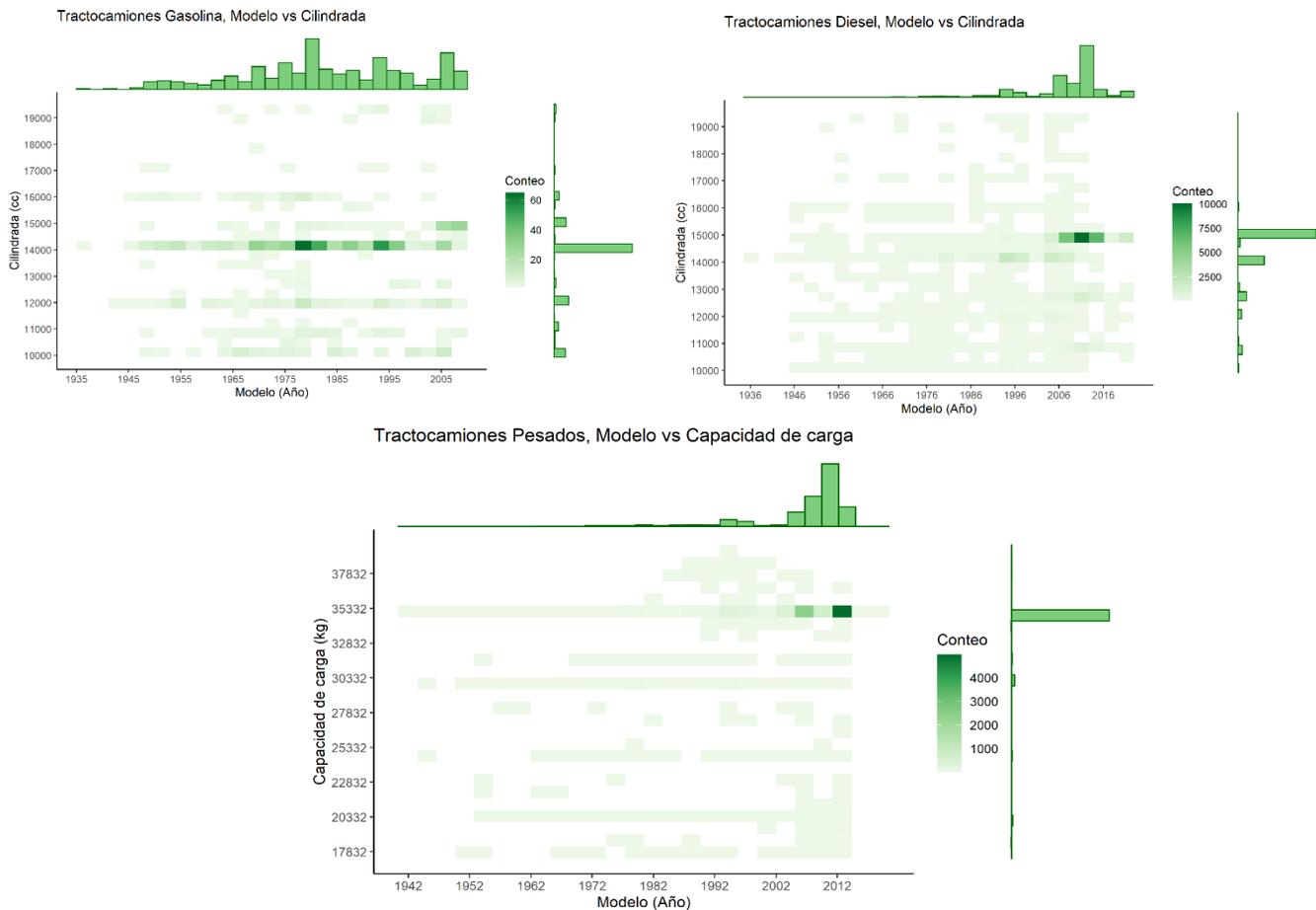


Figura R4. Clasificación de la categoría Tractocamiones según cilindrada, modelo y capacidad de carga

Obteniéndose de esta forma los vehículos más representativos dentro de las categorías vehiculares de interés para medirles factores de emisión como se muestra en la Tabla R1. La experiencia del grupo ejecutor, quienes han llevado a cabo mediciones de factores de emisión a bordo en el Valle de Aburrá, ha mostrado que para vehículos pesados se requiere 1 semana de pruebas por cada vehículo, para determinar de forma confiable los factores de emisión de contaminantes gaseosos, incluidos los de efecto invernadero, así como de material particulado y número de partículas por cada kilómetro recorrido.

Para determinar el número de vehículos a medir por cada categoría y en los principales centros urbanos, se usó el muestreo estratificado con error absoluto y coeficiente de confianza adicional proporcional. En cada categoría se consideró la proporción de vehículos por región, un nivel de confianza (NC) y un error predefinido. La mayor confianza estadística y el menor error absoluto equivaldría a medir 68 vehículos por cada una de las cinco categorías contempladas en este convenio. En vista de las dificultades logísticas y económicas que ello supone, **se recomienda medir al menos entre 12 y 24 vehículos por cada categoría.**

Tabla R1. Fuentes móviles terrestres representativas para medición de factores de emisión

| Categoría | Clase | % participación del total nacional | Cantidad | Combustible | Cilindraje mapa de calor | Modelo mapa de calor | % participación en la categoría | Cantidad |
|--------------------|--------------|------------------------------------|-----------|-------------|--------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|
| Motos | Motos | 60,1 | 9.126.257 | Gasolina | 125 | 2018 | 99% | 8.996.032 |
| | | | | Diésel | 100 | 2008 | 1% | 130.225 |
| Vehículos livianos | Automóvil | 23,6 | 3.583.688 | Gasolina | 1.600 | 2012 | 64% | 3.556.134 |
| | | | | Diésel | 1.300 | 1993 | 0% | 27.555 |
| | Camioneta | 8,6 | 1.305.920 | Gasolina | 2.000 | 2018 | 18% | 996.010 |
| | | | | Diésel | 2.400 | 2015 | 6% | 309.910 |
| | Campero | 4,5 | 683.330 | Gasolina | 3.000 | 2018 | 10% | 583.970 |
| | | | | Diésel | 3.000 | 2013 | 2% | 99.360 |
| Buses | Microbús | 0,373 | 56.640 | Diésel | 2.800 | 1998 | 42% | 23.771 |
| | | | | Gasolina | 2.400 | 1997 | 12% | 6.815 |
| | Bus - Buseta | | | Diésel | 5.200 | 2014 | 34% | 19.432 |
| | | | | Gasolina | 5.900 | 1978 | 12% | 6.622 |
| Vehículos de carga | Camión | 1,7 | 258.147 | Diésel | 5.200 | 2012 | 59% | 206.175 |
| | | | | Gasolina | 5.700 | 1979 | 15% | 51.972 |
| | Volqueta | 0,289 | 43.944 | Diésel | 11.000 | 2015 | 12% | 40.565 |
| | | | | Gasolina | 6.000 | 1955 | 1% | 3.379 |
| | Tractocamión | 0,298 | 45.252 | Diésel | 15.000 | 2012 | 13% | 44.375 |
| | | | | Gasolina | 14.000 | 1980 | 0% | 877 |

Los camiones rígidos de 2 ejes (C2) son los que más viajes registrados en el RNDC realizan, con 4'171.213 en 2019, seguido por tractocamiones de 3 ejes con semirremolques de 3 ejes (3s3 de seis ejes) con 2'916.217 (Figura R5). Estos parámetros permiten elegir los camiones y tractocamiones más relevantes para realizar las mediciones de los factores de emisión.

Viajes por rango modelo y configuración vehículo

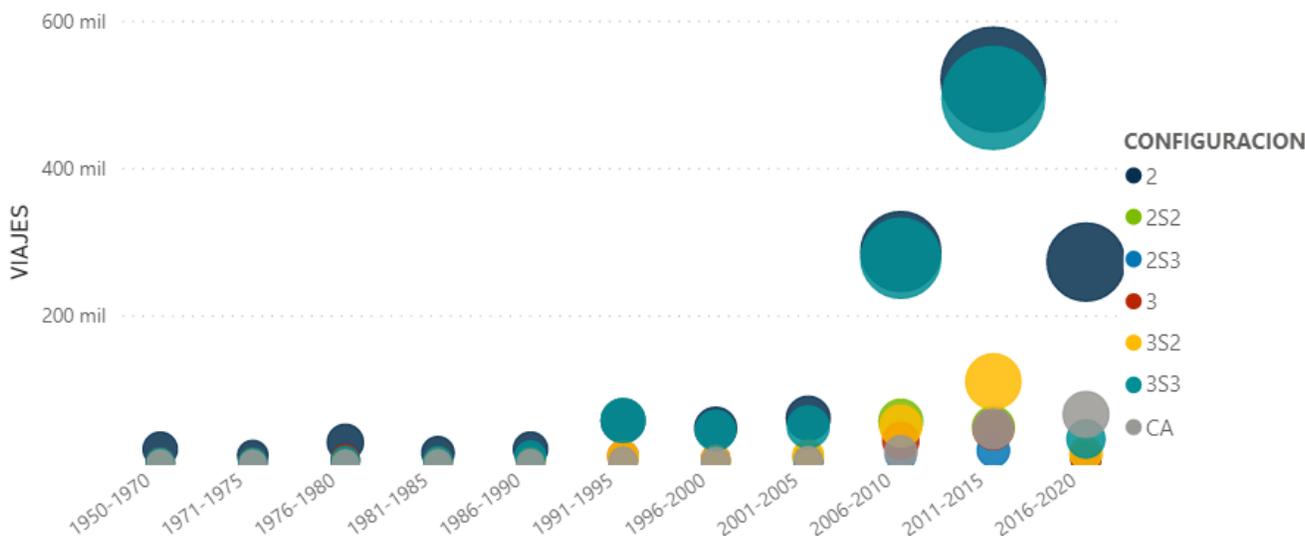


Figura R5. Viajes por modelo y configuración vehicular según RNDC en 2019

En la Figura R6 se muestra la carga promedio, para los viajes que reportan peso o galones, de las siete configuraciones vehiculares que más viajes realizan, siendo el tractocamión de 3 ejes el que más peso en promedio moviliza, con 26.607 kg en el semirremolque de 3 ejes (3S3 de seis ejes) y 19.340

kg en el semirremolque de 2 ejes (3S2). Estos parámetros permiten elegir la carga correcta para realizar las mediciones en ruta de los factores de emisión sobre estas dos categorías vehiculares.

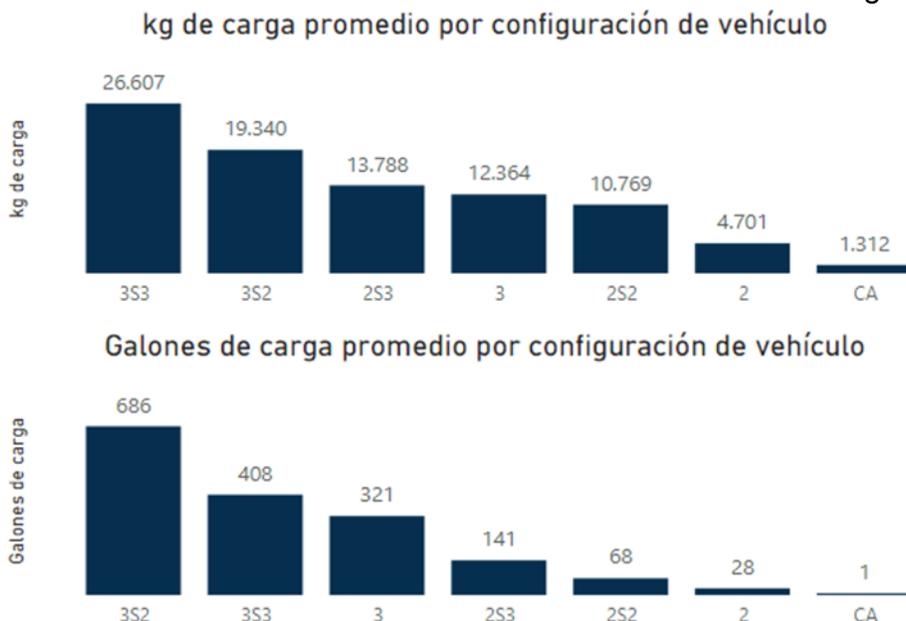


Figura R6. Carga promedio por principales configuraciones vehiculares

En la segunda fase metodológica (Figura R1) se llevó a cabo un análisis de bases de datos de movilidad, encuestas origen-destino y consulta a expertos, en los cuatro centros urbanos claves del país: Bogotá (2600 msnm), Medellín (1500 msnm), Cali (1000 msnm) y Barranquilla (nivel de mar), lo que permitió determinar las vías claves, así como las horas del día representativas que permitió realizar la campaña de medición de movilidad de motocicletas, vehículos livianos y buses (Fase 3).

Los datos de movilidad de camiones y tractocamiones a lo largo de los principales corredores viales del país, y de los principales centros urbanos, fueron suministrados al proyecto con una frecuencia de cada segundo por la empresa LAP TECHNOLOGIES del grupo empresarial EQUITEL, quien los registra a través de su plataforma *Ártimo*. La caracterización detallada del transporte de carga por carretera fue posible gracias al Ministerio de Transporte, a través de del Grupo Ambiental, del equipo de Logística y Transporte de Carga, y de su concesionario de la base de datos del RUNT.

En la última fase (fase 4 en la Figura R1), se utilizó la técnica estocástica de micro-viajes utilizando 23 parámetros característicos de la cinemática de los vehículos en cada categoría. En la Tabla R2 se presenta un resumen del número de micro-viajes y del número de datos utilizados para la síntesis de los ciclos de conducción.

Utilizando estadística de agrupamiento mediante Análisis de Componentes Principales mediante el paquete informático *NbClust*® del *software* estadístico R®, se encontró el número de clústeres propuestos para cada una de las categorías vehiculares. En todos los casos se seleccionaron tres clústeres representativos de patrones de tráfico fluido, congestionado y mixto, como la división de los datos que mostraba una agrupación ideal de las variables.

A partir de los datos etiquetados con el patrón correspondiente, para sintetizar los ciclos, fueron generadas 1000 ciclos de conducción por cada categoría vehicular que contuvieran los tres patrones de tráfico y que cumplieran con el criterio de duración máxima del ciclo fijada por la experiencia del grupo ejecutor entre 25 y 35 minutos. A estos 1000 ciclos se les calculó el error promedio **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, obteniendo 15 ciclos con los menores errores promedios para cada categoría vehicular. Estos ciclos fueron sometidos a validación del grupo ejecutor para la selección del ciclo que mejor representa la categoría vehicular para el país. En la Tabla R3 se muestran los parámetros característicos de los ciclos de conducción sintetizados para cada categoría vehicular.

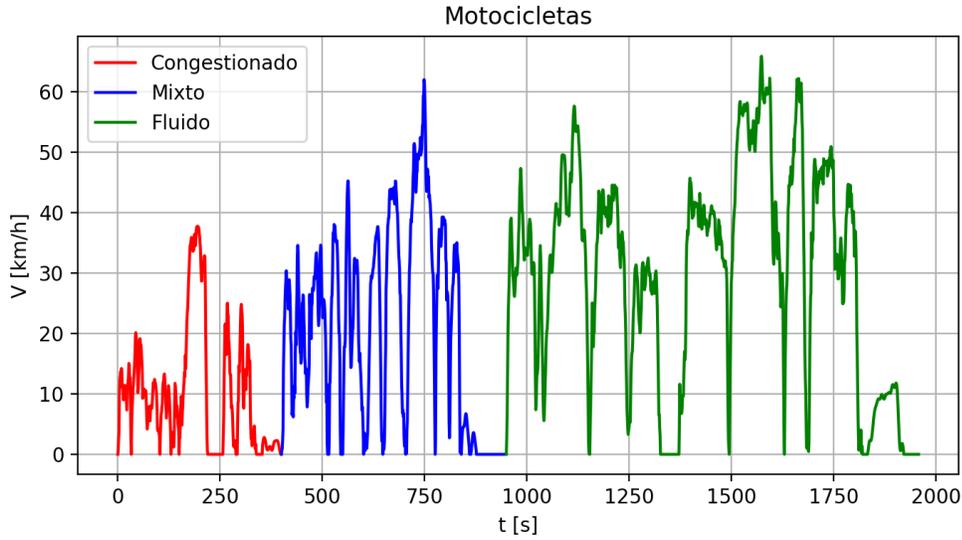
Tabla R2. Registros por categoría vehicular durante la campaña de pruebas. Para camiones y tractocamiones los datos son de la plataforma Ártimo de Lap Technologies.

| Categoría | Año de Medición | Ciudad | No. M.V. finales | Total microviajes | Tiempo de medida [s] | Total tiempo [s] |
|----------------|-----------------|--------------|------------------|-------------------|----------------------|------------------|
| Veh. Livianos | 2017 | Medellin | 1.446 | 11.830 | 127.123 | 1.185.094 |
| | 2020 | Medellin | 56 | | 5.661 | |
| | | Barranquilla | 2.502 | | 324.063 | |
| | | Bogotá | 3.547 | | 358.362 | |
| | | Cali | 4.279 | | 369.885 | |
| Motocicletas | 2017 | Medellin | 1.388 | 8.784 | 186.172 | 1.085.169 |
| | 2020 | Medellin | 166 | | 14.582 | |
| | | Barranquilla | 1.615 | | 230.884 | |
| | | Bogotá | 2.793 | | 322.366 | |
| | | Cali | 2.822 | | 331.165 | |
| Buses | 2017 | Medellin | 1.048 | 8.378 | 87.598 | 590.002 |
| | 2020 | Medellin | 56 | | 3.967 | |
| | | Barranquilla | 2.089 | | 135.294 | |
| | | Bogotá | 4.273 | | 282.066 | |
| | | Cali | 912 | | 81.077 | |
| Camiones | 2017 | -- | 1.380 | 11.988 | 142.745 | 4.027.480 |
| | 2020 | -- | 4.153 | | 1.231.296 | |
| Tractocamiones | 2020 | -- | 6.455 | | 2.653.439 | |

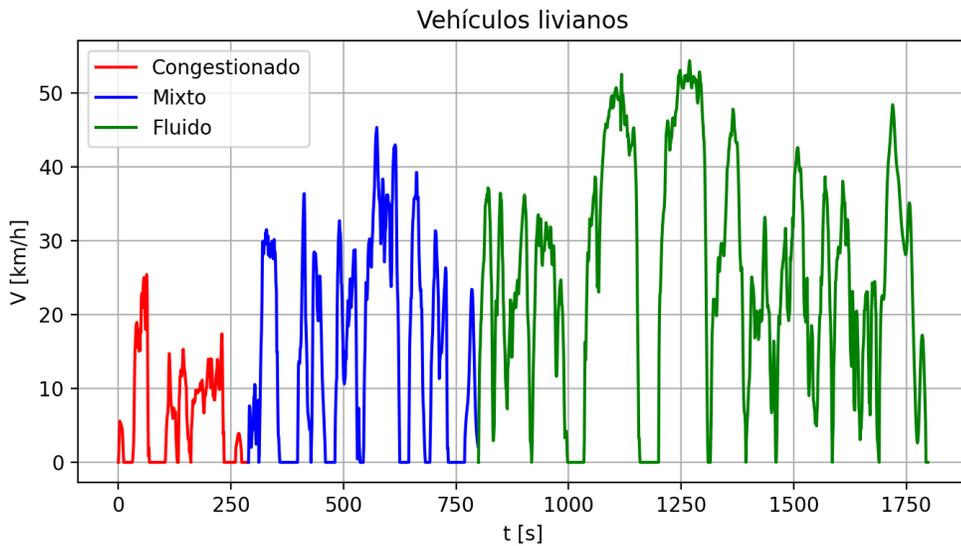
Tabla R3. Parámetros relevantes de los ciclos de conducción del país

| Parámetro | Vehículos livianos | Motocicletas | Autobuses | Camiones | Tractocamiones |
|-----------------------------------|--------------------|--------------|-----------|----------|----------------|
| Duración [s] | 1798 | 1958 | 1883 | 2493 | 2473 |
| Distancia recorrida [km] | 9,75 | 12,68 | 7,75 | 11,24 | 10,74 |
| Velocidad promedio [km/h] | 19,53 | 23,31 | 14,82 | 16,23 | 15,63 |
| Velocidad promedio en mov. [km/h] | 24,07 | 26,86 | 18,97 | 22,68 | 22,63 |
| Velocidad máxima [km/h] | 54,36 | 65,90 | 60,87 | 70 | 61 |
| Tiempo en ralentí [%] | 18,91 | 13,18 | 21,93 | 28,44 | 30,93 |
| Tiempo en aceleración [%] | 33,93 | 32,69 | 33,78 | 29,36 | 23,62 |
| Tiempo en deceleración [%] | 30,31 | 30,29 | 31,17 | 26,15 | 19,61 |

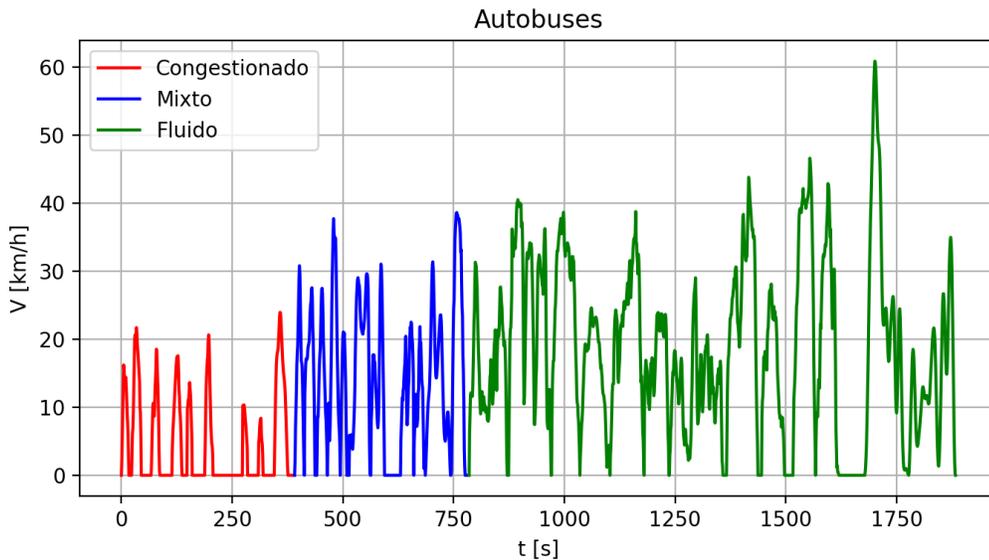
En la Figura R7 se muestran los perfiles velocidad contra tiempo de los ciclos de conducción para cada categoría vehicular del país.



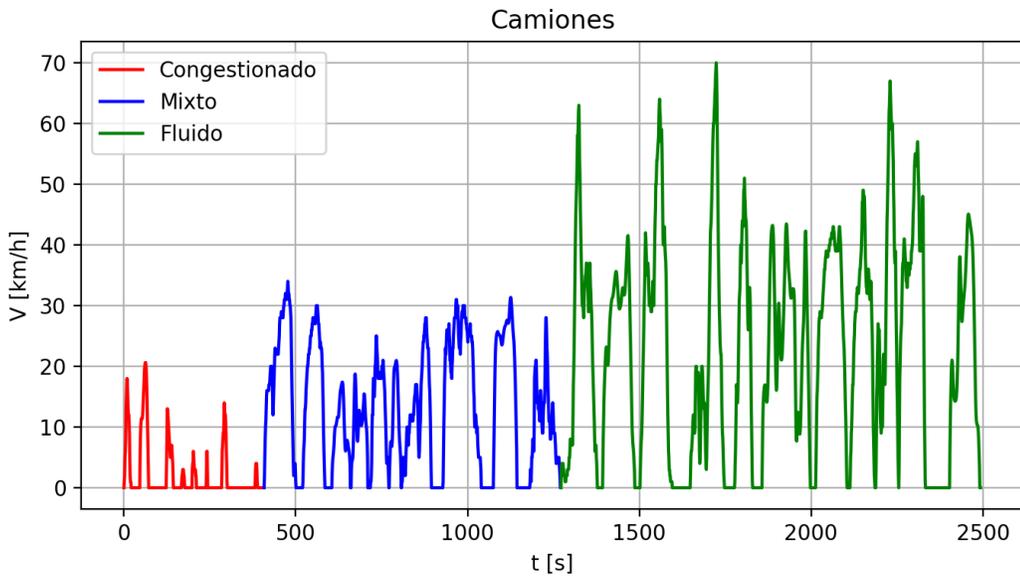
Ciclo de conducción para motocicletas



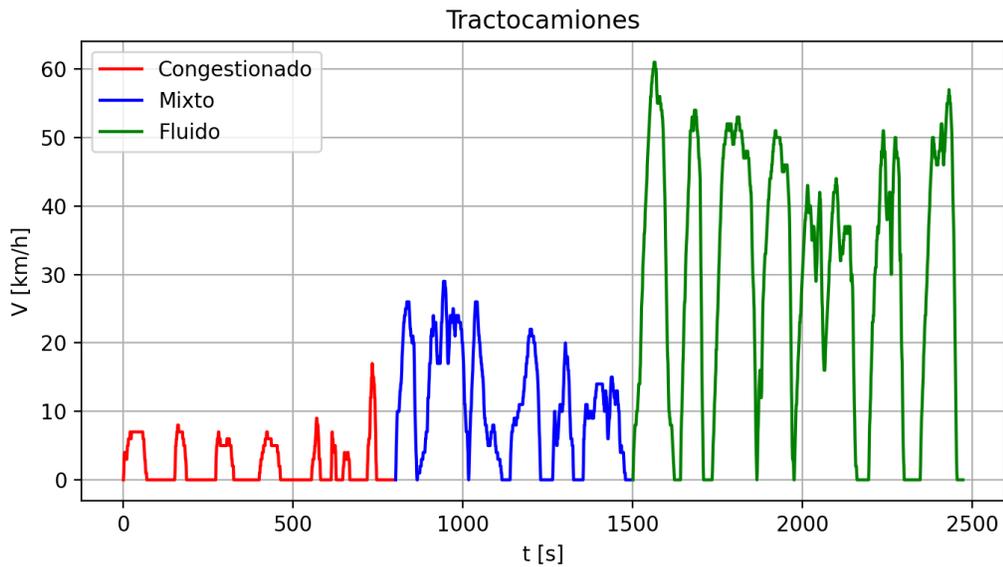
Ciclo de conducción para vehículos livianos



Ciclo de conducción para buses



Ciclo de conducción para camiones



Ciclo de conducción para tractocamiones

Figura R7. Ciclos de conducción para cada categoría vehicular de Colombia



Ing.-Dr. John Ramiro Agudelo Santamaría
 Profesor Dpto. Ingeniería Mecánica
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de Antioquia

Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos (FECOC+)
**Fase I: Determinación de los ciclos de conducción de fuentes móviles de carretera
para Colombia**

INFORME FINAL

Preparado para

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA -UPME-

Convenio Interadministrativo de Asociación No. CV-001-2020



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

1 8 0 3

Por:

Profesor Ing.-Dr. John Ramiro Agudelo Santamaría

Departamento Ingeniería Mecánica

Medellín

17 de diciembre de 2020

Universidad de Antioquia
Grupo de Manejo Eficiente de la Energía Laboratorio de Máquinas Térmicas
Calle 67 No. 53-108. Bloque 19 1er. Piso Ala sur. Tel. (+574) 219 8547 Medellín - Colombia

Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos (FECOC+)

Fase I: Determinación de los ciclos de conducción de fuentes móviles de carretera para Colombia

INFORME FINAL

Convenio Interadministrativo de Asociación No. CV-001-2020

Preparado para UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME)

Diciembre 17 de 2020

Responsable

John Ramiro Agudelo Santamaría

Profesor Dpto. Ingeniería Mecánica Universidad de Antioquia

Investigadores

Andrés Felipe Agudelo Santamaría. Profesor Dpto. Ing. Mecánica Universidad de Antioquia

Olga Cecilia Úsuga Manco. Profesora Dpto. Ing. Industrial Universidad de Antioquia

Carmen Elena Patiño Rodríguez. Profesora Dpto. Ing. Industrial Universidad de Antioquia

Andrés Felipe López García. Director Lab. Máquinas Térmicas Universidad de Antioquia

Equipo Técnico

Jackeline Saldarriaga Alzate

Juan Esteban Vallejo Sosa

Donald Calle. Consultor experto en Transporte

William Andrés González Mesa

Frank Alexander Ruiz Holguín

Revisó y Aprobó



John Ramiro Agudelo Santamaría

Contenido general

| | |
|-------------------|-----|
| INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| CAPÍTULO 1..... | 7 |
| CAPÍTULO 2..... | 55 |
| CAPÍTULO 3..... | 85 |
| CAPÍTULO 4..... | 112 |

INTRODUCCIÓN

A diferencia de la situación europea, el sector transporte en Colombia no cuenta con un marco legal de sostenibilidad energética motivado por la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), sino más bien los esfuerzos se han enfocado a propender a la diversificación de la canasta energética, con un interés cada vez más orientado hacia la electromovilidad, dejando un gran vacío en el medio plazo [1]. Esto podría obedecer principalmente a tres razones: i) la importancia del consumo energético del sector, ii) la legislación tan reciente en materia de compromisos internacionales sobre cambio climático en el país y iii) el impacto de la contaminación localizada en grandes centros urbanos y sus implicaciones inmediatas sobre la salud humana.

En cuanto al consumo energético, en 2019 el transporte representó el 40% de la energía primaria del país [2], ubicándolo en primer lugar por encima de sectores como el industrial, residencial, comercial, agricultura, construcción y minería. En este mismo año, los combustibles fósiles representaron cerca del 90% del total, mientras que los biocombustibles convencionales (biodiesel de palma y bioetanol de caña de azúcar) el 10%, y apenas un 0.07% correspondió a la electricidad. Por otra parte, un estudio reciente de la UPME permitió identificar que el sector transporte concentraba la mayor ineficiencia energética del país, representando el 66% del total de la energía perdida en Colombia [3]. El transporte público de buses y busetas supone un aprovechamiento de energía útil de tan sólo entre 8% y 10%, valores que son marcadamente inferiores a los obtenibles con las mejores tecnologías disponibles en el ámbito nacional e internacional, lo que está derivando en darle prioridad a políticas de mejora de eficiencia energética del sector.

Desde el aspecto técnico, el sector transporte está regulado por tres ministerios: Ministerio de Minas y Energía (MME), Medio ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), y Transporte (MTTE), abarcando desde la calidad de los combustibles, su impacto en el cambio climático y su reemplazo de fósiles por electromovilidad, la homologación de la tipología de los vehículos y las emisiones contaminantes. Por su parte, el marco regulatorio encaminado a lograr el cumplimiento de los compromisos adquiridos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para disminuir los GEI no controlados por el protocolo de Montreal es reciente: En 2015 el país presentó el primer informe bienal de actualización (IBA-1) de GEI [4], en el que el sector transporte se llevó el primer puesto con el 16.7% de la emisión total, y posteriormente para el 2018, en el segundo IBA, descendió al tercer lugar con el 12%, después de los emitidos por tierras forestales (17%) y pastizales (14%) [5]. Ambos informes revelan la importancia del sector en el ámbito de las emisiones de GEI, y por lo tanto demandan políticas puntuales, tal como ya se ha hecho con la adopción de las normas de control de contaminación ambiental para vehículos nuevos, a través de las resoluciones 910 de 2008, y la 1111 de 2013. Esta última obligó a que todos los vehículos con motor diésel deberían cumplir el estándar Euro 4/IV a partir de 2015 en el país, [6, 7].

La ley 1931 de 2018 estableció las directrices para la elaboración de un Plan Integral de Gestión del Cambio Climático (PIGCC) en Colombia [8], que fue adoptado por el Ministerio de Minas y Energía mediante la Resolución 4 087 del mismo año, para fijar las metas de reducción de GEI por líneas estratégicas, correspondiéndole a esta cartera una reducción en el rango de 2.48 a

12.3 Mt CO₂eq al año 2030. Este decreto, el más reciente a la fecha en materia de cambio climático del país, deja en evidencia no sólo que estamos en una fase muy inicial del proceso de establecimiento de políticas claras de sostenibilidad energética en el sector transporte, sino que además muestra el poco impacto que podrían tener las políticas allí contempladas, enfocadas a formular un programa de reemplazo tecnológico por electromovilidad únicamente en la flota de entidades públicas, cuya línea de tiempo quedó fijada en la ley 1964 de 2019, así como pretender definir la viabilidad de usar el Gas Natural Licuado (GNL), de origen fósil, y cuyas emisiones de metano son 25 veces peor que el CO₂ en su impacto sobre el cambio climático, además de que conlleva procesos de licuefacción y gasificación intensivos en consumo energético haciendo que sus emisiones en ciclo de vida no sea tan beneficiosas.

Dentro de los compromisos adquiridos por Colombia como suscriptor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés), se encuentra el de remitir a la conferencia de las Partes los Inventarios Nacionales de Emisiones antropogénicas, las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) no controlados por el protocolo de Montreal, empleando para su desarrollo la metodología planteada por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), por sus siglas en inglés).

Considerando que la UPME tiene dentro de sus funciones la de realizar diagnósticos y estudios que permitan la formulación de planes y programas orientados a fortalecer el aporte del sector minero y energético a la economía y la sociedad en un marco de sostenibilidad, y que por su parte, la Subdirección de Demanda es la encargada de elaborar estudios de caracterización del consumo de energía y dar recomendaciones sobre los energéticos más adecuados, se identificó la necesidad de realizar este proyecto, que permitirá profundizar en el grado de detalle de los inventarios de GEI del país, de emisión de material particulado, así como caracterizar el consumo de energéticos atendiendo los diversos procesos y tecnologías y en particular, los diferentes tipos de servicio y tecnologías vehiculares empleadas en las actividades del transporte.

Para cumplir con los compromisos adquiridos, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y la Universidad de Antioquia, suscribieron el presente Convenio Interadministrativo de Asociación No. CV-001-2020 con el objeto de "*Aunar esfuerzos interinstitucionales para ampliar y complementar los Factores de Emisión de Combustibles Colombianos - FECOC+ por actividad, mediante la caracterización de las fuentes móviles más representativas y sus ciclos de conducción respectivos*", con objetivos específicos de:

1. Caracterizar el parque automotor colombiano según su representatividad y actividad.
2. Caracterizar la movilidad de las diferentes categorías vehiculares en las principales áreas metropolitanas del país, así como del transporte de carga por carretera.
3. Desarrollar un ciclo de conducción representativa para el país a cada categoría vehicular: motocicletas, vehículos livianos, buses, camiones y tractocamiones.

Este documento constituye el informe final del convenio 001 de 2020 y está conformado por tres capítulos, uno por cada objetivo específico (Alcance). En el primer capítulo presentamos la

caracterización detallada del parque automotor colombiano de carretera con base en un análisis muy particular de la base de datos del RUNT. Se complementó con los datos de actividad específica de las categorías vehiculares de carga de las bases de datos del SICE TAC y del RNDC, lo que permitió caracterizar sus patrones de movilidad, y finalmente se cruzaron estas bases de datos para obtener vía diagramas de calor los vehículos más representativos de cada categoría, así como el tamaño de muestra que se recomienda tener en consideración para la ejecución de la segunda fase de este proyecto FECOC+ Fase II: determinación de factores de emisión de vehículos pesados de carga.

En el segundo capítulo se documentan las características de movilidad de las categorías vehiculares de buses, motocicletas y vehículos livianos de cuatro regiones metropolitanas claves del país: Bogotá, Barranquilla, Cali y Medellín. Esta información fue utilizada para realizar la campaña de mediciones de movilidad instantánea en dichas categorías vehiculares, lo que se constituyó en el insumo para sintetizar los ciclos de conducción.

En el tercer capítulo se describe la metodología, basada en la aproximación estocástica de micro-viajes, para sintetizar los ciclos de conducción. Se presentan los ciclos de conducción para las categorías vehiculares de: motocicletas, vehículos livianos, buses, camiones y tractocamiones, y finalmente se comparan los ciclos desarrollados con los reportados en la literatura para ciudades/regiones con características socio-culturales, geográficas y de desarrollo económico similar a Colombia.

En el cuarto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones para continuar con las fases II y III de este proyecto, a saber, FECOC+ FASE II: Factores de emisión para vehículos pesados y FECOC+-FASE III: Factores de emisión para motocicletas y vehículos livianos.

Este informe se convierte así en el insumo esencial para la medición de factores de emisión en condiciones propias de Colombia, un reto que la UPME decididamente ha iniciado y que tendrá impactos de cara a los inventarios de emisiones de gases contaminantes, en particular los de efecto invernadero, y de material particulado.

En Medellín, a 16 de diciembre de 2020,

John Ramiro Agudelo
Profesor Dpto. Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de Antioquia
Responsable ejecución convenio 001-2020

CAPÍTULO 1

CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR DE CARRETERA DE COLOMBIA

Contenido

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| CAPÍTULO 1..... | 7 |
| CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR DE CARRETERA DE COLOMBIA..... | 7 |
| 1.1 Introducción | 8 |
| 1.2 Clasificaciones vehiculares y antecedentes | 11 |
| 1.2.1 Transporte de carga | 11 |
| 1.2.2 Transporte de pasajeros | 13 |
| 1.2.3 Transporte particular..... | 13 |
| 1.3 Parque automotor actual - base de datos del RUNT | 14 |
| 1.3.1 Depuración de la base de datos del RUNT | 14 |
| 1.3.2 Distribución del parque automotor por departamentos..... | 15 |
| 1.3.3 Caracterización por clase, servicio, combustible y marca | 17 |
| 1.3.4 Caracterización por clase, combustible, modelo - cilindraje, y capacidad | 22 |
| 1.4 Caracterización de la movilidad por categorías vehiculares en corredores intermunicipales..... | 31 |
| 1.4.1 Corredores viales..... | 31 |
| 1.5 Transporte intermunicipal de carga | 36 |
| 1.5.1 SICE-TAC..... | 36 |
| 1.5.2 RNDC | 41 |
| 1.6 Transporte intermunicipal de pasajeros..... | 47 |
| 1.7 Conclusiones y recomendaciones | 52 |

Índice de Tablas

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Proceso de depuración de la base de datos del RUNT. | 14 |
| Tabla 2. Distribución de clases según RUNT 2020 por departamento..... | 16 |
| Tabla 3. Participación por clase de vehículo frente al total RUNT 2020 | 18 |
| Tabla 4. Análisis de frecuencias para las principales marcas de automóviles | 19 |
| Tabla 5. Distribución camiones livianos, medianos y pesados, acorde a modelo LEAP e IVE | 21 |
| Tabla 6. Resumen de fuentes móviles terrestres representativas para medición de factores de emisión | 29 |
| Tabla 7. Categoría de fuentes móviles terrestres representativas para medición de factores de emisión | 29 |
| Tabla 8. Tamaño muestral de vehículos a medir por nivel de confianza y error por cada categoría | 30 |
| Tabla 9. Tamaño de muestra de vehículos a medir por categoría en los principales centros urbanos, para un nivel de confianza del 90% y un error de 0,24..... | 30 |
| Tabla 10. Áreas Metropolitanas de Colombia | 32 |
| Tabla 11. Consumos de combustible estimados en el SICE-TAC por configuración vehicular | 36 |
| Tabla 12. Estructura de datos y municipios de la matriz OD del SICE-TAC | 37 |
| Tabla 13. Matriz OD: distancia SICE-TAC para principales corredores intermunicipales del convenio..... | 37 |
| Tabla 14. Distancia SICE-TAC por tipo de terreno para principales corredores intermunicipales del convenio. | 38 |
| Tabla 15. Estructura de datos y atributos de las consultas estadísticas en el portal del RNDC. | 43 |
| Tabla 19. Estructura de datos y atributos de la información RNDC entregada por el Ministerio de Transporte. | 43 |
| Tabla 20. Participación por tipo combustible en viajes totales RNDC para 2019/04, 2019/10, 2020/01 y 2020/02..... | 46 |
| Tabla 21. Participación por rango modelo en viajes totales RNDC para 2019/04, 2019/10, 2020/01 y 2020/02..... | 46 |
| Tabla 19. Estructura de datos y atributos de la información de transporte de pasajeros intermunicipal entregada por la Superintendencia de Puertos y Transporte | 47 |
| Tabla 20. Terminales de transporte habilitadas en Colombia | 47 |
| Tabla 21. Cantidad de pasajeros movilizados, despachos realizados y número de vehículos involucrados en la operación del transporte de pasajeros intermunicipales, año 2020 hasta el mes de octubre | 48 |

Índice de Figuras

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Clasificación del transporte terrestre automotor colombiano | 11 |
| Figura 2. Clasificación y pesos brutos vehiculares para transporte de carga en Colombia | 12 |
| Figura 3. Flujo de actividades de depuración de la base de datos | 15 |
| Figura 4. Cantidad de motocicletas (izq.) y de vehículos de carga (der.) por departamento | 17 |
| Figura 5. Cantidad de buses (izq.) y cantidad de automóviles (der.) por departamento | 17 |
| Figura 6. Diagrama de Pareto según clase de vehículos..... | 18 |
| Figura 7. Porcentaje de motocicletas según servicio, combustible y marca..... | 19 |
| Figura 8. Porcentaje de vehículos livianos según servicio, combustible y marca | 20 |
| Figura 9. Distribución porcentaje de buses. Articulado son el 0.37% del total nacional. | 21 |
| Figura 10. Porcentaje de grupo carga según servicio, combustible y marca | 22 |
| Figura 11. Mapas de calor para modelo contra cilindraje para motos | 23 |
| Figura 12. Mapas de calor para modelo contra cilindraje para vehículos livianos..... | 24 |
| Figura 13. Mapas de calor para modelo contra cilindraje para buses y microbuses | 25 |
| Figura 14. Mapa de calor para cilindrada contra año del modelo para vehículos de carga..... | 26 |
| Figura 15. Mapa de calor modelo vs Capacidad de pasajeros para buses y microbuses | 27 |
| Figura 16. Mapa de calor modelo vs Capacidad de carga para camiones (livianos, medianos y pesados) | 27 |
| Figura 17. Mapa de calor modelo vs Capacidad de carga para Tractocamiones..... | 28 |
| Figura 18. Mapa de calor modelo vs capacidad de carga para Volquetas (medianas y pesadas) | 28 |
| Figura 19. Principales corredores viales de Colombia. Elaboración propia en Google maps... | 32 |
| Figura 20. Municipios de la matriz OD del SICE-TAC | 38 |
| Figura 21. Viajes de transporte de carga por carretera. Fuente RNDC | 42 |
| Figura 22. Cantidad de flota de transporte de carga con mínimo un registro en el RNDC. Fuente: RNDC | 42 |
| Figura 23. Top 15 de centros urbanos en generación (izquierda) y atracción (derecha) de viajes de carga en 2019..... | 44 |
| Figura 24. Generación (izquierda) y atracción (derecha) de viajes de carga en 2019 en Colombia | 44 |
| Figura 25. Viajes por configuración vehicular según RNDC en 2019..... | 45 |
| Figura 26. Carga promedio por principales configuraciones vehiculares | 45 |
| Figura 27. Participación por rango modelo y configuración de vehículo en viajes totales RNDC para los meses 2019/04, 2019/10, 2020/01 y 2020/02. | 46 |
| Figura 28. Orígenes (izquierda) y destinos (derecha) del transporte público intermunicipal de pasajeros..... | 48 |
| Figura 29. Orígenes (izquierda) y destinos (derecha) de despachos del transporte público intermunicipal de pasajeros. | 49 |
| Figura 30. Flota de transporte público intermunicipal de pasajeros por clase vehicular | 50 |
| Figura 31. Pasajeros movilizados y despachos realizados de transporte público intermunicipal por clase vehicular en 2019..... | 50 |
| Figura 32. Ocupación promedio de pasajeros por clase vehicular | 51 |
| Figura 33. Pasajeros y despachos de transporte público intermunicipal por mes y franja horaria del día | 51 |

1.1 Introducción

La Ley 336 de 1996, por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Transporte, establece las siguientes categorías de transporte para Colombia:

- Transporte terrestre automotor
- Transporte ferroviario
- Transporte masivo de pasajeros
- Transporte aéreo
- Transporte marítimo
- Transporte fluvial

Como quedó estipulado en el alcance del presente Convenio, se caracterizará únicamente el transporte terrestre automotor, y dentro de éste, los modos carreteros, por lo cual no se incluirán las de fuera de carretera como maquinaria agrícola y de construcción.

Teniendo presente el Decreto Nacional 1079 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte para Colombia, en el Libro 2 - Régimen reglamentario del sector → Parte 2 - Reglamentaciones en materia de transporte → Título 1 - Transporte terrestre automotor, con los diferentes capítulos que lo conforman, y las realidades operativas actuales, podría clasificarse el transporte terrestre automotor de la siguiente forma (Figura 1):

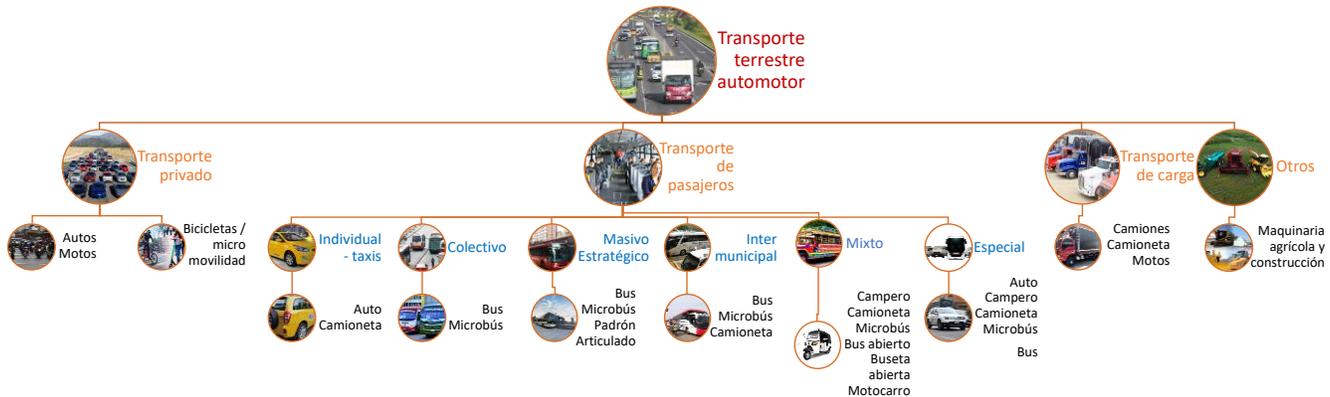


Figura 1. Clasificación del transporte terrestre automotor colombiano

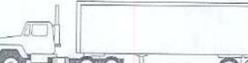
1.2 Clasificaciones vehiculares

1.2.1 Transporte de carga

Es aquel destinado a satisfacer las necesidades generales de movilización de cosas de un lugar a otro. Conforman esta cadena productiva el remitente de la carga o usuario del servicio, la empresa de transporte, el propietario del vehículo, el conductor del vehículo y las entidades gubernamentales. La Resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte, clasifica en su artículo 5º los vehículos, acorde a su sistema de propulsión como (Figura 2):

1. Automotores
 - a. Vehículo rígido: camioneta y camión
 - b. Tracto camión

- 2. No automotores
 - a. Semirremolque
 - b. Remolque
 - c. Remolque balanceado

| Designación | Configuración | Descripción | Designación | Configuración | Descripción |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 2 |  | Camión de dos ejes Camión Sencillo | 2S3 |  | Tractocamión de dos ejes con semirremolque de tres ejes |
| 3 |  | Camión de tres ejes Dobletroque | 3S1 |  | Tractocamión de tres ejes con semirremolque de un eje |
| 4 |  | Camión de cuatro ejes | 3S2 |  | Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes |
| 2S1 |  | Tractocamión de dos ejes con semirremolque de un eje | 3S3 |  | Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes |

| Vehiculos | Designación | Máximo PBV, kg | Tolerancia positiva de medición kg. |
|---------------------------------|-------------|----------------|-------------------------------------|
| Camiones | 2 | 16 000 | + 400 -- |
| | 3 | 28 000 | + 700 -- |
| | 4 | 31 000 (1) | + 775 -- |
| | 4 | 36 000 (2) | + 900 -- |
| | 4 | 32 000 (3) | + 800 -- |
| Tracto-camión con semirremolque | 2S1 | 27.000 | + 675 -- |
| | 2S2 | 32.000 | + 800 -- |
| | 2S3 | 40.500 | + 1013 -- |
| | 3 S1 | 29.000 | + 725 -- |
| | 3 S2 | 48.000 | + 1200 -- |
| | 3S3 | 52.000 | + 1300 -- |

Figura 2. Clasificación y pesos brutos vehiculares para transporte de carga en Colombia

Para los camiones rígidos de 2 ejes, han surgido gran variedad de tamaños con diferentes características de motor y capacidad de carga, para hacerlos más versátiles ante las limitaciones de espacio, movilidad e infraestructura en los centros urbanos, encontrando que dichas diferencias se han ido catalogando en la práctica como C2 grande y C2 pequeño, también conocidos comúnmente en el medio como sencillo y turbo, respectivamente. Este hecho ha implicado que el Ministerio de Transporte realice modificaciones y aclaraciones a la Resolución 4100 de 2004.

También se emplean motocicletas, de dos y tres ruedas para transporte de carga, los usos más comunes son mensajería y domicilios. Existen algunas moto-carga que han reemplazado las carretas de tracción animal y representan una solución para el transporte de escombros, reciclaje o mercancía. Dado el bajo número de estos vehículos en la base de datos actualizada del RUNT, no serán objeto de estudio para determinar su ciclo de conducción.

1.2.2 Transporte de pasajeros

El Decreto Nacional 1079 de 2015, clasifica las siguientes categorías vehiculares para el transporte de pasajeros:

- Grupo A: 4 - 9 pasajeros (automóvil, campero, camioneta)
- Grupo B: 10 -19 pasajeros (microbús)
- Grupo C: más de 19 pasajeros (bus, buseta)

Con la implementación de los sistemas de transporte masivo y estratégicos en las principales ciudades del país, se han introducido los denominados BRT (*Bus Rapid Transit*), que emplean buses tipo padrón (entre 80 y 120 pasajeros), articulados (entre 110 y 170 pasajeros) y biarticulados (hasta 260 pasajeros). A su vez, existe la opción de operar transporte mixto con vehículos tipo moto-carro.

1.2.3 Transporte particular

Se refiere al transporte que no se oferta al público en general, bien sean personas o mercancías. Dentro de este sector destaca el uso de vehículos tipo motocicletas, automóviles, camionetas y camperos.

1.3 Parque automotor actual - base de datos del RUNT

1.3.1 Depuración de la base de datos del RUNT

Se partió de 32 bases de datos con información del parque automotor de los departamentos de Colombia proporcionadas al convenio por la empresa concesionaria del Registro Único Nacional de Transporte (RUNT) a través del Ministerio de Transporte de Colombia, **con corte a septiembre de 2020**. Dichas bases de datos contenían 25 variables (columnas) y, agrupadas, conformaron 16'190.882 registros. Este proceso se realizó con ayuda de la librería *pandas* de *Python*. La base de datos consolidada final incluye **15'186.120** (94% de la base original). En la Tabla 1 y en la Figura 3 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestran los pasos metodológicos de depuración.

Tabla 1. Proceso de depuración de la base de datos del RUNT.

| Registros | Variables | Reg. Eliminados | Observaciones |
|-------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 16'190.882 | 25 | 0 | Datos de partida |
| 15589526 | 25 | 601.356 | ESTADO_VEHICULO != "ACTIVO" |
| 15589455 | 25 | 71 | CLASE!="SIN CLASE" |
| 15589392 | 25 | 63 | SERVICIO==NA |
| 15589382 | 25 | 10 | SERVICIO=="Otros" |
| 15589197 | 25 | 185 | MODELO <1900 MODELO>2021 |
| 15583934 | 25 | 5263 | CILINDRAJE==NA |
| 15387252 | 25 | 196.682 (antes 197.388) | CILINDRAJE<45 CILINDRAJE>23000 COMBUSTIBLE=="ELECTRICO" & CLASE=="VOLQUETA" COMBUSTIBLE=="ELECTRICO" & CLASE=="TRACTOCAMION" |
| 15386879 | 25 | 373 (antes 0) | REPOTENCIADO_CAMBIO_MOTOR_SI/NO!="SI" |
| 15386879 | 20 | 0 | TIPO_MOTOR ESTADO_VEHICULO ORGANISMO_TRANSITO REPOTENCIADO_CAMBIO_MOTOR_SI/NO NUEVO_MODELO |
| 15345571 | 20 | 41.308 | MARCA!="SIN MARCA" |
| 15345571 | 22 | 0 | MARCA_LIMPIA; LINEA_LIMPIA |
| 15335814 | 22 | 9757 | MARCA_LIMPIA=="ATIPICO" |
| 15335814 | 23 | 0 | CLASE_NUEVA |
| 15186801 | 23 | 149.013 | filtros de cilindrajes |
| 15186801 | 24 | 0 | CATEGORIA_CARGA |
| 15'186.120 | 24 | 681 | COMBUSTIBLE==NA |

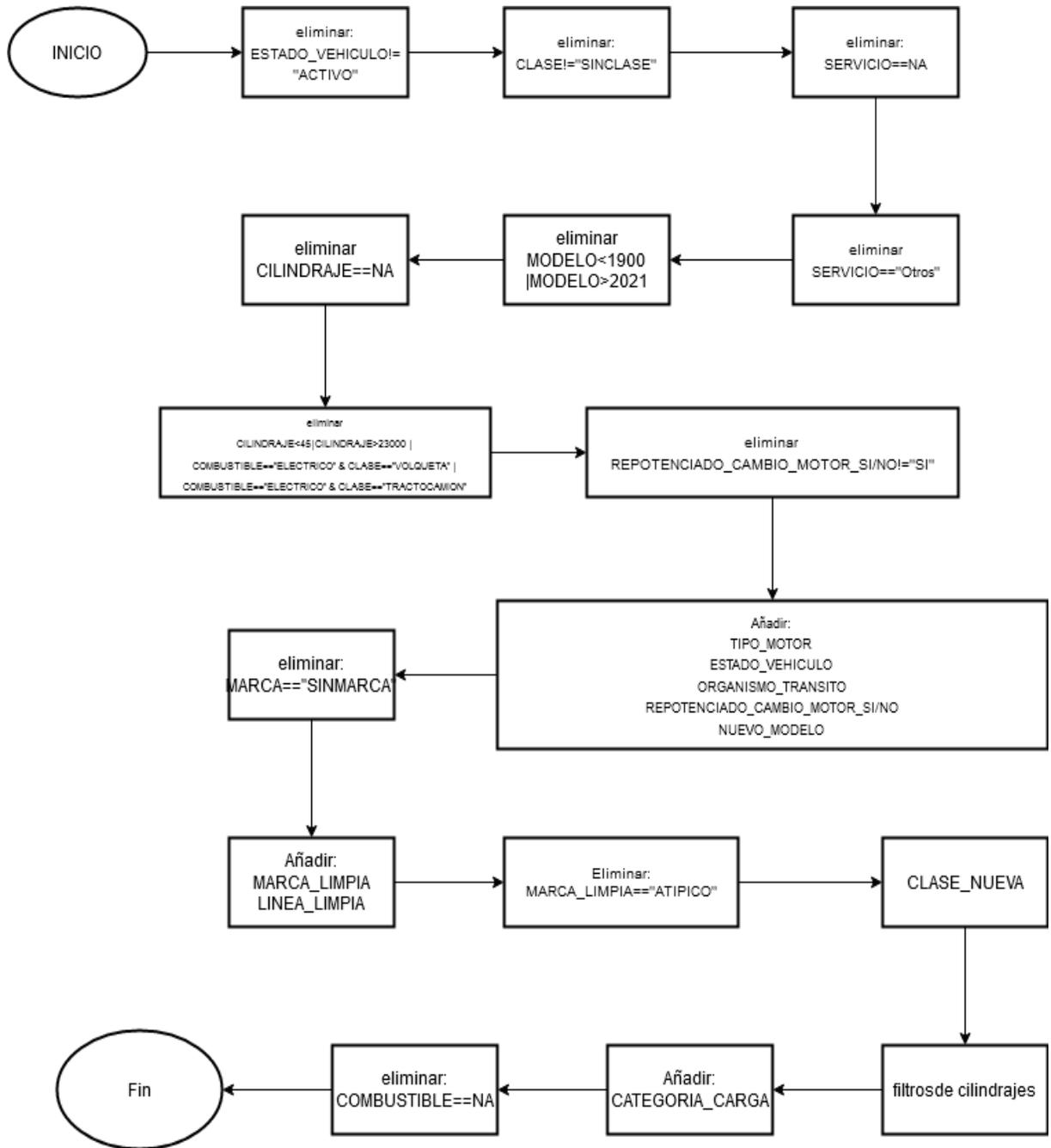


Figura 3. Flujo de actividades de depuración de la base de datos

1.3.2 Distribución del parque automotor por departamentos

El parque automotor del país se distribuye de manera distinta en los diferentes departamentos, donde se espera una concentración superior de cantidades en los departamentos con mayores ingresos económicos. Para analizar descriptiva y gráficamente la relación de los departamentos con las cantidades por clase de vehículo, se elaboraron tablas cruzadas (Tabla 2) y mapas con la concentración por regiones para cada clase de vehículo (Figuras 4 y 5). La cantidad de

vehículos del tipo se agrupó en segmentos a los que se dio diferente coloración. Por ejemplo, entre **596.933** y **1'447.246** la coloración toma el azul más oscuro y este valor se ve predominantemente en Bogotá, Antioquia y Valle del Cauca, independientemente de la clase de vehículo y su actividad.

En la 4 (izq.), se identifica que las **motocicletas** se concentran principalmente en Antioquia, Cundinamarca y Valle del Cauca. En la 4 (der.), se observa que los vehículos de **carga** tienen un tamaño más representativo en Cundinamarca, Antioquia y Santander. En la Figura 5 (izq.), se muestra que los **buses** están concentrados principalmente en Antioquia, Bogotá y Cundinamarca. En la Figura 5 (der.), se observa que los **automóviles** están concentrados principalmente en Antioquia, Bogotá y Valle del Cauca.

Tabla 2. Distribución de clases según RUNT 2020 por departamento

| DEPARTAMENTO_OT | ARTICULADO | AUTOMOVIL | BUS | BUSETA | BUS_PADRON | CAMION | CAMIONETA | CAMPERO | CARRO-MOTO | CICLOMOTOR | MICROBUS | MOTOCICLETA | TRACTOCAMION | VOLQUETA |
|-----------------------------------------|------------|-----------|-------|--------|------------|--------|-----------|---------|------------|------------|----------|-------------|--------------|----------|
| Amazonas | 0 | 156 | 1 | 0 | 0 | 14 | 157 | 28 | 398 | 5 | 14 | 17522 | 0 | 2 |
| Antioquia | 0 | 518613 | 11176 | 1 | 0 | 36776 | 168511 | 11135 | 18631 | 234 | 11656 | 1447246 | 7170 | 7040 |
| Arauca | 0 | 1481 | 89 | 0 | 0 | 186 | 866 | 362 | 216 | 4 | 141 | 62352 | 8 | 108 |
| Archipiélago de San Andrés, Providencia | 0 | 1633 | 39 | 0 | 0 | 133 | 2245 | 165 | 119 | 1 | 72 | 19855 | 1 | 11 |
| Atlántico | 0 | 127032 | 5535 | 0 | 0 | 9311 | 45231 | 15934 | 11454 | 2 | 3567 | 226256 | 776 | 1437 |
| Bogotá D.C. | 134 | 1317920 | 15469 | 0 | 1 | 23563 | 409522 | 245593 | 4170 | 5 | 11742 | 509686 | 738 | 1374 |
| Bolívar | 0 | 61254 | 1978 | 0 | 0 | 5065 | 22090 | 8444 | 3899 | 27 | 1492 | 258742 | 172 | 806 |
| Boyacá | 0 | 59536 | 2049 | 0 | 0 | 11550 | 28037 | 16534 | 661 | 4 | 3273 | 111783 | 4601 | 2773 |
| Caldas | 3 | 80281 | 1028 | 0 | 0 | 4156 | 23694 | 19720 | 1035 | 1 | 2067 | 237358 | 207 | 818 |
| Caquetá | 0 | 4247 | 253 | 0 | 0 | 385 | 1666 | 1665 | 881 | 3 | 132 | 165417 | 24 | 145 |
| Casanare | 0 | 10049 | 104 | 0 | 0 | 988 | 5867 | 2415 | 757 | 1 | 423 | 91674 | 77 | 437 |
| Cauca | 0 | 31137 | 1290 | 0 | 0 | 3114 | 13440 | 7847 | 677 | 12 | 1924 | 255755 | 423 | 879 |
| Cesar | 0 | 22229 | 262 | 0 | 0 | 2025 | 10890 | 3690 | 2398 | 1 | 648 | 126882 | 80 | 243 |
| Chocó | 0 | 523 | 17 | 0 | 0 | 29 | 214 | 116 | 842 | 0 | 91 | 39846 | 2 | 31 |
| Córdoba | 0 | 21686 | 759 | 0 | 0 | 2013 | 11169 | 7571 | 2760 | 2 | 587 | 437256 | 67 | 503 |
| Cundinamarca | 0 | 243278 | 10698 | 1 | 0 | 73970 | 173867 | 63898 | 3681 | 89 | 21439 | 882837 | 19254 | 14072 |
| Guainía | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 859 | 0 | 0 | 2883 | 0 | 0 |
| Guaviare | 0 | 389 | 6 | 0 | 0 | 26 | 152 | 195 | 365 | 0 | 4 | 34026 | 2 | 26 |
| Huila | 0 | 52428 | 1044 | 0 | 0 | 5564 | 27879 | 12255 | 1661 | 1 | 1675 | 323213 | 552 | 898 |
| La Guajira | 0 | 3757 | 378 | 0 | 0 | 632 | 2931 | 562 | 63 | 0 | 158 | 19057 | 46 | 50 |
| Magdalena | 0 | 24155 | 757 | 0 | 0 | 2775 | 9628 | 3608 | 5334 | 3 | 1424 | 230401 | 134 | 187 |
| Meta | 0 | 42922 | 549 | 0 | 0 | 5043 | 23797 | 12176 | 4697 | 0 | 1572 | 397898 | 499 | 1360 |
| Nariño | 0 | 58667 | 1523 | 0 | 0 | 6822 | 24282 | 13080 | 1308 | 0 | 1305 | 277860 | 1140 | 1229 |
| Norte de Santander | 0 | 48376 | 1067 | 0 | 0 | 3851 | 19878 | 5621 | 1188 | 2 | 2460 | 215793 | 238 | 1396 |
| Putumayo | 0 | 1166 | 149 | 0 | 0 | 269 | 1238 | 574 | 775 | 3 | 142 | 137511 | 49 | 152 |
| Quindío | 0 | 49435 | 705 | 0 | 0 | 3514 | 14618 | 9900 | 546 | 1 | 1271 | 147587 | 254 | 351 |
| Risaralda | 0 | 80228 | 1618 | 0 | 0 | 3757 | 25214 | 13759 | 1863 | 18 | 1682 | 213596 | 461 | 935 |
| Santander | 2 | 177433 | 3685 | 0 | 0 | 19787 | 72816 | 29810 | 2465 | 8 | 4950 | 596933 | 5210 | 3616 |
| Sucre | 0 | 12780 | 261 | 0 | 0 | 1108 | 5861 | 3645 | 119 | 0 | 570 | 129609 | 9 | 263 |
| Tolima | 0 | 69271 | 2304 | 0 | 0 | 6023 | 26860 | 15976 | 1572 | 6 | 1639 | 277643 | 427 | 795 |
| Valle del Cauca | 18 | 434977 | 7572 | 0 | 0 | 21378 | 123255 | 55881 | 8312 | 29 | 8657 | 1164184 | 2298 | 2482 |
| Vichada | 0 | 83 | 4 | 0 | 0 | 16 | 82 | 26 | 35 | 0 | 4 | 5488 | 2 | 11 |

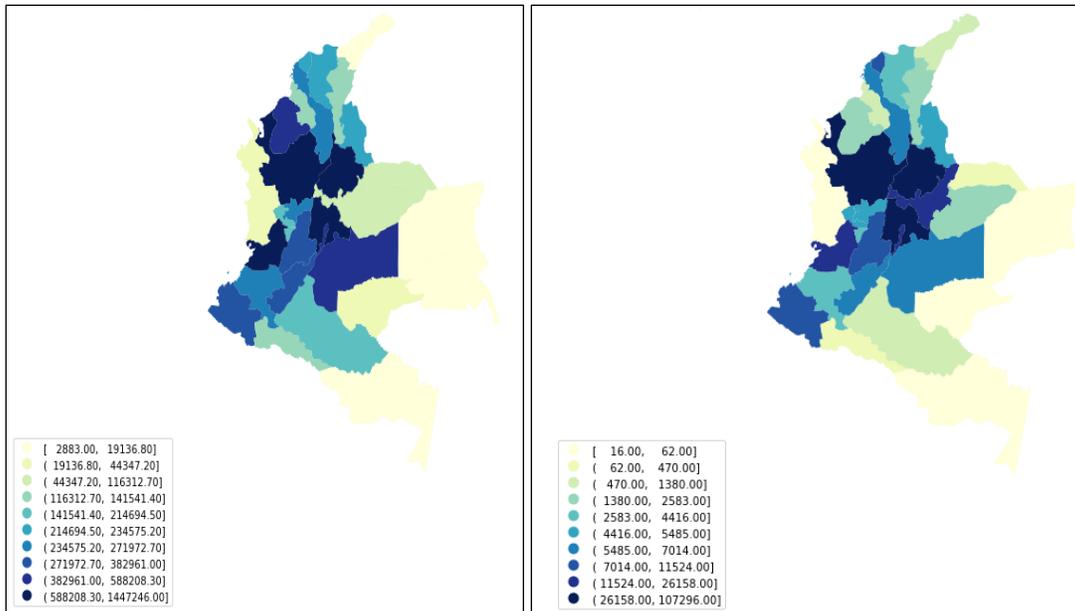


Figura 4. Cantidad de motocicletas (izq.) y de vehículos de carga (der.) por departamento

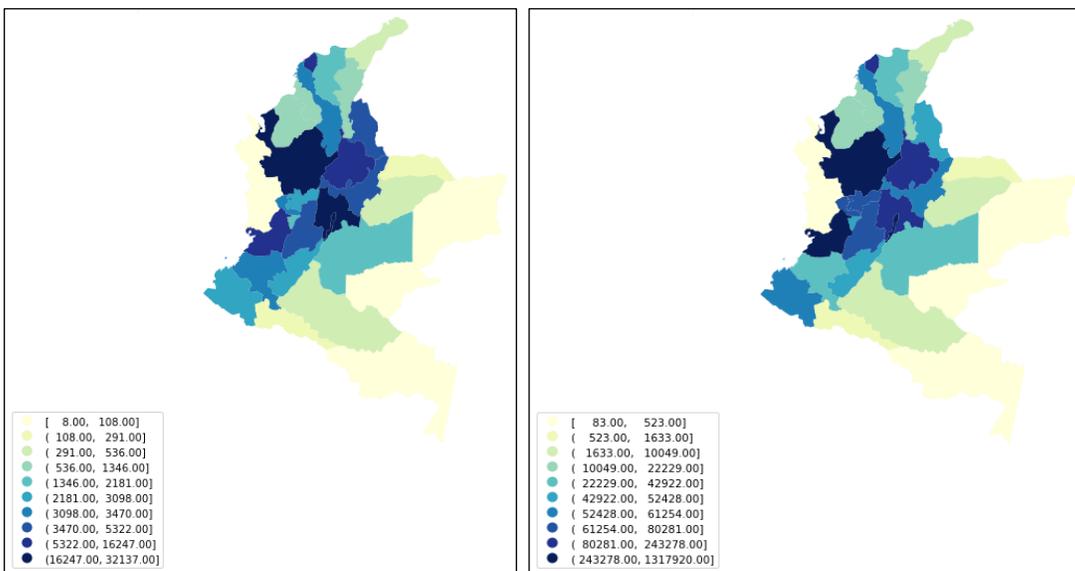


Figura 5. Cantidad de buses (izq.) y cantidad de automóviles (der.) por departamento

1.3.3 Caracterización por clase, servicio, combustible y marca

Se presenta a continuación la caracterización del parque automotor según su clase y, dentro de éstas, el tipo de servicio, combustible y marcas, con sus respectivas participaciones porcentuales dentro de cada categoría. Para ello, se elaboraron diferentes tablas y figuras que permiten explorar estas variables. Se optó por generar figuras tipo *sunburst*, donde a partir del centro, se dividen las diferentes categorías en el orden de: clase, servicio, combustible y marcas. La figura toma como 100% la categoría que está en la sección analizada, y hace un análisis de frecuencia relativa por categoría.

En la Tabla 3 y en la Figura 6 se presenta el análisis de la proporción de la clase de vehículos frente al total de la base de datos suministrada por el RUNT en septiembre de 2020.

| Tabla 3. Participación por clase de vehículo frente al total RUNT 2020 | | |
|------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|
| Vehículo | Particip. (%) | Cantidad |
| Motocicleta | 60,1 | 9'126.858 |
| Automóvil | 23,6 | 3'583.924 |
| Camioneta | 8,6 | 1'306.006 |
| Campero | 4,5 | 683.375 |
| Camión | 1,7 | 258.164 |
| Motocarro | 0,445 | 67.578 |
| Tractocamión | 0,298 | 45.255 |
| Volqueta | 0,295 | 44.800 |
| Bus | 0,197 | 29.917 |
| Buseta | 0,114 | 17.312 |
| Cuatrimotor | 0,104 | 15.793 |
| Microbús | 0,062 | 9.500 |

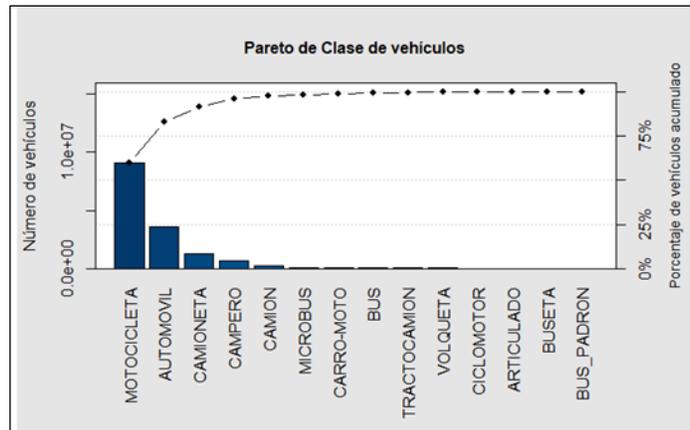


Figura 6. Diagrama de Pareto según clase de vehículos

1.3.3.1 Categoría Motocicletas

Según la Tabla 3, del total del parque automotor colombiano el 60,1% (9'126.858) son motocicletas. La Figura 7 muestra que del total de motocicletas que hay en el país en el RUNT, a septiembre de 2020, el 99% son de servicio particular y sólo un 1% de servicio público. De las motocicletas registradas como de servicio particular 98% son de combustible gasolina y sólo m

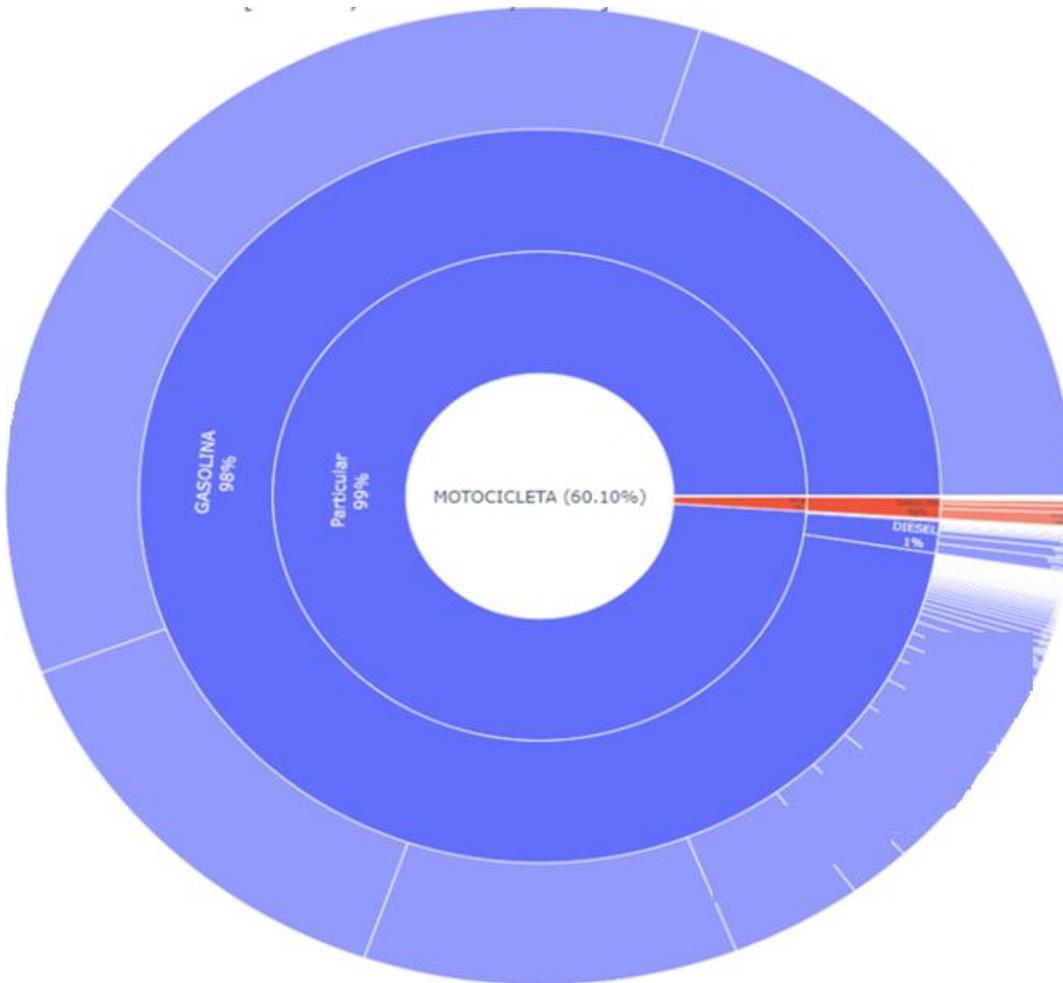


Figura 7. Porcentaje de motocicletas según servicio, combustible y marca

1.3.3.2 Categoría Vehículos Livianos

En el caso de automóviles, camperos y camionetas (Figura 8), el 93% corresponde a servicio particular. Con el fin de priorizar marcas para el análisis de los datos, se elaboraron tablas de frecuencia por clase de automóviles filtradas aproximadamente al 90% de los datos (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de frecuencias para las principales marcas de automóviles

| | Cantidad | Frec. relativa (%) | Frec. acumulada (%) |
|--|-----------|--------------------|---------------------|
| | 1'015.769 | 28,6 | 28,6 |
| | 872.123 | 24,5 | 53,1 |
| | 372.724 | 10,5 | 63,6 |
| | 233.182 | 6,6 | 70,1 |
| | 210.045 | 5,9 | 76,0 |
| | 144.557 | 4,1 | 80,1 |
| | 124.876 | 3,5 | 83,6 |
| | 99.792 | 2,8 | 86,4 |
| | 64.172 | 1,8 | 88,2 |

| | | | |
|--|--------|-----|------|
| | 49.246 | 1,4 | 89,6 |
|--|--------|-----|------|

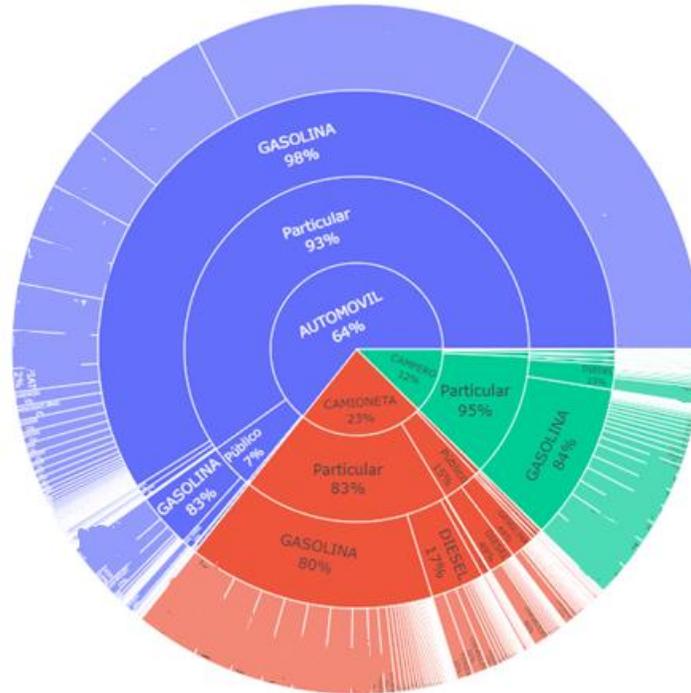


Figura 8. Porcentaje de vehículos livianos según servicio, combustible y marca

1.3.3.3 Categoría Buses y Microbuses

En el caso de la categoría Buses dónde se agrupan los Microbuses, Buses, Padrón y Biarticulado (Figura 9), más del 95% pertenece a la categoría de Microbuses y Buses. El 87% de los Microbuses corresponde al servicio público, en el caso de los buses este porcentaje es del 88%. El tipo de combustible en este segmento está en torno al 90% de diésel.

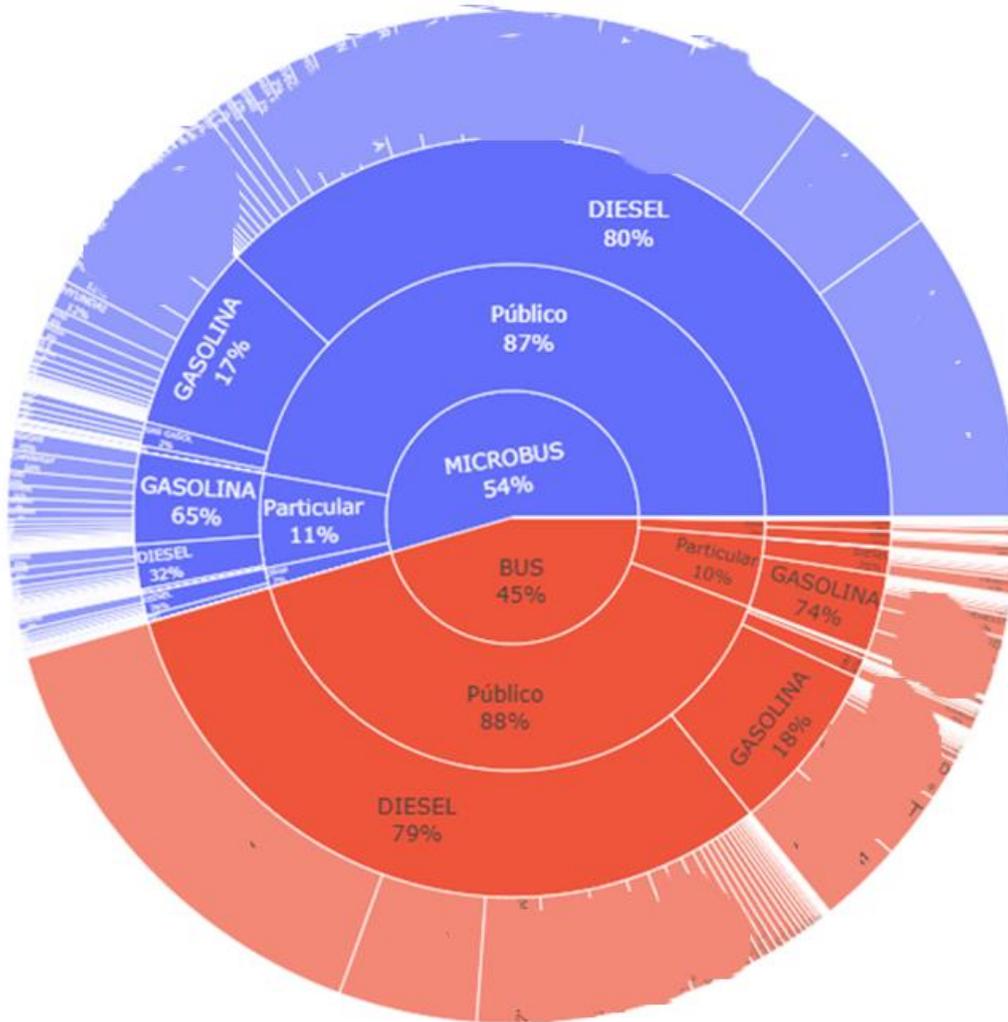


Figura 9. Distribución porcentaje de buses. Articulados son el 0.37% del total nacional.

1.3.3.4 Categoría Vehículos de Carga

Esta categoría representa el 2.28% del total del Parque Automotor Colombiano, es decir, 348.219 vehículos. En ésta se agrupan Camiones (74%), Volquetas (13%) y Tractocamiones (13%), tal como se muestra en la Figura 10. Esta categoría adicionalmente se subdivide por conveniencia de cara a los factores de emisión, en Livianos, Medianos y Pesados según la cilindrada del motor, esta distribución es la recomendada por el modelo LEAP y el IVE según se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Distribución camiones livianos, medianos y pesados, acorde a modelo LEAP e IVE

| | |
|-------------------------|-----------------------------|
| Buses | Livianos (cc ≤ 3000) |
| Buses servicio especial | Medianos (3000 < cc ≤ 6000) |
| Camiones | Pesados (cc > 6000) |
| Metroplús | |
| Tractocamiones | |
| Volquetas | |

CATEGORIA CARGA (2.28% Total Nacional)

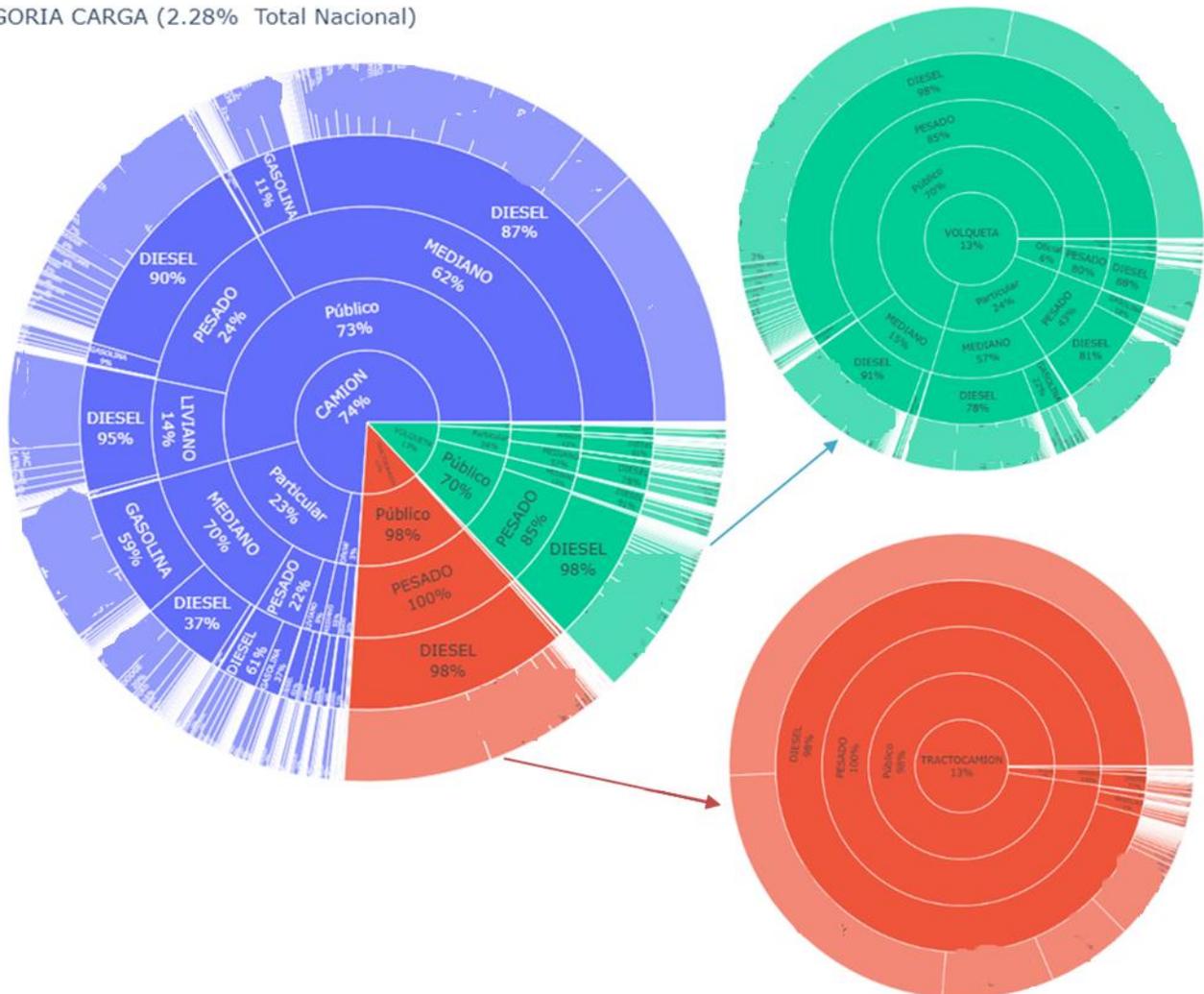


Figura 10. Porcentaje de grupo carga según servicio, combustible y marca

1.3.4 Caracterización por clase, combustible, modelo - cilindraje, y capacidad

Con miras a favorecer la selección de las categorías de vehículos a los que se les van a medir experimentalmente los factores de emisión en la segunda fase de este proyecto, se realizaron mapas de calor para cada categoría de interés, a saber: motocicletas (Figura 11), vehículos livianos (Figura 12), buses y microbuses (Figura 13), Camiones, volquetas y tractocamiones (Figura 14). Se relacionaron las variables: modelo y cilindraje, las cuales unidas a los diagramas tipo sunburst presentados en la sección anterior (1.3.3), permiten determinar las marcas de

vehículos más representativas con sus cilindradas de motor y año del modelo más indicadas para FECOC+-Fase II.

Otro parámetro clave para determinar factores de emisión que se suma a los anteriores es la capacidad de pasajeros/carga. En las Figuras 15 a 18 se muestran los mapas de calor que permiten identificar en las categorías de interés cuáles deberían seleccionarse para medirlos factores de emisión, sumando este criterio adicional.

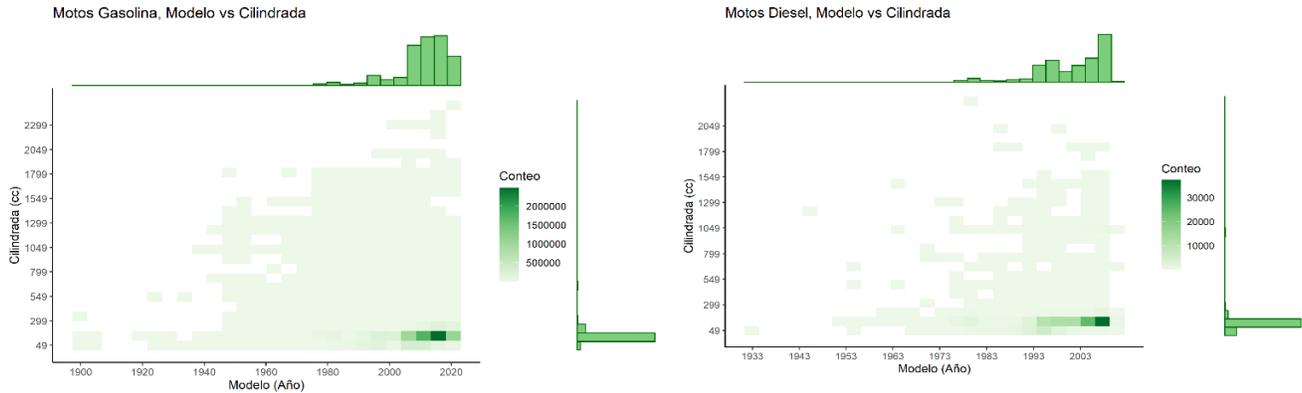


Figura 11. Mapas de calor para modelo contra cilindraje para motos

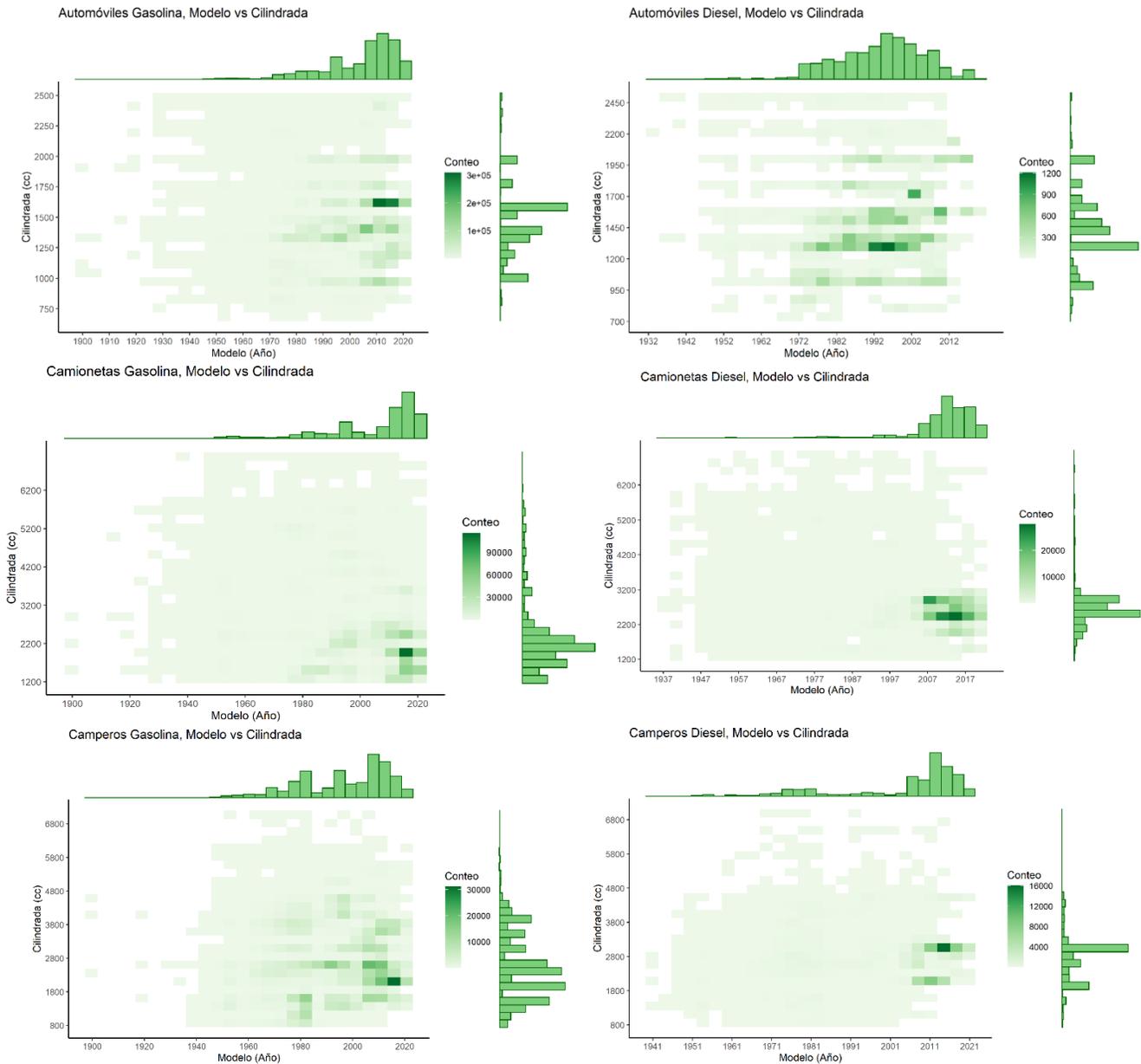


Figura 12. Mapas de calor para modelo contra cilindraje para vehículos livianos

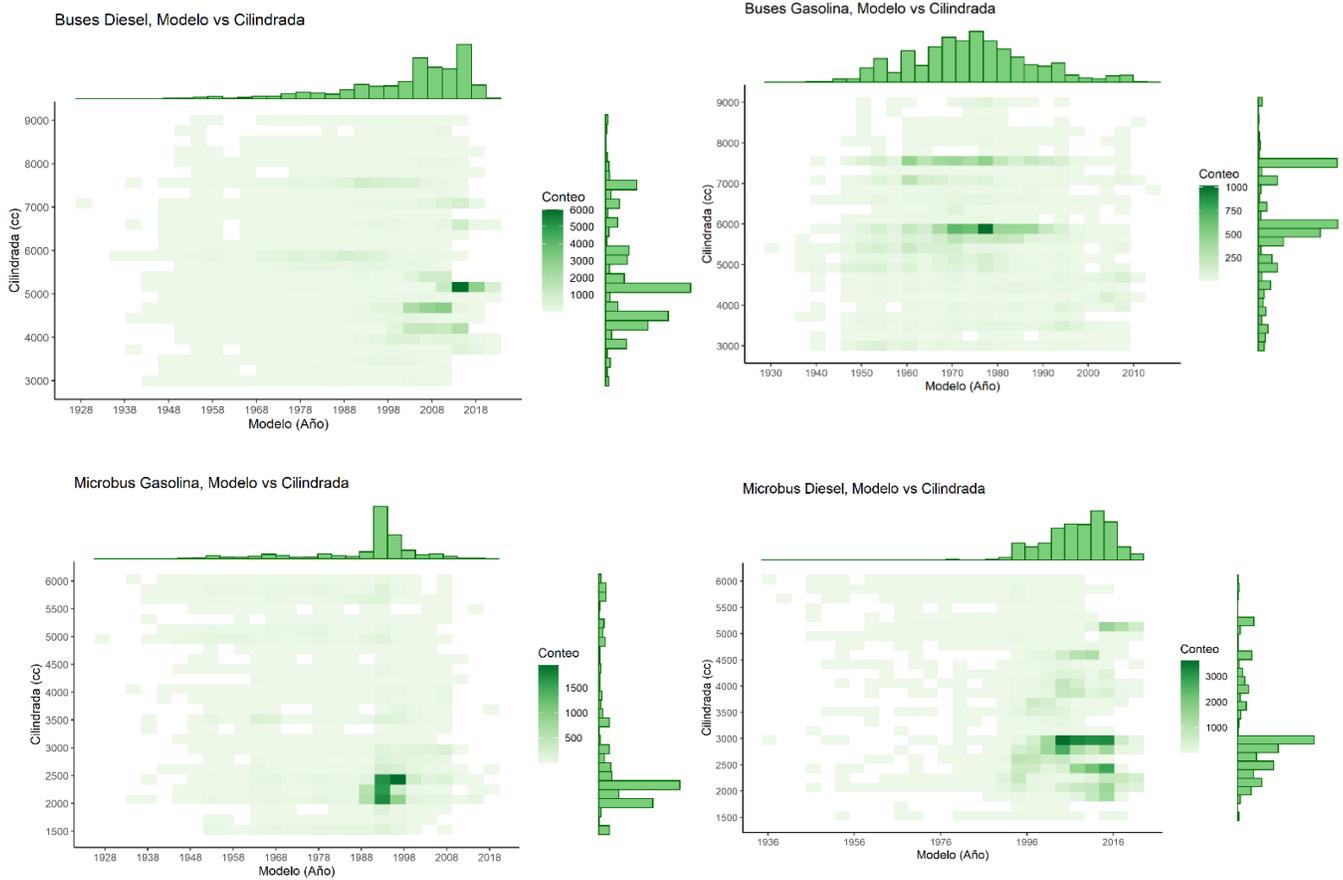


Figura 13. Mapas de calor para modelo contra cilindraje para buses y microbuses

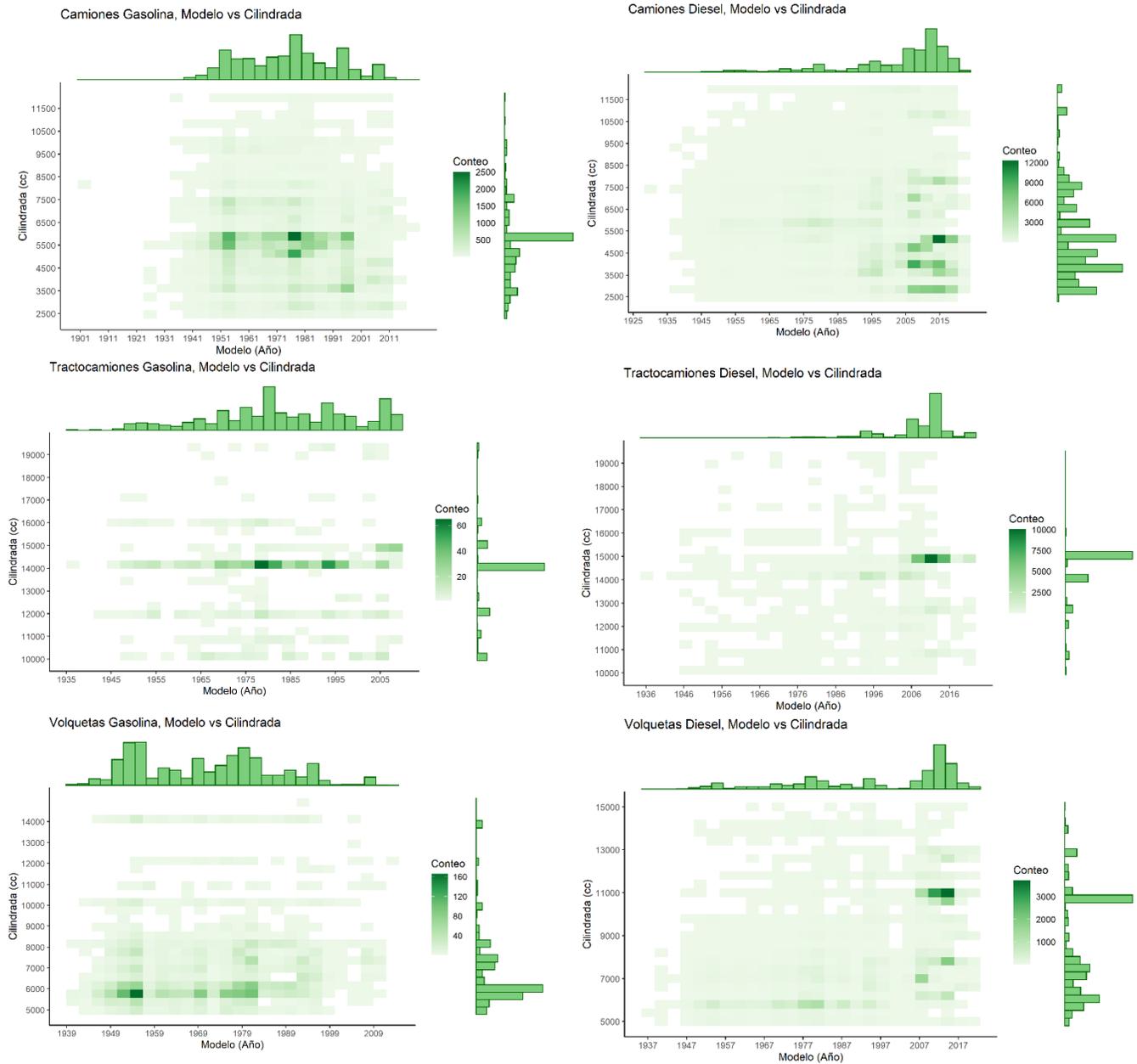
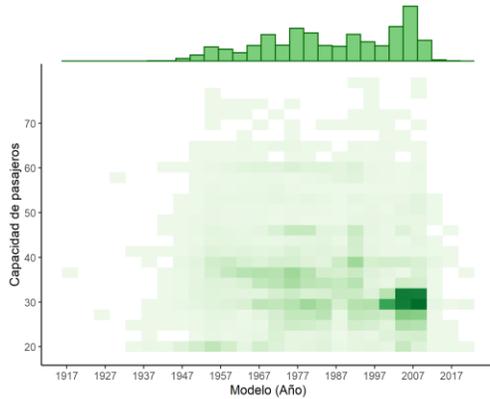


Figura 14. Mapa de calor para cilindrada contra año del modelo para vehículos de carga

Buses, Modelo vs Capacidad de pasajeros



Microbuses, Modelo vs Capacidad de pasajeros

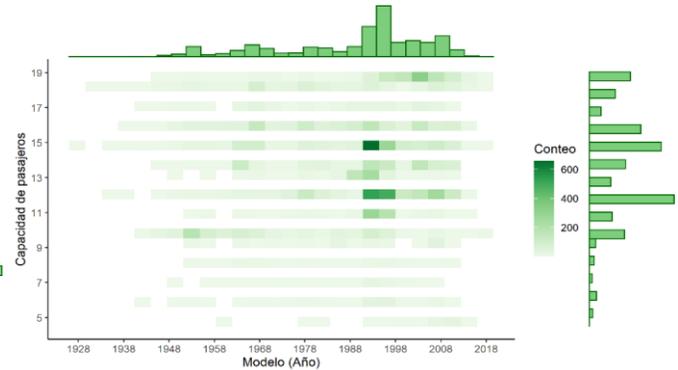
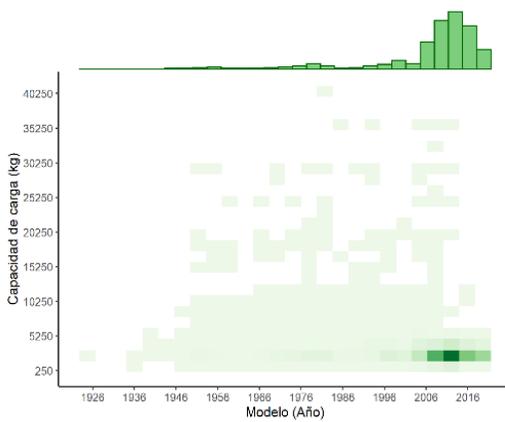
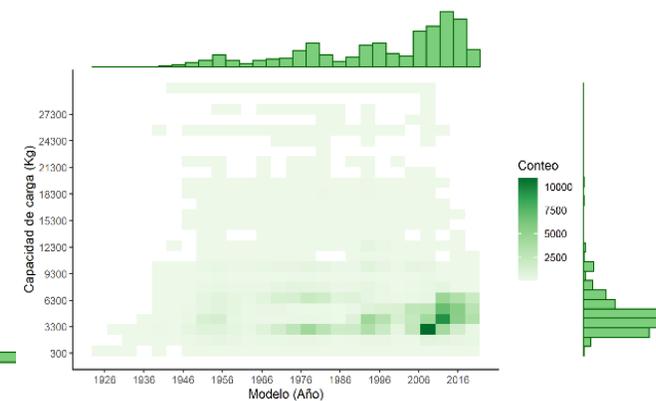


Figura 15. Mapa de calor modelo vs Capacidad de pasajeros para buses y microbuses

Camiones Livianos, Modelo vs Capacidad de carga



Camiones Medianos, Modelo vs Capacidad de carga



Camiones Pesados, Modelo vs Capacidad de carga

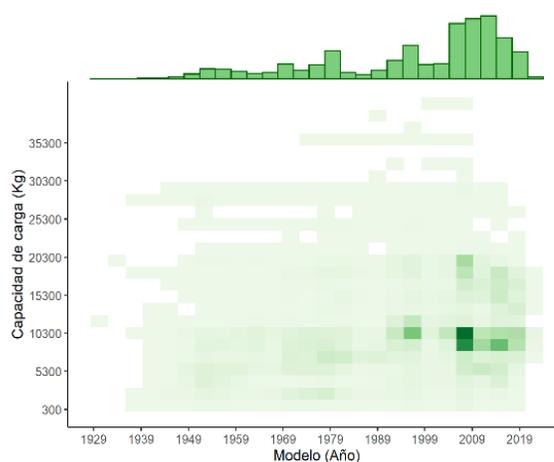


Figura 16. Mapa de calor modelo vs Capacidad de carga para camiones (livianos, medianos y pesados)

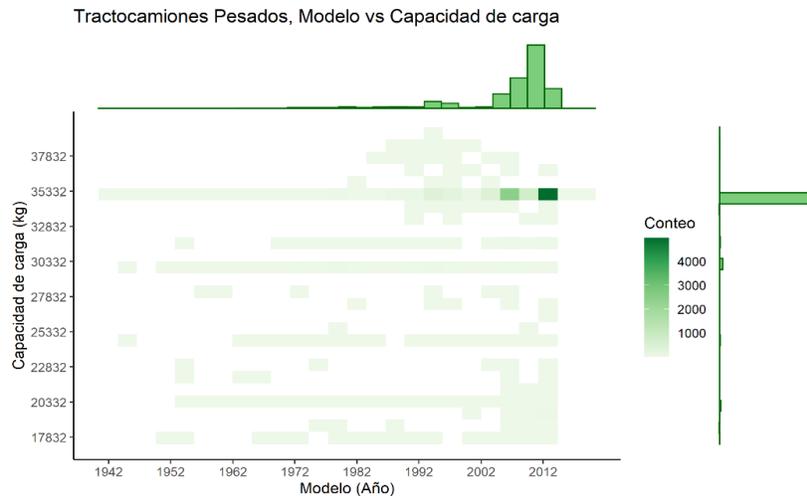


Figura 17. Mapa de calor modelo vs Capacidad de carga para Tractocamiones

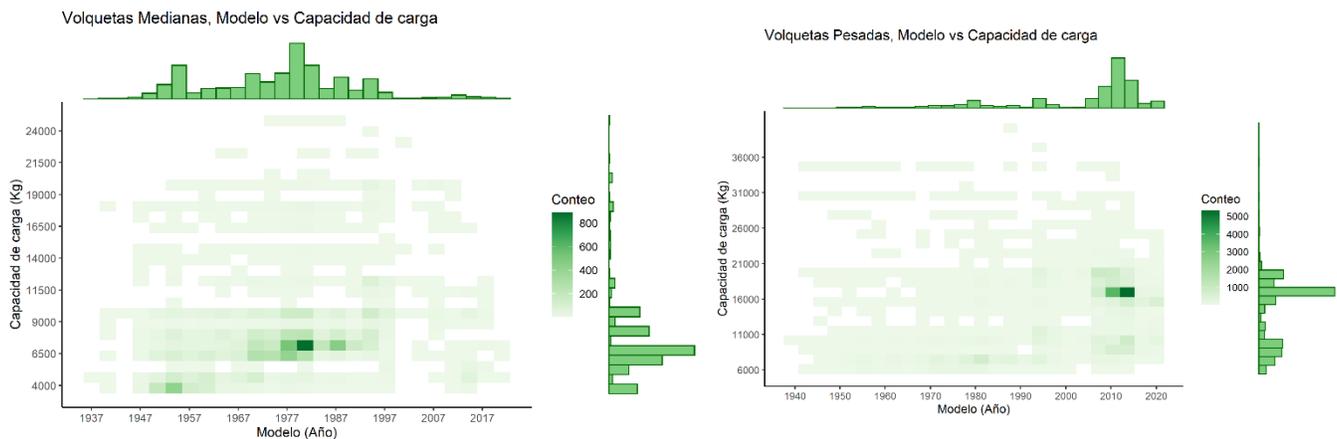


Figura 18. Mapa de calor modelo vs capacidad de carga para Volquetas (medianas y pesadas)

En las Tablas 6 y 7 se resumen los parámetros más indicados para la selección de las categorías de vehículos más representativos a los que se les recomendaría medirles los factores de emisión en las fases posteriores de este proyecto, así como el número de vehículos a medir en función del tipo de combustible, cilindrada del motor, año del modelo y capacidad de pasajeros/carga.

Para determinar el número de vehículos a medir por cada categoría y en los principales centros urbanos, se usó el muestreo estratificado con error absoluto y coeficiente de confianza adicional proporcional. En cada categoría se consideró la proporción de vehículos por región, un nivel de confianza (NC) y un error predefinido. La Tabla 8 muestra la cantidad de vehículos de acuerdo con diferentes niveles de confianza y errores. Aunque el valor deseado corresponde al de mayor nivel de confianza (90%) y menor error absoluto (10%), en la práctica se hace inviable llevar una campaña de medición de 68 vehículos por cada categoría para que sean lo suficientemente representativos del país.

La experiencia del grupo ejecutor, quienes han llevado a cabo mediciones de factores de

emisión a bordo en el Valle de Aburrá, le ha mostrado que para vehículos pesados se requiere 1 semana de pruebas para determinar de forma confiable los factores de emisión de contaminantes gaseosos, incluidos los de efecto invernadero, así como de material particulado y número de partículas por cada kilómetro recorrido. Por esto es que en la Tabla 9 se proponen 12 vehículos a medir por cada categoría y en los principales centros urbanos, con un nivel de confianza del 90% y un error de 0,24.

Tabla 6. Resumen de fuentes móviles terrestres representativas para medición de factores de emisión

| Categoría | Clase | % participación del total nacional | Cantidad | Combustible | Cilindraje mapa de calor | Modelo mapa de calor | % participación en la categoría | Cantidad |
|--------------------|--------------|------------------------------------|-----------|-------------|--------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|
| Motos | Motos | 60,1 | 9.126.257 | Gasolina | 125 | 2018 | 99% | 8.996.032 |
| | | | | Diésel | 100 | 2008 | 1% | 130.225 |
| Vehículos livianos | Automóvil | 23,6 | 3.583.688 | Gasolina | 1.600 | 2012 | 64% | 3.556.134 |
| | | | | Diésel | 1.300 | 1993 | 0% | 27.555 |
| | Camioneta | 8,6 | 1.305.920 | Gasolina | 2.000 | 2018 | 18% | 996.010 |
| | | | | Diésel | 2.400 | 2015 | 6% | 309.910 |
| | Campero | 4,5 | 683.330 | Gasolina | 3.000 | 2018 | 10% | 583.970 |
| | | | | Diésel | 3.000 | 2013 | 2% | 99.360 |
| Buses | Microbús | 0,373 | 56.640 | Diésel | 2.800 | 1998 | 42% | 23.771 |
| | | | | Gasolina | 2.400 | 1997 | 12% | 6.815 |
| | Bus - Buseta | | | Diésel | 5.200 | 2014 | 34% | 19.432 |
| | | | | Gasolina | 5.900 | 1978 | 12% | 6.622 |
| Vehículos de carga | Camión | 1,7 | 258.147 | Diésel | 5.200 | 2012 | 59% | 206.175 |
| | | | | Gasolina | 5.700 | 1979 | 15% | 51.972 |
| | Volqueta | 0,289 | 43.944 | Diésel | 11.000 | 2015 | 12% | 40.565 |
| | | | | Gasolina | 6.000 | 1955 | 1% | 3.379 |
| | Tractocamión | 0,298 | 45.252 | Diésel | 15.000 | 2012 | 13% | 44.375 |
| | | | | Gasolina | 14.000 | 1980 | 0% | 877 |

Tabla 7. Categoría de fuentes móviles terrestres representativas para medición de factores de emisión

| Categoría | Clase | Combustible | Cilindraje (cm ³) | Modelo | Cantidad a medir |
|--------------------|----------------|-------------|-------------------------------|--------|------------------|
| Motos | Motos | Gasolina | 125 | 2018 | 12 |
| Vehículos livianos | Automóvil | | 1.600 | 2012 | 12 |
| | Camioneta | | 2.000 | 2018 | |
| | Campero | | 3.000 | 2018 | |
| Buses | Microbús | Diésel | 2.800 | 1998 | 12 |
| | Bus - Buseta | | 5.200 | 2014 | |
| Vehículos de carga | Camión liviano | | < 3.000 | 2012 | 12 |
| | Camión mediano | | 3.000 - 6.000 | 2007 | |
| | Camión pesado | | > 6.000 | 2007 | |
| | Volqueta | | 11.000 | 2015 | |
| | Tractocamión | 15.000 | 2012 | | |

Tabla 8. Tamaño muestral de vehículos a medir por nivel de confianza y error por cada categoría

| NC (%) | Error | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.21 | 0.22 | 0.23 | 0.24 | 0.25 |
| 90 | 68 | 56 | 47 | 40 | 35 | 30 | 27 | 24 | 21 | 19 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
| 85 | 52 | 43 | 36 | 31 | 26 | 23 | 20 | 18 | 16 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| 80 | 41 | 34 | 28 | 24 | 21 | 18 | 16 | 14 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 8 | 7 | 7 |
| 75 | 33 | 27 | 23 | 20 | 17 | 15 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 |
| 70 | 27 | 22 | 19 | 16 | 14 | 12 | 11 | 9 | 8 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 |

Tabla 9. Tamaño de muestra de vehículos a medir por categoría en los principales centros urbanos, para un nivel de confianza del 90% y un error de 0,24

| Centro urbano | Motocicletas | Vehículos livianos | Buses | Camiones | Tractocamiones |
|---------------|--------------|--------------------|-----------|-----------|----------------|
| Bogotá | 4 | 7 | 5 | 3 | 1 |
| Medellín | 5 | 2 | 4 | 6 | 9 |
| Cali | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Barranquilla | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Total | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |

1.4 Caracterización de la movilidad por categorías vehiculares en corredores intermunicipales

1.4.1 Corredores viales

En cuanto a la infraestructura, el Decreto Nacional 1478 de 2014, fija los lineamientos para establecer los corredores logísticos de importancia estratégica para el país, y el Ministerio de Transporte mediante la Resolución 164 de 2015 establece cuáles son esos corredores de importancia estratégica, siendo para el modo carretero los establecidos en el artículo primero, numeral 1:

1. Bogotá – Cali, con ramales a Buenaventura, Santander de Quilichao, Popayán, Pasto, Ipiales, Mocoa, entre otros.
2. Medellín – Cali que conecta con el corredor Bogotá – Cali en Anserma nuevo, además de incluir ramales a Turbo, Montería y Sincelejo.
3. Bogotá – Barranquilla por Villeta, con ramales a Santa Marta, Riohacha, Paraguachón, Cartagena, Sincelejo, Aguachica, Ocaña, Cúcuta, entre otros.
4. Bogotá – Bucaramanga por Barbosa Santander, con ramales a Cúcuta, La Lizama, San Alberto (que conecta con el corredor Bogotá – Barranquilla), entre otros.
5. Medellín – Bucaramanga por Puerto Berrío, que conecta con corredor Bogotá – Barranquilla en Puerto Berrío y ramal Barrancabermeja – Bucaramanga en La Lizama.
6. Bogotá – Villavicencio, con ramales a Restrepo, Yopal, Arauca, Puerto López, Puerto Carreño, Acacias, San Martín, San José del Guaviare, entre otros.
7. Bogotá – Yopal por Tunja, que conecta con corredores Bogotá - Bucaramanga

Para efectos del presente convenio, se enfocará en los siguientes corredores intermunicipales (Figura 19):

1. Bogotá – Guaduas – Costa Atlántica (Cartagena – Barranquilla – Santa Marta)
2. Villavicencio – Bogotá – Buenaventura
3. Medellín – Planeta Rica – Costa Atlántica (Cartagena – Barranquilla – Santa Marta)
4. Medellín – Pereira – Cartago – Tuluá – Buenaventura
5. Bogotá – Medellín – Turbo
6. Bogotá – Tunja – Bucaramanga
7. Ipiales – Cali – Buenaventura
8. Neiva – Costa Atlántica (Cartagena – Barranquilla – Santa Marta)

Para efectos de la movilidad intermunicipal se asumieron como nodos las seis áreas metropolitanas legalmente constituidas en Colombia, y las áreas metropolitanas que deberían de ser según el estudio sobre ciudades del DANE, más no legalmente configuradas, por lo cual para estas podría incluir o salir algún municipio del listado que se muestra en la Tabla 10.



Figura 19. Principales corredores viales de Colombia. Elaboración propia en Google maps

Tabla 10. Áreas Metropolitanas de Colombia

| Nombre | Tipo | Departamento | Municipio |
|----------------------------------------|---------|--------------------|-------------------|
| Área Metropolitana de Barranquilla | Oficial | Atlántico | Barranquilla |
| | | | Galapa |
| | | | Malambo |
| | | | Puerto Colombia |
| | | | Soledad |
| Área Metropolitana de Bucaramanga | Oficial | Santander | Bucaramanga |
| | | | Floridablanca |
| | | | Girón |
| | | | Piedecuesta |
| Área Metropolitana de Centro Occidente | Oficial | Risaralda | Dosquebradas |
| | | | La Virginia |
| | | | Pereira |
| Área Metropolitana de Cúcuta | Oficial | Norte de Santander | Cúcuta |
| | | | El Zulia |
| | | | Los Patios |
| | | | Puerto Santander |
| | | | San Cayetano |
| | | | Villa Del Rosario |

| Nombre | Tipo | Departamento | Municipio |
|-----------------------------------------------|------------|---------------|--------------------------|
| Área Metropolitana del Valle de Aburrá | Oficial | Antioquia | Barbosa |
| | | | Bello |
| | | | Caldas |
| | | | Copacabana |
| | | | Envigado |
| | | | Girardota |
| | | | Itagüí |
| | | | La Estrella |
| | | | Medellín |
| | | | Sabaneta |
| Área Metropolitana del Valle del Cacique Upar | Oficial | Cesar | Agustín Codazzi |
| | | | La Paz |
| | | | Manaure Balcón Del Cesar |
| | | | San Diego |
| | | | Valledupar |
| Área Metropolitana de Armenia | Reconocida | Quindío | Armenia |
| | | | Calarcá |
| | | | Circasia |
| | | | La Tebaida |
| | | | Montenegro |
| | | | Salento |
| Área Metropolitana de Bogotá | Reconocida | Bogotá, d. C. | Bogotá, D.C. |
| | | | Bojacá |
| | | | Cajicá |
| | | | Chía |
| | | | Cota |
| | | | El Rosal |
| | | | Facatativá |
| | | | Funza |
| | | | Gachancipá |
| | | | La Calera |
| | | | Madrid |
| | | | Mosquera |
| | | | Sibaté |
| | | | Soacha |
| | | | Sopó |
| | | | Tabio |
| Tenjo | | | |
| Tocancipá | | | |
| Zipaquirá | | | |

| Nombre | Tipo | Departamento | Municipio |
|---------------------------------|------------|-----------------|---------------------|
| Área Metropolitana de Cali | Reconocida | Valle del cauca | Cali |
| | | | Candelaria |
| | | | Jamundí |
| | | | Palmira |
| | | | Yumbo |
| Área Metropolitana de Cartagena | Reconocida | Bolívar | Cartagena De Indias |
| | | | Clemencia |
| | | | Santa Rosa |
| | | | Turbaco |
| | | | Turbaná |
| Área Metropolitana de Girardot | Reconocida | Cundinamarca | Girardot |
| | | | Ricaurte |
| | | Tolima | Flandes |
| Área Metropolitana de Ibagué | Reconocida | Tolima | Alvarado |
| | | | Cajamarca |
| | | | Coello |
| | | | Ibagué |
| | | | Piedras |
| Área Metropolitana de Manizales | Reconocida | Caldas | Chinchiná |
| | | | Manizales |
| | | | Neira |
| | | | Palestina |
| | | | Villamaría |
| Área Metropolitana de Montería | Reconocida | Córdoba | Cereté |
| | | | Ciénaga De Oro |
| | | | Montería |
| | | | San Carlos |
| | | | San Pelayo |
| Área Metropolitana de Neiva | Reconocida | Huila | Aipe |
| | | | Baraya |
| | | | Campoalegre |
| | | | Neiva |
| | | | Palermo |
| | | | Rivera |
| | | | Tello |
| | | | Villavieja |
| Área Metropolitana de Popayán | Reconocida | Cauca | Cajibío |
| | | | El Tambo |
| | | | Piendamó - Tunía |
| | | | Popayán |

| Nombre | Tipo | Departamento | Municipio |
|---------------------------------------------|------------|--------------|-----------------------|
| | | | Timbío |
| Área Metropolitana de Santa Marta | Reconocida | Magdalena | Ciénaga |
| | | | Puebloviejo |
| | | | Santa Marta |
| | | | |
| Área Metropolitana de Tunja | Reconocida | Boyacá | Chíquiza |
| | | | Chivatá |
| | | | Cómbita |
| | | | Cucaita |
| | | | Motavita |
| | | | Oicatá |
| | | | Samacá |
| | | | Siachoque |
| | | | Sora |
| | | | Soracá |
| | | | Sotaquirá |
| | | | Toca |
| | | | Tunja |
| | | | Tuta |
| Ventaquemada | | | |
| Área Metropolitana de Villavicencio | Reconocida | Meta | Acacías |
| | | | Cumaral |
| | | | Guamal |
| | | | Restrepo |
| | | | Villavicencio |
| Área Metropolitana del Alto Chicamocha | Reconocida | Boyacá | Duitama |
| | | | Firavitoba |
| | | | Iza |
| | | | Nobsa |
| | | | Paipa |
| | | | Santa Rosa De Viterbo |
| | | | Sogamoso |
| | | | Tibasosa |
| Área Metropolitana del Eje Bananero | Reconocida | Antioquia | Apartadó |
| | | | Carepa |
| | | | Chigorodó |
| | | | Turbo |
| Área Metropolitana del Valle de San Nicolás | Reconocida | Antioquia | El Carmen De Viboral |
| | | | El Santuario |
| | | | Guarne |
| | | | La Ceja |

| Nombre | Tipo | Departamento | Municipio |
|--------|------|--------------|-----------|
| | | | La Unión |
| | | | Marinilla |
| | | | Retiro |
| | | | Rionegro |

1.5 Transporte intermunicipal de carga

El Ministerio de Transporte dispone de información pública del transporte de carga en el país para su visualización y descarga en el Portal Logístico de Colombia (<https://plc.mintransporte.gov.co/>), que reúne el RNDC (Registro Nacional de Despachos de Carga), SICE-TAC (Sistema de Información Costo Eficiente de Transporte de Carga), Alianzas Logísticas Regionales, corredores viales, estadísticas por modos de transporte y algunas publicaciones del sector.

1.5.1 SICE-TAC

Del SICE-TAC se obtuvo información adicional a la publicada en el Portal Logístico, suministrada por el Ministerio de Transporte, como el consumo estimado de combustible por las principales configuraciones vehiculares: tractocamión de 3 ejes con semirremolques de 2 y 3 ejes, tractocamión de 2 ejes (mini mula), camión rígido de 2 ejes grande (sencillo) y camión rígido de 3 ejes, los consumos está diferenciados también según el tipo de terreno por el cual transitan, como se muestra en la Tabla 11. Esta información es construida a partir de datos reales y de forma conjunta entre la autoridad de transporte y los gremios del transporte de carga que conforman el Observatorio de Transporte de Carga por Carretera, según Resoluciones 10106 de 2012, 3227 de 2016, 3741 de 2016 y 789 de 2018, del Ministerio de Transporte.

Tabla 11. Consumos de combustible estimados en el SICE-TAC por configuración vehicular

| Tracto camión 3S2 | | Tracto camión 3S3 | |
|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Tipo de terreno | Consumo combustible (km/Gln) | Tipo de terreno | Consumo combustible (km/Gln) |
| Plano | 6,8 | Plano | 6,48 |
| Ondulado | 5,04 | Ondulado | 4,8 |
| Montañoso | 3,42 | Montañoso | 3,26 |

| Minimula | |
|-----------------|------------------------------|
| Tipo de terreno | Consumo combustible (km/Gln) |
| Plano | 8,76 |
| Ondulado | 6,76 |
| Montañoso | 5,07 |

| Sencillo | | Dobletroque | |
|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| Tipo de terreno | Consumo combustible (km/Gln) | Tipo de terreno | Consumo combustible (km/Gln) |
| Plano | 12,7 | Plano | 8,06 |
| Ondulado | 10,01 | Ondulado | 6,22 |
| Montañoso | 7,81 | Montañoso | 4,66 |

Igualmente se obtuvo del SICE-TAC una matriz de pares Origen – Destino, con 930 combinaciones, para 31 municipios de origen y 31 municipios de destino (Tablas 12 y 13, Figura 20), que describen la distancia entre ambos nodos calculada por *Google maps*, con clasificación de cuántos kilómetros son en terreno plano, ondulado o montaña, que fue construida en el Observatorio de Transporte de Carga por Carretera, por la autoridad de transporte y los gremios de transporte de carga. En ella la distancia mínima es de 16 km, para el par Cartago-Pereira y la distancia máxima es 2.050 km, para el par Riohacha-Tumaco (Tabla 14). No todos los pares OD están bien diferenciados en cuanto a tipo de terreno, por ejemplo, en los 2.050 km del par Riohacha-Tumaco, todos figuran como terreno ondulado.

Tabla 12. Estructura de datos y municipios de la matriz OD del SICE-TAC

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|----|----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------------------------|-----------------|----------|---------|---------------|------------------|-----------------|---|
| ID | CIUDADORIGENID | CIUDADDESTINOID | NOMBRE | VIA | DISTANCIA PLANO | ONDULADO | MONTANA | PLANO2CALZADA | ONDULADO2CALZADA | MONTANA2CALZADA | |
| 1 | 63001000 | 68081000 | ARMENIA_BARRANCABERMEJA | Calarcá, Cajamarca, Coello - Cocora, Ibagué, Vi | 553 | 0 | 553 | 0 | 0 | 0 | |
| 2 | 63001000 | 8001000 | ARMENIA_BARRANQUILLA | Montenegro, Quimbaya, Alcalá, Cartago, Cerri | 968 | 285 | 540 | 143 | 0 | 0 | |
| 3 | 63001000 | 11001000 | ARMENIA_BOGOTÁ | Calarcá, Cajamarca, Coello - Cocora, Ibagué, Vi | 292 | 85 | 66 | 141 | 0 | 0 | |
| 4 | 63001000 | 68001000 | ARMENIA_BUCARAMANGA | Calarcá, Cajamarca, Coello - Cocora, Ibagué, Vi | 602 | 306 | 122 | 174 | 0 | 0 | |
| 5 | 63001000 | 76109000 | ARMENIA_BUENAVENTURA | La Herradura, Corozal, La Paila, Uribe Uribe, Ar | 228 | 110 | 42 | 76 | 0 | 0 | |

| Municipio | | | |
|-----------|---------------------|----|----------------------|
| 1 | ARMENIA | 17 | MEDELLÍN |
| 2 | BARRANCABERMEJA | 18 | MOCOA |
| 3 | BARRANQUILLA | 19 | MONTERÍA |
| 4 | BOGOTÁ, D.C. | 20 | NEIVA |
| 5 | BUCARAMANGA | 21 | PASTO |
| 6 | BUENAVENTURA | 22 | PEREIRA |
| 7 | BUGALAGRANDE | 23 | POPAYÁN |
| 8 | CALI | 24 | RIOHACHA |
| 9 | CARTAGENA DE INDIAS | 25 | SAN ANDRÉS DE TUMACO |
| 10 | CARTAGO | 26 | SANTA MARTA |
| 11 | CÚCUTA | 27 | SINCELEJO |
| 12 | DUITAMA | 28 | SOGAMOSO |
| 13 | FLORENCIA | 29 | VALLEDUPAR |
| 14 | IBAGUÉ | 30 | VILLAVICENCIO |
| 15 | IPIALES | 31 | YOPAL |
| 16 | MANIZALES | | |

Tabla 13. Matriz OD: distancia SICE-TAC para principales corredores intermunicipales del convenio

| Origen_metropol.Nombre Municipio | BARRANQUILLA | BOGOTÁ, D.C. | BUCARAMANGA | BUENAVENTURA | CALI | CARTAGENA DE INDIAS | IPIALES | MEDELLÍN | NEIVA | SANTA MARTA | VILLAVICENCIO |
|----------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------------|----------|----------|----------|-------------|---------------|
| BARRANQUILLA | | 984,18 | 569,18 | 1.164,40 | 1.106,31 | 112,00 | 1.584,58 | 672,50 | 1.209,50 | 84,00 | 1.096,18 |
| BOGOTÁ, D.C. | 984,18 | | 379,80 | 525,84 | 467,74 | 1.029,00 | 946,02 | 350,00 | 299,00 | 940,18 | 87,00 |
| BUCARAMANGA | 569,18 | 379,80 | | 846,91 | 788,82 | 637,37 | 1.267,09 | 426,00 | 722,40 | 525,18 | 518,80 |
| BUENAVENTURA | 1.164,40 | 525,84 | 846,91 | | 163,89 | 1.119,90 | 656,01 | 478,92 | 557,12 | 1.258,66 | 640,84 |
| CALI | 1.106,31 | 463,00 | 788,82 | 163,89 | | 1.061,80 | 472,54 | 420,81 | 373,63 | 1.200,56 | 582,74 |
| CARTAGENA DE INDIAS | 112,00 | 977,99 | 637,37 | 1.119,90 | 1.061,80 | | 1.540,07 | 627,99 | 1.164,99 | 207,00 | 1.089,99 |
| IPIALES | 1.584,58 | 946,02 | 1.267,09 | 656,01 | 472,54 | 1.540,07 | | 899,08 | 612,16 | 1.678,83 | 1.061,01 |
| MEDELLÍN | 672,50 | 407,00 | 426,00 | 478,92 | 420,81 | 627,99 | 899,08 | | 537,00 | 831,13 | 462,00 |
| NEIVA | 1.287,00 | 299,00 | 722,40 | 557,12 | 373,63 | 1.221,00 | 612,16 | 599,00 | | 1.127,18 | 414,00 |
| SANTA MARTA | 84,00 | 940,18 | 525,18 | 1.258,66 | 1.200,56 | 207,00 | 1.678,83 | 831,13 | 1.127,18 | | 1.052,18 |
| VILLAVICENCIO | 1.096,18 | 87,00 | 518,80 | 640,84 | 582,74 | 1.149,00 | 1.061,01 | 527,00 | 414,00 | 1.052,18 | |



Figura 20. Municipios de la matriz OD del SICE-TAC

Tabla 14. Distancia SICE-TAC por tipo de terreno para principales corredores intermunicipales del convenio.

| Origen | Destino | Montaña | Ondulado | Plano |
|--------------|---------------------|---------|----------|--------|
| BARRANQUILLA | BOGOTÁ, D.C. | 54.94 | 326.88 | 602.36 |
| BARRANQUILLA | BUCARAMANGA | 59.39 | 215.28 | 294.51 |
| BARRANQUILLA | BUENAVENTURA | 216.45 | 561.17 | 386.78 |
| BARRANQUILLA | CALI | 159.45 | 523.54 | 423.32 |
| BARRANQUILLA | CARTAGENA DE INDIAS | 0 | 0 | 112 |
| BARRANQUILLA | IPIALES | 424.94 | 645.76 | 513.88 |
| BARRANQUILLA | MEDELLÍN | 137.13 | 308.08 | 227.29 |
| BARRANQUILLA | NEIVA | 28.97 | 375.08 | 805.45 |
| BARRANQUILLA | SANTA MARTA | 0 | 0 | 84 |
| BARRANQUILLA | VILLAVICENCIO | 154.75 | 355.77 | 585.66 |
| BOGOTÁ, D.C. | BARRANQUILLA | 54.94 | 326.88 | 602.36 |
| BOGOTÁ, D.C. | BUCARAMANGA | 75.14 | 99.28 | 205.38 |
| BOGOTÁ, D.C. | BUENAVENTURA | 216.65 | 108.17 | 201.02 |
| BOGOTÁ, D.C. | CALI | 160.06 | 63.58 | 244.1 |
| BOGOTÁ, D.C. | CARTAGENA DE INDIAS | 46.84 | 278.67 | 703 |
| BOGOTÁ, D.C. | IPIALES | 437.3 | 180.55 | 328.17 |
| BOGOTÁ, D.C. | MEDELLÍN | 151.4 | 98.57 | 100.03 |
| BOGOTÁ, D.C. | NEIVA | 47.72 | 121.19 | 130.09 |

| Origen | Destino | Montaña | Ondulado | Plano |
|---------------------|---------------------|---------|----------|--------|
| BOGOTÁ, D.C. | SANTA MARTA | 55.37 | 329.42 | 555.39 |
| BOGOTÁ, D.C. | VILLAVICENCIO | 63.29 | 23.71 | 0 |
| BUCARAMANGA | BARRANQUILLA | 59.39 | 215.28 | 294.51 |
| BUCARAMANGA | BOGOTÁ, D.C. | 75.14 | 99.28 | 205.38 |
| BUCARAMANGA | BUENAVENTURA | 269.01 | 173.58 | 404.32 |
| BUCARAMANGA | CALI | 195.34 | 118.69 | 474.79 |
| BUCARAMANGA | CARTAGENA DE INDIAS | 54.64 | 198.08 | 384.65 |
| BUCARAMANGA | IPIALES | 496.74 | 265.56 | 504.79 |
| BUCARAMANGA | MEDELLÍN | 212.71 | 67.42 | 145.87 |
| BUCARAMANGA | NEIVA | 129.93 | 237.74 | 354.73 |
| BUCARAMANGA | SANTA MARTA | 36.23 | 172.87 | 316.08 |
| BUCARAMANGA | VILLAVICENCIO | 173.49 | 137.09 | 208.22 |
| BUENAVENTURA | BARRANQUILLA | 216.45 | 561.17 | 386.78 |
| BUENAVENTURA | BOGOTÁ, D.C. | 216.65 | 108.17 | 201.02 |
| BUENAVENTURA | BUCARAMANGA | 269.01 | 173.58 | 404.32 |
| BUENAVENTURA | CALI | 51.3 | 38.39 | 74.2 |
| BUENAVENTURA | CARTAGENA DE INDIAS | 188.91 | 489.77 | 441.22 |
| BUENAVENTURA | IPIALES | 326.71 | 157.96 | 171.34 |
| BUENAVENTURA | MEDELLÍN | 249.85 | 73.72 | 155.35 |
| BUENAVENTURA | NEIVA | 175.92 | 109.32 | 271.88 |
| BUENAVENTURA | SANTA MARTA | 219.04 | 342.64 | 696.98 |
| BUENAVENTURA | VILLAVICENCIO | 300.35 | 139.51 | 200.98 |
| CALI | BARRANQUILLA | 159.45 | 523.54 | 423.32 |
| CALI | BOGOTÁ, D.C. | 160.06 | 63.58 | 239 |
| CALI | BUCARAMANGA | 195.34 | 118.69 | 474.79 |
| CALI | BUENAVENTURA | 51.3 | 38.39 | 74.2 |
| CALI | CARTAGENA DE INDIAS | 159.84 | 524.82 | 377.14 |
| CALI | IPIALES | 272.95 | 115.12 | 84.47 |
| CALI | MEDELLÍN | 198.26 | 32.03 | 190.52 |
| CALI | NEIVA | 86.55 | 47.3 | 239.78 |
| CALI | SANTA MARTA | 151.54 | 296.47 | 752.55 |
| CALI | VILLAVICENCIO | 245.23 | 95.45 | 242.06 |
| CARTAGENA DE INDIAS | BARRANQUILLA | 0 | 0 | 112 |
| CARTAGENA DE INDIAS | BOGOTÁ, D.C. | 46.84 | 278.67 | 652.48 |
| CARTAGENA DE INDIAS | BUCARAMANGA | 54.64 | 198.08 | 384.65 |
| CARTAGENA DE INDIAS | BUENAVENTURA | 188.91 | 489.77 | 441.22 |
| CARTAGENA DE INDIAS | CALI | 159.84 | 524.82 | 377.14 |
| CARTAGENA DE INDIAS | IPIALES | 425.95 | 647.29 | 466.83 |
| CARTAGENA DE INDIAS | MEDELLÍN | 137.65 | 309.24 | 181.1 |
| CARTAGENA DE INDIAS | NEIVA | 24.8 | 321.15 | 819.04 |

| Origen | Destino | Montaña | Ondulado | Plano |
|---------------------|---------------------|---------|----------|--------|
| CARTAGENA DE INDIAS | SANTA MARTA | 0 | 0 | 207 |
| CARTAGENA DE INDIAS | VILLAVICENCIO | 134.44 | 309.08 | 646.47 |
| IPIALES | BARRANQUILLA | 424.94 | 645.76 | 513.88 |
| IPIALES | BOGOTÁ, D.C. | 437.3 | 180.55 | 328.17 |
| IPIALES | BUCARAMANGA | 496.74 | 265.56 | 504.79 |
| IPIALES | BUENAVENTURA | 326.71 | 157.96 | 171.34 |
| IPIALES | CALI | 272.95 | 115.12 | 84.47 |
| IPIALES | CARTAGENA DE INDIAS | 425.95 | 647.29 | 466.83 |
| IPIALES | MEDELLÍN | 472.17 | 144.85 | 282.06 |
| IPIALES | NEIVA | 248.49 | 113.58 | 250.09 |
| IPIALES | SANTA MARTA | 427.28 | 649.32 | 602.23 |
| IPIALES | VILLAVICENCIO | 521.87 | 212.16 | 326.98 |
| MEDELLÍN | BARRANQUILLA | 137.13 | 308.08 | 227.29 |
| MEDELLÍN | BOGOTÁ, D.C. | 151.4 | 98.57 | 157 |
| MEDELLÍN | BUCARAMANGA | 212.71 | 67.42 | 145.87 |
| MEDELLÍN | BUENAVENTURA | 249.85 | 73.72 | 155.35 |
| MEDELLÍN | CALI | 198.26 | 32.03 | 190.52 |
| MEDELLÍN | CARTAGENA DE INDIAS | 137.65 | 309.24 | 181.1 |
| MEDELLÍN | IPIALES | 472.17 | 144.85 | 282.06 |
| MEDELLÍN | NEIVA | 45.81 | 143.6 | 347.59 |
| MEDELLÍN | SANTA MARTA | 176.02 | 130.36 | 524.75 |
| MEDELLÍN | VILLAVICENCIO | 229.88 | 129.18 | 102.94 |
| NEIVA | BARRANQUILLA | 28.97 | 375.08 | 883 |
| NEIVA | BOGOTÁ, D.C. | 47.72 | 121.19 | 130.09 |
| NEIVA | BUCARAMANGA | 129.93 | 237.74 | 354.73 |
| NEIVA | BUENAVENTURA | 175.92 | 109.32 | 271.88 |
| NEIVA | CALI | 86.55 | 47.3 | 239.78 |
| NEIVA | CARTAGENA DE INDIAS | 24.8 | 321.15 | 875 |
| NEIVA | IPIALES | 248.49 | 113.58 | 250.09 |
| NEIVA | MEDELLÍN | 45.81 | 143.6 | 409 |
| NEIVA | SANTA MARTA | 28.12 | 364.07 | 734.99 |
| NEIVA | VILLAVICENCIO | 132.16 | 152.34 | 129.5 |
| SANTA MARTA | BARRANQUILLA | 0 | 0 | 84 |
| SANTA MARTA | BOGOTÁ, D.C. | 55.37 | 329.42 | 555.39 |
| SANTA MARTA | BUCARAMANGA | 36.23 | 172.87 | 316.08 |
| SANTA MARTA | BUENAVENTURA | 219.04 | 342.64 | 696.98 |
| SANTA MARTA | CALI | 151.54 | 296.47 | 752.55 |
| SANTA MARTA | CARTAGENA DE INDIAS | 0 | 0 | 207 |
| SANTA MARTA | IPIALES | 427.28 | 649.32 | 602.23 |
| SANTA MARTA | MEDELLÍN | 176.02 | 130.36 | 524.75 |

| Origen | Destino | Montaña | Ondulado | Plano |
|---------------|---------------------|---------|----------|--------|
| SANTA MARTA | NEIVA | 28.12 | 364.07 | 734.99 |
| SANTA MARTA | VILLAVICENCIO | 155.62 | 357.75 | 538.81 |
| VILLAVICENCIO | BARRANQUILLA | 154.75 | 355.77 | 585.66 |
| VILLAVICENCIO | BOGOTÁ, D.C. | 63.29 | 23.71 | 0 |
| VILLAVICENCIO | BUCARAMANGA | 173.49 | 137.09 | 208.22 |
| VILLAVICENCIO | BUENAVENTURA | 300.35 | 139.51 | 200.98 |
| VILLAVICENCIO | CALI | 245.23 | 95.45 | 242.06 |
| VILLAVICENCIO | CARTAGENA DE INDIAS | 134.44 | 309.08 | 706 |
| VILLAVICENCIO | IPIALES | 521.87 | 212.16 | 326.98 |
| VILLAVICENCIO | MEDELLÍN | 229.88 | 129.18 | 168 |
| VILLAVICENCIO | NEIVA | 132.16 | 152.34 | 129.5 |
| VILLAVICENCIO | SANTA MARTA | 155.62 | 357.75 | 538.81 |

1.5.2 RNDC

Del RNDC es importante resaltar que los vehículos de transporte de carga del modo carretero que realizan desplazamientos por fuera de zonas intraurbanas deben llenar y portar el manifiesto de carga, sin embargo es sustancial subrayar que hay un subregistro de viajes vacíos (sin carga) y de algunos productos que por su singularidad se encuentran exceptuados de portar manifiesto (Decreto 2044 de 1988), tal es el caso de animales, productos de origen animal, empaques y recipientes usados, productos elaborados, productos del agro (de su origen en el campo a un centro urbano, excepto café y productos procesados), materiales de construcción y derivados del petróleo, destacando en estos grupos el ganado en pie, aves vivas, peces, huevos, leche, cerveza, gaseosa, panela, ladrillos, teja de barro, grava, arena y gas propano.

Desde el año 2015 hasta 2019 se venía presentando un incremento paulatino en los viajes de movilización de carga del país, incluso hasta febrero del 2020, previo al inicio de cuarentenas y efecto del Covid19 en Colombia (Figura 21). Para los años 2018 y 2019 se aprecian comportamientos muy similares mes a mes, el año 2017 también coincide con los anteriores en el primer trimestre y segundo semestre. También se aprecia que año a año, hay una tendencia a movilizar más carga entre los meses de agosto y noviembre, con ciertos picos hacia el mes de octubre.

A su vez, también se presentaba un incremento en el número de vehículos de transporte de carga que reportaban al menos un viaje al RNDC, teniendo por ejemplo 121.429 vehículos para el año 2019 (Figura 22).

El RNDC permite descargar de su página *web* información de transporte de carga desde el año 2015 con la estructura de datos que se presenta en la Tabla 15, que contiene 23 atributos:

Dadas las necesidades particulares del presente Convenio, se realizó una solicitud de información adicional más detallada al Ministerio de Transporte, para conocer además por vehículo los atributos de tipo de combustible, modelo y kilómetros recorridos al año. Luego de varias reuniones específicas, teniendo presente las limitaciones de personal y *hardware*, que a su vez implicaban limitaciones de tiempo de respuesta y de ejecución del proyecto, se obtuvo

una estructura de datos con 17 atributos, que se muestra en la Tabla 16.



Figura 21. Viajes de transporte de carga por carretera. Fuente RNDC

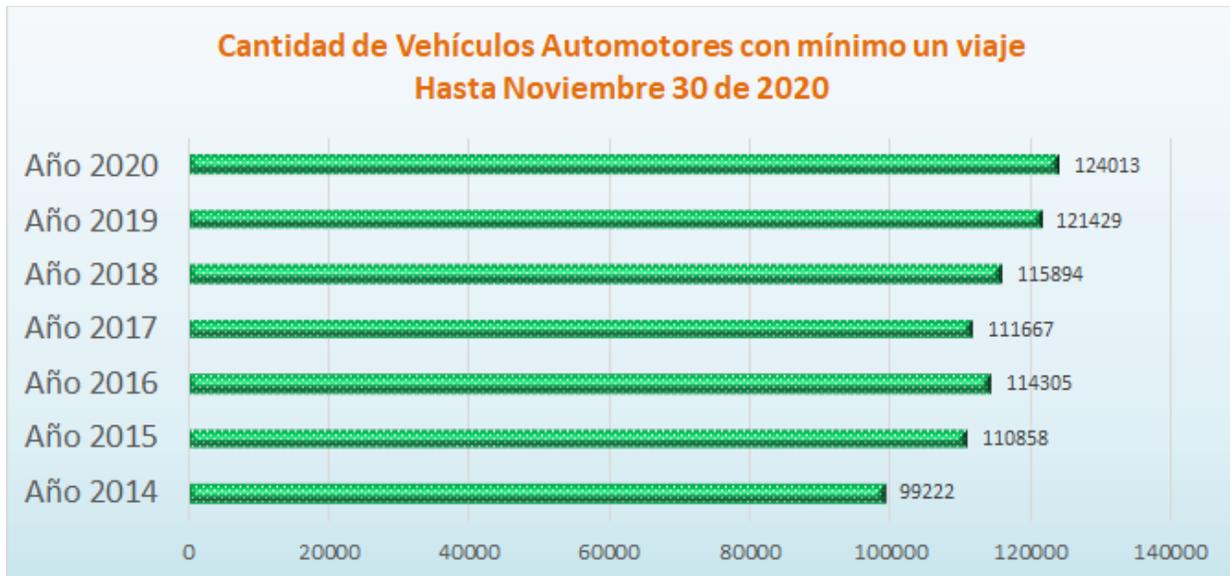


Figura 22. Cantidad de flota de transporte de carga con mínimo un registro en el RNDC. Fuente: RNDC

Tabla 15. Estructura de datos y atributos de las consultas estadísticas en el portal del RNDC.

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | |
|---|--------|------------|-------------|---------|-----------|--------------|-----------|--------------------|-----------|----------|---------------------|-----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|-----------|-----------|----------|---------|
| 1 | MES | COD_CONFIG | CONFIG_VEH | CODOPER | OPERACION | CODTIPOCONTI | TIPOCONTI | CODMUNICIPIOORIGEN | MUNICIPIO | DEPARTA | CODMUNICIPIODESTINO | MUNICIPIO | DEPARTA | CODMERC | MERCANC | NATURALI | VIAJESV | KILOGRAN | GALONES | VIAJESLIQ | VIAJESVAI | KILOMETR | VALORES |
| 2 | 201901 | CA | Camioneta d | G | General | . | . | 5001000 | MEDELLIN | ANTIOQUI | 5138000 | CANASGO | ANTIOQUI | 009880 | MISCELAN | Carga Nor | 1 | 1211 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 201901 | CA | Camioneta d | G | General | . | . | 5001000 | MEDELLIN | ANTIOQUI | 5113000 | BURITICA | ANTIOQUI | 009880 | MISCELAN | Carga Nor | 19 | 8810 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 201901 | CA | Camioneta d | G | General | . | . | 11001000 | BOGOTA E | BOGOTA E | 25873000 | VILLAPINZ | CUNDINA | 009980 | PRODUCTI | Carga Nor | 1 | 2000 | 0 | 0 | 0 | 120 | 447683 |
| 5 | 201901 | CA | Camioneta d | G | General | . | . | 11001000 | BOGOTA E | BOGOTA E | 25322000 | GUASCA C | CUNDINA | 009980 | PRODUCTI | Carga Nor | 1 | 2000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 334590 |

| Atributo | | | |
|----------|-------------------------|----|----------------------|
| 1 | MES | 13 | DEPARTAMENTO DESTINO |
| 2 | COD_CONFIG_VEHICULO | 14 | CODMERCANCIA |
| 3 | CONFIG_VEHICULO | 15 | MERCANCIA |
| 4 | CODOPERACION TRANSPORTE | 16 | NATURALEZA CARGA |
| 5 | OPERACION TRANSPORTE | 17 | VIAJES TOTALES |
| 6 | COD TIPO CONTENEDOR | 18 | KILOGRAMOS |
| 7 | TIPO CONTENEDOR | 19 | GALONES |
| 8 | COD MUNICIPIO ORIGEN | 20 | VIAJES LIQUIDOS |
| 9 | MUNICIPIO ORIGEN | 21 | VIAJES VALOR CERO |
| 10 | DEPARTAMENTO ORIGEN | 22 | KILOMETROS |
| 11 | COD MUNICIPIO DESTINO | 23 | VALORES PAGADOS |
| 12 | MUNICIPIO DESTINO | | |

Tabla 16. Estructura de datos y atributos de la información RNDC entregada por el Ministerio de Transporte.

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | |
|---|--------|---------------|-------------|-------------|-----------|--------------------|------------|---------------|-----------------|--------|--------|-----------|----------|----------|---------|-----------|-----------|
| 1 | ANOMES | CONFIGURACION | RANGOMODELO | COMBUSTIBLE | CODORIGEN | ORIGEN | CODDESTINO | DESTINO | KILOMETR | PLACAS | VIAJES | VIAJESVAI | VALORFLE | KILOGRAN | GALONES | VIAJESVAI | VIAJESLIQ |
| 2 | 201904 | 3S3 | 1991-1995 | DIESEL | 50001000 | VILLAVICENCIO META | 25899000 | ZIPAQUIRA | CUNDINAMARCA | 165 | 1 | 1 | 0 | 2493900 | 34000 | 0 | 0 |
| 3 | 201904 | 3S3 | 2001-2005 | DIESEL | 15537000 | PAZ DE RIO BOYACA | 76109000 | BUENAVENTURA | VALLE DEL CAUCA | 749 | 8 | 10 | 0 | 2,3E+07 | 343500 | 0 | 3 |
| 4 | 201904 | 3S1 | 2011-2015 | DIESEL | 20614000 | RIO DE ORO CESAR | 11001000 | BOGOTA | BOGOTA D. C. | 628 | 3 | 3 | 0 | 1,3E+07 | 28000 | 0 | 0 |
| 5 | 201904 | 2 | 2011-2015 | DIESEL | 15001000 | TUNJA BOYACA | 68276000 | FLORIDABLANCA | SANTANDER | 276 | 3 | 3 | 0 | 911138 | 1100 | 0 | 0 |

| Atributo | | | |
|----------|-----------------|----|-------------------|
| 1 | ANOMES | 10 | PLACAS |
| 2 | CONFIGURACION | 11 | VIAJES |
| 3 | RANGOMODELO | 12 | VIAJES VACIOS |
| 4 | COMBUSTIBLE | 13 | VALOR FLETE |
| 5 | CODORIGEN | 14 | KILOGRAMOS |
| 6 | ORIGEN | 15 | GALONES |
| 7 | CODDESTINO | 16 | VIAJES VALOR CERO |
| 8 | DESTINO | 17 | VIAJES LIQUIDOS |
| 9 | KILOMETROS RUTA | | |

Destaca que se obtuvo información adicional de tipo de combustible y un rango de modelo que está agrupado por cada 5 años (2020-2016, 2015-2011, 2010-2006, 2005-2001...), así como el número de placas diferentes (es decir número de vehículos diferentes) que cumplen las condiciones dadas (año-mes, origen, destino, configuración, combustible, rango-modelo), que hasta el 11 de diciembre había sido entregado para los meses de abril y octubre de 2019, enero y febrero de 2020.

Para 2019 se registraron 8'889.498 viajes, de los cuales 71.975 son viajes vacíos, equivalente al 0,81%, recordando nuevamente que dado subregistro presentado en esta categoría dentro del RNDC, este no es un parámetro confiable, encontrándose para Colombia entorno al 30% de los viajes totales, según hallazgos realizados en encuestas de transporte de carga por carretera del Ministerio de Transporte y estudios de carga para Bogotá, Medellín y Cali.

Bogotá y su área metropolitana es de lejos el principal nodo de generación y atracción de viajes de carga, seguido por Medellín, Cali y Barranquilla con sus respectivas áreas metropolitanas, como se evidencia en las Figuras 23 y 24.

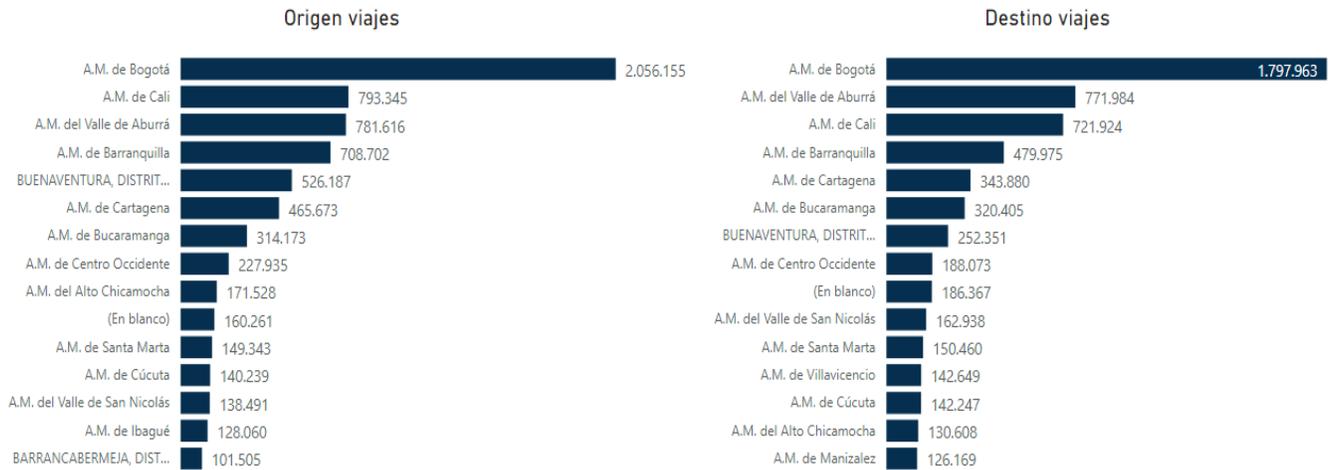


Figura 23. Top 15 de centros urbanos en generación (izquierda) y atracción (derecha) de viajes de carga en 2019

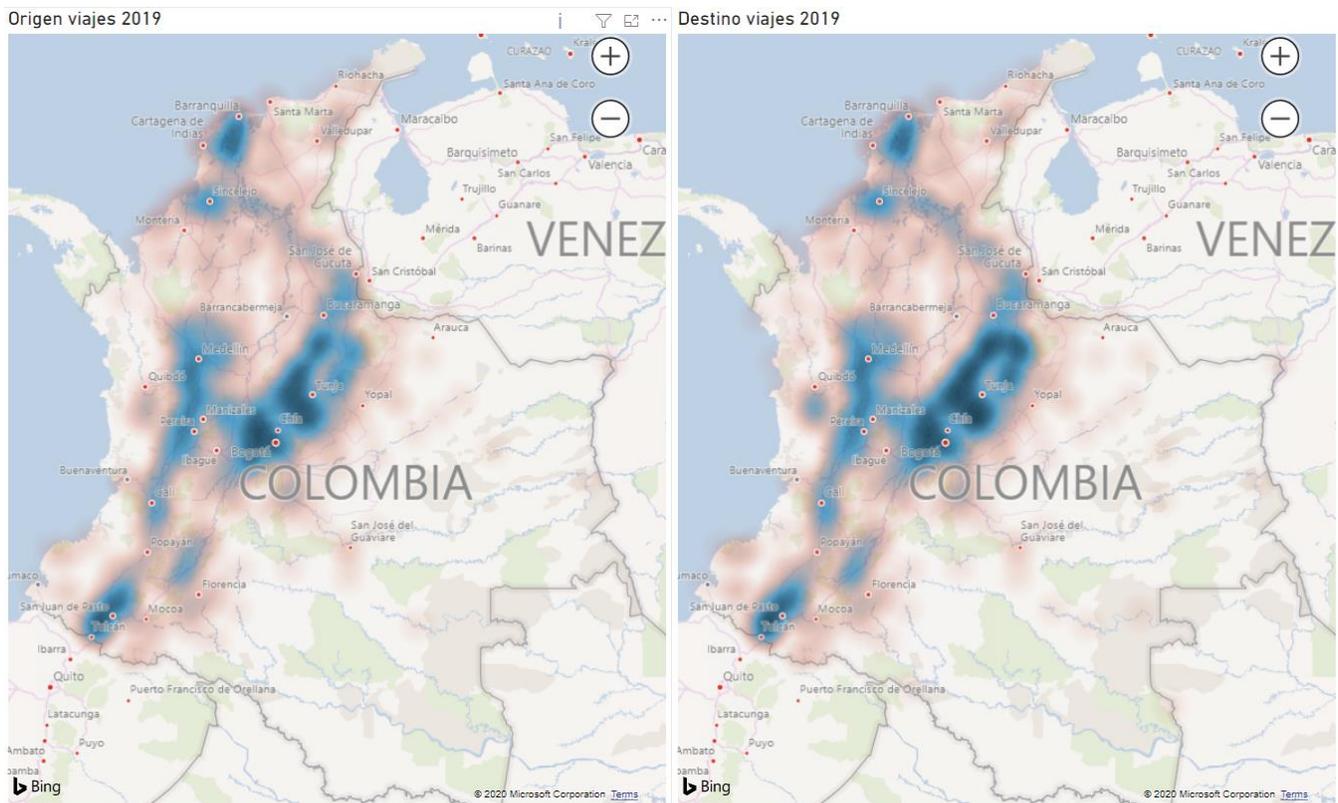


Figura 24. Generación (izquierda) y atracción (derecha) de viajes de carga en 2019 en Colombia

Los camiones rígidos de 2 ejes son los que más viajes registrados en el RNDC realizan, con 4'171.213 viajes para el 2019, seguido por tractocamiones de 3 ejes con semirremolques de 3 ejes y 2 ejes, con 2'916.217 y 635.587 viajes respectivamente (Figura 25).



Figura 25. Viajes por configuración vehicular según RNDC en 2019

En la Figura 26 se muestra la carga promedio, para los viajes que reportan peso o galones, de las 7 configuraciones vehiculares que más viajes realizan, siendo el **tractocamión de 3 ejes** el que más peso en promedio moviliza, con **26.607 kg** en el **semirremolque de 3 ejes** y 19.340 kg en el semirremolque de 2 ejes.

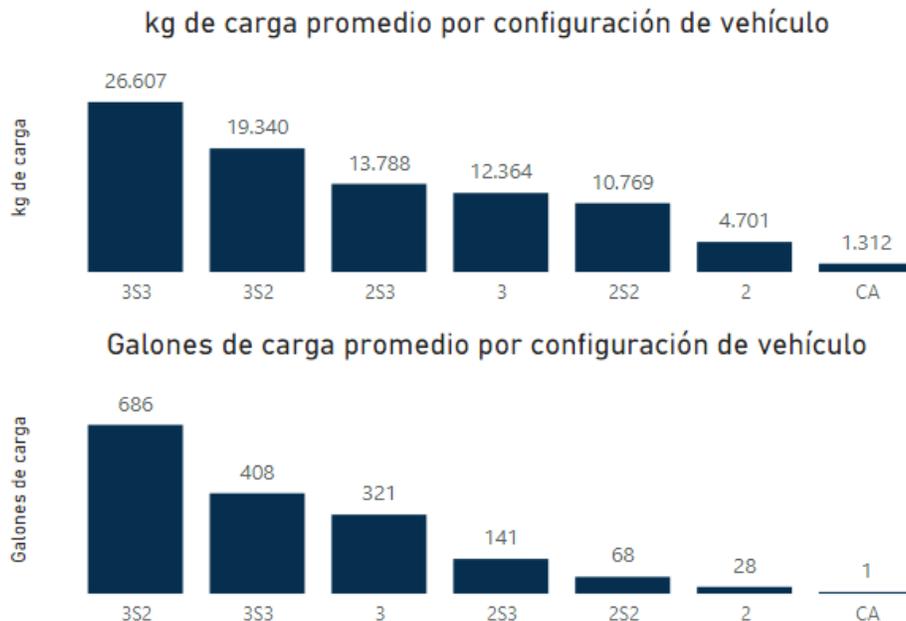


Figura 26. Carga promedio por principales configuraciones vehiculares

Para los meses de abril y octubre de 2019, enero y febrero de 2020, se presentaron 2'997.723 viajes, de los cuales el 97,8% usaban diésel como combustible, seguido gasolina con el 1,86% (Tabla 20). A su vez los vehículos con modelo en el rango de 2011-2015 son los que más viajes realizaron, con el 43,54% de los mismos, seguidos por el rango modelo 2006-2010 con 24,69% y en tercer lugar el rango modelo 2016-2020 (Tabla 21 y Figura 27).

Tabla 17. Participación por tipo combustible en viajes totales RNDC para 2019/04, 2019/10, 2020/01 y 2020/02.

| COMBUSTIBLE | VIAJES | % VIAJES |
|------------------|------------------|----------------|
| DIESEL | 2'911.728 | 97,78% |
| GASOLINA | 55.532 | 1,86% |
| GAS | 4.769 | 0,16% |
| GAS-GASOLINA | 4.707 | 0,16% |
| ELECTRICO | 461 | 0,02% |
| DIESEL-ELECTRICO | 276 | 0,01% |
| BIODIESEL | 250 | 0,01% |
| Total | 2'977.723 | 100,00% |

Tabla 18. Participación por rango modelo en viajes totales RNDC para 2019/04, 2019/10, 2020/01 y 2020/02.

| RANGO MODELO | TOTAL VIAJES | % TOTAL VIAJES |
|--------------|------------------|----------------|
| 1950-1970 | 25.201 | 0,85% |
| 1971-1975 | 15.083 | 0,51% |
| 1976-1980 | 42.669 | 1,43% |
| 1981-1985 | 23.739 | 0,80% |
| 1986-1990 | 34.398 | 1,16% |
| 1991-1995 | 144.149 | 4,84% |
| 1996-2000 | 111.559 | 3,75% |
| 2001-2005 | 141.353 | 4,75% |
| 2006-2010 | 735.161 | 24,69% |
| 2011-2015 | 1.296.400 | 43,54% |
| 2016-2020 | 408.011 | 13,70% |
| Total | 2'977.723 | 100% |

Viajes por rango modelo y configuración vehículo

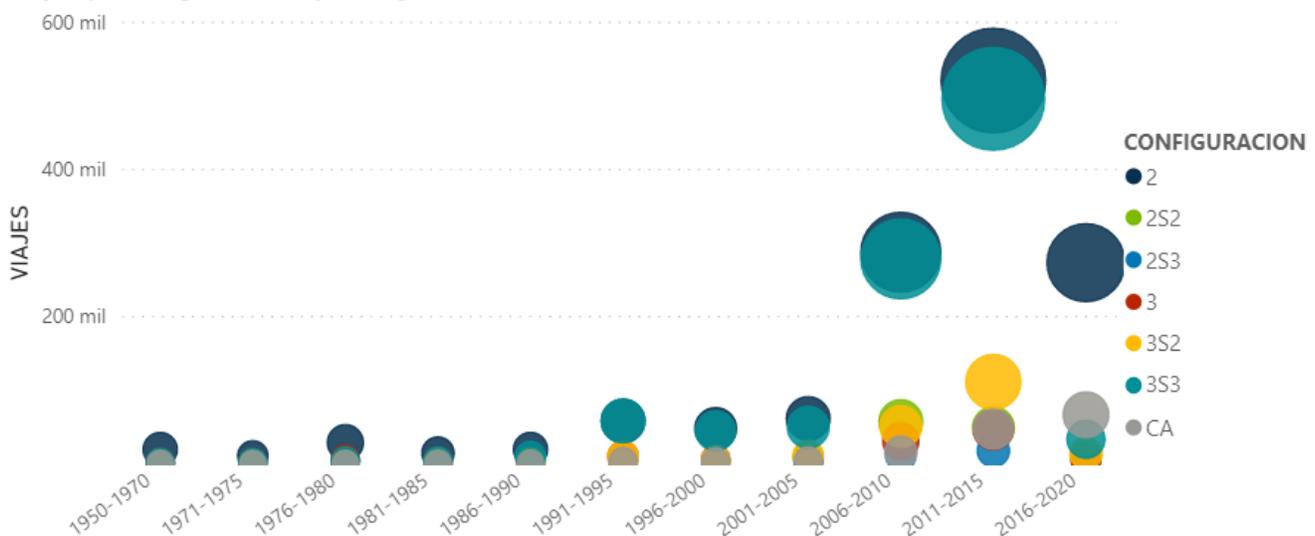


Figura 27. Participación por rango modelo y configuración de vehículo en viajes totales RNDC para los meses 2019/04, 2019/10, 2020/01 y 2020/02.

1.6 Transporte intermunicipal de pasajeros

Para la caracterización del transporte intermunicipal de pasajeros en el modo carretero, se realizó solicitud de información a la Superintendencia de Puertos y Transporte, que brindó información con la siguiente estructura de datos, para los años 2018, 2019 y enero-octubre de 2020. Es importante señalar que, a pesar de recibir los números de placa de los vehículos, no fue posible detallar características como tipo de combustible, cilindraje de motor, municipio de matrícula, entre otros, dado que la base de datos entregada por el RUNT no contenía la placa, haciendo imposible encontrar correlación entre ambas bases de datos (Tabla 19).

El movimiento de pasajeros y despachos vehiculares corresponde a los realizados desde una de las 49 terminales de transporte legalmente habilitadas en el país (Tabla 20).

Tabla 19. Estructura de datos y atributos de la información de transporte de pasajeros intermunicipal entregada por la Superintendencia de Puertos y Transporte

| TERMINAL | CLASE_VEHICULO | NIVEL_SERVICIO | MUNICIPIO_ORIGEN_RUTA | MUNICIPIO_DESTINO_RUTA | AÑO_DESPACHO | MES_DESPACHO | PLACA | HORA_DESPACHO | TIPO_DESPACHO | DESPACHOS | PASAJEROS |
|------------------------|----------------|----------------|-----------------------|------------------------|--------------|--------------|--------|---------------|---------------|-----------|-----------|
| T.T. DE BOGOTÁ SALITRE | MICROBUS | LUJO | 11001 | 15759 | 2019 | 7 | TLP618 | 15 | ORIGEN | 1 | 19 |
| T.T. DE BOGOTÁ SALITRE | MICROBUS | LUJO | 11001 | 15759 | 2019 | 7 | SSQ806 | 5 | ORIGEN | 1 | 19 |
| T.T. DE BOGOTÁ SALITRE | MICROBUS | LUJO | 11001 | 15759 | 2019 | 7 | XJB342 | 20 | ORIGEN | 1 | 19 |
| T.T. DE BOGOTÁ SALITRE | MICROBUS | LUJO | 11001 | 15759 | 2019 | 7 | SSQ754 | 3 | ORIGEN | 1 | 19 |
| T.T. DE BOGOTÁ SALITRE | MICROBUS | LUJO | 11001 | 15759 | 2019 | 7 | TUL546 | 13 | ORIGEN | 1 | 19 |
| T.T. DE BOGOTÁ SALITRE | MICROBUS | LUJO | 11001 | 15759 | 2019 | 7 | SMK666 | 9 | ORIGEN | 1 | 19 |

| ATRIBUTO | |
|--------------------------|------------------|
| 1 TERMINAL | 7 MES_DESPACHO |
| 2 CLASE_VEHICULO | 8 PLACA |
| 3 NIVEL_SERVICIO | 9 HORA_DESPACHO |
| 4 MUNICIPIO_ORIGEN_RUTA | 10 TIPO_DESPACHO |
| 5 MUNICIPIO_DESTINO_RUTA | 11 DESPACHOS |
| 6 AÑO_DESPACHO | 12 PASAJEROS |

Tabla 20. Terminales de transporte habilitadas en Colombia

| Terminal | | | | | |
|----------|------------------------|----|------------------------|----|-----------------------|
| 1 | T.T. DE AGUACHICA | 17 | T.T. DE DUITAMA | 33 | T.T. DE NEIVA |
| 2 | T.T. DE AGUAZUL | 18 | T.T. DE ESPINAL | 34 | T.T. DE OCAÑA |
| 3 | T.T. DE APARTADÓ | 19 | T.T. DE FLORENCIA | 35 | T.T. DE PAMPLONA |
| 4 | T.T. DE ARMENIA | 20 | T.T. DE FUSAGASUGA | 36 | T.T. DE PASTO |
| 5 | T.T. DE BARRANQUILLA | 21 | T.T. DE GARZÓN | 37 | T.T. DE PEREIRA |
| 6 | T.T. DE BOGOTÁ NORTE | 22 | T.T. DE GIRARDOT | 38 | T.T. DE PITALITO |
| 7 | T.T. DE BOGOTÁ SALITRE | 23 | T.T. DE HONDA | 39 | T.T. DE POPAYÁN |
| 8 | T.T. DE BOGOTÁ SUR | 24 | T.T. DE IBAGUÉ | 40 | T.T. DE QUIBDO |
| 9 | T.T. DE BUCARAMANGA | 25 | T.T. DE IPIALES | 41 | T.T. DE SAN GIL |
| 10 | T.T. DE BUENAVENTURA | 26 | T.T. DE LA PLATA | 42 | T.T. DE SANTA MARTA |
| 11 | T.T. DE BUGA | 27 | T.T. DE MAICAO | 43 | T.T. DE SOCORRO |
| 12 | T.T. DE CALI | 28 | T.T. DE MANIZALES | 44 | T.T. DE SOGAMOSO |
| 13 | T.T. DE CARTAGENA | 29 | T.T. DE MEDELLÍN NORTE | 45 | T.T. DE TULÚA |
| 14 | T.T. DE CAUCASIA | 30 | T.T. DE MEDELLÍN SUR | 46 | T.T. DE TUNJA |
| 15 | T.T. DE CHIQUINQUIRÁ | 31 | T.T. DE MELGAR | 47 | T.T. DE VALLEDUPAR |
| 16 | T.T. DE CÚCUTA | 32 | T.T. DE MONTERÍA | 48 | T.T. DE VILLAGARZÓN |
| | | | | 49 | T.T. DE VILLAVICENCIO |

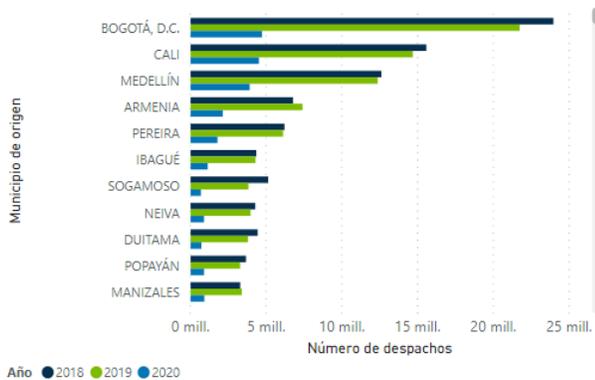
En la Tabla 21 se resumen los parámetros más relevantes obtenidos a partir de la información suministrada por la Superintendencia de Transporte de Colombia.

Tabla 21. Cantidad de pasajeros movilizados, despachos realizados y número de vehículos involucrados en la operación del transporte de pasajeros intermunicipales, año 2020 hasta el mes de octubre

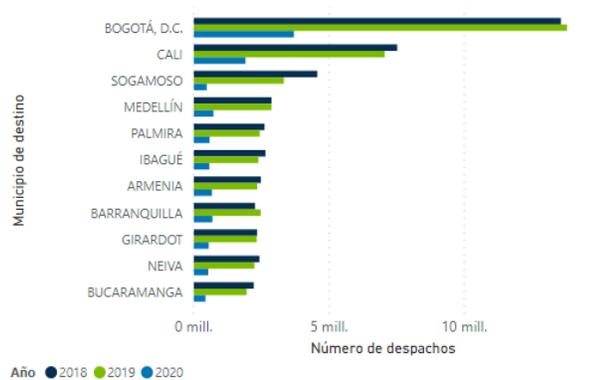
| AÑO_DESPACHO | Total_pasajeros | Total_despachos | Total_vehículos |
|--------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| 2018 | 139.269.838 | 14.834.568 | 42.955 |
| 2019 | 136.274.224 | 14.696.493 | 41.396 |
| 2020 | 35.466.658 | 5.138.181 | 33.106 |
| Total | 311.010.720 | 34.669.242 | 53.094 |

Bogotá es el principal centro generador y atractor, de pasajeros y despachos de transporte público intermunicipal de pasajeros, prácticamente doblando a Cali que se encuentra en segunda posición. Destacan también en el top principal ciudades como Medellín, Sogamoso y Armenia, tal como se muestra en la Figuras 28 y 29.

Origen pasajeros



Destino pasajeros



Año ● 2018 ● 2019 ● 2020

Año ● 2018 ● 2019 ● 2020

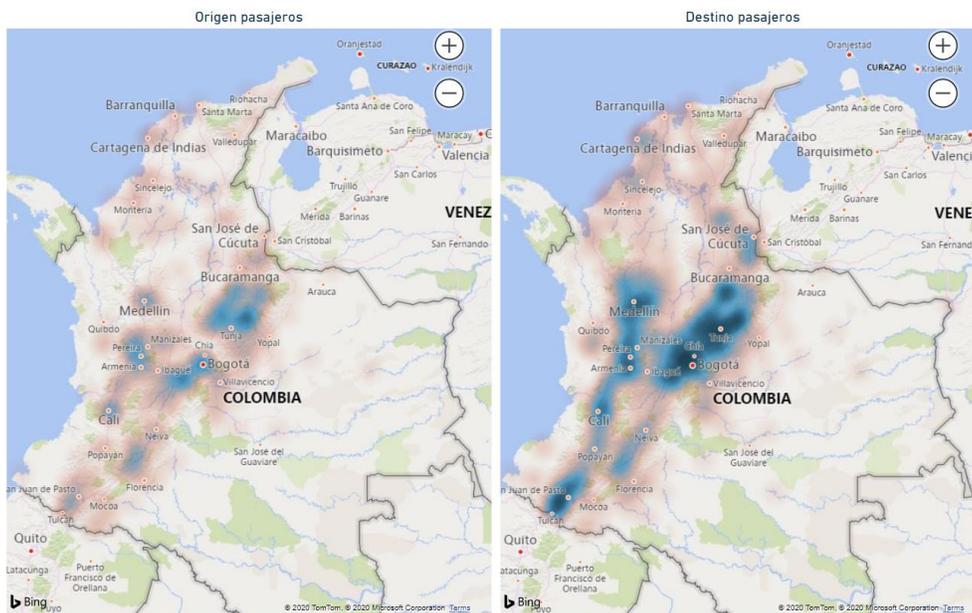
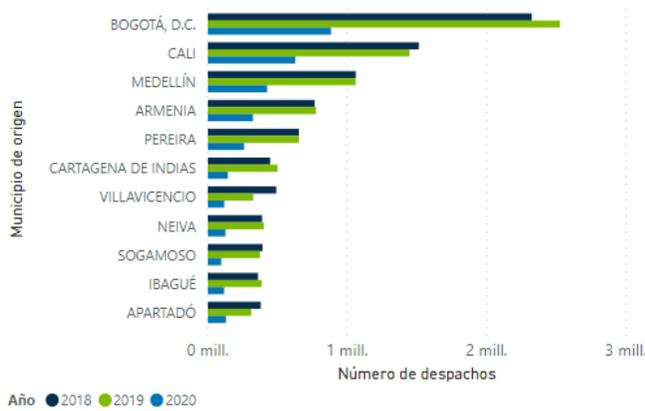


Figura 28. Orígenes (izquierda) y destinos (derecha) del transporte público intermunicipal de pasajeros

Origen despachos



Destino despachos

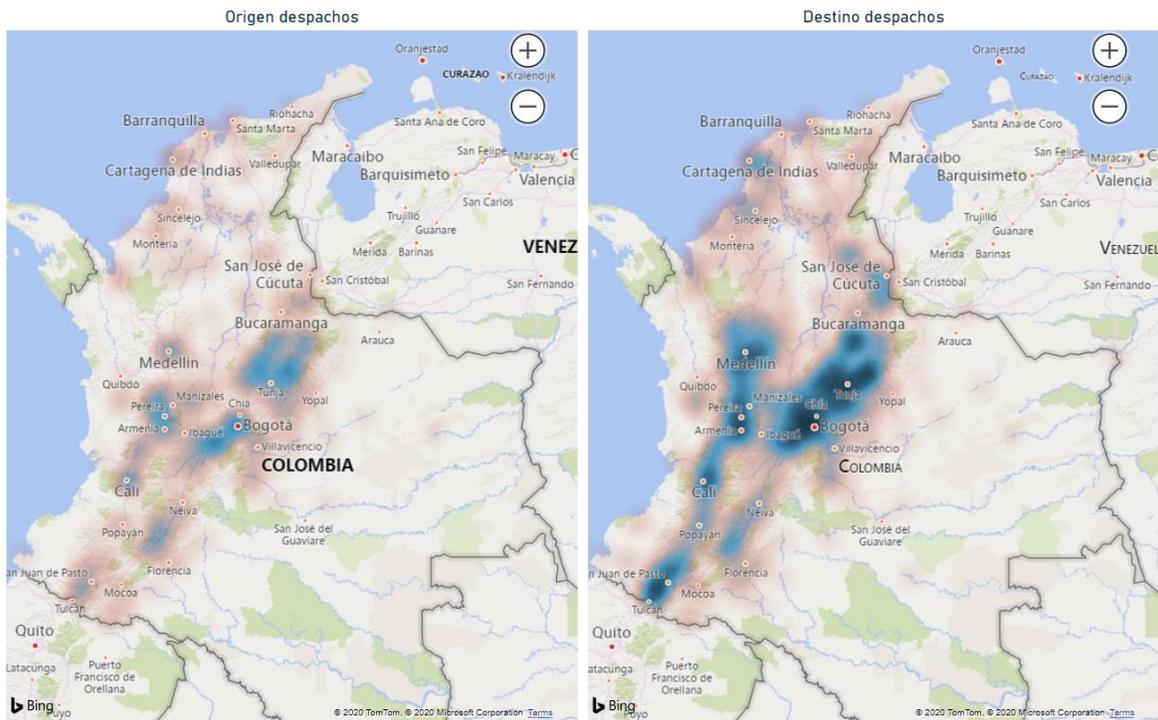
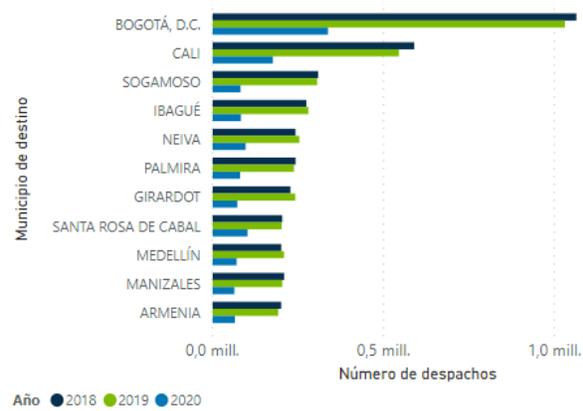


Figura 29. Orígenes (izquierda) y destinos (derecha) de despachos del transporte público intermunicipal de pasajeros.

Del total de flota vehicular reportada en la operación del transporte público intermunicipal de pasajeros, correspondiente a 53.094 vehículos para los años 2018, 2019 y 2020, este último hasta el mes de octubre, los microbuses representan el 32,3%, seguidos por los buses y busetas con 28,3% y 18,04% respectivamente (Figura 30).

Si bien los microbuses son la mayoría de la flota vehicular de transporte público intermunicipal de pasajeros y los que más despachos realizan, son los buses los que más pasajeros movilizan, en la Figura 31 se aprecian las participaciones por clase vehicular en la cantidad de pasajeros movilizadas y despachos realizados, además de la ocupación promedio de pasajeros por clase vehicular (Figura 32), en el cual llama la atención la ocupación promedio de buses y busetas, que es muy inferior a su capacidad transportadora, una posible explicación es que la base de

datos suministrada por la Superintendencia de Transporte toma como base los despachos que tienen de por medio una terminal de transporte, por lo cual no logra captar los pasajeros que se recogen y descienden a lo largo del recorrido.

Total vehículos por clase

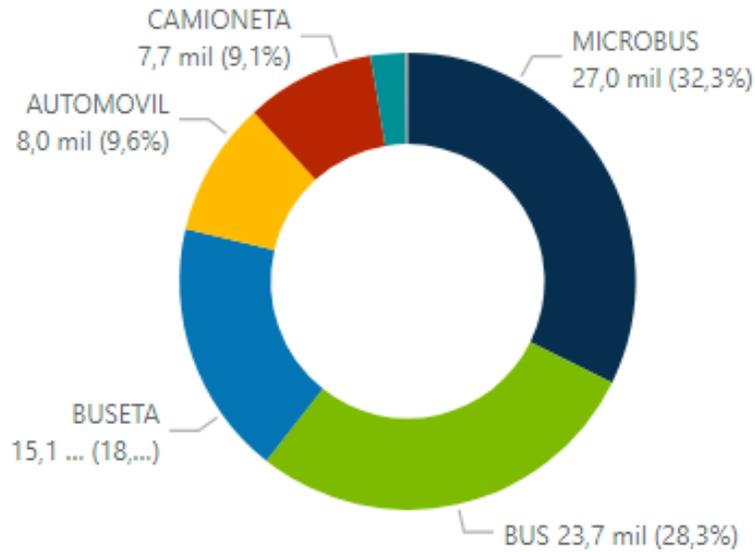


Figura 30. Flota de transporte público intermunicipal de pasajeros por clase vehicular

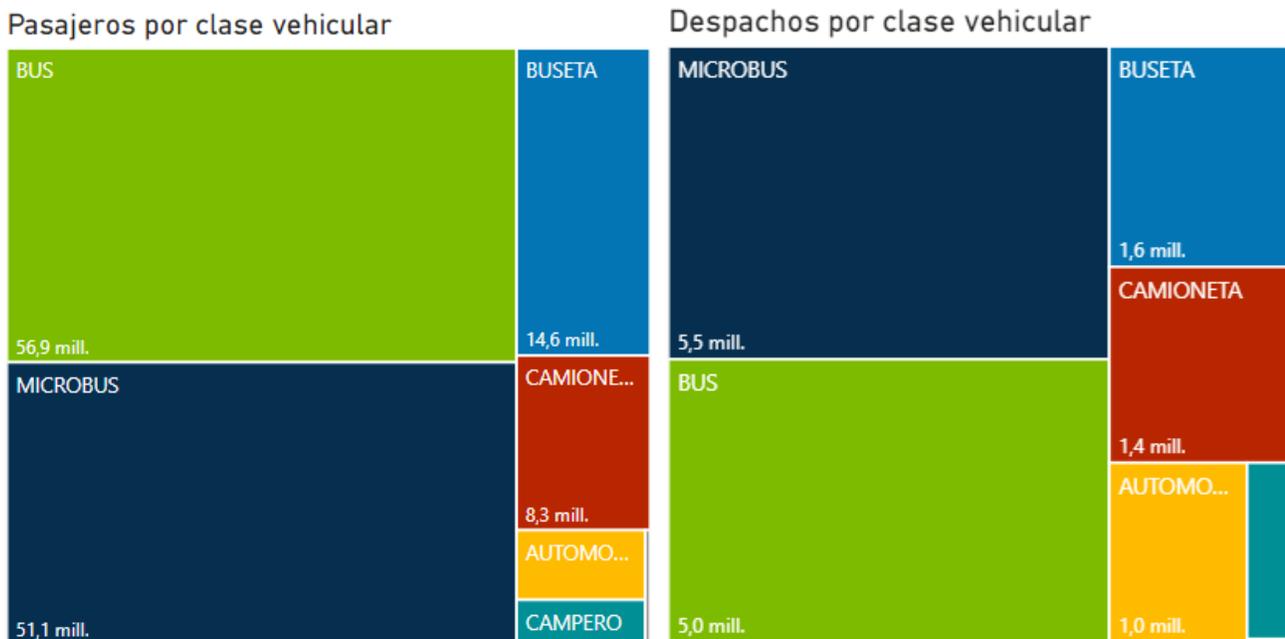


Figura 31. Pasajeros movilizados y despachos realizados de transporte público intermunicipal por clase vehicular en 2019

Pasajeros promedio por vehículo

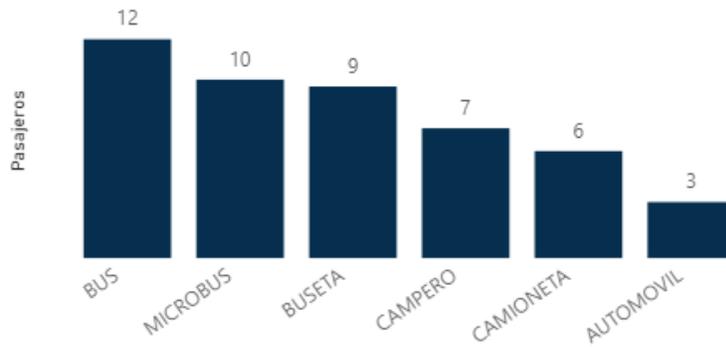
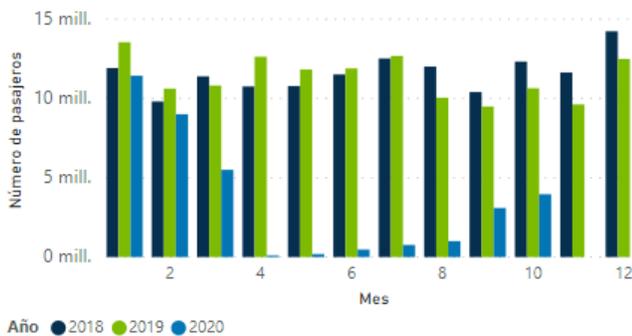


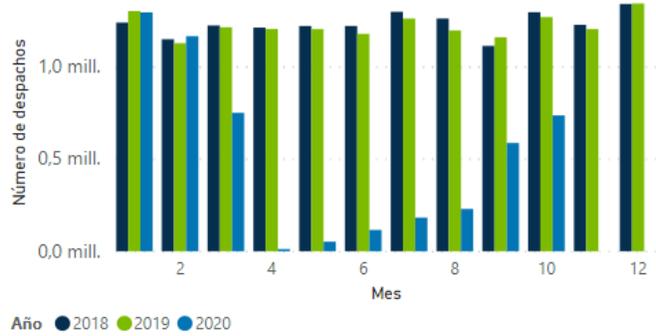
Figura 32. Ocupación promedio de pasajeros por clase vehicular

Los meses de enero, junio, julio, octubre y diciembre, son los que mayor cantidad de pasajeros movilizados y despachos realizados, lo cual es coincidente con las vacaciones de final y mitad de año, semana santa y semana de receso escolar en octubre. En cuanto a las franjas horarias durante el día, se aprecia un pico entre las 14:00 y las 18:00 horas (Figura 33).

Pasajeros por mes



Despachos por mes



Hora de salida de pasajeros



Hora de los despachos

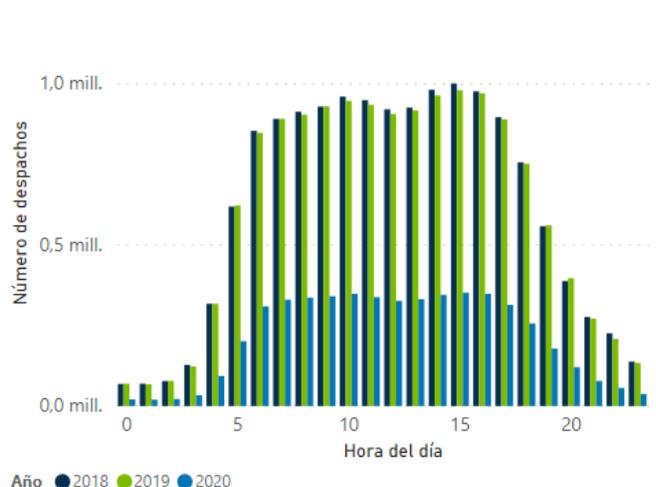


Figura 33. Pasajeros y despachos de transporte público intermunicipal por mes y franja horaria del día

1.7 Conclusiones y recomendaciones

Considerando la información del Ministerio de Transporte, el RUNT (Registro Único Nacional de Tránsito) y Superintendencia de Puertos y Transporte, que fue recopilada y procesada en el presente convenio, se realizan las siguientes conclusiones y recomendaciones de cara a la segunda fase del estudio de Factores de Emisión para Colombia.

- Los centros urbanos que tienen por núcleo las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, son los principales nodos de generación y atracción de viajes de transporte de carga e intermunicipal de pasajeros, siendo a su vez los que mayor cantidad de vehículos matriculados concentran.
- **Las motocicletas** representan el 60,1% del total del parque automotor colombiano, de las cuales el 99% son de servicio particular, operando el 98% a gasolina. Los mapas de calor elaborados para motocicletas con combustible gasolina, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de los 125 cc y modelo 2018.
- **En la categoría de vehículos livianos**, donde se agrupan automóviles, camionetas y camperos, con el 93% empleados para el servicio particular, y de éste el 98% usa gasolina como combustible. En cuanto a los automóviles de servicio público que representan el 7% dentro de la clase automóviles, el 83% usa combustible gasolina y el 13% usan diésel. Los mapas de calor elaborados para automóviles con combustible gasolina, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de los 1.600 cc y modelo 2012.
- **En la categoría buses**, donde se agrupan microbús, bus, padrón y biarticulado, los microbuses representan el 54%, con 87% prestando servicio público, de los cuales el 80% opera a diésel y el 17% a gasolina. Los mapas de calor elaborados para microbús con combustible diésel, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de 2.800 cc y modelo 1998.

Dentro de la misma categoría, los buses representan el 45%, con el 88% prestando servicio público, de los cuales 79% opera con diésel y el 18% con gasolina. Los mapas de calor elaborados para buses con combustible diésel, muestran mayor representación de vehículos en torno a 5.200 cc y modelo 2014.

- **La categoría de vehículos de carga** representa el 2,28% del total del parque automotor Colombiano, donde se agrupa camión, volqueta y tractocamión, en esta, los camiones representan el 74% de la categoría, con un 73% prestando servicio público, de los cuales el 62% posee motores con cilindrajes entre los 3.000 cc y 6.000 cc (medianos), 24% motores con más de 6.000 cc (pesados) y 14% motores inferiores a los 3.000 cc (livianos), a su vez, los medianos operan en un 87% con diésel; en cuanto a los livianos, el 95% opera con diésel. Los mapas de calor elaborados para camiones livianos, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de 3.000 kg de capacidad de carga y modelo 2012; para camiones medianos alrededor de 7.000 kg de capacidad de carga y modelo 2007; y para camiones pesados alrededor de 10.000 kg de capacidad de carga y modelo 2007. La tendencia global de la clase camión se encuentra alrededor de 5.200 cc y modelo 2012.

Dentro de la misma categoría de carga, los tractocamiones representan el 13%, prestando servicio público el 98%, teniendo el 100% de ellos motores superiores a los 6.000 cc y operando con diésel el 98%. Los mapas de calor elaborados para tractocamiones con combustible diésel, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de los 15.000 cc y modelo 2012.

Complementando la categoría de carga con una participación del 13% se encuentran las volquetas, donde el 70% presta servicio público, de las cuales el 85% tienen motores superiores a los 6.000 cc y operan en un 98% con diésel. Los mapas de calor elaborados para volquetas con combustible diésel, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de 11.000 cc y modelo 2015.

- Para determinar el número de vehículos a medir por cada categoría y en los principales centros urbanos, se usó el muestreo estratificado con error absoluto y coeficiente de confianza adicional proporcional. En cada categoría se consideró la proporción de vehículos por región, un nivel de confianza (NC) y un error predefinido. La mayor confianza estadística y el menor error absoluto equivaldría a medir 68 vehículos por cada una de las cinco categorías contempladas en este convenio. En vista de las dificultades logísticas y económicas que ello supone, se recomienda medir al menos entre 12 y 24 vehículos por cada categoría.
- Si bien la normativa no los diferencia y tampoco se encuentran detalles diferenciadores en las bases de datos del Ministerio de Transporte, se debe reconocer que en los camiones rígidos de 2 ejes, ha surgido gran variedad de tamaños con diferentes características de motor, capacidad de carga y costo, para hacerlos más versátiles ante las limitaciones de espacio, movilidad e infraestructura en los centros urbanos, encontrando que dichas diferencias se han ido catalogando en la práctica como vehículos tipo C2 grande y C2 pequeño, también conocidos comúnmente en el medio como sencillo y turbo, respectivamente. Si se aúna este hecho, con que además son los vehículos que más viajes de carga realizan en el país, es muy importante diferenciarlos en las caracterizaciones y futuras mediciones que se realicen para estimar factores de emisión.
- Los camiones rígidos de 2 ejes son los que más viajes registrados en el RNDC (Registro Nacional de Despachos de Carga) realizan, con 4'171.213 viajes para 2019, seguido por tractocamiones de 3 ejes con semirremolques de 3 ejes y 2 ejes, con 2'916.217 y 635.587 viajes respectivamente.
- Para los meses de abril y octubre de 2019, enero y febrero de 2020, se obtuvieron atributos adicionales del RNDC, respecto a tipo de combustible y rango del modelo de los vehículos, gracias a los cuales se identificó que en cerca del 98% de los viajes usan diésel como combustible, seguido gasolina con el 1,9%. A su vez, los vehículos con modelo en el rango de 2011-2015 son los que más viajes realizaron para dichos meses, con el 43,5% de los mismos, seguidos por el rango modelo 2006-2010 con 24,7%
- Del RNDC es importante resaltar que hay un subregistro de viajes vacíos (viajes sin carga, encontrándose para Colombia entorno al 30% de los viajes totales, según hallazgos

realizados en encuestas de transporte de carga por carretera del Ministerio de Transporte y estudios de carga para Bogotá, Medellín y Cali) y de algunos productos que por su singularidad se encuentran exceptuados de realizar dicho registro de carga (Decreto 2044 de 1988), tal es el caso de animales, productos de origen animal, empaques y recipientes usados, productos elaborados, productos del agro (de su origen en el campo a un centro urbano, excepto café y productos procesados), materiales de construcción y derivados del petróleo, destacando en estos grupos el ganado en pie, aves vivas, peces, huevos, leche, cerveza, gaseosa, panela, ladrillos, teja de barro, grava, arena y gas propano.

- La flota vehicular reportada en la operación del transporte público intermunicipal de pasajeros corresponde a 53.094 vehículos para los años 2018, 2019 y 2020, este último hasta el mes de octubre.
- Si bien los microbuses son la mayoría de la flota vehicular de transporte público intermunicipal de pasajeros y los que más despachos realizan, son los buses los que más pasajeros movilizan, además de la ocupación promedio de pasajeros por clase vehicular, en el cual llama la atención la ocupación promedio de buses y busetas, que es inferior a su capacidad transportadora, una posible explicación es que la base de datos suministrada por la Superintendencia de Transporte toma como base los despachos que tienen de por medio una terminal de transporte, por lo cual no logra captar los pasajeros que se recogen y descienden a lo largo del recorrido.

1.8 Referencias bibliográficas

- [1] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Plan energético nacional 2020-2050. Feb. 2020.
- [2] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Balance Energético Colombiano. Julio 2019.
- [3] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Balance de Energía Útil 2015: Primer balance de Energía Útil para Colombia y cuantificación de las pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética. Abril 2019.
- [4] IDEAM, PNUD, Primer informe bienal de actualización Colombia ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC). 2015.
- [5] IDEAM, PNUD, Segundo informe bienal de actualización Colombia ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC). 2018.
- [6] Resolución 910 de 2008 por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres.
- [7] Resolución 1111 de 2013 por la cual se modifica la Resolución 910 de 2008.
- [8] Ley 1931 de 2018 por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático

Otras fuentes consultadas

CONPES 3943 de 2018, Política para el mejoramiento de la calidad del aire

Ley 336 de 1996, por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Transporte

Decreto Nacional 2044 de 1988, por el cual se dictan disposiciones sobre el acarreo de productos especiales en vehículos de servicio público de transporte de carga

Decreto Nacional 1478 de 2014, por medio del cual se fijan lineamientos para el establecimiento de corredores logísticos de importancia estratégica para el país y para la articulación de los actores que convergen sobre estos

Decreto Nacional 1079 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte para Colombia

Resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte, por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional

Resolución 6427 de 2009 del Ministerio de Transporte, por la cual se dictan disposiciones para el control de peso a vehículos de Transporte de Carga de dos ejes

Resolución 10106 de 2012 del Ministerio de Transporte, por el cual se constituye el Observatorio de Transporte de Carga por Carretera - OTCC

Resolución 2308 de 2014 del Ministerio de Transporte, por la cual se establecen medidas para el control de peso a vehículos de transporte de carga y se dictan otras disposiciones

Resolución 2498 de 2018 del Ministerio de Transporte, por la cual se modifica la Resolución 6427 de 2009 y se dictan otras disposiciones para el control de peso a vehículos de transporte de carga rígidos de dos ejes

Resolución 164 de 2015 del Ministerio de Transporte, por la cual se establecen los corredores logísticos de importancia estratégica para el país

Resolución 1068 de 2015 del Ministerio de Transporte, por la cual se reglamenta el registro nacional de maquinaria agrícola industrial y de construcción autopro impulsada

Resolución 3227 de 2016 del Ministerio de Transporte, por la cual se modifica la Resolución 10106 de 2012 referente al Observatorio de Transporte de Carga por Carretera – OTCC

Resolución 3741 de 2016 del Ministerio de Transporte, por la cual se modifica la Resolución 3227 de 2016 referente al Observatorio de Transporte de Carga por Carretera – OTCC

Caracterización del Transporte en Colombia: Diagnóstico y Proyectos de Transporte e Infraestructura. Ministerio de Transporte. 2005.

Estudio de transporte de carga para el valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2020.

Inventario de emisiones para el valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2020.

Portal Logístico de Colombia <https://plc.mintransporte.gov.co/>

SICE-TAC <https://plc.mintransporte.gov.co/Runtime/empresa/ctl/SiceTAC/mid/417>

RNDC <https://rndc.mintransporte.gov.co/MenuPrincipal/tabid/204/language/es-MX/Default.aspx?returnurl=%2F>

SINC <http://sinc.mintransporte.gov.co/visores/>

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN DE LA MOVILIDAD DE LAS DIFERENTES CATEGORÍAS VEHICULARES EN LAS PRINCIPALES ÁREAS METROPOLITANAS DEL PAÍS

Contenido

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2. CARACTERIZACIÓN DE LA MOVILIDAD DE LAS DIFERENTES CATEGORÍAS VEHICULARES EN LAS PRINCIPALES ÁREAS METROPOLITANAS DEL PAÍS..... | 59 |
| 2.1. Bogotá | 59 |
| 2.1.1. Número de viajes | 59 |
| 2.1.2. Franjas horarias | 59 |
| 2.1.3. Análisis de información origen-destino..... | 61 |
| 2.1.4. Rutas seleccionadas | 64 |
| 2.2. Medellín - Área Metropolitana del Valle de Aburra | 66 |
| 2.2.1. Número de viajes | 66 |
| 2.2.2. Franjas horarias | 66 |
| 2.2.3. Análisis de información origen-destino..... | 68 |
| 2.2.4. Rutas seleccionadas | 70 |
| 2.3. Cali | 72 |
| 2.3.1. Número de viajes | 72 |
| 2.3.2. Franjas horarias | 72 |
| 2.3.3. Análisis de información origen-destino..... | 74 |
| 2.3.4. Rutas seleccionadas | 76 |
| 2.4. Barranquilla | 78 |
| 2.4.1. Número de viajes | 78 |
| 2.4.2. Franjas horarias | 78 |
| 2.4.3. Análisis de información origen-destino..... | 79 |
| 2.4.4. Rutas seleccionadas | 80 |
| 2.5. Registro de datos en ruta en las ciudades | 82 |
| 2.6. Datos de movilidad de transporte de carga inter-urbano..... | 83 |
| REFERENCIAS | 84 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2.1. Horarios Pico en Bogotá (según decreto 575 de 2013) | 59 |
| Tabla 2.2. Intervalos de horas seleccionadas..... | 60 |
| Tabla 2.3. Intervalos de horas seleccionadas para motocicletas. | 61 |
| Tabla 2.4. Posibles lugares de origen y destino para la selección de rutas. | 64 |
| Tabla 2.5. Rutas seleccionadas para mediciones en Bogotá..... | 64 |
| Tabla 2.6. Intervalos de horas seleccionadas..... | 67 |
| Tabla 2.7. Lugares de origen y destino para la selección de rutas. | 69 |
| Tabla 2.8. Rutas seleccionadas para mediciones en Bogotá | 70 |
| Tabla 2. 9. Horarios propuestos para pruebas en Cali..... | 74 |
| Tabla 2.10. Propuesta origen-destino de pruebas en ruta Cali..... | 75 |
| Tabla 2.11. Rutas seleccionadas para mediciones en Bogotá..... | 76 |
| Tabla 2.12. Estimación del número de viajes en Barranquilla..... | 78 |
| Tabla 2.13. Zonificación de los viajes de Barranquilla y Soledad | 78 |
| Tabla 2.14. Intervalos de horas seleccionadas..... | 78 |
| Tabla 2.15. Propuesta origen-destino de pruebas en ruta Barranquilla | 80 |
| Tabla 2.16. Rutas seleccionadas para mediciones en Barranquilla | 80 |
| Tabla 2.17. Tipos de vehículos y cantidad de segundos medidos | 84 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1. División modal de los viajes. (Fuente: Unión Temporal Steer - CNC - Encuesta de Movilidad, 2019). | 59 |
| Figura 2.2. Distribución horaria de viajes en todos los modos en Bogotá. (Fuente: Unión Temporal Steer - CNC - Encuesta de Movilidad, 2019). | 60 |
| Figura 2.3. Distribución horaria de viajes en motocicleta en Bogotá. (Fuente: Unión Temporal Steer - CNC - Encuesta de Movilidad, 2019). | 61 |
| Figura 2.4. Autocontención de los viajes en el área de estudio. | 61 |
| Figura 2.5. Distribución porcentual del lugar de destino por hora del día. | 62 |
| Figura 2.6. Origen-destino Bogotá. | 63 |
| Figura 2.7. Rutas realizadas en pruebas en Bogotá. | 65 |
| Figura 2.8. Distribución porcentual de los viajes por modo principal. | 66 |
| Figura 2.9. Distribución porcentual de 3.2 millones de viajes a lo largo del día (realizados en Transporte público, auto, moto y taxi). Fuente: Encuesta Origen - Destino 2017. | 67 |
| Figura 2.10. Aforos en una vía. Fuente: MODEAM | 67 |
| Figura 2.11. Flujo entre Macrozonas (% Viajes). Fuente: Encuesta Origen - Destino 2017 | 68 |
| Figura 2.12. Mapa de calor para origen de viajes. Fuente: Encuesta Origen - Destino 2017 | 69 |
| Figura 2.13. Mapa de calor para destino de viajes. Fuente: Encuesta Origen - Destino 2017 | 69 |
| Figura 2.14. Rutas realizadas en pruebas en Área Metropolitana del Valle de Aburrá. | 71 |
| Figura 2.15. Viajes diarios entre municipios del área metropolitana de Cali. | 72 |
| Figura 2.16. Variación de volumen de vehículos. Fuente: Análisis integral de la red de infraestructura vial para la movilidad motorizada en el municipio de Santiago de Cali. | 73 |
| Figura 2.17. Comportamiento de vehículos por franja horaria. Fuente: Plan integral de movilidad de Santiago de Cali. | 73 |
| Figura 2.18. Mapas de calor origen-destino. Fuente: Encuesta de movilidad de Cali. | 75 |
| Figura 2.19. Rutas realizadas en pruebas en Cali y alrededores. | 77 |
| Figura 2.20. Mapas de calor origen-destino. Fuente: Plan Maestro Distrito Barranquilla. | 79 |
| Figura 2.21. Rutas realizadas en pruebas en Barranquilla. | 81 |
| Figura 2.22. Aplicación GPS Logger para pruebas en ruta de vehículos. | 82 |
| Figura 2.23. Rutas con datos de movilidad para vehículos de carga. | 83 |

2. CARACTERIZACIÓN DE LA MOVILIDAD DE LAS DIFERENTES CATEGORÍAS VEHICULARES EN LAS PRINCIPALES ÁREAS METROPOLITANAS DEL PAÍS

2.1. Bogotá

2.1.1. Número de viajes

Según los datos obtenidos en la encuesta de movilidad 2019 para caracterización de la movilidad, en la ciudad de Bogotá y su área metropolitana se generan cerca de 16 millones de viajes en un día típico (se excluyen los viajes peatonales con tiempos menores a 15 minutos). La distribución modal del medio de transporte utilizado en estos viajes se evidencia en la Figura 2.1

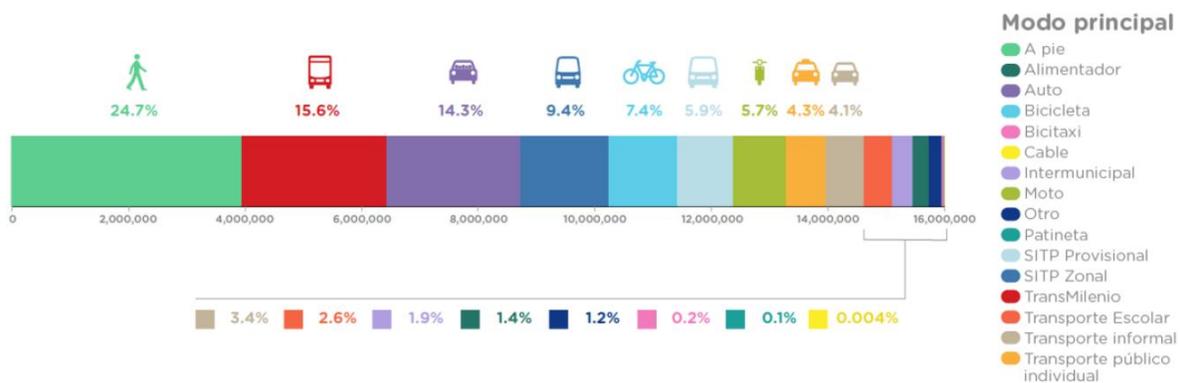


Figura 2.1. División modal de los viajes. (Fuente: Unión Temporal Steer - CNC - Encuesta de Movilidad, 2019).

2.1.2. Franjas horarias

Los horarios definidos como horas pico y valle definidos por la secretaría de movilidad de Bogotá (ver Tabla 2.1) son fuente importante de información para definición de las franjas horarias de medición, además, teniendo en cuenta los datos obtenidos en la encuesta de movilidad de Bogotá y municipios vecinos, se observa el comportamiento de los viajes realizados en a lo largo de un día típico laboral en la zona de interés.

Tabla 2.1. Horarios Pico en Bogotá (según decreto 575 de 2013)

| Horario mañana | Horario Tarde | Horario Zona centro |
|----------------|---------------|---------------------|
| 06:00-08:30 | 15:00-19:30 | 06:00-19:30 |

En la Figura 2.2 se muestra la suma de los viajes realizados en todos los modos de transporte principal en los cuales se realizan desplazamiento de personas en la ciudad de Bogotá (vehículo particular, motocicleta, bicicleta, transporte público, especial y a pie), y el comportamiento horario de los viajes originados y finalizados en los demás municipios de la zona metropolitana

muestran una distribución similar. De acuerdo con el decreto que reglamenta los horarios de pico y placa para vehículos en Bogotá los horarios de restricción para vehículos particulares, las franjas horarias definidas pico están en acuerdo con las horas pico de viajes observadas en la encuesta de movilidad 2019 en las horas de la mañana, encontrando un máximo de viajes iniciando y finalizando a las 6 am.

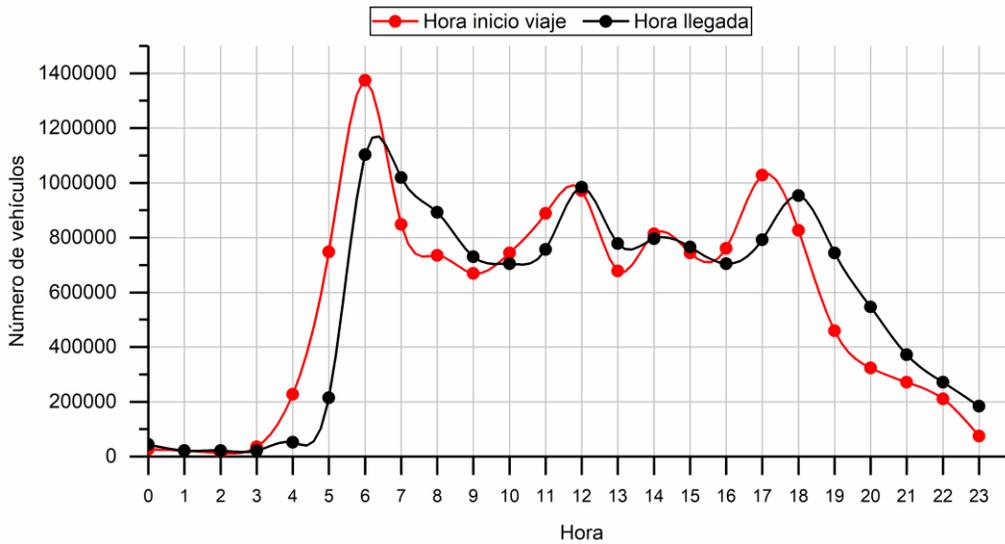


Figura 2.2. Distribución horaria de viajes en todos los modos en Bogotá. (Fuente: Unión Temporal Steer - CNC - Encuesta de Movilidad, 2019).

En las definidas horas pico de la tarde 15:00 a 19:30 se registra un incremento en la cantidad de viajes, además, en algunos de los modos de interés hay un incremento evidente en la cantidad de viajes simultáneos alrededor de medio día y las primeras horas de la tarde los cuales son principalmente realizados por vehículos particulares, tipo taxi y transporte escolar. Los intervalos horarios de interés para la medición en ruta en vehículo fueron distribuidos según la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Intervalos de horas seleccionadas

| Intervalo | Hora | Observaciones |
|-----------|---------------|------------------|
| 1 | 5:00 a 6:00 | Sin pico y placa |
| 2 | 6:00 a 8:30 | Con pico y placa |
| 3 | 9:00 a 10:00 | Sin pico y placa |
| 4 | 14:30 a 16:00 | Sin pico y placa |
| 5 | 18:00 a 19:30 | Con pico y placa |

En el caso de la distribución horaria de viajes en motocicleta, como se evidencia en la Figura 2.3, tanto en Bogotá como en los demás municipios existe un comportamiento acorde con las horas de pico y placa, con el máximo número de viajes simultáneos a las 6 am en la mañana y entre las 17:00 y 18:00, por lo tanto, las franjas horarias de medición en ruta se distribuyen en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Intervalos de horas seleccionadas para motocicletas.

| Intervalo | Hora | Observaciones |
|-----------|---------------|------------------|
| 1 | 5:00 a 6:00 | Sin pico y placa |
| 2 | 6:00 a 8:00 | Con pico y placa |
| 3 | 14:00 a 15:00 | Sin pico y placa |
| 4 | 15:00 a 19:30 | Con pico y placa |

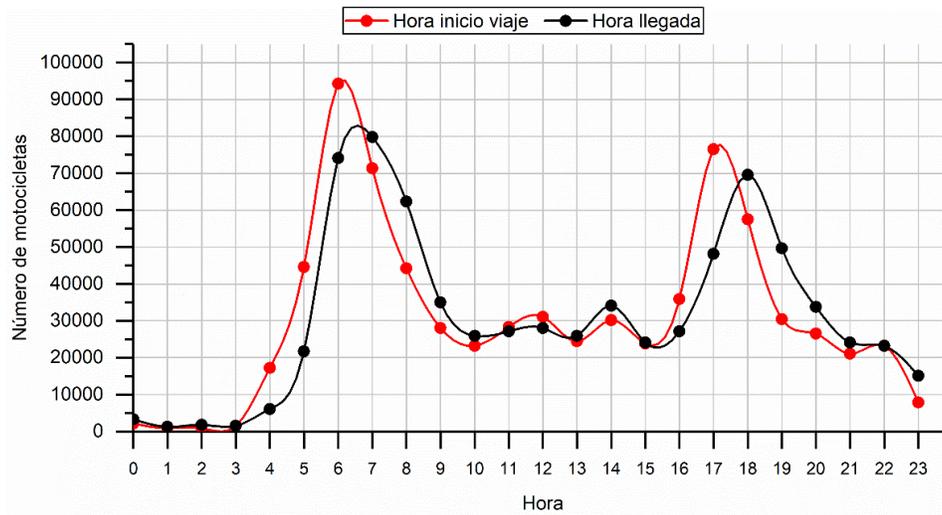


Figura 2.3. Distribución horaria de viajes en motocicleta en Bogotá. (Fuente: Unión Temporal Steer - CNC - Encuesta de Movilidad, 2019).

2.1.3. Análisis de información origen-destino

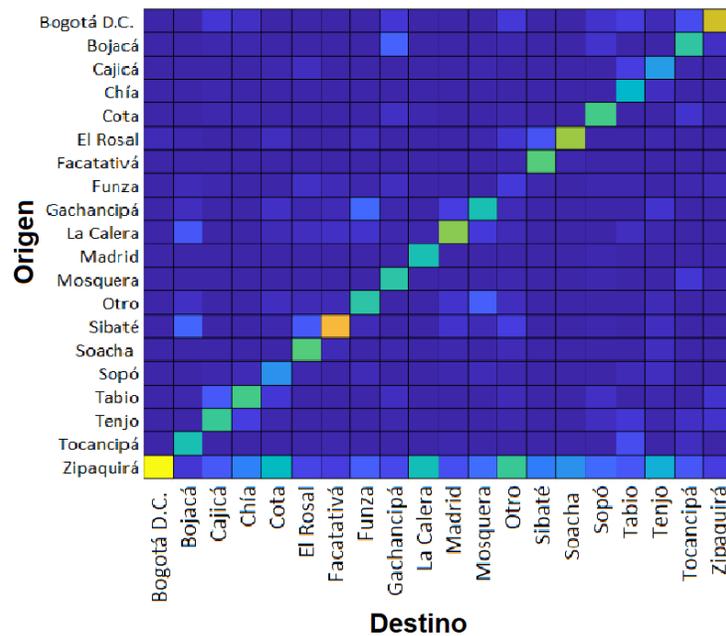


Figura 2.4. Autocontención de los viajes en el área de estudio.

En la Figura 2.4 se evidencia el porcentaje de los viajes autocontenidos en los municipios circundantes, dicho porcentaje es alto. Sin embargo, se observa un porcentaje de ellos con destino Bogotá, siendo Soacha el municipio que mayor número de viajes origina hacia el distrito capital con 269566 frente a 579251 autocontenidos.

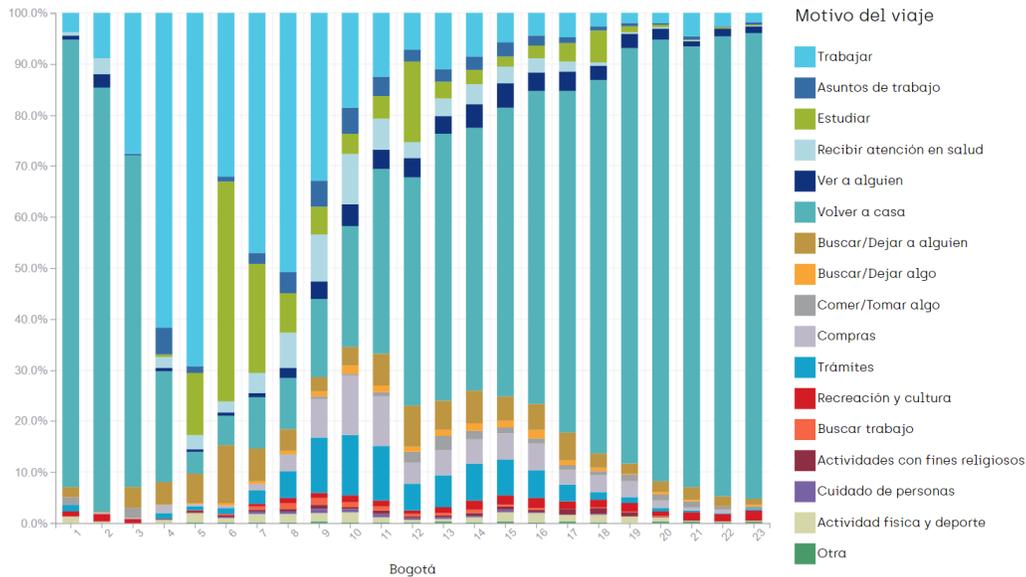
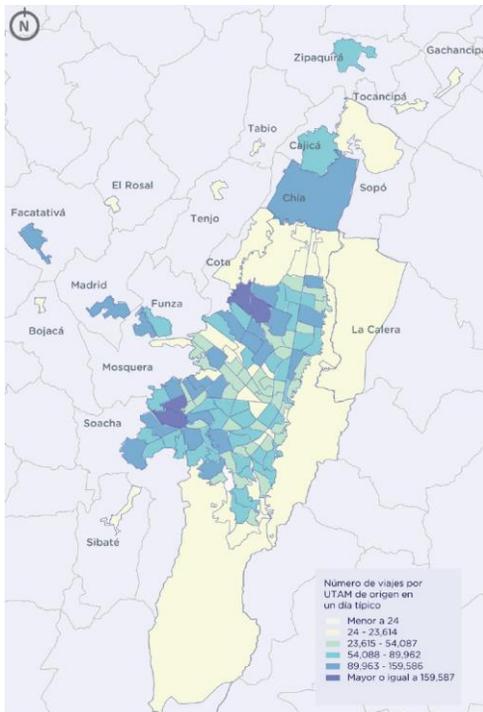
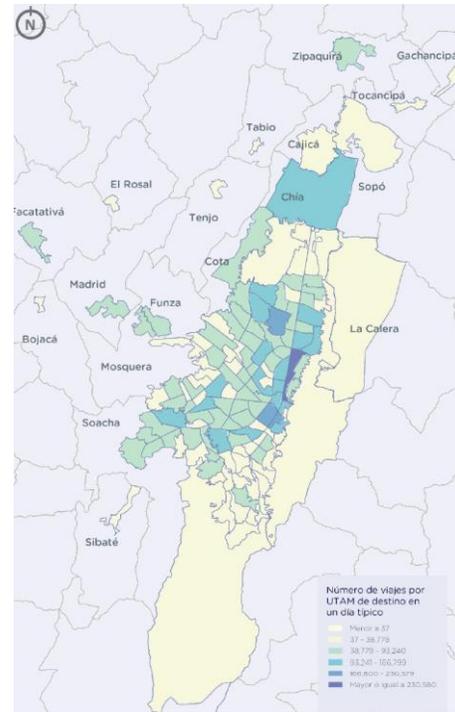


Figura 2.5. Distribución porcentual del lugar de destino por hora del día.

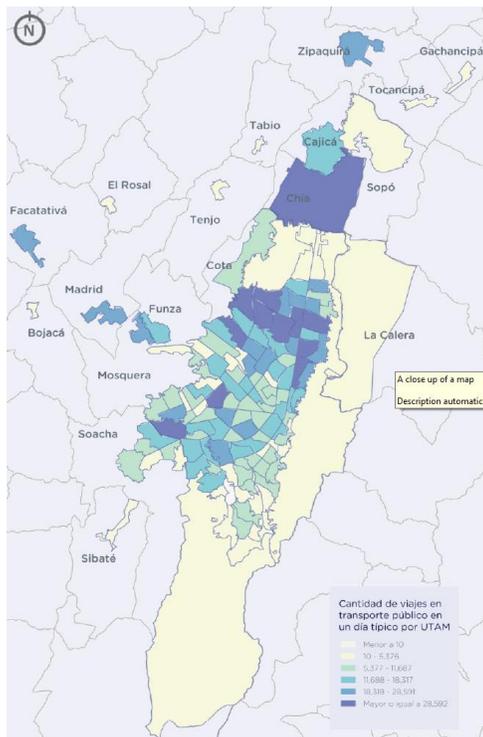
De acuerdo con la distribución horaria del número de viajes y su propósito (Figura 2.5), junto con los mapas divididos por Unidades Territoriales de Análisis de Movilidad (UTAM)) mostrando el origen y destino de los viajes, (Figura 6) se pueden determinar algunas zonas de origen y destino para las mediciones de acuerdo con la franja horaria y el medio de transporte utilizado por el viajero. Además, se agregan algunos municipios y localidades que hacen parte del área metropolitana dado que se muestra que gran cantidad de los viajes con destino en Bogotá tienen origen en estos municipios.



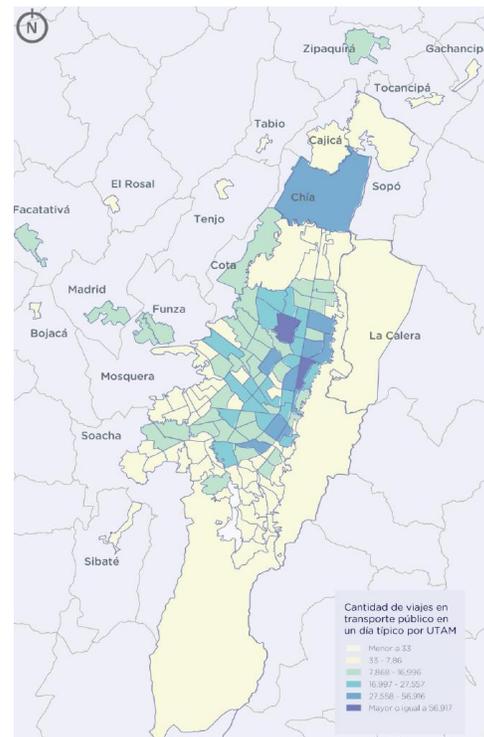
a) Origen de los viajes en cualquier medio



b) Destino de los viajes en cualquier medio



c) Origen de viajes transporte privado



d) Destino de viajes transporte privado

Figura 2.6. Origen-destino Bogotá.

Los puntos son escogidos cercanos al centro de las UTAM en las cuales se presenta gran concentración de origen o destino de viaje se presentan en la Tabla 2.4. En estos viajes no se tiene en cuenta aquellos cuyo propósito es regreso a casa.

Tabla 2.4. Posibles lugares de origen y destino para la selección de rutas.

| Origenes | Nombre UTAM o Zona | Destinos | Nombre UTAM o Zona |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Colegio Montessori | Niza | Parque principal | Chía |
| Avenida calle 85 x carr. 15 | Chicó Lago | Colegio Montessori | Niza |
| Parque Los molinos | Santa bárbara | Estación de bomberos Las Ferias | Las Ferias |
| Parque Cedritos | Los Cedros | Parque los molinos | Santa Bárbara |
| Parque Prado Pinzón | Prado | Parque de los alcázares | Los alcázares |
| Parque Gloria Lara de Echeverri | El Rincón | Avenida calle 85 con carrera 15 | Chicó Lago |
| Hospital de Suba | Suba | Parque de Usaquén | Usaquén |
| Parque Berlín | Tibabuyes | Parque Cedritos | Los Cedros |
| Parque Villas de Granada | Garcés Navas | Parque los Hippies | Chapinero |
| CAI Castilla | Castilla | Cámara comercio de Bogotá | Las Nieves |
| Parque los Naranjos | Bosa Central | Centro comercial Palo Quemado | La Sabana |
| Parque principal Soacha | Soacha | Parque la Valvanera | Restrepo |

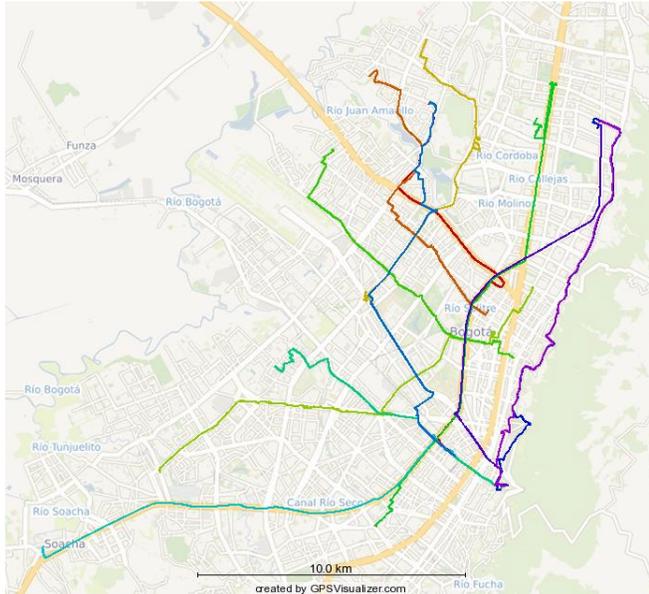
2.1.4. Rutas seleccionadas

La Tabla 2.5 presenta las rutas seleccionadas para las mediciones en vehículos y motocicletas en la ciudad de Bogotá y sus alrededores. Estas rutas son seleccionadas en concordancia a la encuesta de movilidad del 2019 y a los efectos de movilidad estudiados en la ciudad, tales como el comportamiento horario como restricciones de pico y placa.

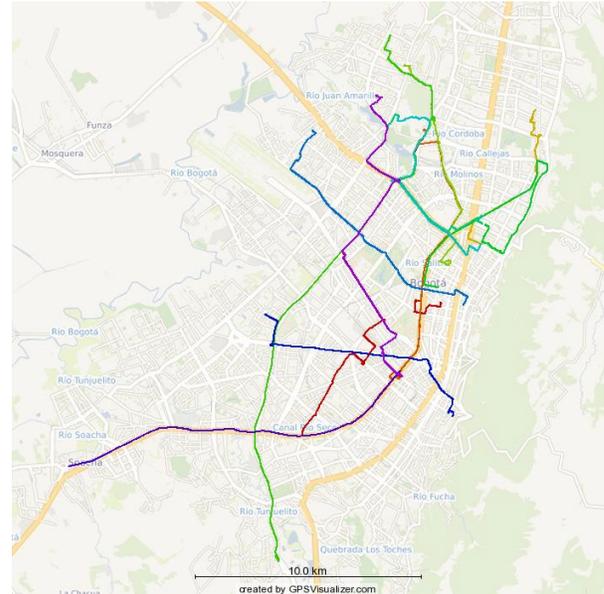
Tabla 2.5. Rutas seleccionadas para mediciones en Bogotá.

| Ciudad | Rutas seleccionadas para la medición |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Bogotá | Colegio Montessori - Centro Comercial Palo Quemado |
| | Avenida Calle 85 con Carrera 15 - Parque Cedritos |
| | Parque Los Molinos - Parque de los Hippies |
| | Parque Cedritos - Universidad de los Andes |
| | Parque Villas de Granada - Parque de los Hippies |
| | Parque Prado Pinzón - Parque la Valvanera |
| | Parque Gloria Lara de Echeverri - Centro Comercial Palo Quemado |
| | Parque Los Naranjos - Avenida Calle 85 con Carrera 15 |
| | CAI Castilla - Universidad de los Andes |
| | Universidad de los Andes - Parque de los Hippies |
| Hospital de Suba - Parque de los Alcázares | |
| Soacha | Parque principal Soacha - Centro Comercial Palo Quemado |

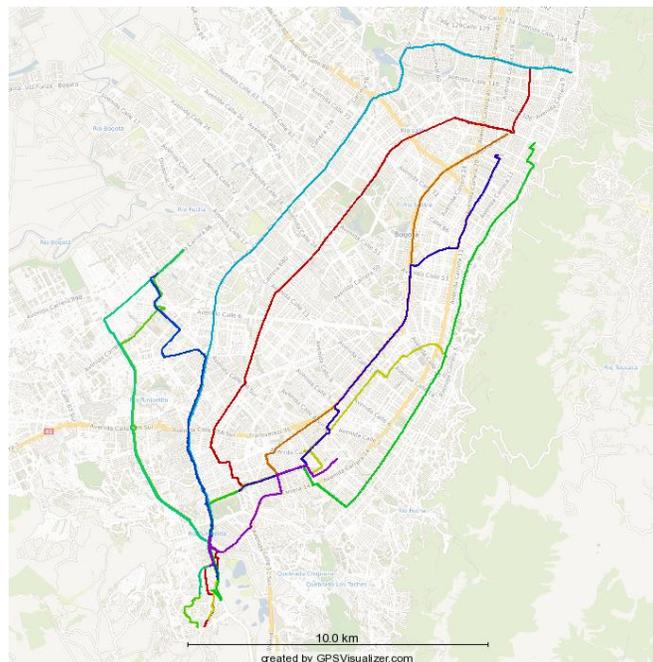
Las rutas mencionadas en la Tabla 2.5 se pueden evidenciar gráficamente en la Figura 2.7, donde se evidencian también las calles y direcciones que se tomaron para realizar las pruebas en vía. La Figura 2.7.a y la Figura 2.7.b presentan las rutas hechas en el presente estudio para vehículos livianos y motocicletas, respectivamente. Mientras que la Figura 2.7.c muestra las rutas hechas en autobuses, se debe aclarar que esta prueba se realiza en autobuses públicos cubriendo sus rutas habituales de la ciudad.



a) Rutas vehículos livianos



b) Rutas motocicletas



c) Rutas autobuses

Figura 2.7. Rutas realizadas en pruebas en Bogotá.

2.2. Medellín - Área Metropolitana del Valle de Aburra

2.2.1. Número de viajes

De acuerdo con la encuesta origen destino 2017, en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), se realizan en un día típico alrededor de 6.1 millones de viajes los cuales se clasifican por modos de acuerdo con la Figura 2.8.

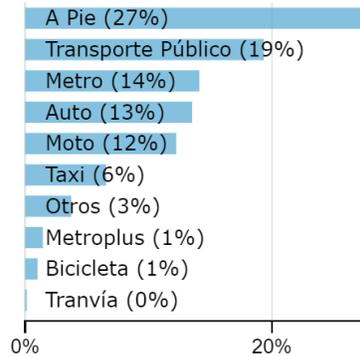


Figura 2.8. Distribución porcentual de los viajes por modo principal.

Para la selección de las rutas para Medellín y el área metropolitana del Valle de Aburrá se usaron datos provenientes de tres diferentes fuentes:

- Mediciones a bordo realizadas en marco del proyecto “Articulación universidad-empresa-estado para establecer los factores de emisión reales de fuentes móviles en el Valle de Aburrá – FEVA” ejecutado por el grupo GIMEL en representación de la Universidad de Antioquia para el AMVA.
- Base de datos histórica de flujo vehicular MODEAM (Modelo de Emisiones Atmosféricas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá), programa informático desarrollado por el Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA) de la Universidad Pontificia Bolivariana para el AMVA.
- Encuesta origen destino realizada por el Área metropolitana del Valle de Aburrá en el año 2017.

2.2.2. Franjas horarias

De la base de datos disponibles en MODEAM se analizan y obtienen la información del flujo horario promedio de vehículos durante las 24 horas del día para vías importantes de la malla vial y se comparan con datos provenientes de cámaras de tráfico tomadas en el año 2015 y con la distribución horaria de los viajes en la encuesta origen destino (excluidos modos: Metro, A pie, Metroplus, Tranvía, Bicicleta y otros) sin encontrar cambios significativos en la distribución horaria del flujo vehicular (ver Figura 2.9 y Figura 2.10).

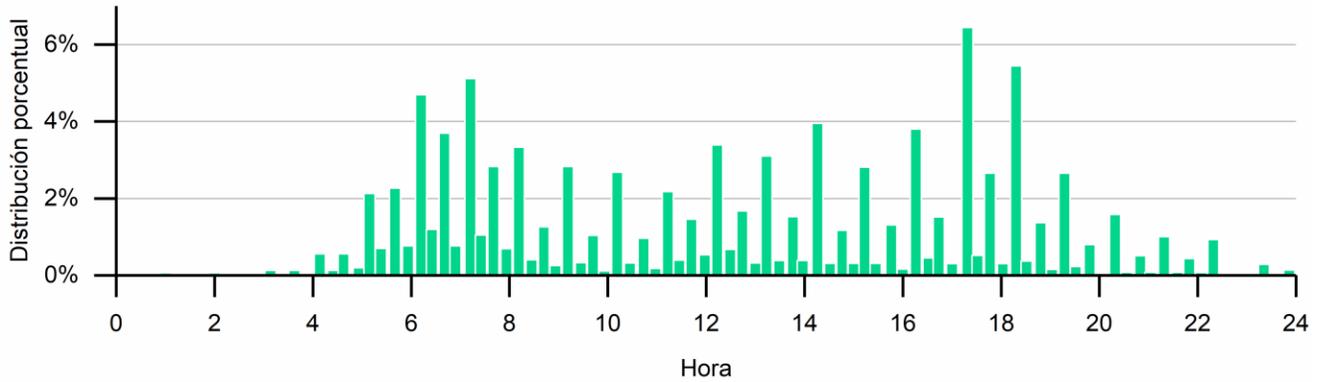


Figura 2.9. Distribución porcentual de 3.2 millones de viajes a lo largo del día (realizados en Transporte público, auto, moto y taxi). Fuente: Encuesta Origen - Destino 2017.

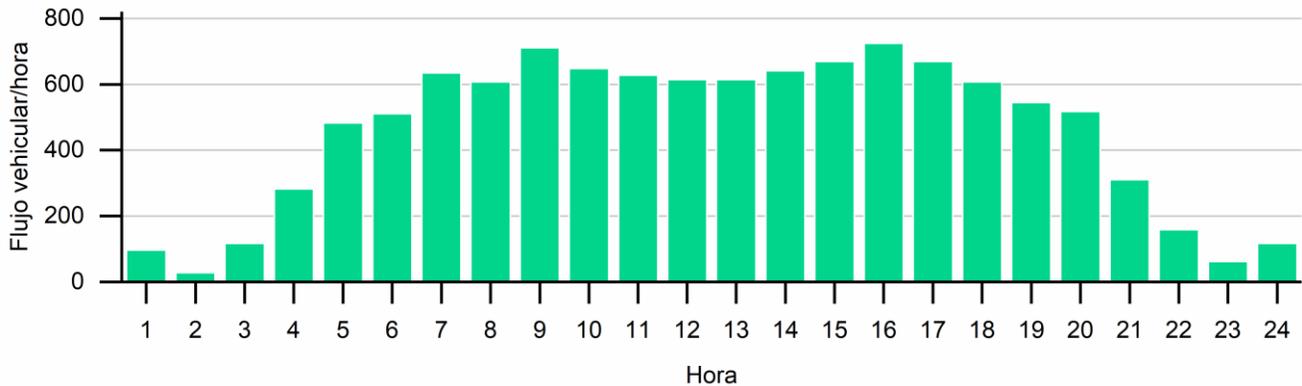


Figura 2.10. Aforos en una vía. Fuente: MODEAM

Para cada una de las 1170 vías registradas en la base de datos MODEAM es usado un modelo matemático que permite determinar el número de vehículos que transitan por ellas en un rango de velocidad definido para cada franja horaria; este mismo modelo es aplicado a rutas preliminares definidas con base en la información de la encuesta origen destino con el fin de determinar la relevancia de distintos trayectos de acuerdo con la franja horaria determinada. Finalmente, teniendo en cuenta los intervalos horarios con restricción de circulación por pico y placa, la Tabla 2.6 contiene las franjas horarias propuestas para la realización de las rutas.

Tabla 2.6. Intervalos de horas seleccionadas.

| Intervalo | Hora | Observaciones |
|-----------|---------------|------------------|
| 1 | 6:00 a 7:00 | Sin pico y placa |
| 2 | 7:00 a 8:00 | Con pico y placa |
| 3 | 12:00 a 13:00 | Sin pico y placa |
| 4 | 16:00 a 17:00 | Sin pico y placa |
| 5 | 18:00 a 19:00 | Con pico y placa |

2.2.3. Análisis de información origen-destino

De la encuesta origen destino se evidencian las zonas de origen y destino principales y se puede evidenciar la conexión entre ellos como se muestra en la Figura 2.11 y en los mapas de calor para número de viajes originados y destinados por zona (Figura 2.12 y Figura 2.13).

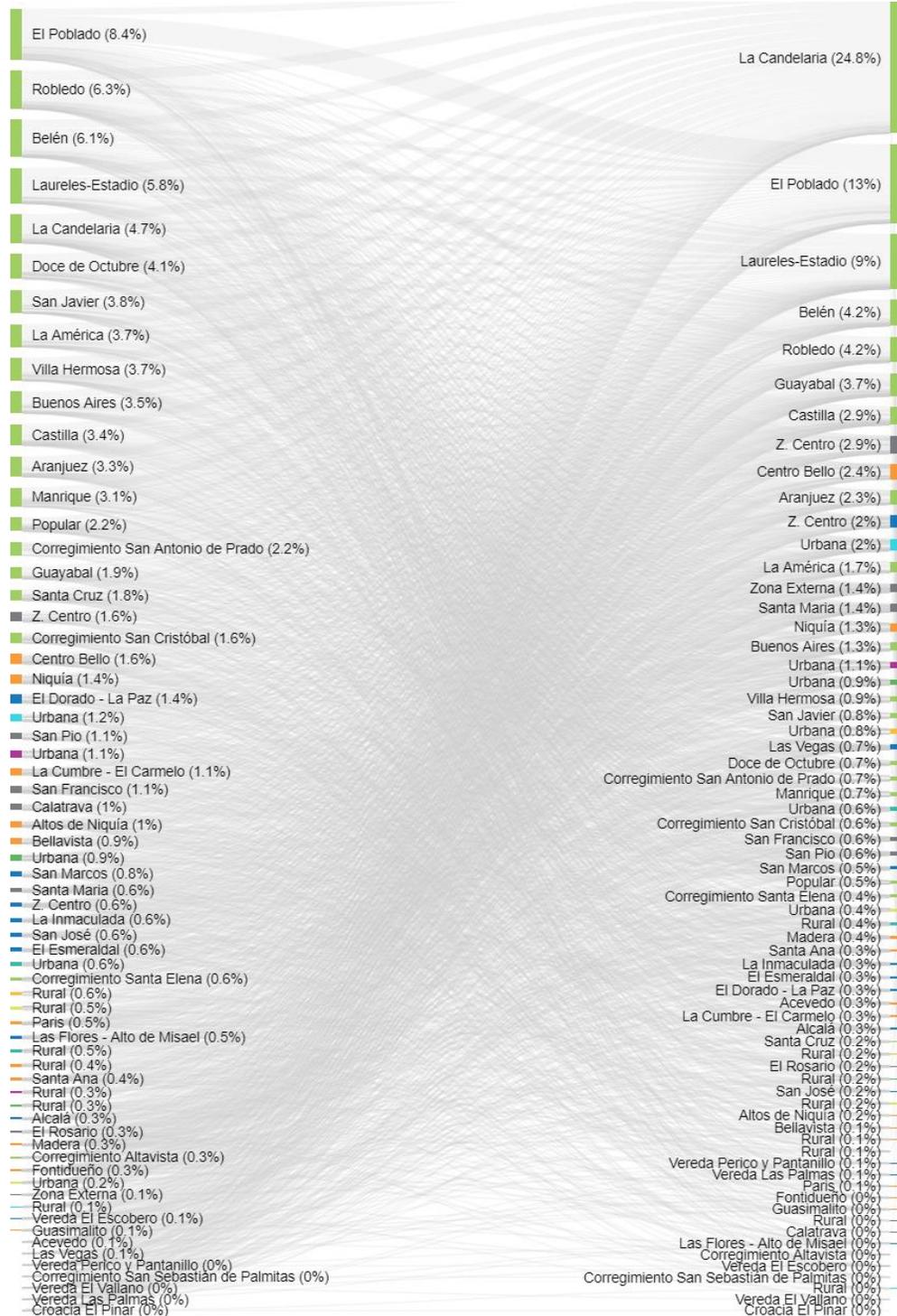


Figura 2.11. Flujo entre Macrozonas (% Viajes). Fuente: Encuesta Origen - Destino 2017

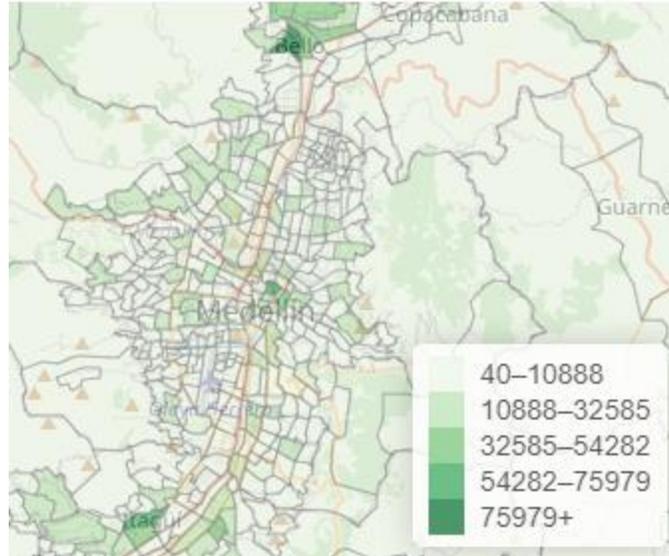


Figura 2.12. Mapa de calor para origen de viajes. Fuente: Encuesta Origen - Destino 2017.

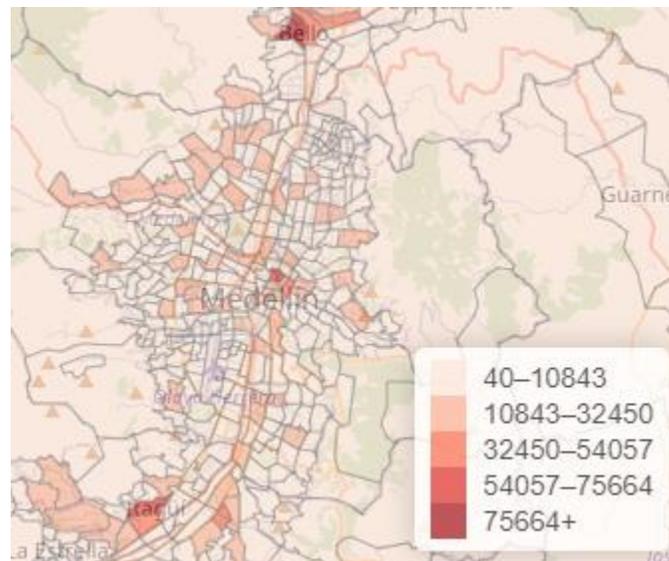


Figura 2.13. Mapa de calor para destino de viajes. Fuente: Encuesta Origen - Destino 2017.

La información proveniente de MODEAM es complementada con datos recolectados en la encuesta origen destino para determinar posibles orígenes ubicados principalmente en zonas con alta densidad poblacional y destinos en zonas de carácter industrial, comercial y estudiantil; de esta manera se genera una base de datos con rutas aleatorias, las cuales son filtradas usando el modelo de distribución horaria de flujos en vía de MODEAM. Para la selección preliminar de rutas relevantes se generaron 143 rutas aleatorias entre 11 puntos de origen y 13 de destino, los cuales se reportan en la

Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Lugares de origen y destino para la selección de rutas.

| Origen | Destino |
|----------------------------|------------------------------------------|
| Mirador de los Bernal | Centro administrativo la Alpujarra |
| Oviedo | Universidad EAFIT |
| El Tesoro | Universidad de Antioquia (UdeA) |
| Mall Interplaza | Universidad Nacional (UN) |
| Iglesia Asunción | Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) |
| Hospital Pablo Tobón Uribe | Universidad de Medellín (UdeM) |
| Parque Gaitán | Estación de metro Industriales |
| Parque La Milagrosa | Fábricas Unidas |
| San Michel | Centro comercial Mayorca |
| SENA Pedregal | Fábrica Noel |
| Belén Los Alpes | Parque Berrío (centro de Medellín) |
| | Centro comercial San Diego |
| | Fábrica Zenú |

2.2.4. Rutas seleccionadas

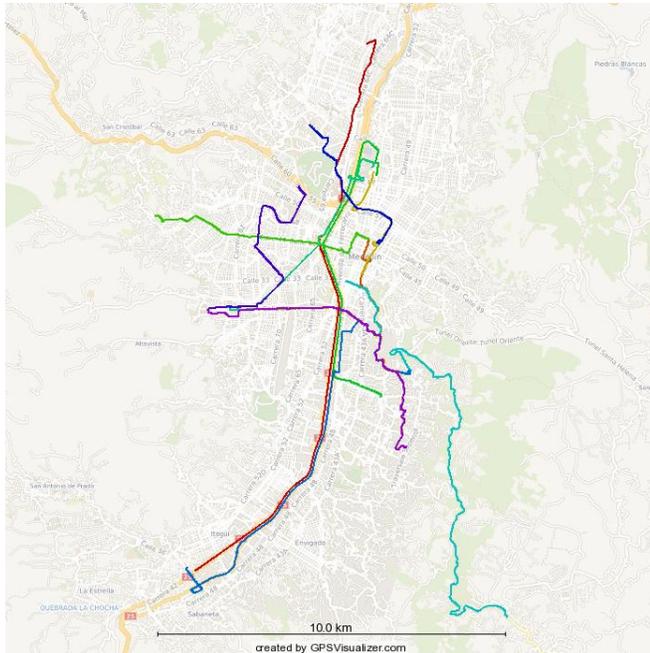
La Tabla 2.8 presenta las rutas seleccionadas para las mediciones en vehículos y motocicletas. Estas rutas son seleccionadas de acuerdo con los avances y estudios de movilidad que ha desarrollado el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Adicionalmente, se los municipios con los que no se contaba información de tráfico, se realizaron mediciones con vehículos instrumentados en las rutas descritas y en las franjas horarias propuestas.

Tabla 2.8. Rutas seleccionadas para mediciones en Bogotá

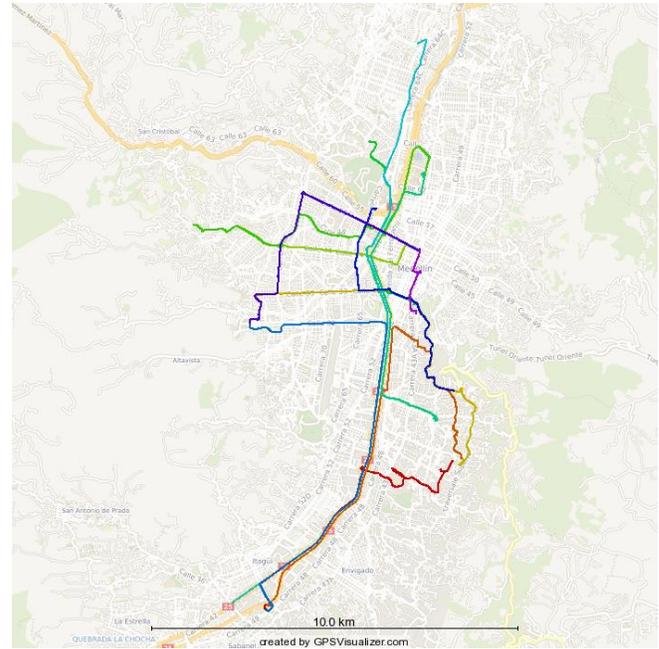
| Ciudad | Rutas seleccionadas para la medición |
|-------------|------------------------------------------------------------------------|
| Medellín | SENA Pedregal - Fábricas Unidas |
| | Vía las Palmas (Hotel Intercontinental) - Estación Metro Parque Berrío |
| | SENA Pedregal - Universidad Nacional (Sede Agronomía) |
| | Universidad de Medellín - Centro Comercial San Diego |
| | Estación Metro Parque Berrío - Urbanización Ciudadela San Michel |
| Envigado | Transversal Intermedia - Éxito de Envigado |
| | Parque de Envigado - La Frontera Mall |
| Itagüí | Fabricas Unidas - San Gabriel- San Francisco |
| | Éxito de Itagüí - Avenida 80 |
| Bello | Barrio – Autopista (Obra 2000) |
| | Barrio – Autopista (Carretero) |
| Caldas | Parque de Caldas – Estación Metro Estrella (Carretera vieja) |
| | Parque de Caldas – Estación Metro Estrella (Variante) |
| Sabaneta | Éxito de Sabaneta - CES |
| La Estrella | Parque de La Estrella – Estación Metro Estrella (Suramérica) |
| Barbosa | Barrio – Parque - Autopista |
| Girardota | Barrio – Parque - Autopista |
| Copacabana | Barrio - Machado – Metro (Madera) |

Las rutas de la Tabla 2.8 se muestran en la Figura 2.14, donde se evidencian también las calles y direcciones que se tomaron para realizar las pruebas. La Figura 2.14.a y la Figura 2.14.b

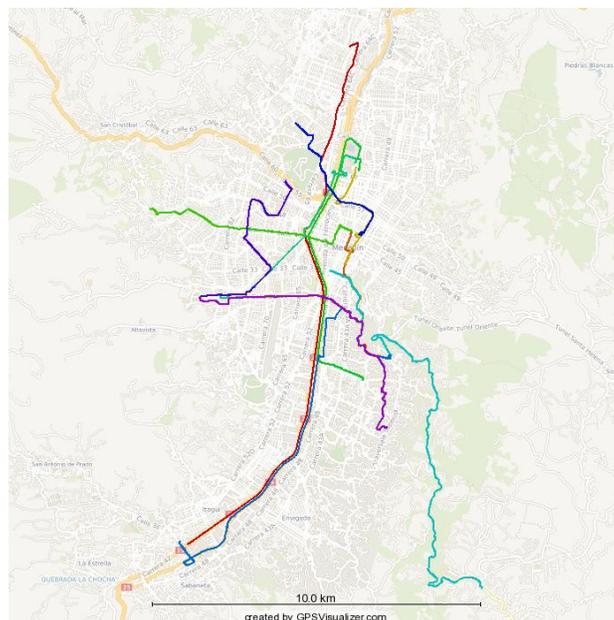
presentan las rutas hechas en el presente estudio para vehículos livianos y motocicletas, respectivamente. Mientras que la Figura 2.14.c muestra las rutas hechas en autobuses; se debe aclarar que esta prueba se realiza en autobuses públicos cubriendo sus rutas habituales de la ciudad.



a) Rutas vehículos livianos



b) Rutas motocicletas



c) Rutas autobuses

Figura 2.14. Rutas realizadas en pruebas en Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

2.3. Cali

Cali es la capital del departamento del Valle del Cauca. El área metropolitana de Cali no está establecida de manera oficial, sin embargo, es evidente su relación social, económica y de movilidad con sus municipios vecinos de Candelaria, Jamundí, Palmira y Yumbo. Por tanto, en este apartado se busca establecer algunos comportamientos de movilidad en vehículos motorizados en Cali y sus alrededores.

2.3.1. Número de viajes

La Figura 2.15 presenta la cantidad de viajes diarios en el área metropolitana de Cali, se observa que la mayor parte de viajes se realizan dentro de Cali, sin embargo, se debe tener en cuenta que la interacción de Cali con los municipios vecinos equivale a un 6% del total de viajes realizados al día, destacándose la interacción de Cali-Palmira. La ciudad de Cali y su relación con los municipios vecinos generan aproximadamente 3.9 millones de viajes al día.

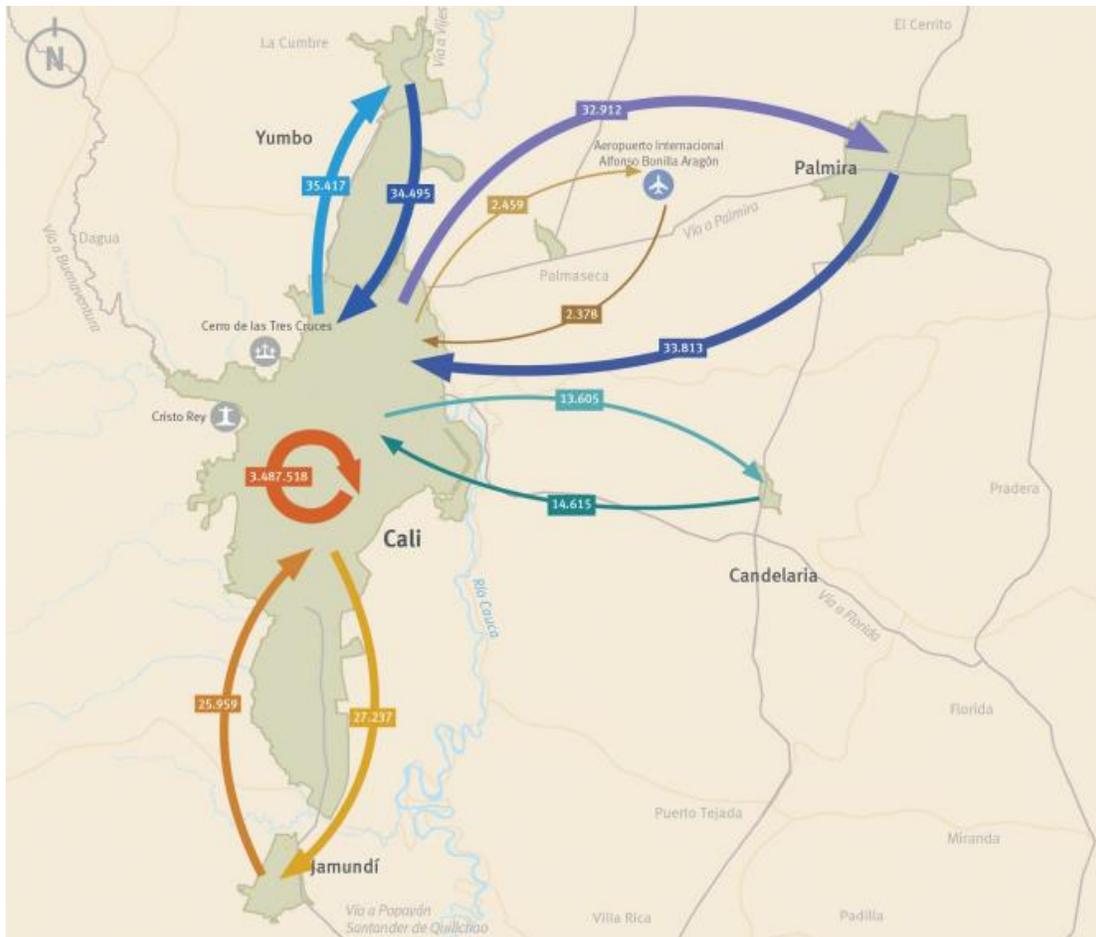


Figura 2.15. Viajes diarios entre municipios del área metropolitana de Cali.

2.3.2. Franjas horarias

La ciudad de Cali presenta restricción de pico y placa en su perímetro urbano para vehículos de servicio particular. Dicha restricción se presenta de lunes a viernes en los horarios de 6:00-

10:00 y 16:00-20:00. Por otro lado, se debe tener en cuenta que el Plan Integral de Movilidad de Santiago de Cali, elaborado gracias al Análisis integral de la red de infraestructura vial para la movilidad motorizada en el municipio de Santiago de Cali, llevado a cabo por la Universidad del Valle presenta la intensidad del volumen de vehículos que circulan en la ciudad durante las diferentes zonas horarias del día (ver Figura 2.16). Se debe tener en cuenta que este estudio incluye los siguientes medios de transporte: autos, masivo integrado de occidente (MIO), Transporte Público Colectivo Urbano (TPCU), camiones y motos. La Figura 2.17 muestra que las variaciones del comportamiento de motos y autos por franjas horarias es muy similar, adicionalmente se tiene que los autos representan el 59% de las unidades de movilización motorizada, las motos el 32% y los vehículos pesados el 9%.

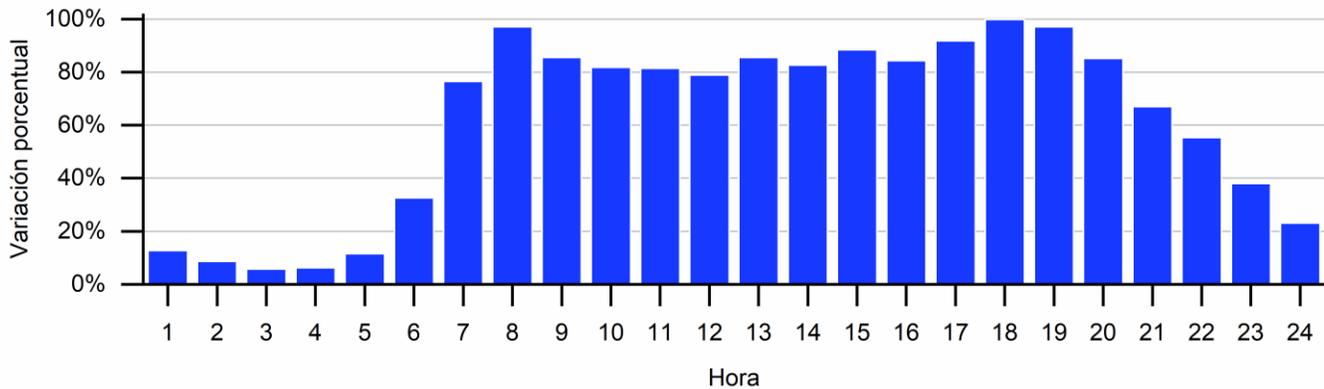


Figura 2.16. Variación de volumen de vehículos. Fuente: Análisis integral de la red de infraestructura vial para la movilidad motorizada en el municipio de Santiago de Cali.

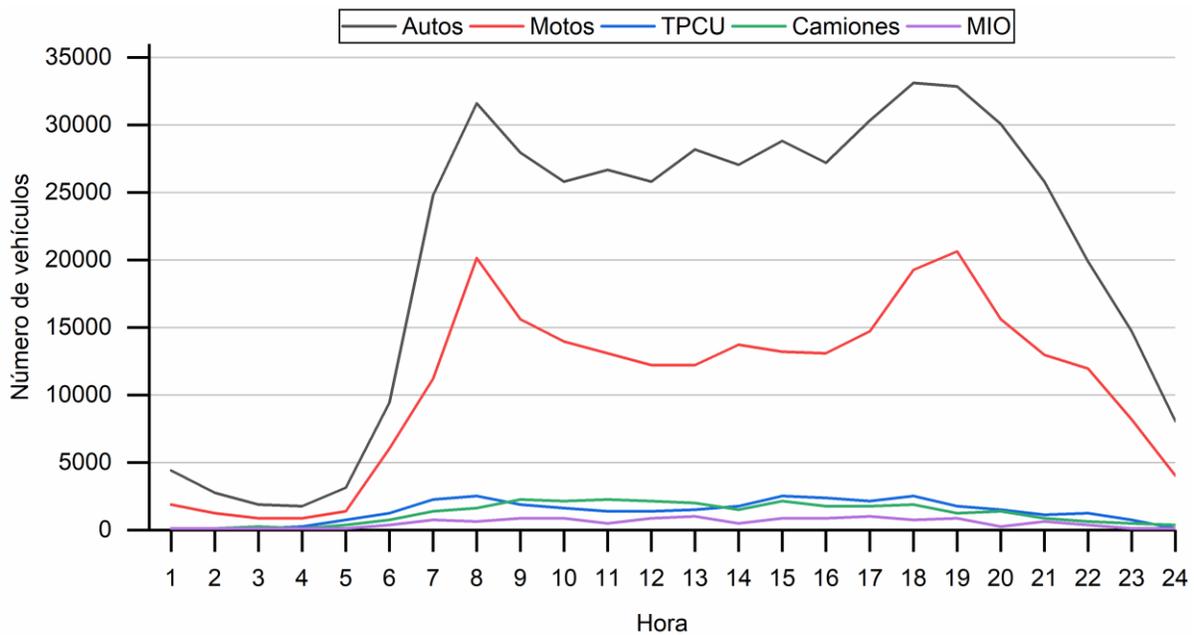


Figura 2.17. Comportamiento de vehículos por franja horaria. Fuente: Plan integral de movilidad de Santiago de Cali.

Del estudio de la intensidad de los volúmenes de vehículos motorizados, se evidencia un volumen vehicular predominante (horas pico) de la siguiente forma:

- Hora pico mañana: 7:15 – 8:15
- Hora pico medio día: 12:00 – 13:00
- Hora pico tarde: 17:45 – 18:45

Teniendo en cuenta el decreto de pico y placa y el plan integral de movilidad de Santiago de Cali, se presenta en la Tabla 2. 9 las franjas horarias de la medición en ruta de vehículos.

Tabla 2. 9. Horarios propuestos para pruebas en Cali

| Intervalo | Hora | Observaciones |
|-----------|---------------|------------------|
| 1 | 5:00 a 6:00 | Sin pico y placa |
| 2 | 7:15 a 8:15 | Con pico y placa |
| 3 | 12:00 a 13:00 | Sin pico y placa |
| 4 | 14:00 a 15:00 | Sin pico y placa |
| 5 | 17:45 a 18:45 | Con pico y placa |

2.3.3. Análisis de información origen-destino

Para determinar o seleccionar las rutas de medición de hace necesario la selección de lugares de partida y llegada característicos de los diferentes vehículos usados como medio de transporte en la ciudad. Por tanto, para este propósito se usa la encuesta de movilidad realizada para Metro Cali S.A., donde se evalúa los orígenes y destinos típicos de las personas de la ciudad.

La Figura 2.18 presenta los resultados de la encuesta origen-destino del área metropolitana de Cali, tanto para uso del servicio público (MIO, TPCU, servicio intermunicipal, mototaxi) como del servicio individual (automóvil, motocicleta, taxi, bicicleta y taxi blanco). En la encuesta se destaca la importancia que tiene el centro de Cali, lugar donde se inicia el 7% de los viajes de transporte público, también se destacan Cañaveralejo, sector salud, Menga, Chipichape y la urbanización San Joaquín (ver Figura 2.18.a). Mientras que el origen en transporte individual (Figura 2.18.c) parte principalmente del centro y suroccidente de Cali, pero también se destaca el norte de Cali (Menga y Chiminangos) y Palmira. La Figura 2.18.b presenta la intensidad de los destinos del servicio público, destacándose como finalizadores de viajes el centro y suroccidente de la ciudad (sector salud y Tequendama), seguidos por los sectores del sur de Cali. Mientras que los destinos del servicio individual (Figura 2.18.d) presentan un comportamiento similar a los orígenes.

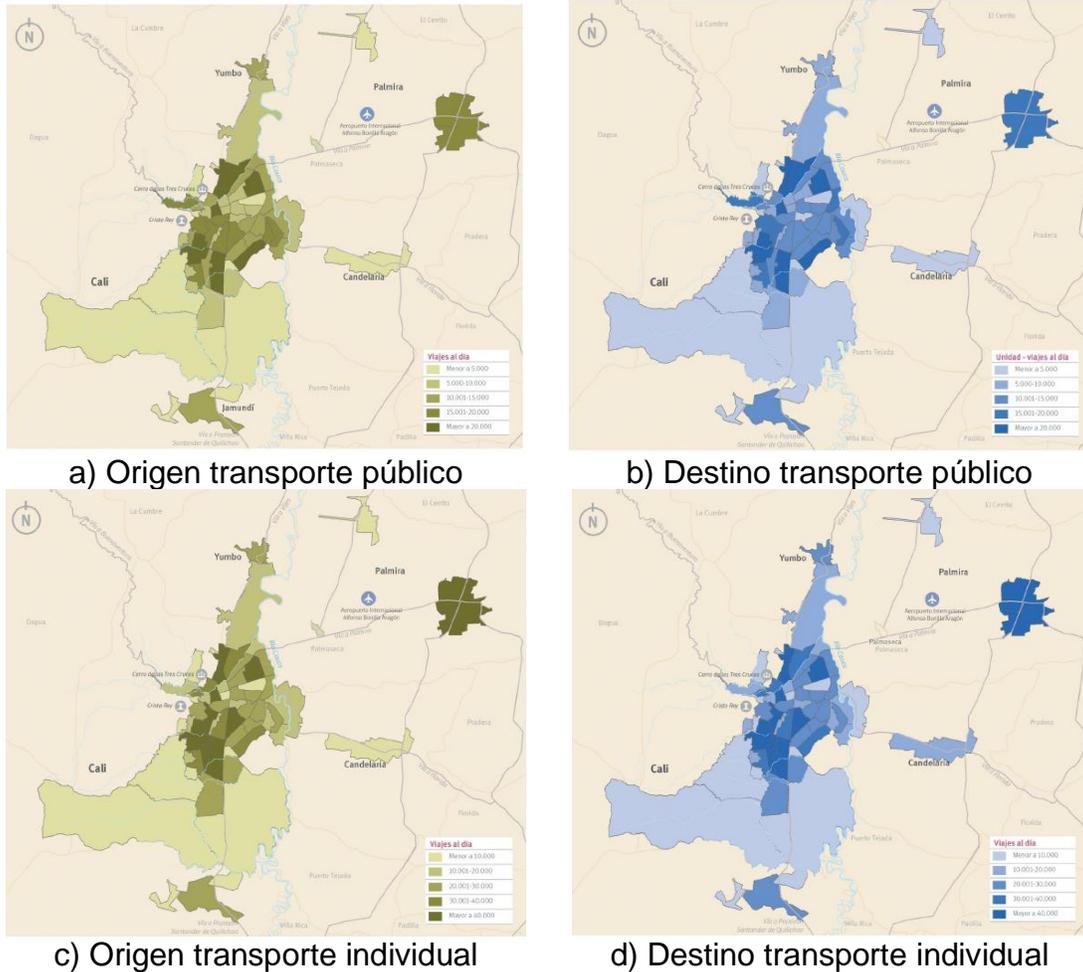


Figura 2.18. Mapas de calor origen-destino. Fuente: Encuesta de movilidad de Cali.

Teniendo en cuenta, la encuesta de movilidad de Cali se presentan los orígenes y destinos que se tendrán en cuenta para pruebas en ruta, debido a la gran afluencia que estos tienen en la ciudad (ver Tabla 2.10). De igual manera se incluyen zonas de los municipios alrededor de Cali.

Tabla 2.10. Propuesta origen-destino de pruebas en ruta Cali.

| Orígenes | Destino |
|-----------------------------|--------------------------|
| Centro de Cali | Centro de Cali |
| Cañaveralejo | Sector salud |
| Sector salud | Tequendama |
| Menga | Urbanización San Joaquin |
| Chipichape | Menga |
| Urbanización San Joaquin | Chipichape |
| Chiminagos | Chiminagos |
| Parque principal Palmira | Parque principal Palmira |
| Parque principal Jamundí | |
| Parque principal Yumbo | |
| Parque principal Candelaria | |

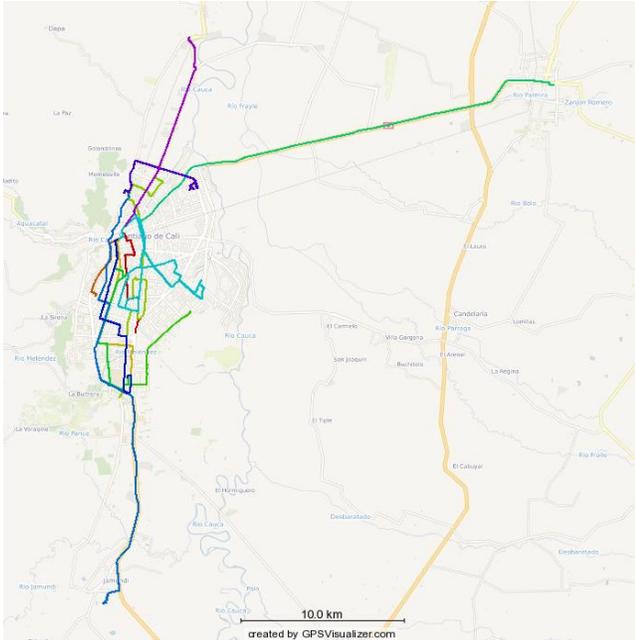
2.3.4. Rutas seleccionadas

La Tabla 2.11 presenta las rutas seleccionadas para las mediciones en vehículos y motocicletas en la ciudad de Cali y sus alrededores. Estas rutas son seleccionadas en concordancia al Plan Integral de movilidad del 2018 y a los efectos de movilidad estudiados en la ciudad, tales como el comportamiento horario como restricciones de pico y placa.

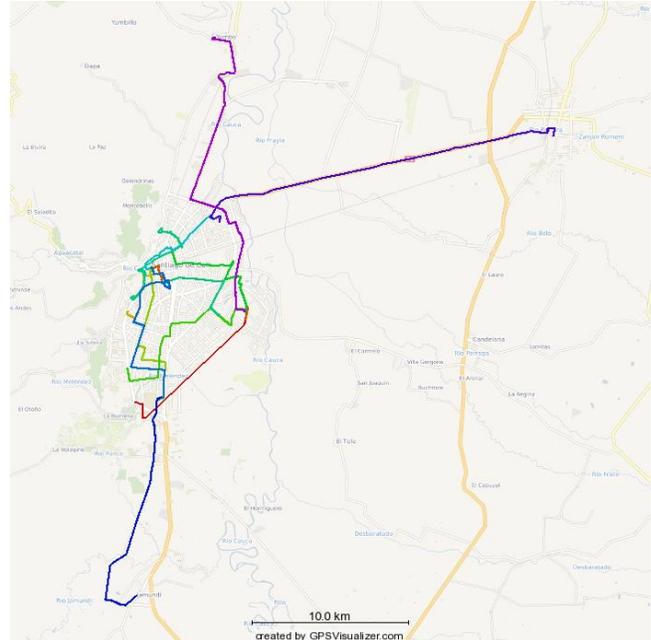
Tabla 2.11. Rutas seleccionadas para mediciones en Bogotá

| Ciudad | Ruta seleccionada |
|---------------|----------------------------------------------|
| Cali | Plaza de Caycedo (Centro Cali) - Tequendama |
| | Plaza de Caycedo (Centro Cali) - San Joaquin |
| | Menga - Plaza de Caycedo (Centro Cali) |
| | Chiminangos - Plaza de Caycedo (Centro Cali) |
| Palmira | Parque Bolivar (Palmira) - Chiminangos |
| | Chiminangos Parque - Bolivar (Palmira) |
| Yumbo | Parque Belalcazar (Yumbo) - Menga |
| Jamundí | Parque principal Jamundí - San Joaquin |

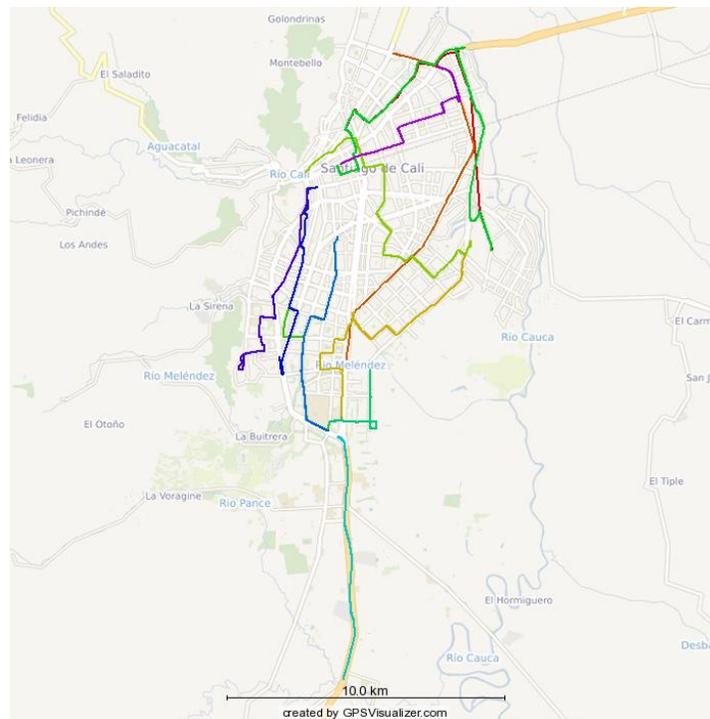
Las rutas mencionadas en la Tabla 2.11 se pueden evidenciar gráficamente en la Figura 2.19, donde se evidencian también las calles y direcciones que se tomaron para realizar las pruebas en vía. La Figura 2.19.a y la Figura 2.19.b presentan las rutas hechas en el presente estudio para vehículos livianos y motocicletas, respectivamente. Mientras que la Figura 2.19.c muestra las rutas hechas en autobuses, se debe aclarar que esta prueba se realiza en autobuses públicos cubriendo sus rutas habituales de la ciudad.



a) Rutas vehículos livianos



b) Rutas motocicletas



c) Rutas autobuses

Figura 2.19. Rutas realizadas en pruebas en Cali y alrededores.

2.4. Barranquilla

2.4.1. Número de viajes

Según aforos vehículos se tiene que se realizan 2.2 millones de viajes en Barranquilla y Soledad (segundo municipio de mayor interacción), ver Tabla 2.12. Por tanto, se tiene que la población de la zona metropolitana de Barranquilla realiza aproximadamente 1.4 viajes por habitante al día.

Tabla 2.12. Estimación del número de viajes en Barranquilla.

| | Motorizados | Privados | Públicos | No motorizados |
|----------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Viajes Barranquilla | 1.057.095 | 171.216 | 885.879 | 474.206 |
| Viajes Soledad | 456.907 | 39.669 | 417.237 | 218.508 |
| Viajes totales | 1.514.002 | 210.885 | 1.303.116 | 692.714 |

La Tabla 2.13 muestra que en Barranquilla la mayoría de los viajes son interzonales, mientras que en Soledad son externos. Esto indica que el movimiento de viajeros de los municipios de los alrededores se dirige hacia la ciudad de Barranquilla, como epicentro comercial.

Tabla 2.13. Zonificación de los viajes de Barranquilla y Soledad

| | Intrazonales | Interzonales | Externos |
|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Viajes Barranquilla | 262.367 | 1.158.281 | 110.793 |
| Viajes Soledad | 121.538 | 180.135 | 373.946 |
| Viajes totales | 383.905 | 1.338.416 | 484.739 |

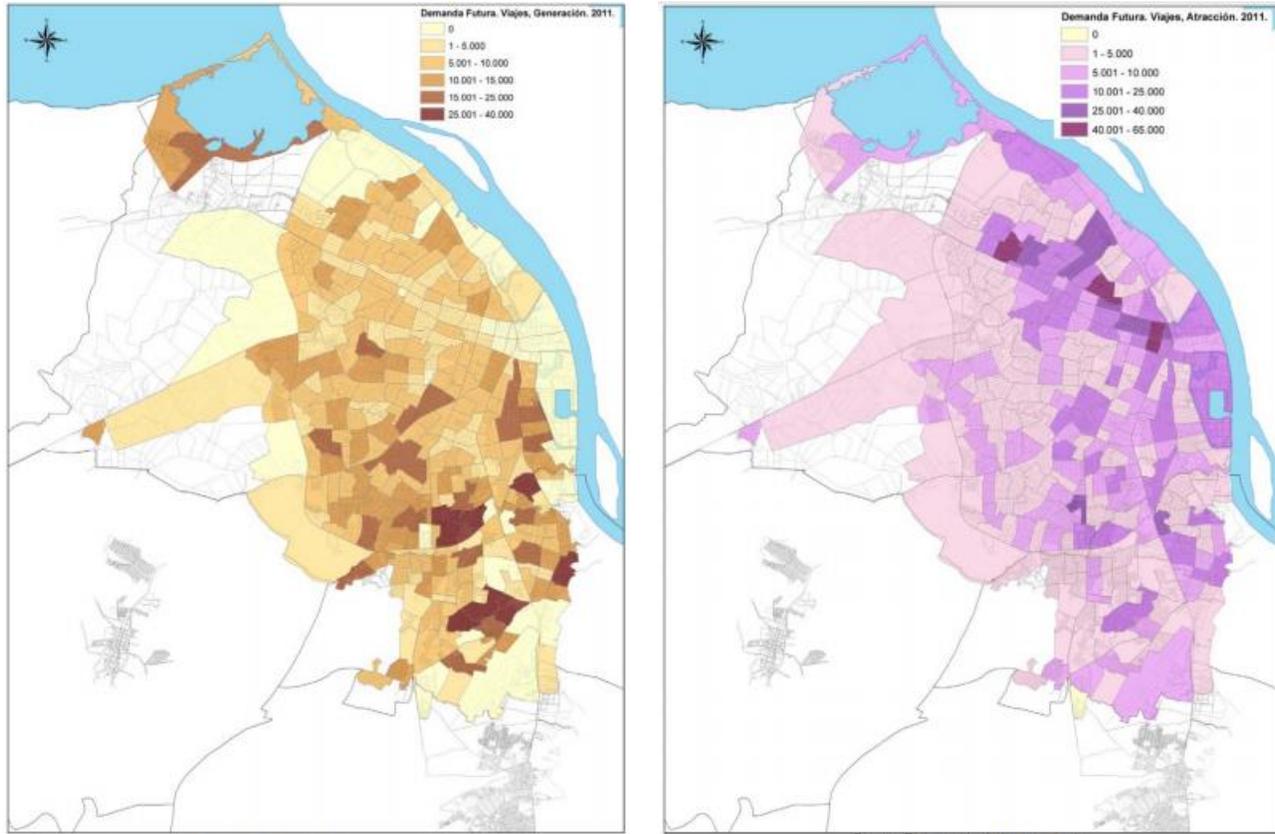
2.4.2. Franjas horarias

La ciudad de Barranquilla cuenta con la medida de pico y placa solo para el sistema de taxis, por tanto, esta medida no se tiene en cuenta para tomar decisiones respecto a los horarios en los que se van a realizar mediciones de vehículos en ruta. Para esto, se considera los efectos de la movilidad de Barranquilla, basada en la investigación y conocimiento de dos investigadores radicados en la ciudad, que han evaluado diferentes condiciones de ella en estos aspectos. Los investigadores son el Dr. Lesmes Antonio Corredor Martínez y el Dr. Victor Manuel Cantillo Maza. Dicho esto, los horarios en los que se realizaron mediciones son presentados en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14. Intervalos de horas seleccionadas.

| Intervalo | Hora | Observación |
|------------------|---------------|--------------------|
| 1 | 6:00 a 7:00 | Baja circulación |
| 2 | 7:00 a 8:00 | Pico mañana |
| 3 | 11:30 a 12:30 | Pico medio día |
| 4 | 15:00 a 16:00 | Baja circulación |
| 5 | 17:00 a 18:00 | Pico tarde |

2.4.3. Análisis de información origen-destino



a) Origen viajes Barranquilla

b) Destino viajes Barranquilla

Figura 2.20. Mapas de calor origen-destino. Fuente: Plan Maestro Distrito Barranquilla.

En la evaluación de la encuesta de movilidad a hogares de Barranquilla y Soledad realizada para el desarrollo de la formulación del Plan Maestro del Distrito de Barranquilla del 2012 se encontraron los mapas de calor que corresponde al distrito de Barranquilla y sus municipios de sus alrededores (ver Figura 2.20). La Figura 2.20.a presenta el mapa de calor de los orígenes de viajes en Barranquilla, mientras que la Figura 2.20.b presenta el mapa de los destinos. El origen de los viajes de Barranquilla nace principalmente en el sur de la ciudad y su principal destino es la zona nororiental. Adicionalmente se observa una gran afluencia con los municipios de Soledad y Puerto Colombia.

Con la información del Plan Maestro del Distrito de Barranquilla y análisis de los investigadores mencionados, ya que con el crecimiento de la ciudad se debería rectificar y actualizar datos en movilidad y posicionamiento, por el crecimiento estructural y físico. Por tanto, en la Tabla 2.15 se presentan la combinación de orígenes y destinos propuestos.

Tabla 2.15. Propuesta origen-destino de pruebas en ruta Barranquilla

| Orígenes | Destinos |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Parque principal de Soledad | C.C. Buenavista |
| Parque principal Puerto Colombia | Portal del Prado |
| C.C. Gran Plaza del Sol | Puerto Barranquilla y Zona Franca |
| C.C. Metro Centro | Universidad del Norte |
| Puerto Barranquilla y Zona Franca | C.C. Metro Centro |
| Estadio Metropolitano | |

2.4.4. Rutas seleccionadas

La Tabla 2.16 presenta las rutas seleccionadas para las mediciones en vehículos y motocicletas en la ciudad de Barranquilla y sus alrededores. Estas rutas son seleccionadas en concordancia al Plan Maestro del Distrito de Barranquilla y a los efectos de movilidad estudiados en la ciudad.

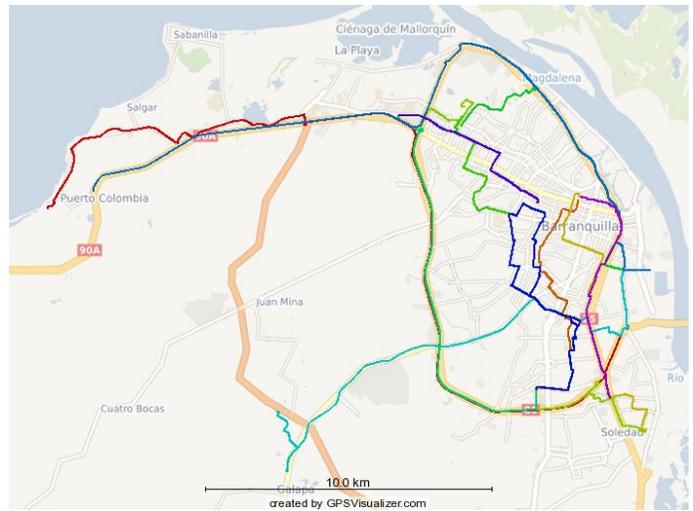
Tabla 2.16. Rutas seleccionadas para mediciones en Barranquilla

| Ciudad | Rutas seleccionadas para la medición |
|-----------------|--------------------------------------------------------------|
| Barranquilla | Puerto Barranquilla y Zona Franca - C.C. Buenavista |
| | C.C. Gran Plaza del Sol - Portal del Prado |
| | Estadio Metropolitano - Universidad del Norte |
| | Estadio Metropolitano - Portal del Prado |
| Soledad | Parque Monumento a la Madre (Soledad) - Portal del Prado |
| Puerto Colombia | Hospital Puerto Colombia - Puerto Barranquilla y Zona Franca |

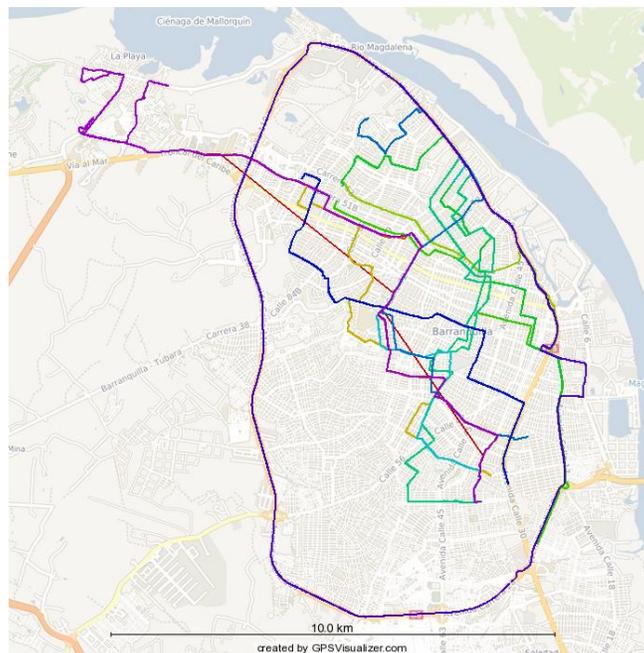
Las rutas mencionadas en la Tabla 2.16 se pueden evidenciar gráficamente en la Figura 21, donde se evidencian también las calles y direcciones que se tomaron para realizar las pruebas en vía. La Figura 21.a y la Figura 21.b presentan las rutas hechas en el presente estudio para vehículos livianos y motocicletas, respectivamente. Mientras que la Figura 21.c muestra las rutas hechas en autobuses, se debe aclarar que esta prueba se realiza en autobuses públicos cubriendo sus rutas habituales de la ciudad.



a) Rutas vehículos livianos



b) Rutas motocicletas

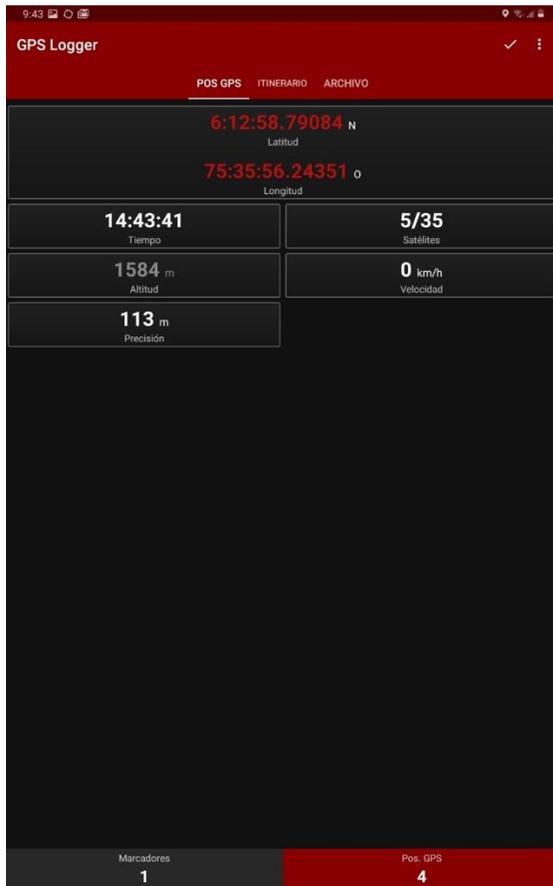


c) Rutas autobuses

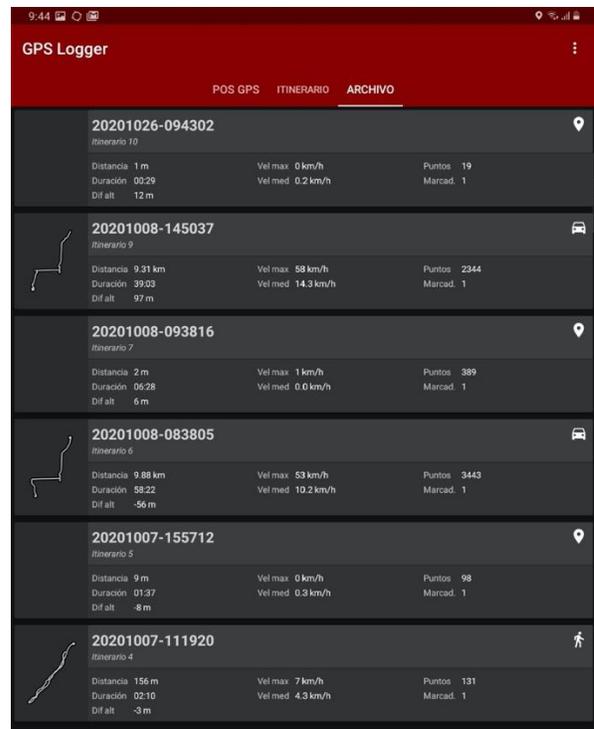
Figura 2.21. Rutas realizadas en pruebas en Barranquilla.

2.5. Registro de datos en ruta en las ciudades

El registro y recolección de datos de las pruebas realizadas en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla se hizo a través de la aplicación GPS Logger. Dicho aplicativo es una herramienta gratuita con posibilidad de instalarse en dispositivos con sistema operativo Android. Para obtener registros, solo es necesario que se haya iniciado la ejecución de una nueva prueba en la aplicación y que el dispositivo de medición (celular o tablet) este dentro del vehículo. Figura 2.22.a presenta el funcionamiento de la aplicación mientras se esta realizando una medición, mientras que la Figura 2.22.b muestra el sistema de archivos generados en los que ya se han terminado pruebas, también se evidencia que el sistema gráfica la topología de la ruta desarrollada.



a) Aplicación en medición



b) Sistema de archivos generados

Figura 2.22. Aplicación GPS Logger para pruebas en ruta de vehículos.

Posteriormente, para el procesamiento de la información, es necesario descargar los archivos generados en la aplicación. Estos archivos están en formato de texto (.txt) en el sistema de archivos del dispositivo en la carpeta creada automáticamente por la aplicación. El archivo de texto generado contiene la siguiente información: tiempo, latitud, longitud, exactitud, altitud, velocidad, entre otras.

2.6. Datos de movilidad de transporte de carga inter-urbano

La empresa LAP Technologies, de la organización empresarial EQUITEL, aportó al proyecto datos de movilidad con datos segundo a segundo de velocidad del vehículo. Se contó con mediciones de movilidad durante el último trimestre del año 2019 (antes de la pandemia) para 15 vehículos de transporte de carga (camiones y tractocamiones), transitando por los principales corredores viales del país. En la Figura 2.23 se presentan las rutas recorridas por estos vehículos, evidenciando que se cubren las poblaciones con más número de habitantes de la nación, así como una amplia variedad de altitudes sobre el nivel del mar, y de pendiente de vías.



Figura 2.23. Rutas con datos de movilidad para vehículos de carga.

En la Tabla 2.17 se presenta información sobre los tipos de vehículos de carga (VC), así como la cantidad de segundos medidos en cada uno de ellos.

Tabla 2.17. Tipos de vehículos y cantidad de segundos medidos

| Identificación | Tipo de vehículo | Datos originales [s] |
|----------------|-------------------------------------|----------------------|
| VC 1 | Camión Furgon | 175.488 |
| VC 2 | Camión Articulado | 604.641 |
| VC 3 | Camión Articulado | 238.586 |
| VC 4 | Tractocamión Dobletroque Articulado | 116.240 |
| VC 5 | Camión Articulado | 590.162 |
| VC 6 | Camión Articulado | 604.800 |
| VC 7 | Tractocamión Dobletroque Articulado | 221.503 |
| VC 8 | Camión Articulado | 318.099 |
| VC 9 | Camión Furgon | 311.904 |
| VC 10 | Tractocamión Dobletroque Articulado | 259.439 |
| VC 11 | Tractocamión Dobletroque Articulado | 210.129 |
| VC 12 | Camión Articulado | 245.047 |
| VC 13 | Camión Rígido | 421.479 |
| VC 14 | Camión Rígido | 304.079 |
| VC 15 | Tractocamión Dobletroque Articulado | 323.227 |
| Total | | 4.944.823 |

Se procesaron finalmente cerca de 4 millones de segundos de medición depurados. Esta información se obtuvo a través de la plataforma *Ártimo*, de *LAP Technologies*. Para cada segundo se tenían la velocidad del camión/tractocamión, y el régimen de giro del motor (rpm). Por lo tanto, se contó con alrededor de 8 millones de datos brutos usados para sintetizar los ciclos de conducción de vehículos de carga para Colombia.

REFERENCIAS

- Articulación Universidad-Empresa-Estado para establecer los factores de emisión reales de fuentes móviles en el Valle de Aburrá – FEVA. *Protocolo para construir los ciclos de conducción de vehículos livianos y motocicletas para el Valle de Aburrá*. Universidad de Antioquia (2017).
- Área Metropolitana del Valle de Aburra. *Encuesta de Movilidad: Origen y destino 2017, Marco teórico y metodológico*. Medellín (2019).
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Resultados de la encuesta de movilidad de Bogotá y municipios vecinos 2019. Bogotá D.C (2019).
- Departamento administrativo de planeación municipal (DAPM) y Universidad del Valle. *Análisis integral de la red de infraestructura vial para la movilidad motorizada en el municipio de Cali*. Santiago de Cali (2015).
- Departamento administrativo de planeación municipal (DAPM). *Plan integral de movilidad urbana de Santiago de Cali – Visión 2030*. Santiago de Cali (2018).
- Metro Cali S.A. *Indicadores Encuesta de Movilidad*. Santiago de Cali (2015)
- Consortio TPD-EPYPSA. Formulación del Plan Maestro de Movilidad del Distrito de Barranquilla. Barranquilla (2012).

CAPÍTULO 3

**CICLOS DE CONDUCCIÓN REPRESENTATIVOS PARA EL PAÍS
POR CATEGORÍA VEHICULAR: MOTOCICLETAS, VEHÍCULOS
LIVIANOS, BUSES, CAMIONES Y TRACTOCAMIONES**

Contenido

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. Ciclos de conducción representativos para el país por categoría vehicular: motocicletas, vehículos livianos, buses, camiones y tractocamiones | 89 |
| 3.1. Metodología adoptada para el desarrollo de los ciclos de conducción | 89 |
| 3.2. Procesamiento de datos medidos en rutas definidas y en persecución | 92 |
| 3.3. Ciclo de conducción de Motocicletas en Colombia | 100 |
| 3.4. Ciclo de conducción de Vehículos livianos en Colombia | 101 |
| 3.5. Ciclo de conducción de Buses en Colombia..... | 102 |
| 3.6. Ciclo de conducción de Camiones en Colombia..... | 103 |
| 3.7. Ciclo de conducción de Tractocamiones en Colombia | 104 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 3.1. Variables consideradas | 91 |
| Tabla 3.2. Cantidad de microviajes medidos | 91 |
| Tabla 3.3. Variables resultantes después del análisis descriptivo | 95 |
| Tabla 3.4. Registros por categoría sin datos extremos y sin NAs | 96 |
| Tabla 3.5. Registros por categoría sin datos extremos y sin NAs | 96 |
| Tabla 3.6. Principales cruces entre variables | 97 |
| Tabla 3.7. Patrones generados por categoría vehicular | 99 |
| Tabla 3.8. Parámetros relevantes de los ciclos de conducción del país | 99 |
| Tabla 3.9. Parámetros característicos del ciclo de conducción de motocicletas en Colombia | 100 |
| Tabla 3.10. Parámetros característicos del ciclo de conducción de vehículos livianos en Colombia | 101 |
| Tabla 3.11. Parámetros característicos del ciclo de conducción de buses en Colombia..... | 102 |
| Tabla 3.12. Parámetros característicos del ciclo de conducción de camiones en Colombia.. | 103 |
| Tabla 3.13. Parámetros característicos del ciclo de conducción de tractocamiones en Colombia | 104 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 3.1. Diagrama de flujo para la selección de componentes principales | 89 |
| Figura 3.2. Metodología selección de ciclo característico basado en micro-viajes..... | 90 |
| Figura 3.3. Diagrama de cajas para la velocidad promedio en movimiento según regiones | 92 |
| Figura 3.4. Perfil de velocidad contra tiempo de un viaje, y la división en micro-viajes. (Fuente: A reference book for use in the measurement of road vehicle emissions). | 93 |
| Figura 3.5. Matriz de correlaciones de variables para buses | 95 |
| Figura 3.6.. diagramas de dispersión de los clústeres para síntesis del ciclo | 98 |
| Figura 3.7..Ciclo de conducción de motocicletas en Colombia | 100 |
| Figura 3.8.. Ciclo de conducción de vehículos livianos en Colombia | 101 |
| Figura 3.9.. Ciclo de conducción de buses en Colombia | 102 |
| Figura 3.10.. Ciclo de conducción de camiones en Colombia..... | 103 |
| Figura 3.11.. Ciclo de conducción de tractocamiones en Colombia..... | 104 |

3. CICLOS DE CONDUCCIÓN REPRESENTATIVOS PARA EL PAÍS POR CATEGORÍA VEHICULAR: MOTOCICLETAS, VEHÍCULOS LIVIANOS, BUSES, CAMIONES Y TRACTOCAMIONES

3.1. Metodología adoptada para el desarrollo de los ciclos de conducción

La metodología usada para sintetizar el ciclo aplicable a Colombia se puede observar en las Figuras 3.1 y 3.2. La Figura 3.1 hace referencia a la disminución de dimensión a través de la técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA) y la Figura 3.2 muestra cómo después de obtener el número de PCA que logra explicar la variabilidad de los parámetros asociadas a las mediciones se hace un Análisis de Clúster, para lograr encontrar aquella combinación de micro-viajes que logra sintetizar el Ciclo de Conducción por cada categoría vehicular para Colombia.

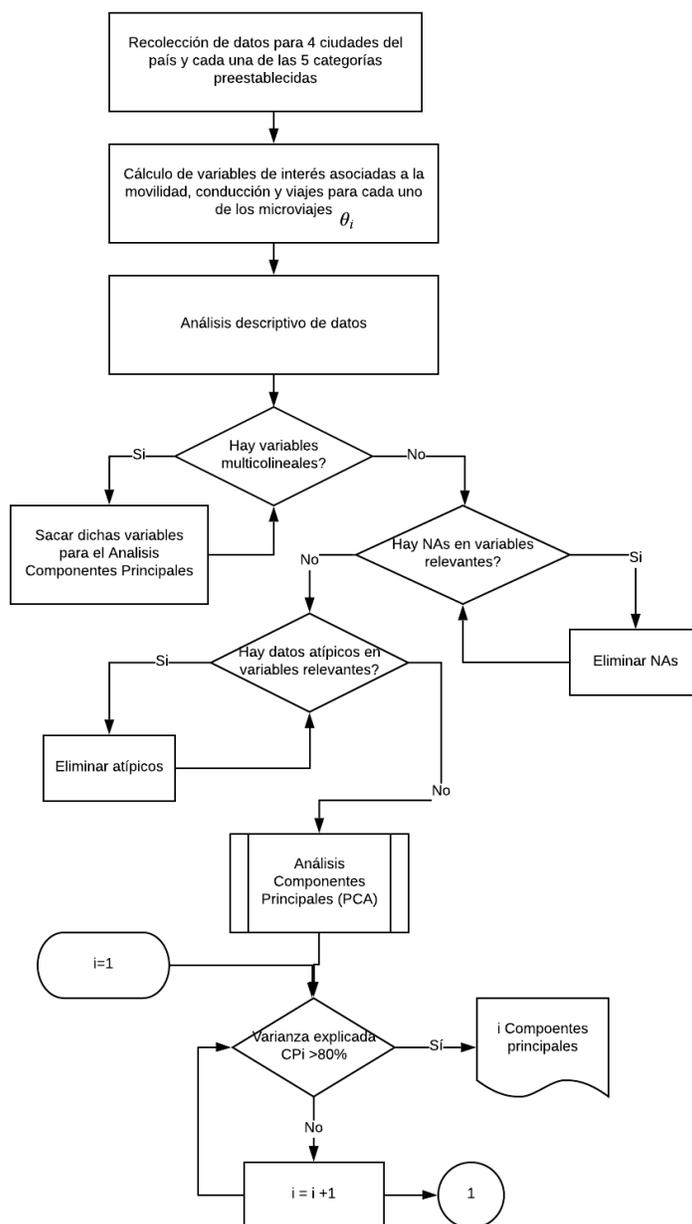


Figura 3.1. Diagrama de flujo para la selección de componentes principales

El proceso inicia recolectando los datos en cuatro centros urbanos: dos áreas metropolitanas 1) Barranquilla (AMBQ) y 2) Medellín (AMVA), así como dos ciudades principales con sus principales ciudades satélites 3) Cali y 4) Bogotá D.C. Las mediciones se realizaron para cinco categorías: 1) Motocicletas, 2) Automóviles Livianos, 3) Buses, 4) Camiones y, 5) Tracto camiones. La metodología finaliza con la síntesis de los ciclos de conducción para Colombia.

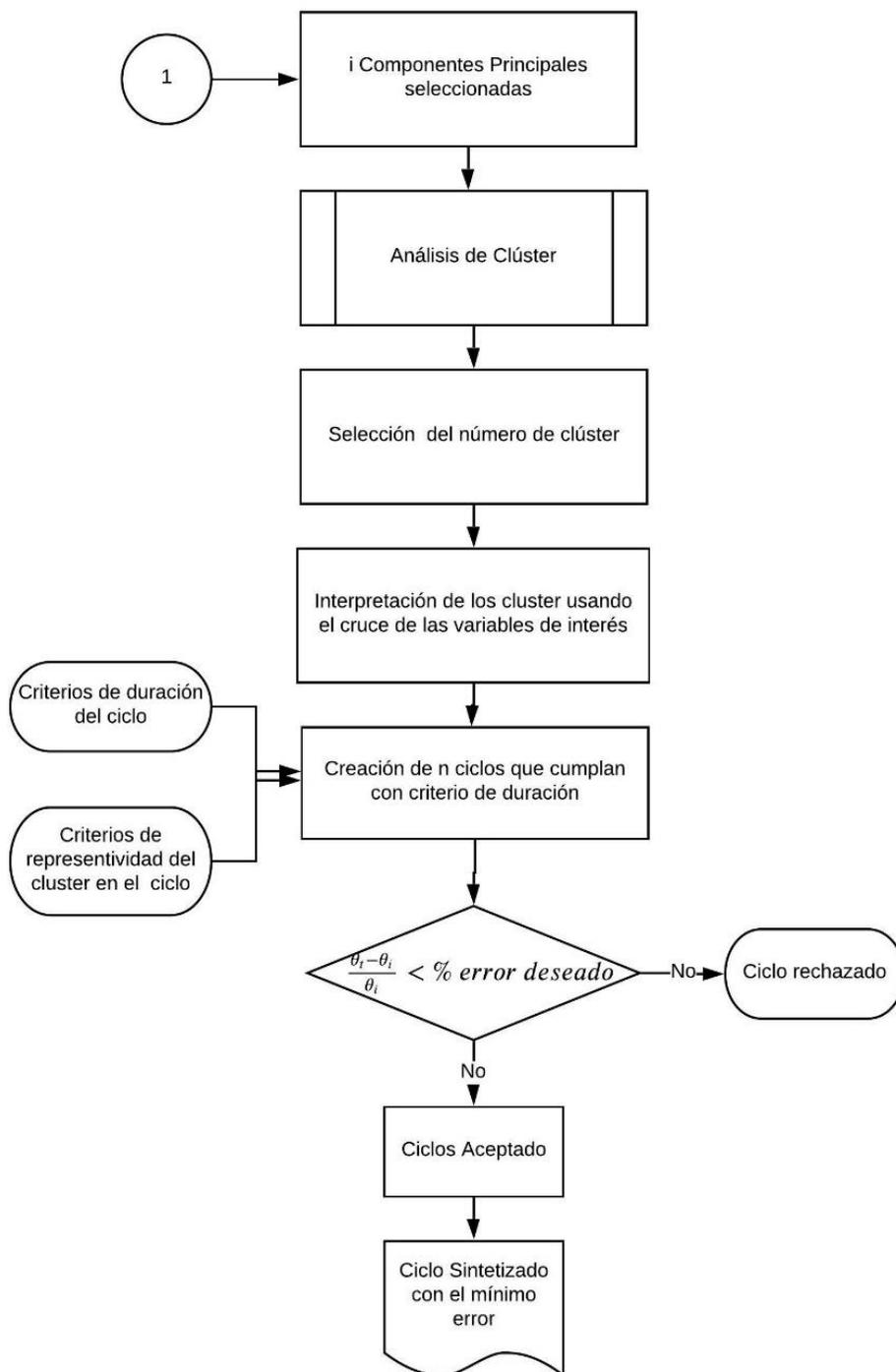


Figura 3.2. Metodología selección de ciclo característico basado en micro-viajes

Analizando en detalle la Figura 3.1 *Figura 3.1*, se observa que, posterior a la recolección de datos fue necesario realizar el cálculo de las variables asociadas a los parámetros de conducción del vehículo, resultando **26 variables** a considerar para las categorías de Motocicletas, Automóviles livianos y Buses (Tabla 3.1). La ciudad de la cual provienen los datos es identificada en la última variable y es llamada *Región*.

Tabla 3.1. Variables consideradas

| |
|---------------------------------------------------|
| Micro-viaje |
| Velocidad Promedio (km/h) |
| Velocidad Promedio en movimiento (km/h) |
| Aceleración positiva promedio (m/s ²) |
| Deceleración promedio (m/s ²) |
| Duración (s) |
| Distancia recorrida (Km) |
| Proporción tiempo ralenti (%) |
| Proporción tiempo aceleración (%) |
| Proporción tiempo velocidad crucero (%) |
| Proporción tiempo creeping (%) |
| Proporción tiempo deceleración (%) |
| Número de cambios aceleración/Deceleración |
| Aceleración rms (m/s ²) |
| PKE (m/s ²) |
| Proporción tiempo pendiente mayor o igual a -20% |
| Proporción tiempo pendiente -20 a -15% |
| Proporción tiempo pendiente -15 a -10% |
| Proporción tiempo pendiente -10 a -5% |
| Proporción tiempo pendiente -5% a -0 |
| Proporción tiempo pendiente 0 a 5% |
| Proporción tiempo pendiente 5 a 10% |
| Proporción tiempo pendiente 10 a 15% |
| Proporción tiempo pendiente 15 a 20% |
| Proporción tiempo pendiente mayor o igual a 20% |
| Región |

Cada parámetro fue reportado para los *n* micro-viajes, resultando *n* registros en la base de datos. La cantidad de micro-viajes totalizado, se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Cantidad de microviajes medidos

| Categoría vehicular | Total de micro-viajes |
|----------------------------|------------------------------|
| Motocicleta | 8805 |
| Automóviles livianos | 11833 |
| Buses | 8378 |
| Camiones | 5533 |
| Tractocamiones | 6455 |

El análisis descriptivo de datos se realizan análisis univariados. Se puede verificar que el comportamiento de las diferentes variables por regiones muestra resultados similares. En este análisis se realizan, principalmente, diagramas de cajas y bigotes segmentados por región, como el presentado en la Figura 3.3 *Figura 3.3*, a modo de ejemplo.

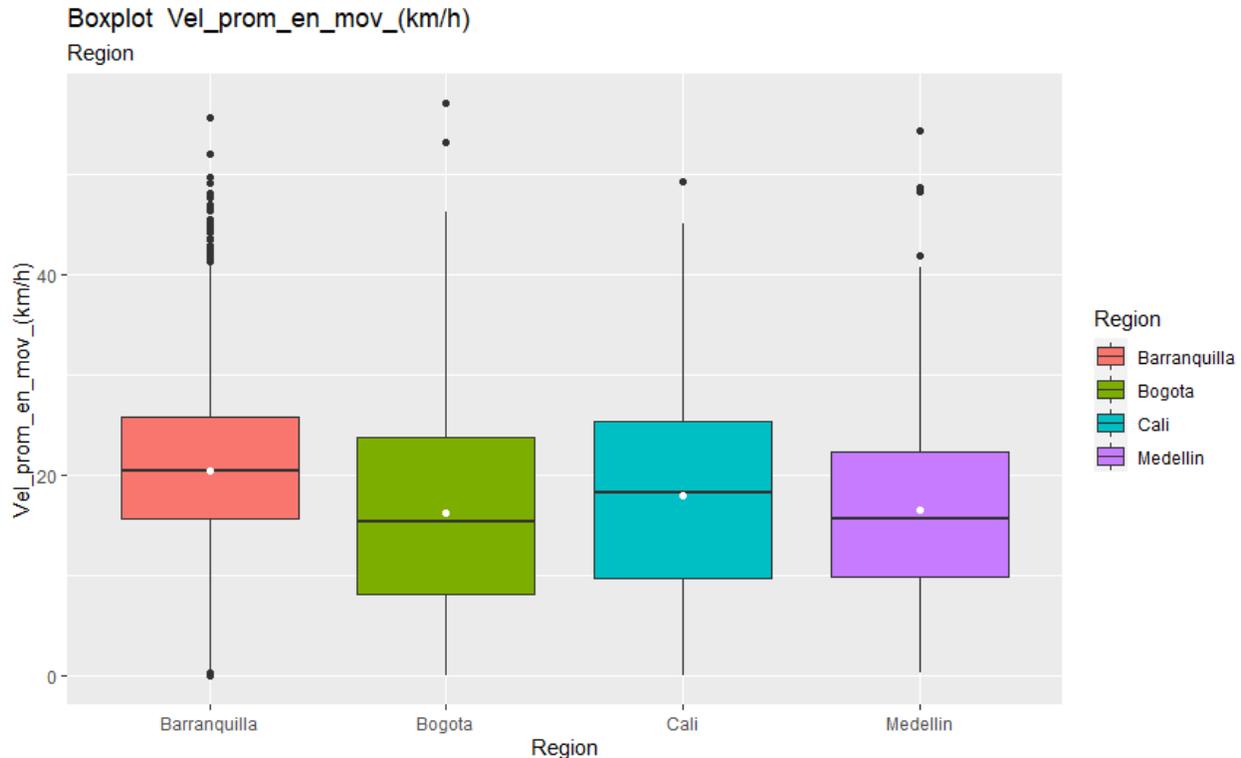


Figura 3.3. Diagrama de cajas para la velocidad promedio en movimiento según regiones

3.2. Procesamiento de datos medidos en rutas definidas y en persecución

Durante la medición en ruta, tanto en la modalidad conducción libre como en la modalidad persecución, se registró la ubicación, la velocidad, la hora, así como la altura sobre el nivel del mar mediante tecnología GPS, con una frecuencia de 1 Hz.

A partir de esta información, se aplicó un filtro para suavizar el perfil de velocidad-tiempo con el fin de disminuir el efecto del ruido que puede derivarse de la precisión característica del sistema GPS, posteriormente, se derivan los perfiles de aceleración y pendiente [%], este segundo, con ayuda de la base de datos de perfil topográfico de acceso público de la NASA “*Shuttle Radar Topography Mission*” para mejorar la calidad de los datos y obtener valores de pendiente más cercanos a los reales.

Para analizar los datos recolectados y caracterizar la movilidad en zonas urbanas y carreteras, se aplica la metodología de micro-viajes; Un micro-viaje está definido como la sección de la curva de velocidad contra tiempo generado por el vehículo de pruebas en un fragmento de viaje entre dos detenciones del vehículo.

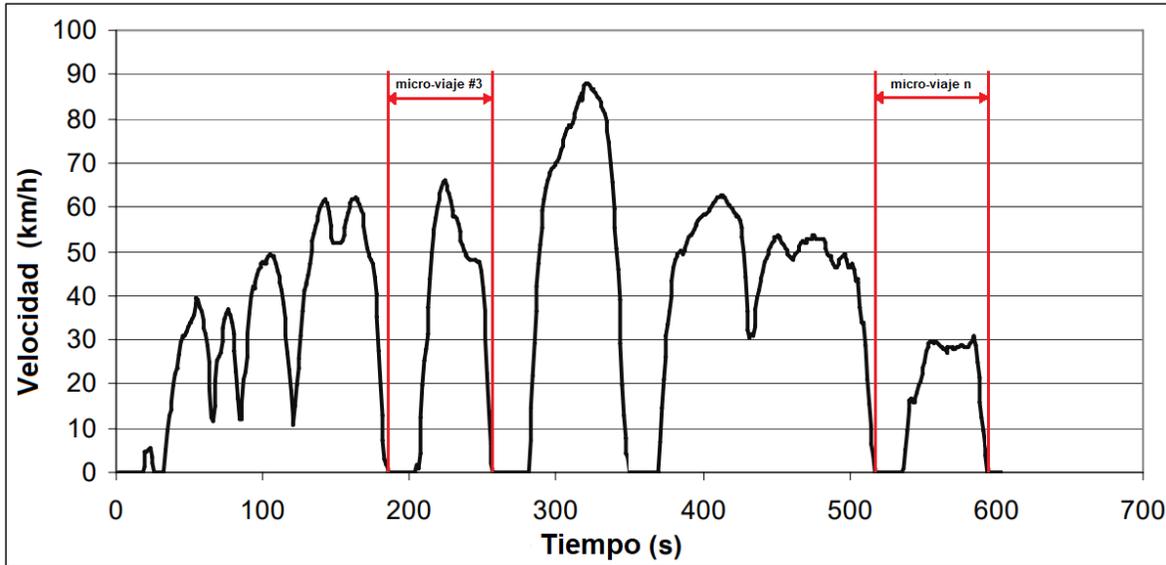


Figura 3.4. Perfil de velocidad contra tiempo de un viaje, y la división en micro-viajes. (Fuente: A reference book for use in the measurement of road vehicle emissions).

Cada tramo medido se divide en la cantidad de micro-viajes que lo componen, así se procede al cálculo de parámetros cinemáticos que caracterizan cada micro viaje y con estos realizar el análisis estadístico, la sintetización y la posterior comparación entre los micro-viajes provenientes de las pruebas y el ciclo de conducción sintetizado.

Métodos existentes para la generación de ciclos de conducción alrededor del mundo usan diferentes parámetros para la caracterización de los micro-viajes; la metodología usada reúne parámetros de múltiples métodos para después del análisis de correlación entre estos, determinar la importancia de los parámetros para la caracterización de los micro-viajes y en la sintetización del ciclo de conducción.

Para cada micro-viaje se calculan los siguientes 13 parámetros cinemáticos y, a su vez, se determinan las proporciones de tiempo de cada micro-viaje en el que el vehículo se desplazó por trayectos en diferentes rangos de pendientes.

1. **Velocidad promedio:** Velocidad media medida en toda la duración del micro-viaje.
2. **Velocidad promedio en movimiento:** Velocidad promedio de los valores de velocidad medidos en el periodo en el que el vehículo estaba en movimiento.
3. **Aceleración promedio:** Media de los valores positivos de cambio de velocidad respecto al tiempo en el micro-viaje.
4. **Desaceleración promedio:** Media de los valores negativos de cambio de velocidad respecto al tiempo en el micro-viaje.
5. **Duración del micro-viaje:** Tiempo en segundos entre dos consecutivas detenciones del vehículo.

6. Proporción del tiempo en ralentí: El tiempo en ralentí es determinado como el periodo en el que el vehículo ese encuentra detenido y con aceleraciones menores a 0.1 m/s²

7. Proporción del tiempo en aceleración: Se definen como periodos de aceleración, los fragmentos del micro-viaje en los cuales la razón de cambio de la velocidad es mayor a 0.1m/s²

8. Proporción del tiempo en crucero: El tiempo en crucero se entiende como el periodo en el que el vehículo viaja a velocidades constantes mayores a 10 km/h

9. Proporción del tiempo en *creeping*: *Creeping* se define como la condición en la que el vehículo se desplaza a velocidades bajas (menores a 10 km/h) y no corresponde a un periodo de aceleración característico del arranque desde una detención. (Accionamiento obligatorio del embrague en vehículos con caja de cambios manual para evitar el paro repentino o de la reducción accidental de la velocidad del motor).

10. Proporción del tiempo en desaceleración: Se define como tiempo en desaceleración los periodos en los cuales los valores de aceleración son menores que -0.1m/s².

11. Número de cambios entre aceleración y deceleración (y viceversa).

12. Valor RMS de la aceleración: Este parámetro representa del comportamiento del conductor en los eventos de aceleración y desaceleración.

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int a^2 dt \right)}$$

13. Energía cinética de aceleración positiva por unidad de distancia (PKE): Parámetro que se puede ser considerado como la aceleración representativa del micro-viaje y puede ser empleado para diferenciar entre modos de manejo (numerales 6 a 9) en un ciclo de conducción.

$$PKE = \frac{1}{dist} \sum_{i=2}^n (V_i^2 - V_{i-1}^2) = \frac{\sum_{i=2}^n (V_i^2 - V_{i-1}^2)}{\left(\sum_{i=2}^n V_i / n \right) \Delta t} = \frac{\sum_{i=2}^n (V_i^2 - V_{i-1}^2)}{\bar{V} \Delta t} \quad (\text{Solo para } V_i > V_{i-1})$$

Se adjunta, además la proporción de tiempo para la cual el vehículo se desplazó en vías con tramos en los siguientes rangos de pendientes.

Parámetro 14. Proporción de tiempo del micro-viaje con pendientes menores o iguales a -20%.

Parámetros 15 a 22. Proporción de tiempo del micro-viaje con pendientes mayores que -20% y menores o iguales a -15%. Con incrementos en el intervalo de 5% para cada parámetro hasta parámetro 21 que representa la proporción de tiempo del micro-viaje con pendientes mayores que 15% y menores o iguales a 20%

Parámetro 23. Proporción de tiempo desplazándose con pendientes mayores que 20%.

Del análisis descriptivo de datos resultó que las variables presentadas en la Tabla 3.3 debían pertenecer al análisis de componentes principales. El resultado al terminar el análisis descriptivo fue que 13 variables aportaban para entender la variabilidad de los datos.

Tabla 3.3. Variables resultantes después del análisis descriptivo

| |
|--------------------------------------------|
| Microviaje |
| Velocidad Promedio (km/h) |
| Velocidad Promedio en movimiento (km/h) |
| Aceleración positiva promedio (m/s^2) |
| Deceleración promedio (m/s^2) |
| Duración (s) |
| Distancia recorrida (km) |
| Proporción tiempo ralenti (%) |
| Proporción tiempo aceleración (%) |
| Proporción tiempo velocidad crucero (%) |
| Proporción tiempo creeping (%) |
| Proporción tiempo deceleración (%) |
| Número de cambios aceleración/Deceleración |
| Aceleración rms (m/s^2) |
| PKE (m/s^2) |
| Región |

Posteriormente se analizó la multicolinealidad a través del análisis de correlaciones (Figura 3.5). Este procedimiento implicó analizar cada una de las relaciones encontradas y verificar si dichas relaciones obedecían a una relación física deducible matemáticamente o a una relación física con una relación matemática, no definida.

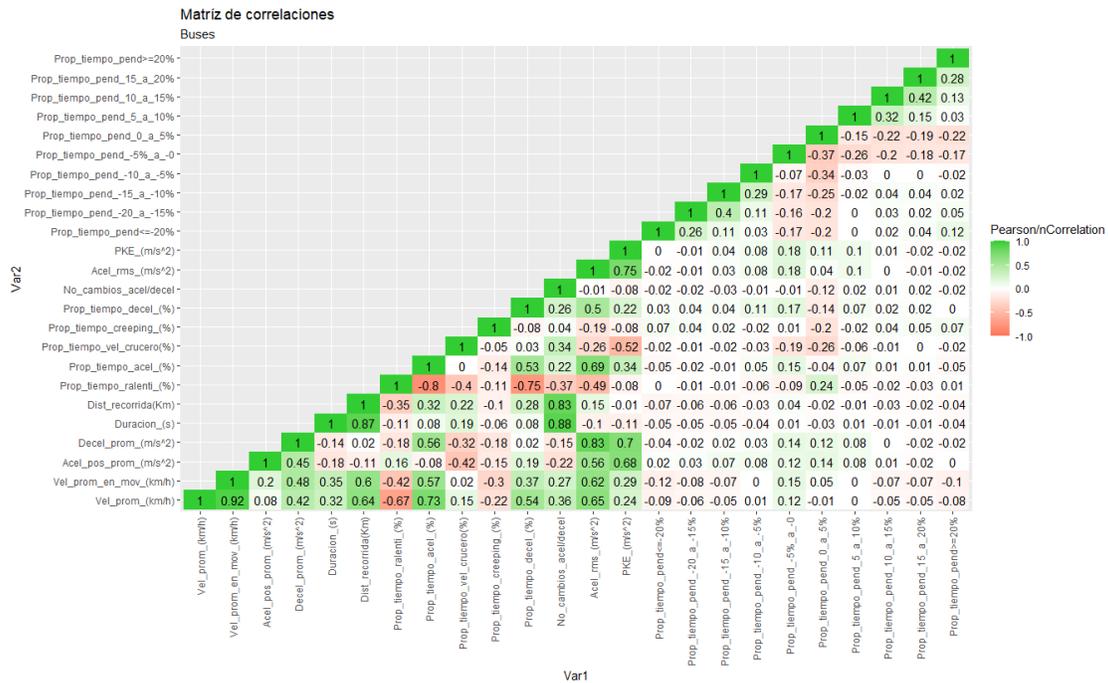


Figura 3.5. Matriz de correlaciones de variables para buses

Del análisis de multicolinealidad para todas las categorías se encontró que la variable *Velocidad promedio* y *Velocidad Promedio en movimiento* eran multicolineales y por lo tanto era necesario dejar solo una de las dos para el análisis. Se decidió dejar *Velocidad Promedio en movimiento*.

El objetivo de este procedimiento es generar m vectores independientes que relacionen linealmente las k variables linealmente independientes. A pesar, de que el PCA no requiere supuestos de distribución, si requiere que los datos estén libres de atípicos, de valores extremos y, que los datos estén normalizados. Además, es necesario eliminar los micro-viajes que tengan datos faltantes (NAs). Por lo tanto, se procede a verificar estas condiciones. En la Tabla 3.4 se muestran los registros resultantes después de las verificaciones.

Después del pre-procesamiento requerido para realizar el PCA se procede a obtener los vectores independientes que logran explicar más del 80% de variabilidad de los datos.

Tabla 3.4. Registros por categoría sin datos extremos y sin NAs

| Categoría vehicular | Total de micro-viajes |
|----------------------|-----------------------|
| Motocicleta | 5652 |
| Automóviles livianos | 8178 |
| Buses | 6210 |
| Camiones | 3537 |
| Tractocamiones | 4050 |

En la Tabla 3.5 se presenta un resumen de los registros de datos por categoría vehicular para las mediciones que se tuvieron en este proyecto, incluyendo el número de micro-viajes por cada centro urbano y el tiempo final de medición. Estos fueron los parámetros claves para proceder con el análisis estadístico de agrupamiento.

Tabla 3.5. Registros por categoría sin datos extremos y sin NAs

| Categoría | Año de Medición | Ciudad | No. M.V. finales | Total microviajes | Tiempo de medida [s] | Total tiempo [s] |
|----------------|-----------------|--------------|------------------|-------------------|----------------------|------------------|
| Veh. Livianos | 2017 | Medellin | 1.446 | 11.830 | 127.123 | 1.185.094 |
| | | Medellin | 56 | | 5.661 | |
| | 2020 | Barranquilla | 2.502 | | 324.063 | |
| | | Bogotá | 3.547 | | 358.362 | |
| | | Cali | 4.279 | | 369.885 | |
| Motocicletas | 2017 | Medellin | 1.388 | 8.784 | 186.172 | 1.085.169 |
| | | Medellin | 166 | | 14.582 | |
| | 2020 | Barranquilla | 1.615 | | 230.884 | |
| | | Bogotá | 2.793 | | 322.366 | |
| | | Cali | 2.822 | | 331.165 | |
| Buses | 2017 | Medellin | 1.048 | 8.378 | 87.598 | 590.002 |
| | | Medellin | 56 | | 3.967 | |
| | 2020 | Barranquilla | 2.089 | | 135.294 | |
| | | Bogotá | 4.273 | | 282.066 | |
| | | Cali | 912 | | 81.077 | |
| Camiones | 2017 | -- | 1.380 | 11.988 | 142.745 | 4.027.480 |
| | 2020 | -- | 4.153 | | 1.231.296 | |
| Tractocamiones | 2020 | -- | 6.455 | | 2.653.439 | |

Una vez seleccionadas las PCA, se procede a ejecutar la segunda parte de la metodología (Figura 3.2) dichos vectores son la entrada el análisis de clúster.

Mediante el paquete informático NbClust® del software estadístico R®, se encontró el número de clústeres propuestos para cada una de las categorías vehiculares. En todos los casos se seleccionaron tres clústeres, como la división de los datos que mostraba una agrupación ideal de las variables.

Posteriormente, se analizaron por pares las variables que podrían servir para la interpretación de los patrones de conducción o de flujo vehicular. La Tabla 3.6 muestra los principales cruces de variables seleccionadas para realizar este análisis.

Tabla 3.6. Principales cruces entre variables

| | | |
|----------------------------------------------|----|----------------------------------|
| Distancia recorrida | vs | Velocidad promedio en movimiento |
| Duración | vs | Velocidad promedio en movimiento |
| Aceleración RMS | vs | Velocidad promedio en movimiento |
| Proporción de tiempo en aceleración | vs | Aceleración positiva promedio |
| Número de cambios aceleración/desaceleración | vs | Aceleración positiva promedio |
| Distancia recorrida | vs | Duración |
| Proporción de tiempo en ralenti | vs | Duración |
| Aceleración RMS | vs | Duración |
| Proporción de tiempo en aceleración | vs | Duración |

La Figura 3.6 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los diagramas de dispersión la densidad de datos (D_i) contra la velocidad promedio en movimiento en cada una de las categorías vehiculares, esto para ilustrar el proceso de análisis.

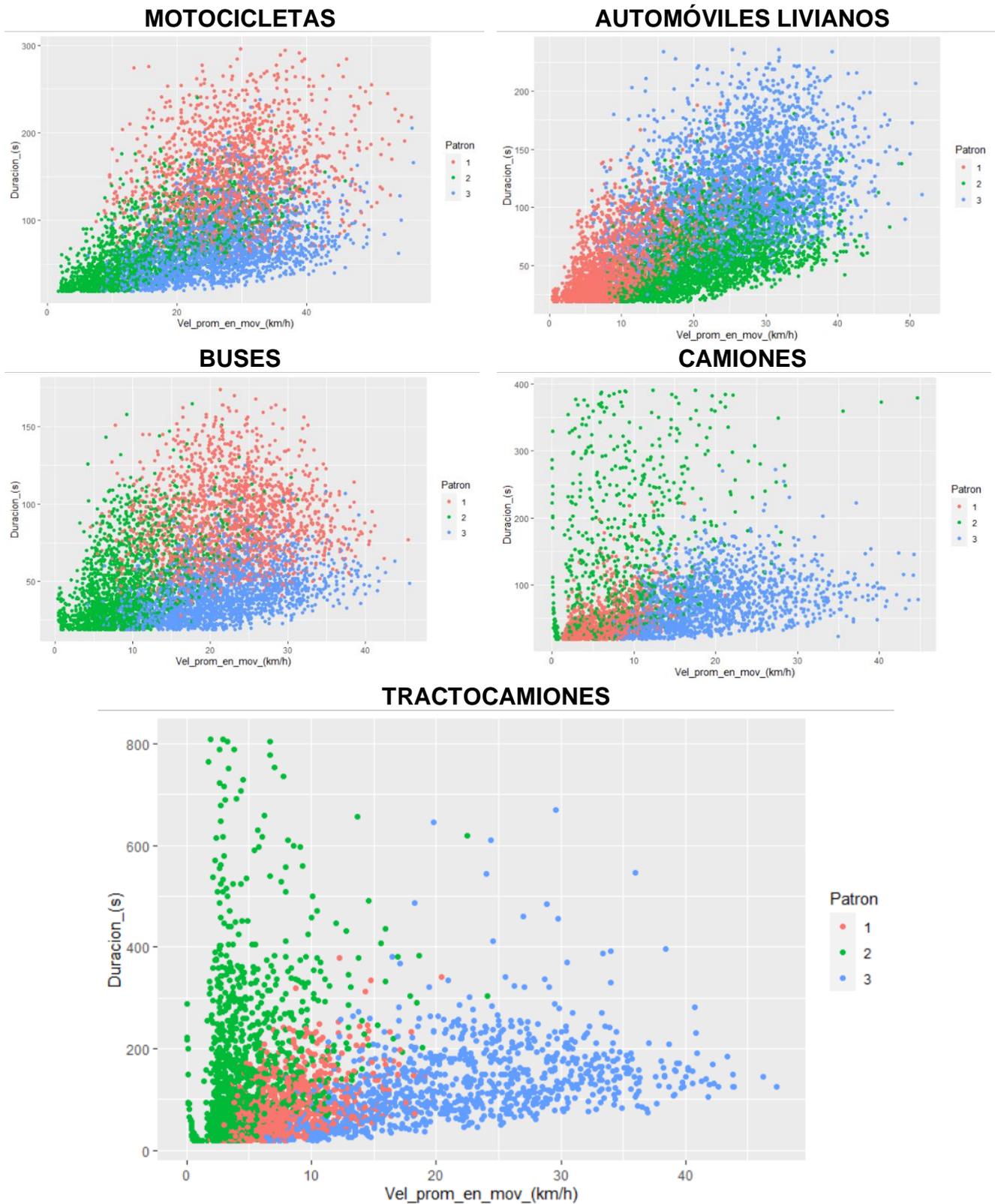


Figura 3.6.. diagramas de dispersión de los clústeres para síntesis del ciclo

Finalmente se interpretaron las gráficas de los cruces de variables con los clústeres mencionados, con relación a los patrones de tráfico y conducción, obteniendo tres patrones que se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Patrones generados por categoría vehicular

| Grupo | Tipo Tráfico | Tipo Conducción | Categoría Vehicular |
|-------|---------------|-----------------|---------------------|
| 1 | Fluido | Moderado | Motocicletas |
| 2 | Congestionado | Pasivo | |
| 3 | Mixto | Agresivo | |
| 1 | Mixto | Agresivo | Vehículos Livianos |
| 2 | Fluido | Moderado | |
| 3 | Congestionado | Pasivo | |
| 1 | Fluido | Moderado | Buses |
| 2 | Congestionado | Pasivo | |
| 3 | Mixto | Agresivo | |
| 1 | Mixto | Moderado | Camiones |
| 2 | Congestionado | Pasivo | |
| 3 | Fluido | Agresivo | |
| 1 | Congestionado | Pasivo | Tractocamiones |
| 2 | Mixto | Moderado | |
| 3 | Fluido | Agresivo | |

A partir de los datos etiquetados con el patrón correspondiente, para sintetizar los ciclos, fueron generadas 1000 muestras que contuvieran los tres patrones y que cumplieran con el criterio de duración máxima del ciclo. A estas mil muestras se les calculó el error promedio, de acuerdo con lo mostrado en la Figura 3.2, obteniendo 15 ciclos con los menores errores promedios para cada categoría vehicular. Estos ciclos fueron sometidos a validación de expertos para selección el ciclo que mejor sintetiza la categoría vehicular, y que son los que finalmente constituyen los ciclos de conducción por cada categoría vehicular para Colombia que se presentan a continuación. En la Tabla 3.8 se muestran los parámetros característicos de los ciclos de conducción sintetizados para cada categoría vehicular.

Tabla 3.8. Parámetros relevantes de los ciclos de conducción del país

| Parámetro | Vehículos livianos | Motocicletas | Autobuses | Camiones | Tractocamiones |
|-----------------------------------|--------------------|--------------|-----------|----------|----------------|
| Duración [s] | 1798 | 1958 | 1883 | 2493 | 2473 |
| Distancia recorrida [km] | 9,75 | 12,68 | 7,75 | 11,24 | 10,74 |
| Velocidad promedio [km/h] | 19,53 | 23,31 | 14,82 | 16,23 | 15,63 |
| Velocidad promedio en mov. [km/h] | 24,07 | 26,86 | 18,97 | 22,68 | 22,63 |
| Velocidad máxima [km/h] | 54,36 | 65,90 | 60,87 | 70 | 61 |
| Tiempo en ralentí [%] | 18,91 | 13,18 | 21,93 | 28,44 | 30,93 |
| Tiempo en aceleración [%] | 33,93 | 32,69 | 33,78 | 29,36 | 23,62 |
| Tiempo en deceleración [%] | 30,31 | 30,29 | 31,17 | 26,15 | 19,61 |

3.3. Ciclo de conducción de Motocicletas en Colombia

En la Figura 3.7 se muestra el ciclo de conducción para la categoría de **motocicletas** del país. En la Tabla 3.9 se muestran los parámetros característicos del ciclo.

En el material que conforma el entregable de este convenio se adjuntan los archivos en Excel que contienen dos columnas (tiempo cada 1 segundo, y la velocidad en km/h correspondiente). Los tres grupos (clústeres) descritos arriba, se identificaron en función del patrón de tráfico: congestionado (baja velocidad de circulación, elevados cambios de marcha), fluido (altas velocidades de circulación con micro-viajes largos y pocos cambios de marchas), y mixto.

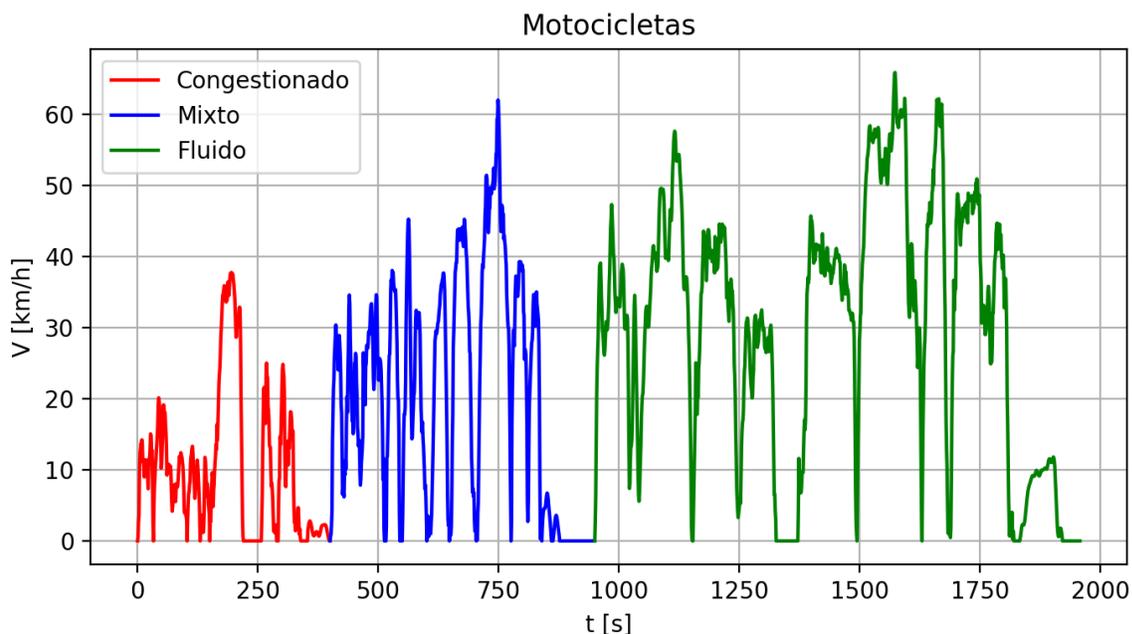


Figura 3.7..Ciclo de conducción de motocicletas en Colombia

Tabla 3.9. Parámetros característicos del ciclo de conducción de motocicletas en Colombia

| Parámetro | Motocicletas |
|-----------------------------------|--------------|
| Duración [s] | 1958 |
| Distancia recorrida [km] | 12,68 |
| Velocidad promedio [km/h] | 23,31 |
| Velocidad promedio en mov. [km/h] | 26,86 |
| Velocidad máxima [km/h] | 65,90 |
| Tiempo en ralentí [%] | 13,18 |
| Tiempo en aceleración [%] | 32,69 |
| Tiempo en deceleración [%] | 30,29 |

3.4. Ciclo de conducción de Vehículos livianos en Colombia

En la Figura 3.8 se muestra el ciclo de conducción para la categoría de **vehículos livianos** del país. En la Tabla 3.10 se muestran los parámetros característicos del ciclo.

En el material que conforma el entregable de este convenio se adjuntan los archivos en Excel que contienen dos columnas (tiempo cada 1 segundo, y la velocidad en km/h correspondiente).

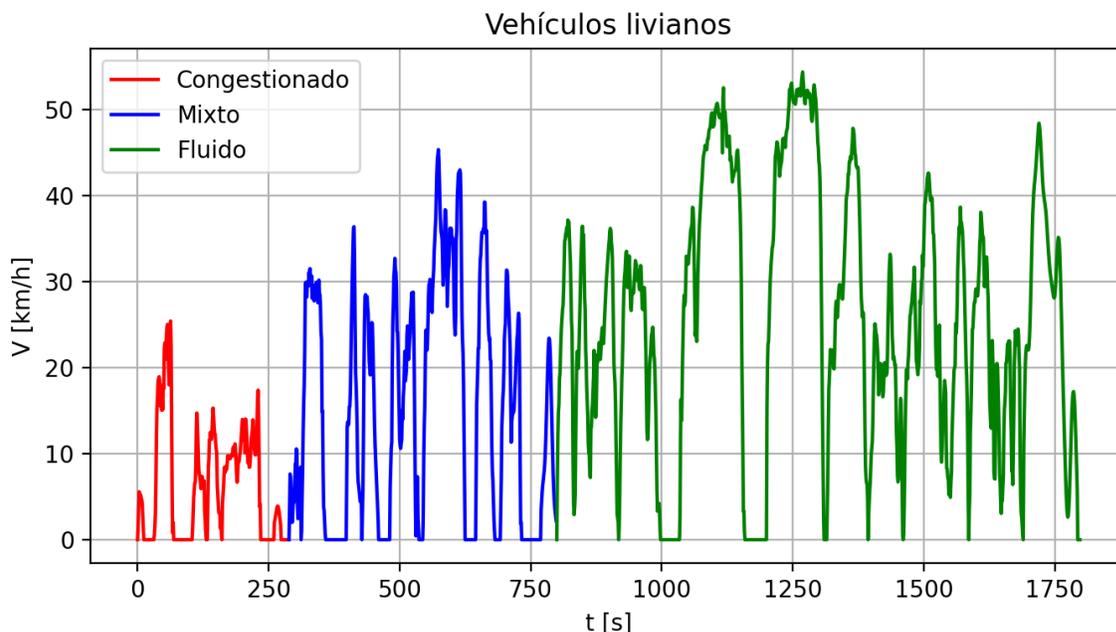


Figura 3.8. Ciclo de conducción de vehículos livianos en Colombia

Tabla 3.10. Parámetros característicos del ciclo de conducción de vehículos livianos en Colombia

| Parámetro | Vehículos livianos |
|-----------------------------------|--------------------|
| Duración [s] | 1798 |
| Distancia recorrida [km] | 9,75 |
| Velocidad promedio [km/h] | 19,53 |
| Velocidad promedio en mov. [km/h] | 24,07 |
| Velocidad máxima [km/h] | 54,36 |
| Tiempo en ralenti [%] | 18,91 |
| Tiempo en aceleración [%] | 33,93 |
| Tiempo en deceleración [%] | 30,31 |

3.5. Ciclo de conducción de Buses en Colombia

En la Figura 3.9 se muestra el ciclo de conducción para la categoría de **buses** del país. En la Tabla 3.11 se muestran los parámetros característicos del ciclo.

En el material que conforma el entregable de este convenio se adjuntan los archivos en Excel que contienen dos columnas (tiempo cada 1 segundo, y la velocidad en km/h correspondiente).

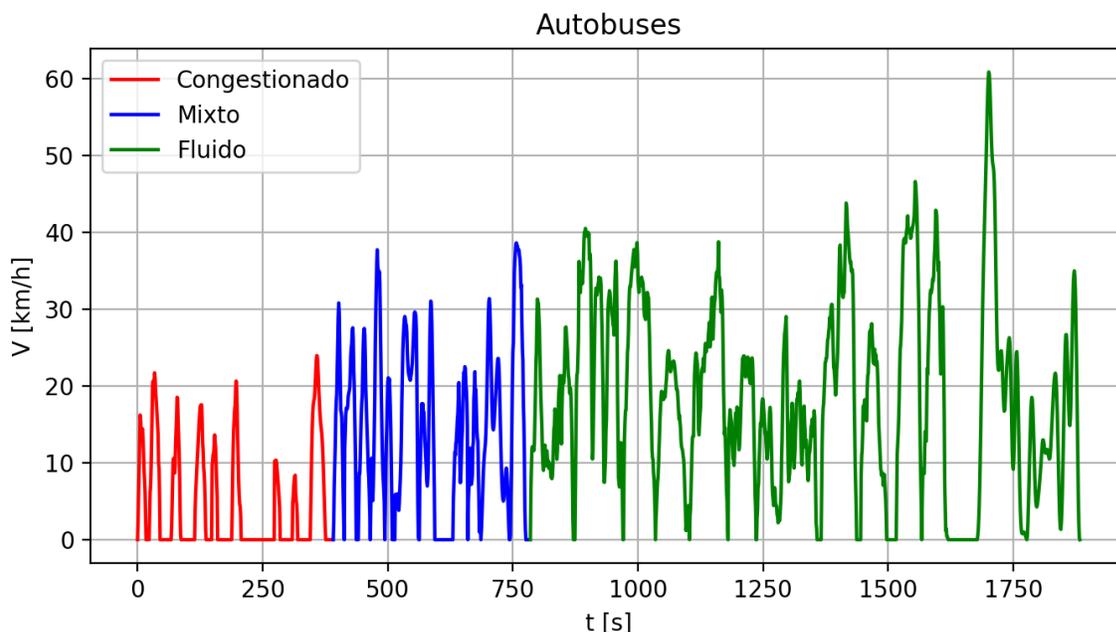


Figura 3.9. Ciclo de conducción de buses en Colombia

Tabla 3.11. Parámetros característicos del ciclo de conducción de buses en Colombia

| Parámetro | Autobuses |
|-----------------------------------|-----------|
| Duración [s] | 1883 |
| Distancia recorrida [km] | 7,75 |
| Velocidad promedio [km/h] | 14,82 |
| Velocidad promedio en mov. [km/h] | 18,97 |
| Velocidad máxima [km/h] | 60,87 |
| Tiempo en ralenti [%] | 21,93 |
| Tiempo en aceleración [%] | 33,78 |
| Tiempo en deceleración [%] | 31,17 |

3.6. Ciclo de conducción de Camiones en Colombia

En la Figura 3.10 se muestra el ciclo de conducción para la categoría de **camiones (livianos, medianos y pesados)** del país. En la Tabla 3.12 se muestran los parámetros característicos del ciclo.

En el material que conforma el entregable de este convenio se adjuntan los archivos en Excel que contienen dos columnas (tiempo cada 1 segundo, y la velocidad en km/h correspondiente).

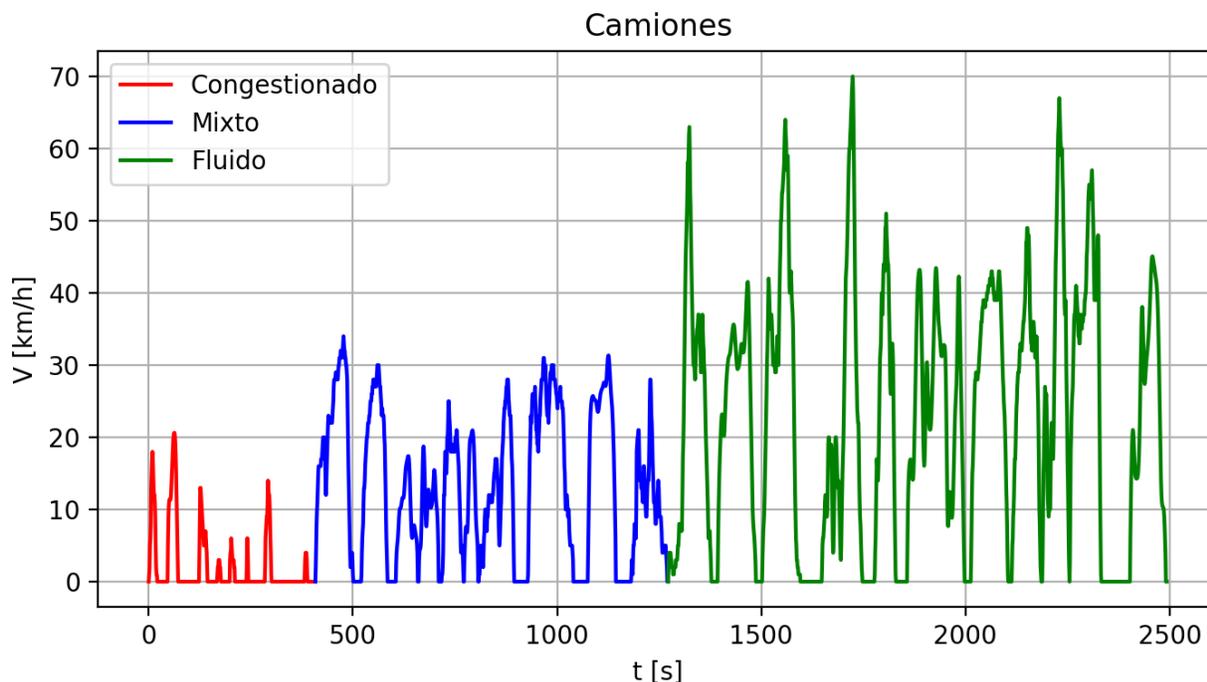


Figura 3.10. Ciclo de conducción de camiones en Colombia

Tabla 3.12. Parámetros característicos del ciclo de conducción de camiones en Colombia

| Parámetro | Camiones |
|-----------------------------------|----------|
| Duración [s] | 2493 |
| Distancia recorrida [km] | 11,24 |
| Velocidad promedio [km/h] | 16,23 |
| Velocidad promedio en mov. [km/h] | 22,68 |
| Velocidad máxima [km/h] | 70 |
| Tiempo en ralenti [%] | 28,44 |
| Tiempo en aceleración [%] | 29,36 |
| Tiempo en deceleración [%] | 26,15 |

3.7. Ciclo de conducción de Tractocamiones en Colombia

En la Figura 3.11 se muestra el ciclo de conducción para la categoría de **tractocamiones (livianos, medianos y pesados)** del país. En la Tabla 3.13 se muestran los parámetros característicos del ciclo.

En el material que conforma el entregable de este convenio se adjuntan los archivos en Excel que contienen dos columnas (tiempo cada 1 segundo, y la velocidad en km/h correspondiente).

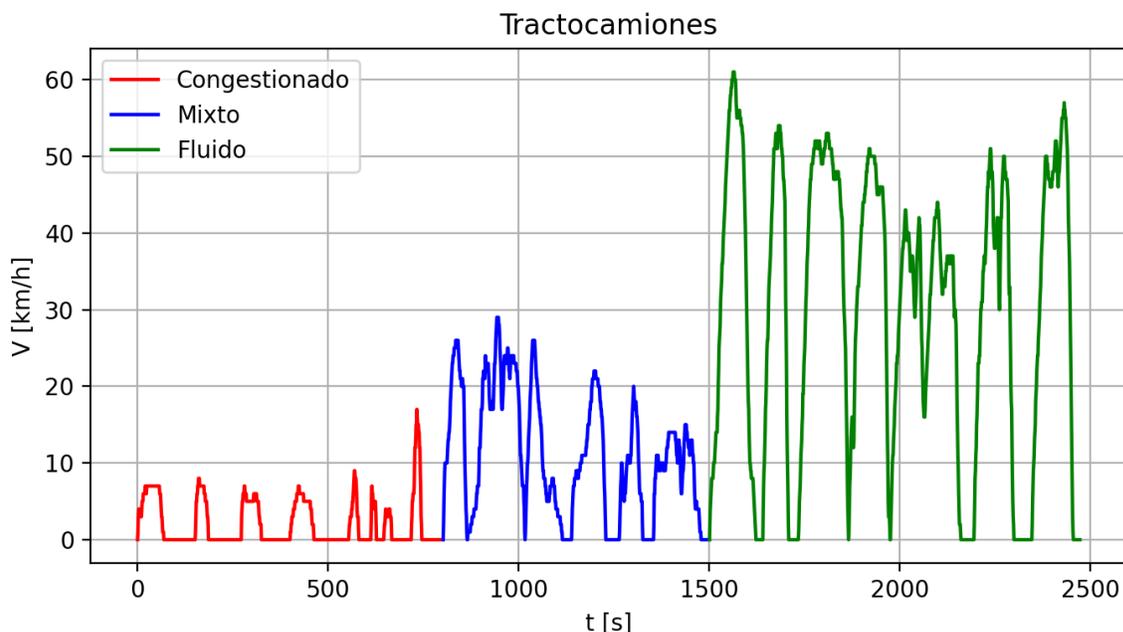


Figura 3.11.. Ciclo de conducción de tractocamiones en Colombia

Tabla 3.13. Parámetros característicos del ciclo de conducción de tractocamiones en Colombia

| Parámetro | Tractocamiones |
|-----------------------------------|----------------|
| Duración [s] | 2473 |
| Distancia recorrida [km] | 10,74 |
| Velocidad promedio [km/h] | 15,63 |
| Velocidad promedio en mov. [km/h] | 22,63 |
| Velocidad máxima [km/h] | 61 |
| Tiempo en ralenti [%] | 30,93 |
| Tiempo en aceleración [%] | 23,62 |
| Tiempo en deceleración [%] | 19,61 |

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones y Recomendaciones de los Capítulos 1 y 2

Como se muestra a continuación, el número de vehículos a medir por cada categoría vehicular es elevado, por lo que se sugiere que la continuidad de este proyecto se haga en dos fases adicionales, así:

FECOC+ FASE-II: determinar factores de emisión de las categorías Buses, Camiones (pequeños y medianos, es decir con capacidad de carga hasta 4 toneladas y hasta 10 toneladas, respectivamente), así como Volquetas y Tractocamiones, con capacidad de carga hasta 20 toneladas y hasta 30 toneladas, respectivamente.

La experiencia del grupo ejecutor en proyectos similares ha permitido demostrar que cada vehículo pesado requiere al menos 1 semana para medir confiablemente sus factores de emisión de CO, THC, CO₂, NO, NO₂, NMHC, PM y PN. Además, por la naturaleza particular de Colombia, con alta representatividad de grandes centros urbanos ubicados a diferentes altitudes sobre el nivel del mar, se hace obligatorio medir al menos en tres alturas. Por lo anterior, y contando con la capacidad logística del país, se recomienda medir al menos entre 12 y 20 vehículos de estas categorías. Esto implicaría tener una confianza estadística del 70%, con un error absoluto de 24%. En el Capítulo 1 se muestran las marcas más vendidas en el país, así como sus características por año del modelo, cilindraje del motor y capacidad de carga.

FECOC+ FASE III: determinar factores de emisión de las categorías Motocicletas y Vehículos Livianos, cuyas características de marca, año de modelo, y cilindrada se presentan a continuación.

En este caso, el proyecto se facilita en cuanto a la logística de las pruebas, puesto que se pueden realizar en bancos de rodillos, de los cuales en el país hay uno en el ICP-Ecopetrol (1000 msnm), otro en la Universidad Tecnológica de Pereira (1500 msnm), probablemente haya uno en Bogotá (Universidad de los Andes, por confirmar). Si se lograra vincular a estas entidades en un futuro, sería posible determinar de manera más ágil los factores de emisión de estas dos categorías. En este caso, la experiencia nos ha mostrado que se podrían medir entre 2 y 3 vehículos/motocicletas por cada semana, con lo cual la población muestral podría ser significativamente más alta que en la Fase II.

Considerando la información del Ministerio de Transporte, el RUNT (Registro Único Nacional de Tránsito) y Superintendencia de Puertos y Transporte, que fue recopilada y procesada en el presente convenio, se realizan las siguientes conclusiones y recomendaciones de cara a la segunda fase del estudio de Factores de Emisión para Colombia.

- Los centros urbanos que tienen por núcleo las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, son los principales nodos de generación y atracción de viajes de transporte de carga e intermunicipal de pasajeros, siendo a su vez los que mayor cantidad de vehículos matriculados concentran.

- **Las motocicletas** representan el 60,1% del total del parque automotor colombiano, de las cuales el 99% son de servicio particular, operando el 98% a gasolina. Los mapas de calor elaborados para motocicletas con combustible gasolina, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de los 125 cc y modelo 2018. El número de motocicletas que se recomienda medir, con una confianza estadística del 90% y un error de 10% es de 68 motocicletas. Según la experiencia del grupo ejecutor, se pueden medir entre 2 y 3 motocicletas por semana, y por cada altitud sobre el nivel del mar, lo que hace inviable tomar esta muestra para futuros proyectos. Por lo anterior, se recomienda medir entre
- **En la categoría de vehículos livianos**, donde se agrupan automóviles, camionetas y camperos, con el 93% empleados para el servicio particular, y de éste el 98% usa gasolina como combustible. En cuanto a los automóviles de servicio público que representan el 7% dentro de la clase automóviles, el 83% usa combustible gasolina y el 13% usan diésel. Los mapas de calor elaborados para automóviles con combustible gasolina, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de los 1.600 cc y modelo 2012.
- **En la categoría buses**, donde se agrupan microbús, bus, padrón y biarticulado, los microbuses representan el 54%, con 87% prestando servicio público, de los cuales el 80% opera a diésel y el 17% a gasolina.. Los mapas de calor elaborados para microbús con combustible diésel, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de 2.800 cc y modelo 1998.

Dentro de la misma categoría, los buses representan el 45%, con el 88% prestando servicio público, de los cuales 79% opera con diésel y el 18% con gasolina. Los mapas de calor elaborados para buses con combustible diésel, muestran mayor representación de vehículos en torno a 5.200 cc y modelo 2014.

- **La categoría de vehículos de carga** representa el 2,28% del total del parque automotor Colombiano, donde se agrupa camión, volqueta y tractocamión, en esta, los camiones representan el 74% de la categoría, con un 73% prestando servicio público, de los cuales el 62% posee motores con cilindrajes entre los 3.000 cc y 6.000 cc (medianos), 24% motores con más de 6.000 cc (pesados) y 14% motores inferiores a los 3.000 cc (livianos), a su vez, los medianos operan en un 87% con diésel. Los mapas de calor elaborados para camiones livianos, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de 3.000 kg de capacidad de carga y modelo 2012; para camiones medianos alrededor de 7.000 kg de capacidad de carga y modelo 2007; y para camiones pesados alrededor de 10.000 kg de capacidad de carga y modelo 2007. La tendencia global de la clase camión se encuentra alrededor de 5.200 cc y modelo 2012. Para FECOC+-FASEII, se recomienda medir camiones rígidos de 2 ejes son los que más viajes registrados en el RNDC (Registro Nacional de Despachos de Carga) realizan, con 4'171.213 viajes para 2019.

Dentro de la misma categoría de carga, los tractocamiones representan el 13%, prestando servicio público el 98%, teniendo el 100% de ellos motores superiores a los 6.000 cc y

operando con diésel el 98%. Los mapas de calor elaborados para tractocamiones con combustible diésel, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de los 15.000 cc y modelo 2012. Para FECOC+ FASE II, se recomienda medir tractocamiones de 3 ejes con semirremolques de 3 ejes (3S3) con 2'916.217 viajes según el RNDC.

Complementando la categoría de carga con una participación del 13% se encuentran las volquetas, donde el 70% presta servicio público, de las cuales el 85% tienen motores superiores a los 6.000 cc y operan en un 98% con diésel. Los mapas de calor elaborados para volquetas con combustible diésel, muestran una mayor representación de vehículos alrededor de 11.000 cc y modelo 2015.

Conclusiones y Recomendaciones del Capítulo 3

En este capítulo se presentan los ciclos de conducción de las categorías vehiculares de interés para el proyecto, a saber: motocicletas, vehículos livianos, buses, camiones y tractocamiones. Estos ciclos de conducción son los que se deben usar para obtener los factores de emisión en FECOC+ FASE II y FECOC+ FASE III. Cuando se ejecuten esos proyectos, deberá considerarse reproducir dichos ciclos de conducción en tres altitudes diferentes sobre el nivel del mar, en lo posible que cubran a Barranquilla (nivel de mar), Bucaramanga (1000 msnm) y Bogotá (2600 msnm).

Los parámetros característicos fueron comparados con ciclos de conducción reportados en la literatura para grandes centros urbanos con características de población, topográfica y culturales similares a las de las ciudades donde se midió en este convenio (Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla), permitiendo concluir que nuestros ciclos de conducción para Colombia son confiables, no se salen de los valores comúnmente reportados en el mundo.