



Estrategia para el despliegue de flota eléctrica en la empresa Flota Nueva Villa en la ciudad de Medellín

Carlos Bueno y Oscar Delgado
Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT)



SOCIO DE APOYO




AGENCIA DE FINANCIACIÓN



SOCIOS IMPLEMENTADORES





Agradecimientos: Agradecemos el apoyo de P4G para el desarrollo de este trabajo, a través de la iniciativa Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator (ZEBRA).



TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CONTEXTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO	3
RESUMEN DE LA ESTRATEGIA	7
ANÁLISIS A NIVEL DE RUTA	8
CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVICIOS	8
DEMANDA	8
OFERTA	9
RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA Y CICLO DE MANEJO	12
CONSUMO DE ENERGÍA.....	14
PROGRAMACIÓN DE SERVICIOS	15
MODELACIÓN DE EMISIONES	16
COSTO TOTAL DE PROPIEDAD A NIVEL RUTA	18
CONCLUSIONES	20
ANEXO 1 - PARÁMETROS MÍNIMOS DEFINIDOS POR LA SMM PARA LA OPERACIÓN DE LA RUTAS DE LAS EMPRESA	21
ANEXO 2 - PLAN DE OPERACIONES	22


INTRODUCCIÓN

La iniciativa Zero Emission Bus Rapid-Deployment Accelerator (ZEBRA) liderada por El Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT, por su sigla en inglés) y la Red de Ciudades C40 tiene como objetivo principal combatir el calentamiento global mediante la transformación del mercado de buses en las ciudades de América Latina hacia tecnologías cero emisiones. La iniciativa ha enfocado sus esfuerzos en catalizar la transformación en las ciudades de Santiago, México, São Paulo, y Medellín focalizando su trabajo en cuatro pilares fundamentales:

- ◉ **Generación de demanda:** trabajo con las autoridades de las ciudades para lograr compromisos públicos hacia la electrificación y con los operadores de flota para desarrollar estrategias de despliegue de flota 100 % cero emisiones
- ◉ **Ampliación de la oferta:** trabajo con fabricantes de buses para que se comprometan a ofrecer comercialmente buses cero emisiones en la región
- ◉ **Disponibilidad de fondos de financiación:** trabajo con inversionistas para que se comprometan a invertir alrededor de 1000 millones de dólares para proyectos bien estructurados de despliegue de buses cero emisiones
- ◉ **Generación de confianza:** información asociada a casos de éxito y lecciones aprendidas entre los diferentes actores y ciudades

Para el caso específico de la ciudad de Medellín y de los demás municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), se ha identificado al sistema de transporte tradicional (STT) como un actor relevante de la movilidad al operar cerca del 67 % de las rutas del sistema de transporte público de pasajeros. Dentro de este contexto, y con el objetivo de servir de base para la estructuración de proyectos similares en las demás empresas de transporte del AMVA, la iniciativa ZEBRA ha focalizado sus esfuerzos iniciales en el diseño y puesta en marcha de un plan de despliegue de flota eléctrica para la empresa Flota Nueva Villa (FNV). Esta empresa cuenta con más de 50 años de experiencia como operador del STT y actualmente presta sus servicios en el sector oriental de la ciudad de Medellín.

La metodología utilizada para la construcción del plan de despliegue ha puesto especial énfasis en el componente operacional, de forma tal que los resultados esperados fueran factibles de obtener dentro del contexto presente en la



operación real de la empresa. Con este enfoque, lo que resta del documento se encuentra estructurado en seis capítulos. Los capítulos 2 y 3 presentan el contexto del transporte en el AMVA y la estrategia de definida para el desarrollo del plan de despliegue, la cual se centra en el sistema de transporte tradicional como modo prevaleciente en el área de estudio. El capítulo 4 se enfoca en el análisis de las condiciones actuales de oferta y demanda de la empresa, en la metodología para recolección de información primaria y en la modelación del consumo de energía para las diferentes tipologías factibles de implementar en la empresa. El capítulo 5 presenta la programación de los servicios incluyendo los aspectos asociados al plan carga de los vehículos y al dimensionamiento de la infraestructura requerida para este proceso. Finalmente, los capítulos 6 y 7 resumen los beneficios asociados a la reducción de costos y emisiones alcanzados con la implementación de la flota eléctrica.

CONTEXTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO

La planeación y regulación de la operación del transporte público de pasajeros se encuentra en cabeza del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), la cual es la autoridad encargada de regular las rutas de transporte público urbano que operan dentro del municipio de Medellín y aquellas con carácter interurbano encargadas de conectar los municipios periféricos que conforman el área metropolitana.

El sistema de transporte público se encuentra conformado por dos subsistemas que conviven de forma integral atendiendo cada uno de los pares origen-destino del área metropolitana. El primer subsistema corresponde al Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA), el cual tiene un enfoque multimodal ofreciendo una red de servicios que abarca los modos de metro, tranvía, cable y buses. El segundo subsistema se encuentra conformado por el conjunto de rutas del SIT, las cuales se encuentran reguladas por permisos de operación y no cuenta con ningún tipo de integración tarifaria ni operacional.

Desde el punto de vista del sistema de transporte operado con buses, en el SITVA incluye en su operación dos tipos de rutas denominadas alimentadoras e integradas. Las rutas alimentadoras hacen parte de la red de servicios definida como parte del diseño conceptual del sistema integrado de transporte masivo Metroplús (SITM). Estas rutas poseen integración tarifaria, operacional y física con las troncales del SITM. La Figura 1 presenta la cobertura de las 37 rutas que conforman el sistema alimentador del SITM Metroplús. Estos servicios atienden principalmente los sectores nororiental y suroccidental de la ciudad, y presentan un trazado radial, el cual incluye como punto de inicio las principales estaciones de la troncal del sistema.

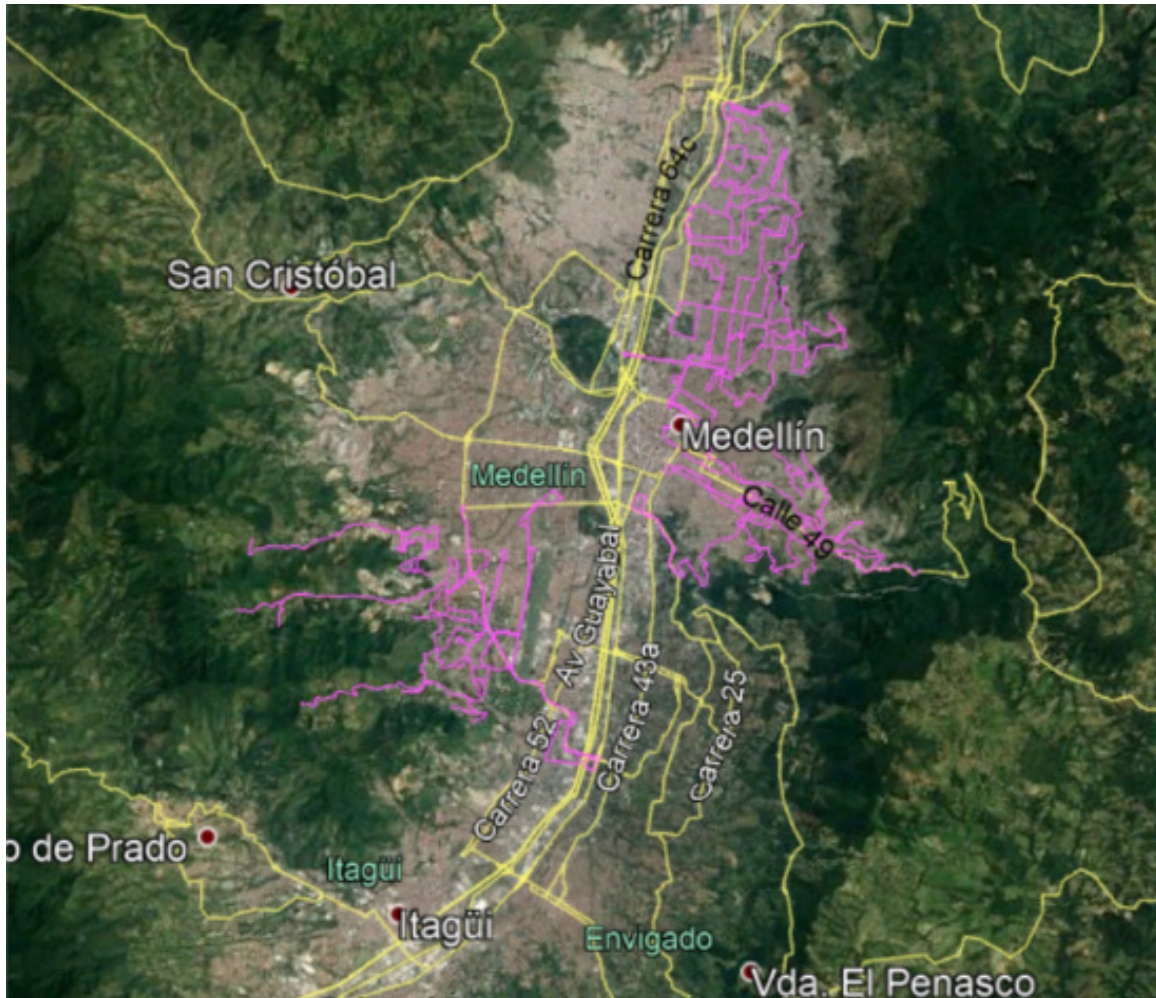


Figura 1. Cobertura de las rutas alimentadoras del SITM Metroplús

Fuente: Elaboración propia basada en información de la Secretaria de Movilidad de Medellín

De otra parte, las rutas integradas corresponden a un conjunto de servicios que originalmente operaban dentro del sistema de transporte tradicional y los cuales fueron reestructuradas para tener como destino alguna de las estaciones del Metro de Medellín permitiendo su integración tarifaria con los modos Metro y Metrocable del SITVA. Esta integración ha sido posible gracias a la implementación de convenios de colaboración empresarial entre las empresas de transporte y la empresa de Metro de Medellín. La Figura 2 muestra la cobertura del sistema de rutas integradas, el cual está compuesto por 71 servicios que al igual que las rutas alimentadoras posee una estructura radial que utiliza las principales estaciones del sistema como punto de inicio y fin de los recorridos. Las zonas de operación asignadas a estas rutas corresponden a los sectores noroccidental y suroriental de la ciudad permitiendo que su cobertura complemente la ofrecida por el sistema de rutas alimentadoras.

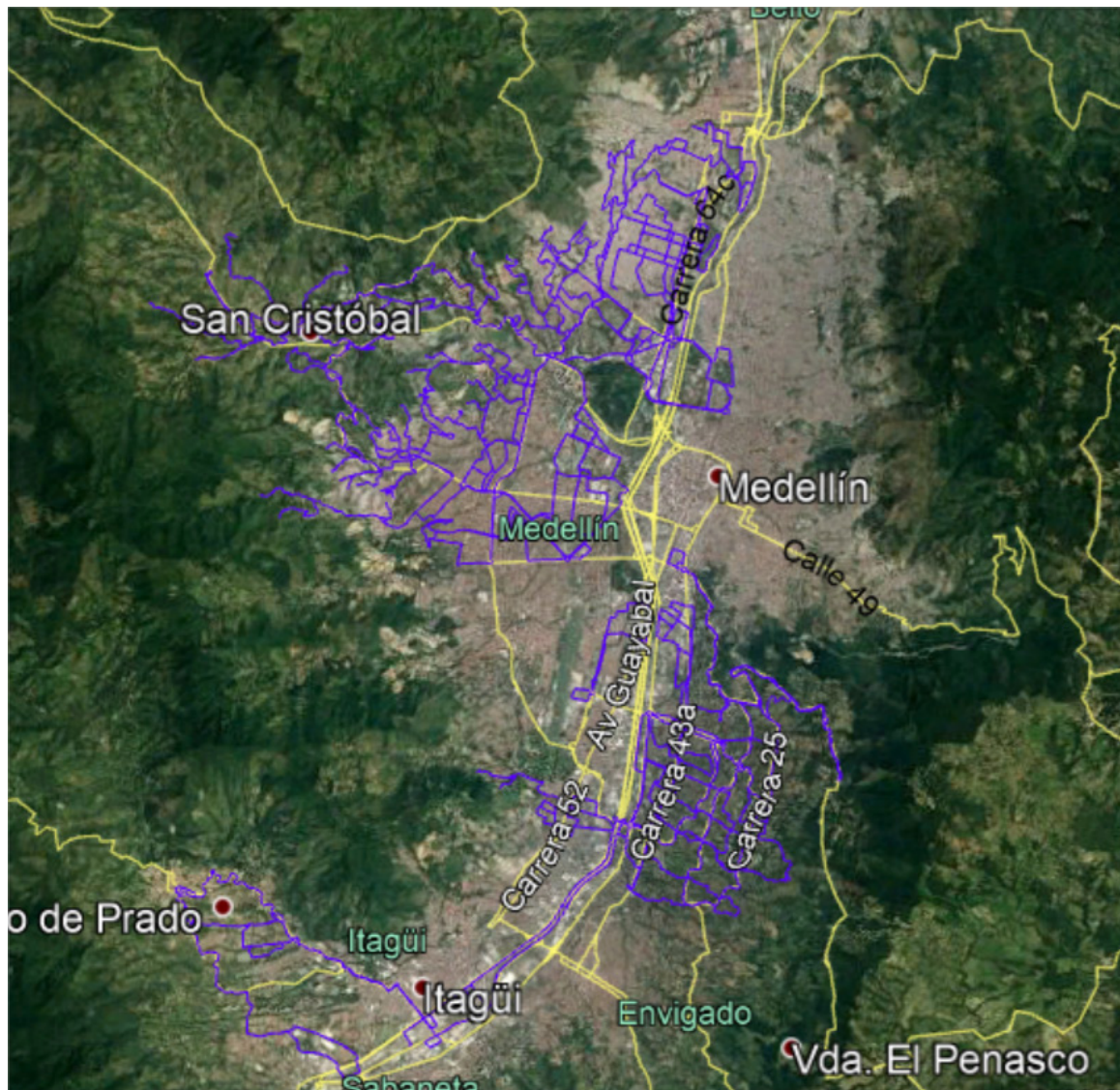


Figura 2. Cobertura de las rutas integradas del SITVA

Fuente: Elaboración propia basada en información de la Secretaría de Movilidad de Medellín

- Adicionalmente a las rutas de buses del SITVA, el área metropolitana es atendida por el sistema de transporte tradicional (STT), el cual está compuesto por 217 servicios cuya cobertura se muestra en Figura 3. Estas rutas, a diferencia de las rutas alimentadoras e integradas presentan trazados longitudinales, transversales y circulares atendiendo de forma extensa los principales orígenes y destinos de interés para los usuarios del transporte público en la ciudad.

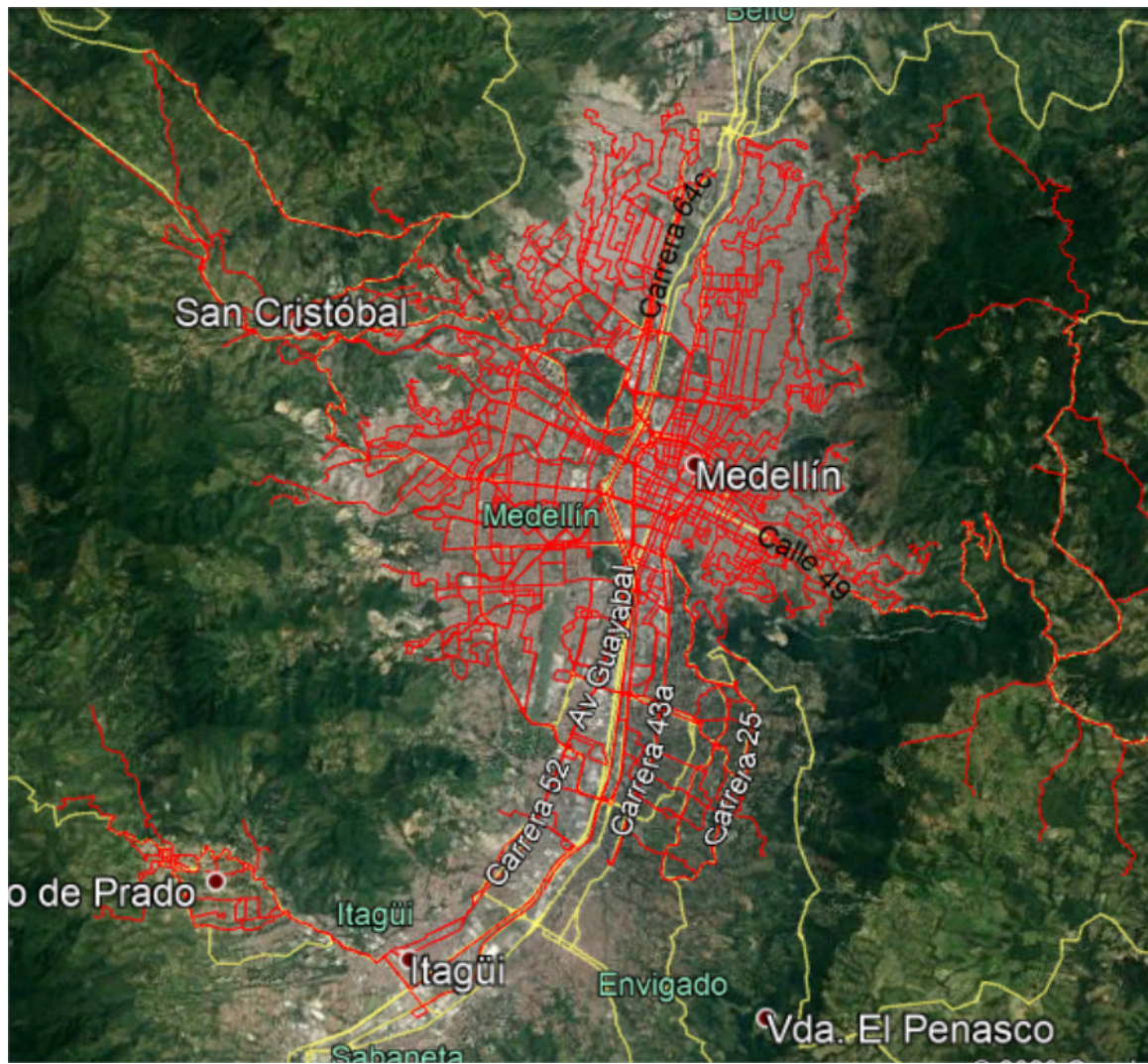


Figura 3. Cobertura de las rutas tradicionales

Fuente: Elaboración propia basada en información de la Secretaría de Movilidad de Medellín

RESUMEN DE LA ESTRATEGIA

Como se presentó en el capítulo anterior, la mayor cantidad de rutas que atiende al AMVA hacen parte del STT. Dentro de este contexto y con el objetivo de maximizar el impacto, la estrategia de despliegue presentada en este documento pone especial atención en cubrir los aspectos relevantes presentes en este sistema de transporte. La metodología propuesta es implementada a la empresa FNV contemplando un enfoque de análisis modular, el cual garantizará su replicabilidad y escalabilidad a los diferentes operadores del sistema de transporte público. Los principales objetivos de la estrategia son los siguientes:

- Definición del plan de adquisición de buses eléctricos desagregado por cantidad y tipología vehicular
- Cuantificación de la infraestructura de carga requerida para la operación de buses eléctricos y definición de los parámetros de diseño requeridos para el ajuste de la infraestructura actual de buses diésel
- Estimación de costos asociados a la adquisición de flota e infraestructura, incluyéndose los costos de operación y mantenimiento requeridos para hacer factible la operación de los buses eléctricos
- Estimación de los beneficios asociados a la reducción de emisiones por efecto de la inclusión de buses cero emisiones a la operación de la empresa

La estrategia de implementación contempla cuatro módulos principales de análisis, los cuales se desarrollan en los capítulos siguientes contemplando las actividades mostradas a continuación:

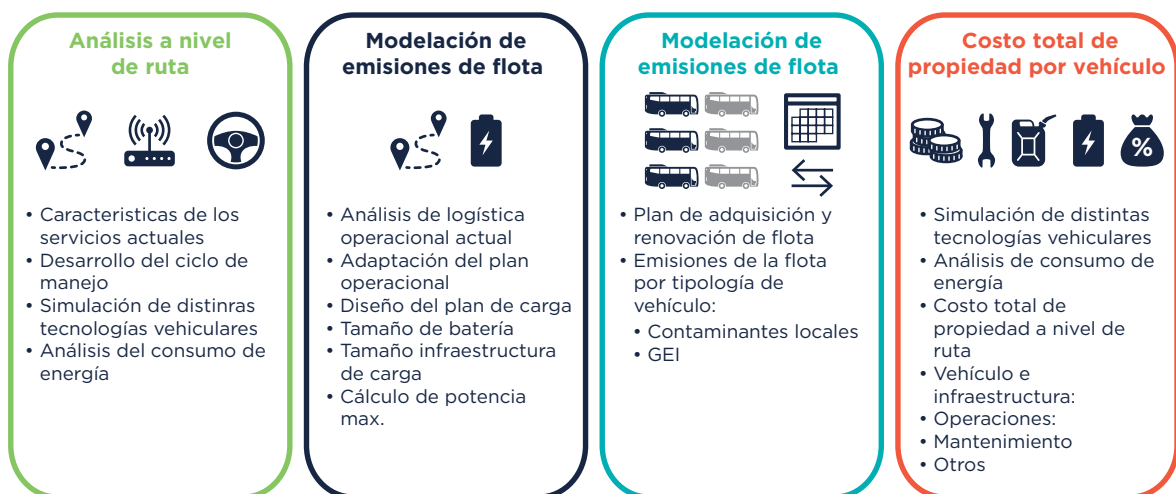


Figura 4. Metodología aplicada al análisis de la estrategia de despliegue de flota

ANÁLISIS A NIVEL DE RUTA

Este módulo se enfoca en tres grandes actividades asociadas al (i) análisis de las características actuales de los servicios, (ii) la recolección de información primaria relacionada con los ciclos de manejo y (iii) la modelación del desempeño de las tecnologías de propulsión relevantes para el proyecto.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVICIOS

Actualmente, FNV opera seis de los nueve servicios que hacen parte del sistema de rutas 6D, el cual atiende el sector nororiental de la ciudad de Medellín. La operación de estas rutas se encuentra autorizada por los permisos de operación otorgados por la Secretaria de Movilidad de Medellín (SMM) mediante la resolución 225 de 2017. Asociado a la ubicación de los servicios, la demanda de usuarios y la oferta definida para su atención presenta las particularidades analizadas a continuación.

DEMANDA

La demanda de transporte es uno de los principales inputs requeridos en las etapas de planificación y operación de los sistemas de transporte público. Dentro de este contexto, con el objetivo de obtener la variación espacial y temporal de la demanda, fue necesario recolectar, procesar y analizar la información de flujo de pasajeros en el área de operación de las rutas de la empresa. Para el caso específico de este plan de despliegue, se utilizó como información base los estudios históricos de aforo de pasajeros al interior de los buses recolectada por el personal de la Dirección de Operaciones de FNV entre el 28 de septiembre de 2020 y el 5 de octubre de 2020.

Se utilizó una base de datos con alrededor de 8.000 registros permitiendo construir los perfiles de demanda para una semana de operación. La Figura 5 presenta el perfil de demanda agrupado de las rutas de la FNV para los diferentes días y horas de operación. Se observan para todos los días hábiles la presencia de dos periodos pico de demanda principales a lo largo del día, asociados a los periodos de la mañana y tarde. El periodo de la tarde es ligeramente mayor que el periodo de la mañana, siendo el primero el que define el tamaño de la flota requerido para operar cada una de las rutas. Para el sábado se observa una reducción de la demanda a lo largo del día y el desplazamiento del pico de la tarde, el cual ocurre de forma adelantada en comparación a lo observado en un día hábil. Finalmente, la demanda del domingo se reduce de forma drástica y presenta un comportamiento

totalmente particular, presentando una carga máxima antes del medio día y que decrece de forma progresiva hasta el final de la tarde.

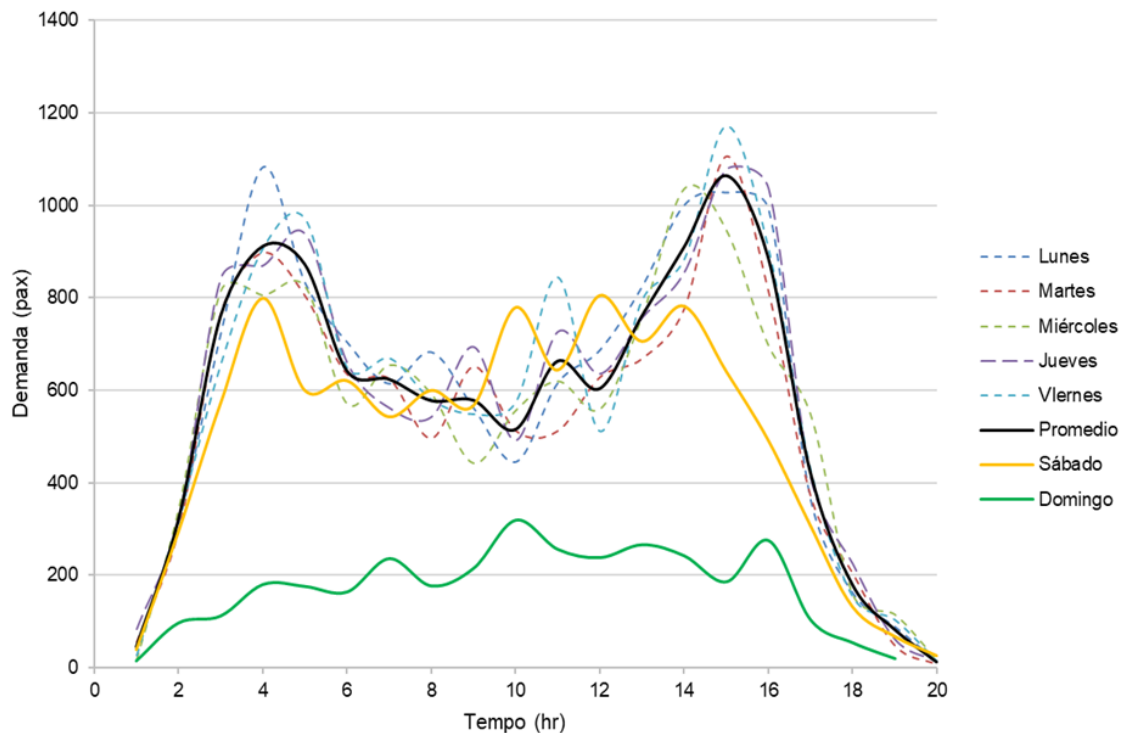


Figura 5. Perfil de demanda horario de las rutas de FNV segregado por tipo de día

Fuente: Elaboración propia basada en información de FNV

OFERTA

La oferta de transporte se encuentra asociada a la cantidad de plazas calculadas para atender la demanda de usuarios, la cual debe contemplar las restricciones operacionales y los niveles de servicio exigidos por la autoridad. FNV cuenta con una flota total de 72 vehículos de mediana capacidad con características físicas y mecánicas acordes a las condiciones topográficas de las calles por las cuales transitan. Como infraestructura de apoyo para la operación, la empresa cuenta con un patio y taller ubicado en inmediaciones de la calle 44 con carrera 63, de donde se despachan los vehículos y se adelantan las labores de mantenimiento de la flota.

La flota opera de acuerdo con un plan de operación que tiene como objetivo seguir las fluctuaciones de la demanda mostradas en la Figura 5. La definición de esta programación toma como punto de partida los parámetros mínimos de servicio establecidos por la autoridad y genera las tareas asignadas a cada uno de los vehículos. Estas tareas incluyen tanto los desplazamientos asociados al

transporte de pasajeros como los recorridos no comerciales requeridos para ubicar los vehículos en los talleres de mantenimiento. El Anexo 2 presenta los parámetros mínimos definidos por la autoridad para la operación de cada una de las rutas.

Cada una de estas rutas posee un trazado definido por la autoridad y controlado por la empresa. El terminal ofrece las facilidades para realizar las labores de alistamiento, mantenimiento y suministro de combustible. La Figura 6 muestra la cobertura de las rutas y la ubicación del terminal. Nótese que el terminal se encuentra ubicado estratégicamente en un predio cercano a los puntos de inicio y fin de las rutas, facilitando de esta manera la reducción de los tiempos y distancias de posicionamiento de los vehículos. De otra parte, se observa que las rutas operan en una zona que posee una topografía homogénea, la cual hace que las rutas presenten similares características espaciales. La Figura 7 muestra los perfiles de elevación de cada una de las rutas empresa.



Figura 6. Cobertura espacial de las rutas de la empresa FNV

Fuente: Elaboración propia basada en información de la Secretaría de Movilidad de Medellín

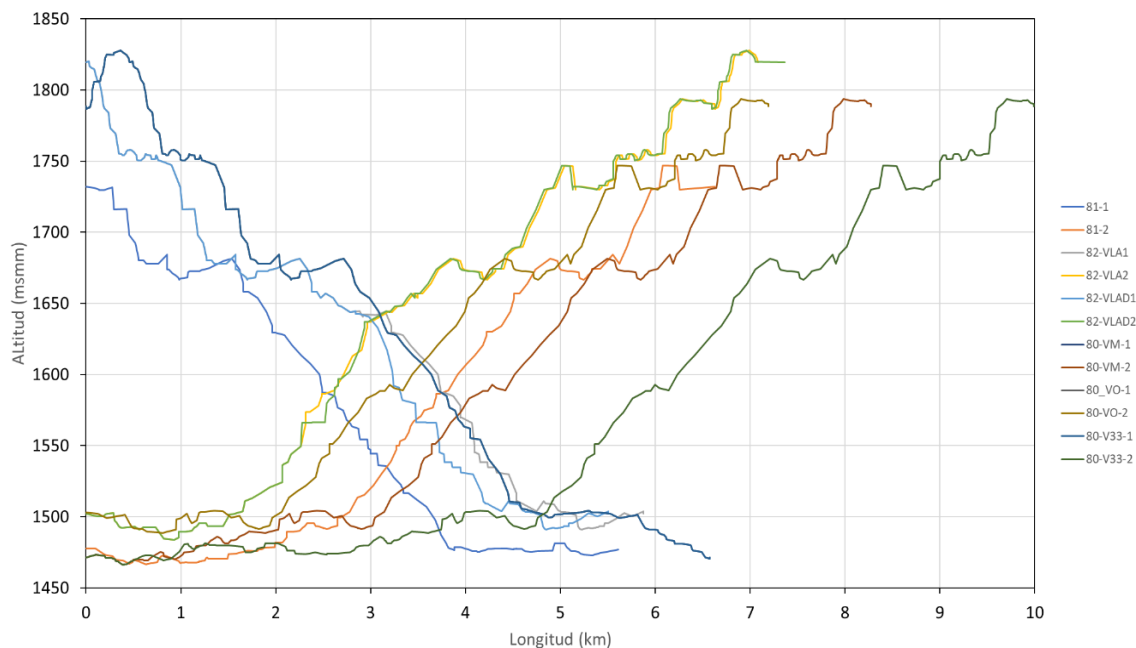


Figura 7. Perfil de elevación de cada de las rutas de FNV

Fuente: Elaboración propia basada en información de la Secretaria de Movilidad de Medellín

Teniendo en cuenta el perfil de demanda de las rutas, se diseña la oferta de transporte requerida para atender la demanda teniendo en cuenta las fluctuaciones horarias para los diferentes días de la semana. Este diseño de la oferta será el punto de partida para determinar cada una de las tareas que realizará cada uno de los buses a lo largo del día. Estas tareas incluyen los desplazamientos no comerciales de los vehículos para posicionarse en el inicio de las rutas, los viajes comerciales para transportar pasajeros a lo largo de la ruta, y los desplazamientos necesarios para que los vehículos regresen al terminal cuando terminan su periodo de operación, o cuando el plan de mantenimiento requiere que estos accedan al taller para que se realicen las labores asociadas al mantenimiento correctivo y preventivo. La Figura 8 presenta la demanda a lo largo de cada uno de los días hábiles promedio de la semana y la oferta definida para su atención. Así mismo el Anexo presenta las tareas asignadas a lo largo de un día hábil para cada uno de los vehículos de la empresa.

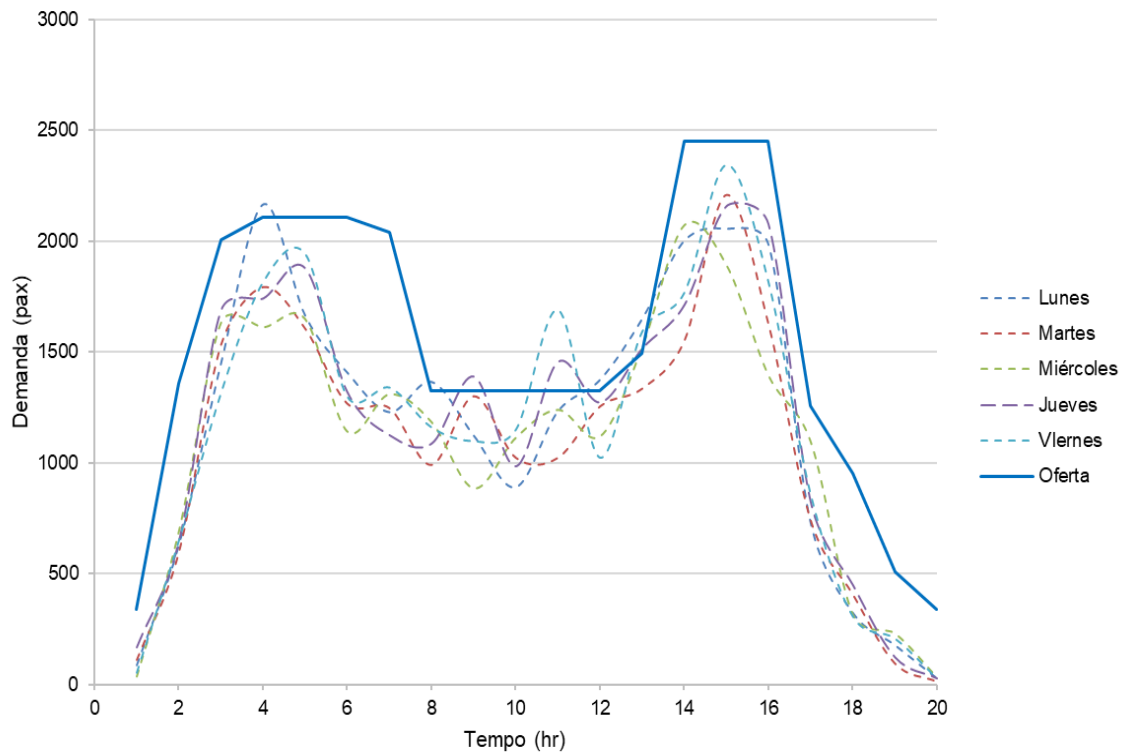


Figura 8. Oferta horaria calculada para atender la demanda de las rutas de FNV contemplando las variaciones asociadas al día de la semana

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA Y CICLO DE MANEJO

Teniendo los resultados obtenidos en la etapa de análisis de servicios, se realizó la instalación de un sistema de monitoreo operacional en una muestra de buses de la empresa, los cuales permitieron obtener un ciclo de manejo representativo para cada una de las rutas de FNV. El sistema de monitoreo permitió recabar la localización de cada uno de los buses en cada uno de sus despachos con una frecuencia de transmisión de 1 Hz. Las mediciones fueron realizadas durante un periodo de operación de un mes, permitiendo capturar la influencia de las variables relevantes (e.g., demanda, tráfico, o desempeño del conductor).

El proceso de construcción del ciclo de manejo representativo a nivel de ruta consta de tres fases principales. La primera fase contempla la recolección de información operacional del sistema con el objetivo de caracterizar el desempeño real de los vehículos en cada de las rutas. La segunda fase se enfoca en la obtención de una base de datos depurada y adecuada a los requerimientos del modelo de simulación. Finalmente, la fase tres procesa la información depurada obteniendo los ciclos de manejo representativos, los

cuales son validados mediante métricas que garantizan la representación de los patrones observados en la realidad.

La Figura 9 presenta los análisis realizados en cada una de las fases del proceso de construcción del ciclo de manejo representativo, las cuales pueden ser consultado en detalle en Jin et al. (2020).

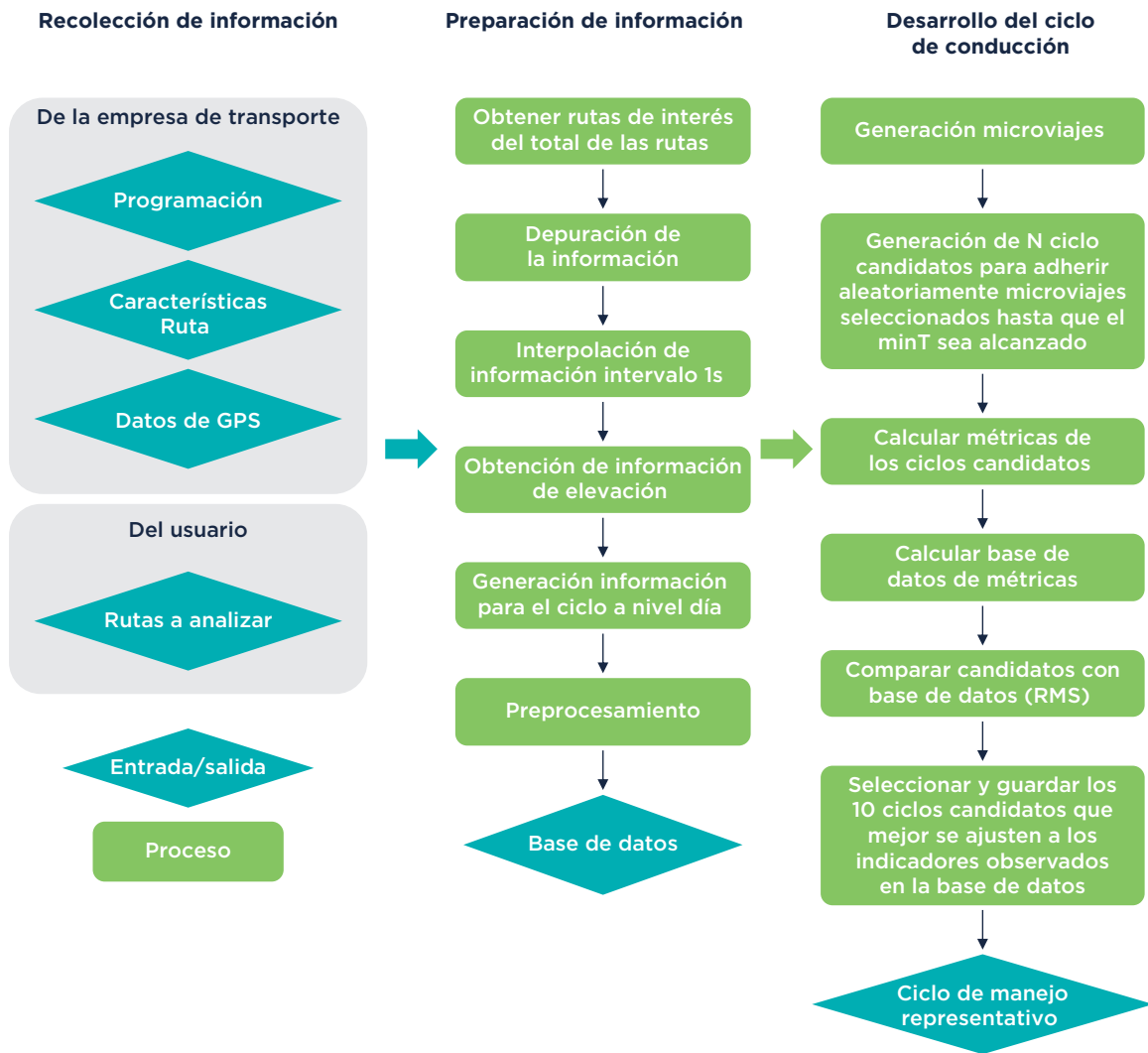


Figura 9. Proceso de generación del ciclo de manejo (Jin et al., 2020)

CONSUMO DE ENERGÍA

Tomando como input el ciclo de manejo representativo obtenido para cada una de las rutas, se modeló la operación de los buses considerando las características asociadas a las tecnologías de propulsión a combustión y eléctrica mostradas en la Tabla 1. Como variable adicional de modelación, se consideraron diferentes niveles de ocupación de los vehículos. Los resultados obtenidos se muestran.

Tabla 1. Especificaciones técnicas para cada una de las tipologías vehiculares consideradas en el proyecto

ítem	Diésel	Eléctrico
Longitud (m)	8,5	7,76
Altura (m)	2,9	3,36
Ancho total (m)	2,4	2,39
Peso en vacío (kilogramos)	10.400	7.450
Capacidad de pasajeros (sentados)	25	18
Capacidad de pasajeros (adicional de pie)	15	21
Voltaje nominal de la batería (V)	N.A	570
Capacidad de la batería (kWh)	N.A	169,2
Potencia máxima de carga (kW)	N.A	60kw
Estándar de emisiones	Euro V	Cero emisiones

Como se observa en la Tabla 2, los resultados muestran que existe una variación entre los consumos de las rutas de la empresa, principalmente asociado a las condiciones particulares de topografía y tráfico presentes en ellas. De otra parte, se observa que la variación del porcentaje de pasajeros provoca variaciones proporcionales similares en los consumos de todas las rutas.

Tabla 2. Consumos obtenidos para cada una de las tecnologías de propulsión en cada una de las rutas considerando variación en el porcentaje de pasajeros (Pax) transportados

Ruta	50 % Pax Diésel L/100km	100 % Pax Diésel L/100km	50 % Pax Eléctrico kWh/km	100 % Pax Eléctrico kWh/km
80	34,06	37,10	0,67	0,75
81	29,52	33,78	0,53	0,61
82	37,09	40,01	0,74	0,84
Promedio	33,56	36,96	0,65	0,73
Peso Total (kg)	8.500	10.100	11.400	13.000
Peso Vacío (kg)	6.900	6.900	9.800	9.800
Peso Pax (kg)	1.600	3.200	1.600	3.200

PROGRAMACIÓN DE SERVICIOS

Tomando como inputs los resultados de consumo de energía a nivel de ruta obtenidos para la tipología de buses eléctricos, se realizó el dimensionamiento del sistema contemplando tres componentes claves para la operación de sistemas de transporte público operados con buses eléctricos: tamaño de la batería, número de cargadores y la potencia eléctrica instalada en el terminal.

Para el dimensionamiento se modelaron los siguientes escenarios operacionales:

- **Escenario Carga Nocturna:** Contempla la utilización del programa de operaciones utilizado para el despacho de buses diésel. Para este programa se contempló la ejecución del plan de carga únicamente cuando los vehículos hayan terminado la totalidad de los recorridos asignados para el día. Dadas las condiciones de operación de las rutas de la empresa, el proceso de carga se ejecutaría principalmente en el periodo nocturno.
- **Escenario Cargas Parciales:** Al igual que el escenario 1, contempla la utilización del programa de operaciones usado para el despacho de buses diésel, pero aplica cargas parciales a los buses a lo largo del día. Para cumplir con este plan de carga se aprovecha la flota disponible en el patio por efecto de la disminución de la oferta en los periodos valle del día.

Los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios se presentan a continuación:

Tabla 3. Especificaciones para cada uno de los escenarios operacionales

Escenario	Tamaño batería (kWh)	Nº Cargadores	Potencia (MW)
1	160	22	1,3
2	160	18	1,1

Como se observa, la implementación de cargas parciales a lo largo del día permite disminuir en un 18 % los costos asociados al número de cargadores y en 15 % de la potencia requerida para cargar los buses.

MODELACIÓN DE EMISIONES

Uno de los grandes beneficios obtenidos con la implementación de buses eléctricos en la operación de flotas de vehículos pesados de uso intensivo es la reducción de emisiones de gases efecto invernadero. Dentro de este contexto, se realizó el cálculo de las emisiones generadas por la operación de transporte de FNV considerando una política de renovación de flota que cumple con las siguientes directrices:

- **Política nacional de electromovilidad:** Considera las tasas de recambio definidas en la Ley 1964 de 2019, la cual establece que a partir del año 2025 los sistemas de transporte público deberán considerar que al menos el 10 % de la flota que requieran renovar debe incluir tecnologías de propulsión cero emisiones. Así mismo, la ley define el aumento progresivo de este porcentaje a través del tiempo alcanzando el 100 % para el año 2035.
- **Plan de renovación de la empresa:** Correspondiente una tasa de recambio anual de cuatro vehículos, la cual ha sido aplicada históricamente por la empresa. Esta tasa permite cumplir los requerimientos establecidos en la Ley 1964.

Teniendo en cuenta la política de renovación de flota, se establecieron dos escenarios de modelación considerando el uso de tecnologías EURO VI y eléctrica para los nuevos buses que ingresen a la empresa. Los resultados mostrados en la Figura 10 permiten observar los beneficios adicionales obtenidos al utilizar solo buses eléctricos para la renovación de la flota. Adicionalmente, la Tabla 3 muestra las reducciones de emisiones alcanzadas por las dos tecnologías evaluadas, las cuales se segmentan en las emisiones reducidas durante el periodo de implementación y las alcanzadas una vez se complete la renovación de la flota.

Tabla 4. Especificaciones para cada uno de los escenarios operacionales

Indicador	Reducción de emisiones buses EURO VI		Reducción de emisiones buses eléctricos	
	Implementación	Renovación completa	Implementación	Renovación completa
WTW CO2	0%	0%	20%	48%
TTW NOx	43%	94%	46%	100%
TTW PM2,5	34%	73%	46%	100%

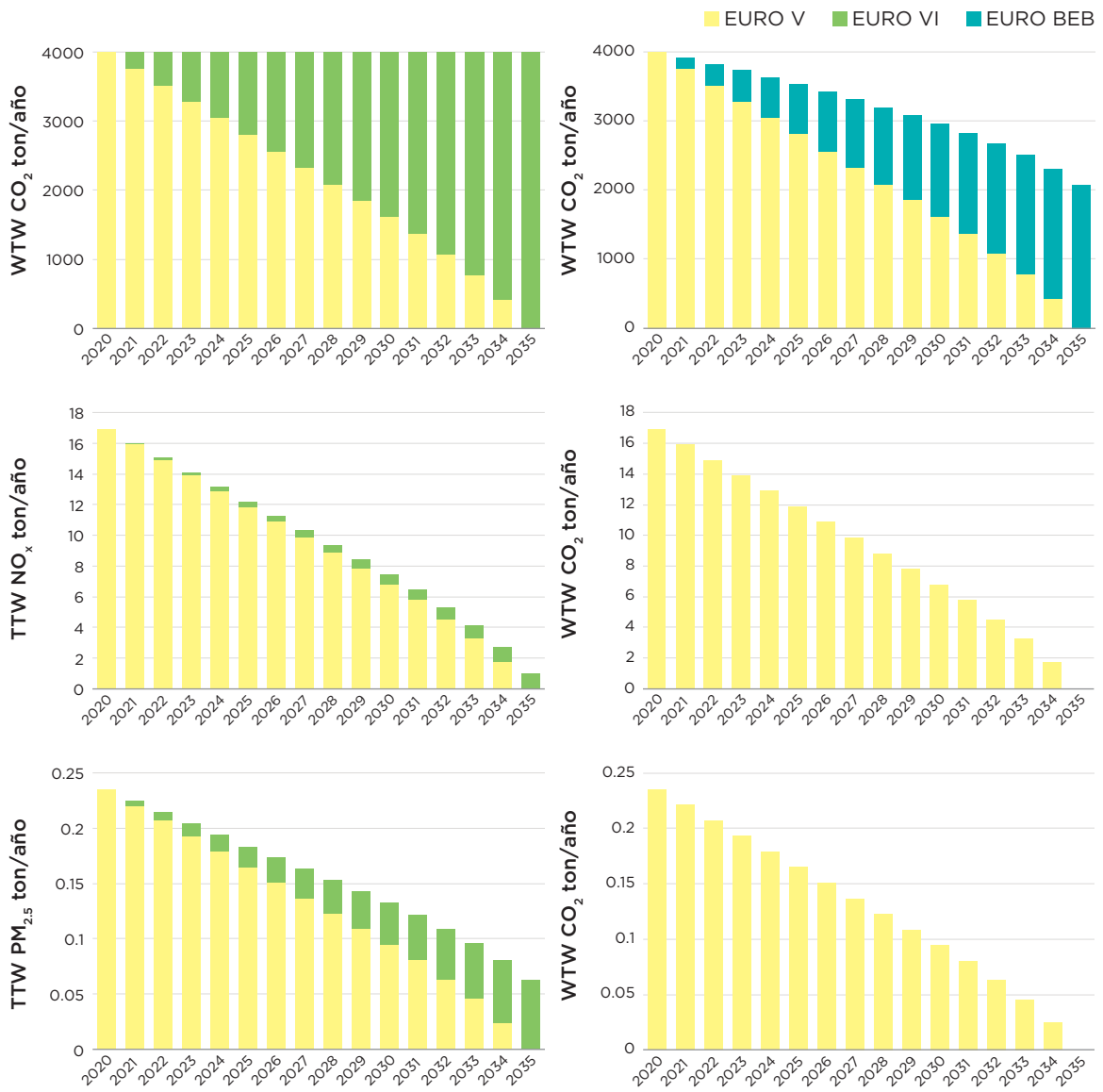


Figura 10. Escenario de renovación de flota Diésel tendencial

COSTO TOTAL DE PROPIEDAD A NIVEL RUTA

Con el objetivo de calcular el costo total de propiedad (total cost of ownership, o TCO por su sigla en inglés) se recolectó la información asociada a los costos de capital y de operación de FNV para los escenarios de operación con buses a combustión y con buses eléctricos. La Tabla 5 presenta la desagregación de los costos contemplados dentro el cálculo el TCO.

Tabla 5. Principales costos de operación para el TCO

Categoría	Componente	Definición	Valor utilizado en el TCO
Adquisición del autobús e infraestructura	Pago inicial	Pago inicial para la adquisición del autobús o infraestructura. El resto se asume que es cubierto por el préstamo adquirido.	10 % del valor total del vehículo
	Pagos del préstamo	Pagos a capital e intereses durante el periodo del préstamo.	Tasa de Interés: 7,07 %
	Valor de reventa	Si la duración de la operación planeada es menor a la vida útil del autobús, este valor positivo de flujo de caja considera el valor de reventa del vehículo depreciado.	10 % del valor total del vehículo
Costos de operación y mantenimiento	Combustible o energía	Costo de combustible o consumo de energía por kilómetro, determinado por la eficiencia del vehículo, la distancia recorrida y el costo del combustible/energía.	Los valores promedios para las rutas con Diésel: COP \$980/km Eléctrico: COP \$265/km
	Mantenimiento	Costo regular del mantenimiento del autobús: incluye llantas, auto partes, lubricantes, etc. Incluye costos de mano de obra.	Diésel: COP \$67/km Eléctrico: COP \$33/km
	Costos de media vida del autobús	Este costo hace referencia a los costos asociados al reemplazo de la batería para el caso de los autobuses eléctricos. Para el proyecto de FNV, se estima un reemplazo de la batería para cada uno de los buses durante el periodo de evaluación.	45 % del costo total del vehículo

Fuente: Adaptada de Miller, Minjares, Dallmann & Jin (2017)

Con los insumos recolectados, se modeló el proyecto considerando un periodo de evaluación de 15 años, obteniéndose la distribución de costos mostrados en la Figura 11 y la Figura 12. Los resultados muestran menores costos para la tipología eléctrica, afianzando su competitividad frente a la tipología Diésel.

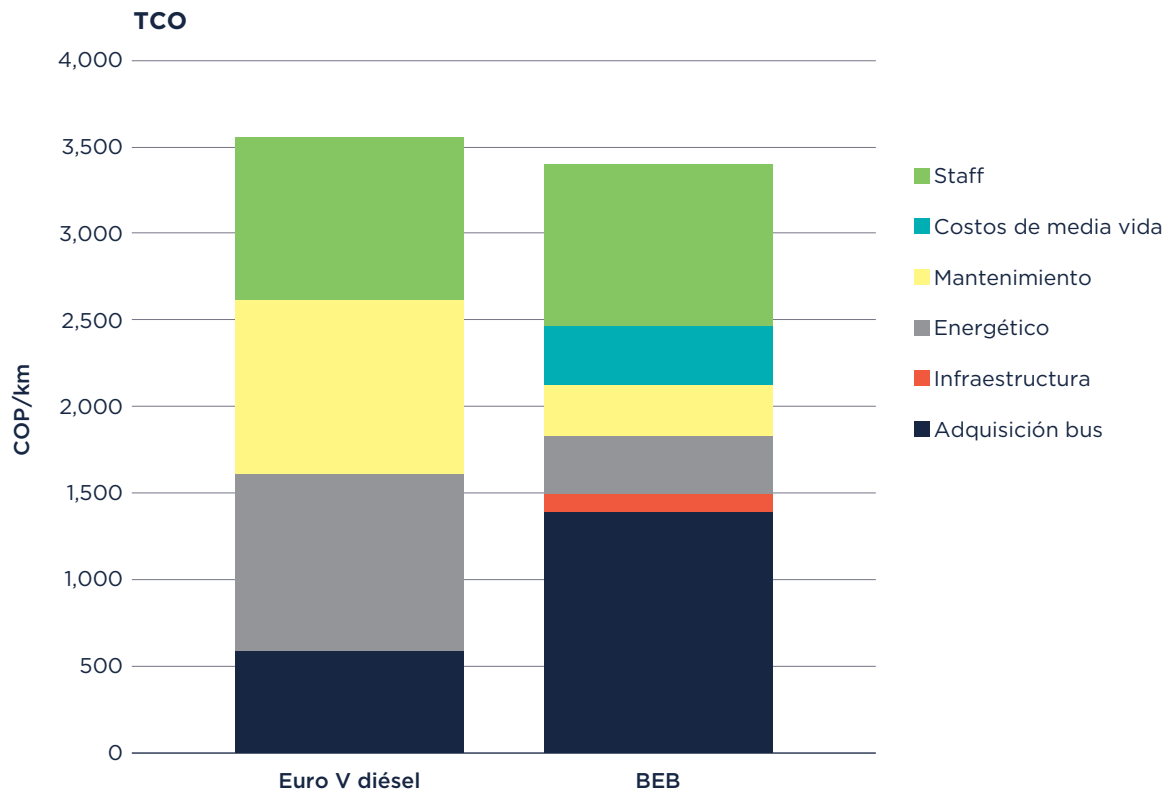


Figura 11. TCO por km para las tipologías Diésel y eléctrico

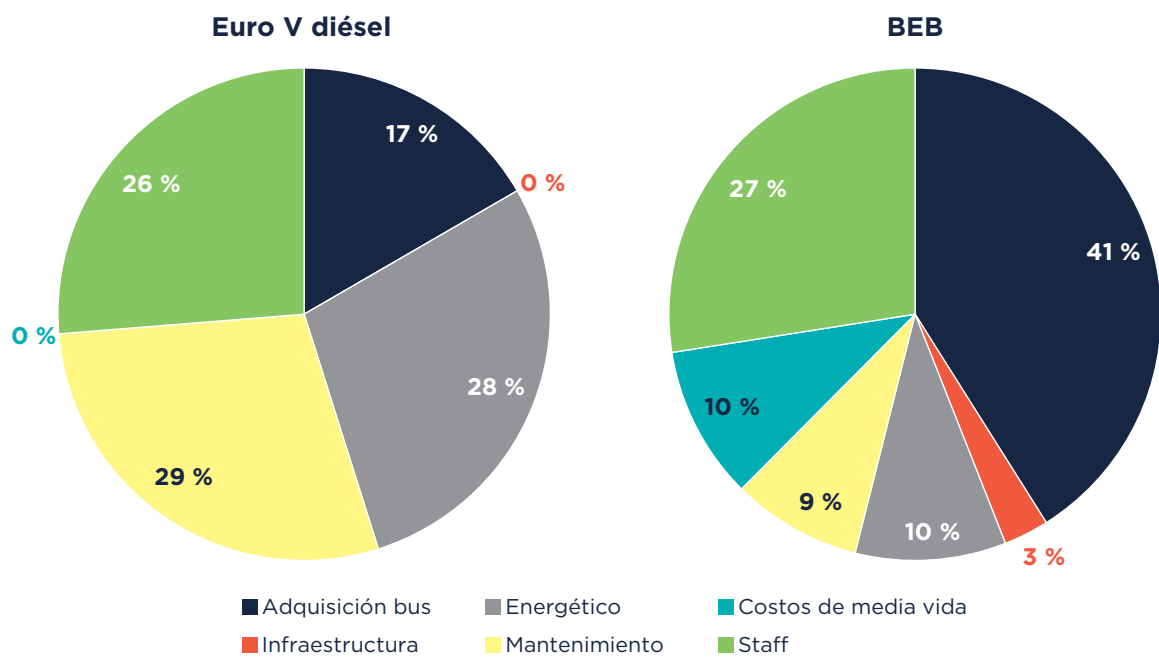


Figura 12. Composición porcentual de los costos para las tipologías Diésel y eléctrico

CONCLUSIONES

El desarrollo del plan de despliegue para FNV contempló un enfoque integral utilizando como inputs para las modelaciones las principales variables regulatorias, económicas y operacionales presentes en el proyecto. Dentro de las variables regulatorias se tuvieron en cuenta las políticas internas de la empresa y los requerimientos establecidos por la autoridad en relación con los compromisos de reducción de emisiones efecto invernadero. Para las variables económicas, se construyó la canasta de costos para la operación de buses a combustión y eléctricos, la cual contempló las estadísticas recolectadas por la empresa a lo largo de sus años de operación e indicadores de los costos presentes en sistemas de transporte público que utilizan masivamente las dos tecnologías evaluadas. Finalmente, las variables operacionales fueron construidas con base en la programación utilizada por la empresa para sus operaciones diarias.

El enfoque utilizado y los resultados obtenidos permiten concluir que la implementación de buses eléctricos en FNV es factible y favorable desde los puntos de vista técnico y financiero. Desde el punto de vista privado, se observa la competitividad de la flota eléctrica presentando un costo de propiedad equivalente al 96 % del observado con el a utilización de buses Diesel. Desde el punto de vista público, se observan externalidades positivas asociadas a reducciones del 48 % de WTW CO₂, y del 100 % para TTW NO_x y TTW PM2.

Para alcanzar los resultados obtenidos en este plan de despliegue se ha recomendado a la empresa la capacitación del personal técnico clave para la puesta en marcha del proyecto. Dentro de este contexto, se diseñó e implementó un programa de capacitación que abarcó los aspectos técnicos principales para la planificación y operación de sistemas operados con buses eléctricos. Producto de la interacción llevada a cabo con el personal de la empresa durante la ejecución de este program a de capacitación, se diseñó un plan de cargas parciales para los buses eléctricos que respeta las restricciones logísticas presentes en la operación actual, y que permite disminuir en un 18 % los costos asociados al número de cargadores y en 15 % de la potencia requerida para la carga eléctrica. Este programa de capacitación deberá tener continuidad durante la fase de implementación del proyecto, siendo complementado con capacitaciones impartidas por los fabricantes de flotas y dirigidas a los conductores y personal de mantenimiento.

ANEXO 1 - PARÁMETROS MÍNIMOS DEFINIDOS POR LA SMM PARA LA OPERACIÓN DE LA RUTAS DE LAS EMPRESA

Tabla 6. Ruta O80 y sus variantes

Código de Ruta	Nombre de la ruta	Frecuencia HDM (bus/hr)			
		Normal	Sábado	Domingo	Festivo
O80 V-M	Villa Hermosa - La Mansión	25	25	13	13
O80 V-33	Villa Hermosa - La Mansión directa la 33	8	8	4	4
O80 V-O	Villa Hermosa - La Mansión directa la Oriental	8	8	4	4
	Total	41	41	21	21

Fuente: Resolución 225 del 2017 expedida por la Secretaria de Movilidad de Medellín

Tabla 7. Ruta O81

Código de Ruta	Nombre de la ruta	Frecuencia HDM (bus/hr)			
		Normal	Sábado	Domingo	Festivo
O81	Villa Hermosa - Derecho	10	10	5	5
	Total	10	10	5	5

Fuente: Resolución 225 del 2017 expedida por la Secretaria de Movilidad de Medellín

Tabla 8. Ruta O82 con sus variantes

Código de Ruta	Nombre de la ruta	Frecuencia HDM (bus/hr)			
		Normal	Sábado	Domingo	Festivo
O82 V-LA	Villa Hermosa - Los Ángeles	10	10	5	5
O82 V-LAD	Villa Hermosa - Los Ángeles Directa	5	5	3	3
	Total	15	15	8	8

CONTACTO

zebra@theicct.org
zebra@c40.org



SOCIO DE APOYO



AGENCIA DE FINANCIACIÓN



SOCIOS IMPLEMENTADORES