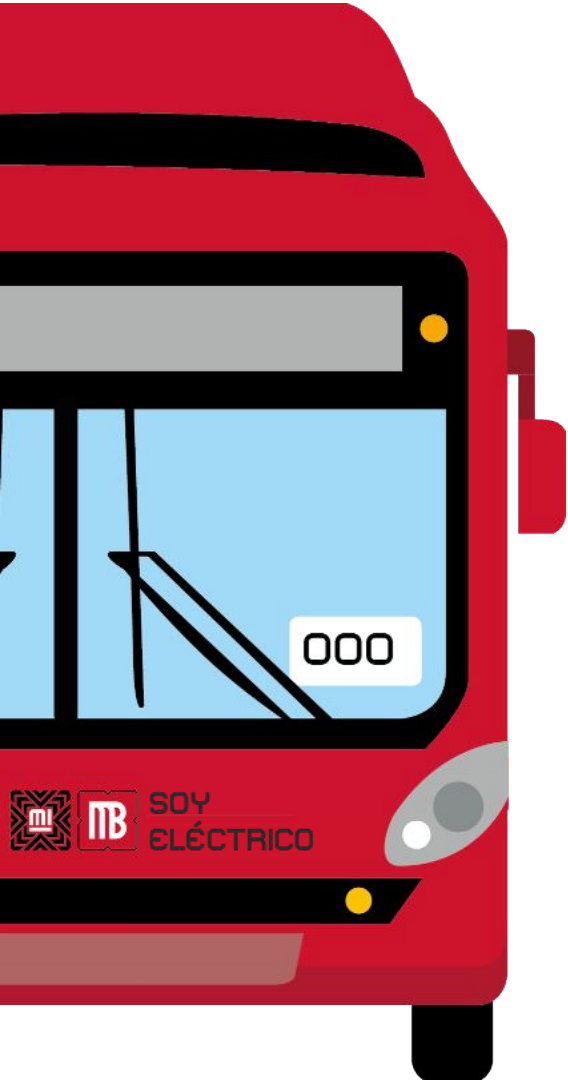


# TALLER CAMINO HACIA LA ELECTROMOVILIDAD EN METROBÚS

Encuentro de empresas  
operadoras e industrias



WORLD  
RESOURCES  
INSTITUTE



METROBÚS

# Planificación macro para la Electrificación del Sistema Metrobús

Candi Ashanti Dominguez

Angélica Mazorra

David Escalante



WORLD  
RESOURCES  
INSTITUTE

# La estrategia de electromovilidad de Metrobús consiste en continuar con la transformación de corredores a corredores cero emisiones, cumpliendo:

1. **Requerimientos técnicos** de los autobuses, para un diseño de acuerdo a las exigencias de cada corredor.
2. **Modelo económico** equilibrado, buscando que con la reducción del costo de operación sea viable la adquisición de autobuses eléctricos, resultando en mayores beneficios económicos que una sustitución por autobuses diésel.
3. Hacerlo realidad en el **periodo de tiempo** que resta para sustitución de flota que va llegando a su vida útil, el período de instalación de infraestructura de recarga y de producción de autobuses eléctricos.

Para cumplir los **requisitos técnicos** desde Metrobús diseñamos el Anexo Técnico de autobuses con base en estudios especializados de las rutas que operan en el corredor

1. Estudios de velocidad
2. Modelos de transporte
3. Dimensionamiento de baterías
4. Estrategia de logística de carga



# El modelo económico ha demostrado que en una proyección de operación en los siguientes 15 años es más rentable la operación con autobuses eléctricos

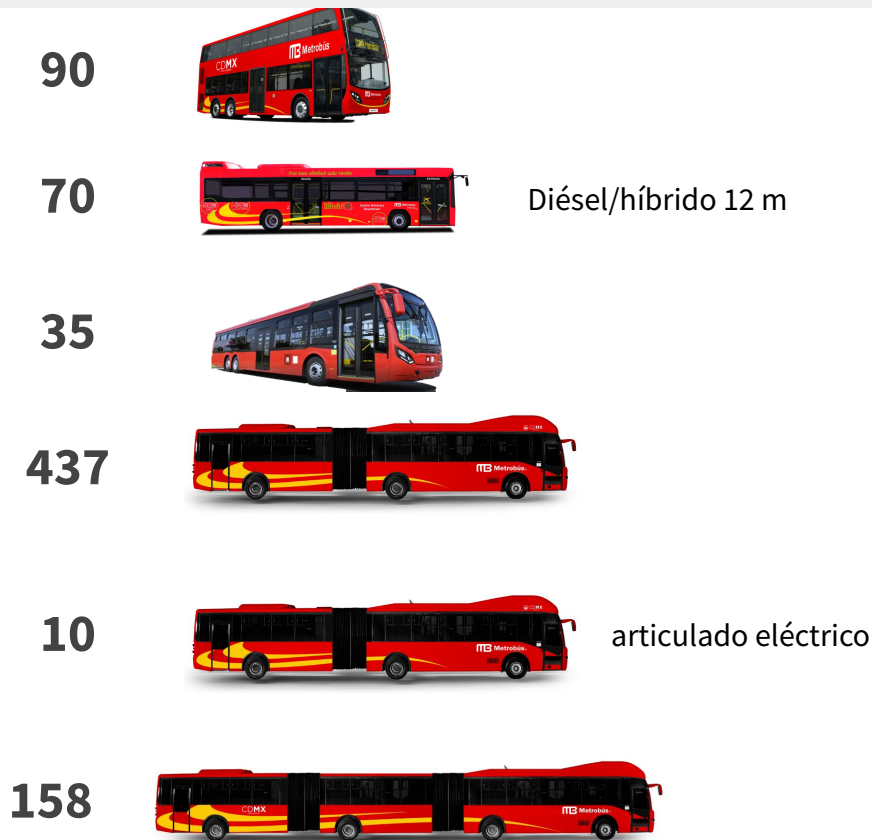
$$\begin{array}{ccc} \$/\text{km Diésel} & = & \$/\text{km eléctricos} \\ \text{OPEX} & & \text{CAPEX} + \text{OPEX} \end{array}$$

- Los resultados de estos estudios demuestran la **viabilidad económica de la operación con autobuses eléctricos vs diésel**.
- Incluyen la operación y sustitución de flota en los siguientes **15 años con autobuses eléctricos vs diesel**. con un ahorro.
- Se compensa con estos ahorros la adquisición de la flota eléctrica y la infraestructura de recarga.

La sustitución de la flota marcará la pauta para los siguientes proyectos de electromovilidad y la adecuada planeación



# Actualmente contamos con 800 autobuses de los cuales el 55% son articulados y la flota seguirá aumentando



# La planeación en el periodo de tiempo correcto es clave para lograr proyectos de electromovilidad exitosos

1. Dimensionamiento de baterías, diseño de autobuses y estrategia de recarga.
2. Acordar el modelo económico.
3. Empatar el proceso de instalación de infraestructura de recarga con la producción de autobuses.
4. Periodo de tiempo de al menos 1.5 años.







Gracias



WRI MÉXICO

MEXICO

UK PACT

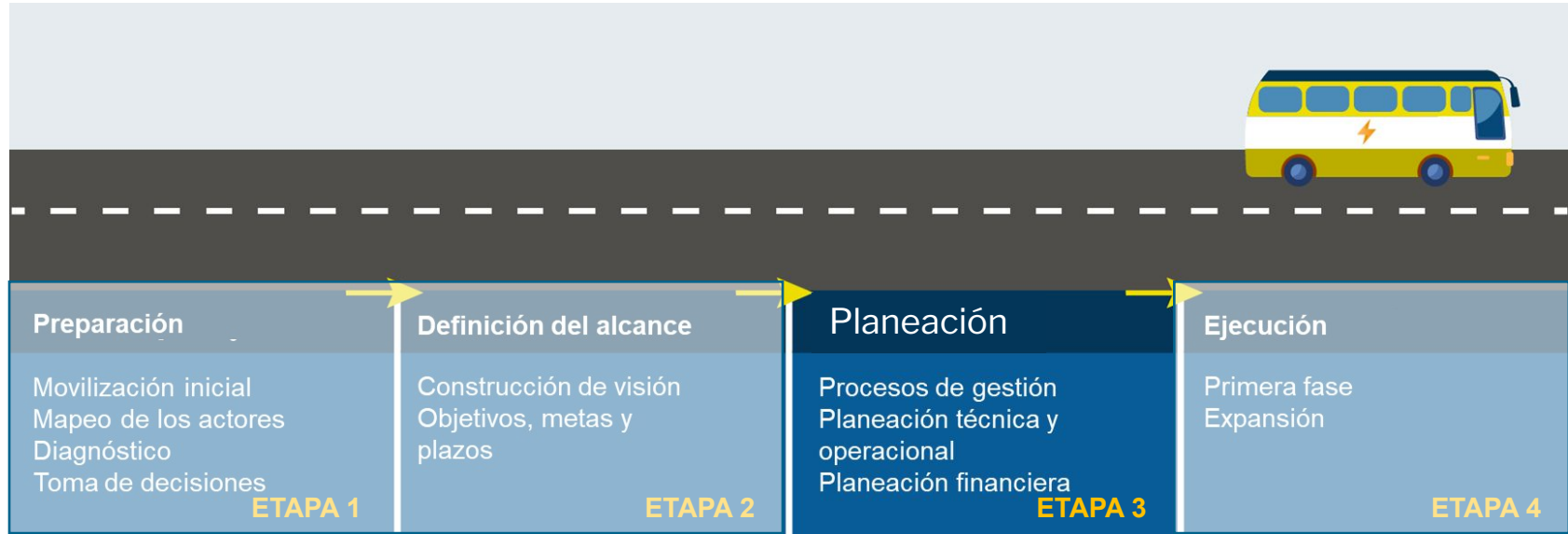


# Taller de Electromovilidad


Planificación macro para la electrificación del sistema Metrobús

20 julio 2022

# ¿Qué se requiere para poder implementar flotas eléctricas?

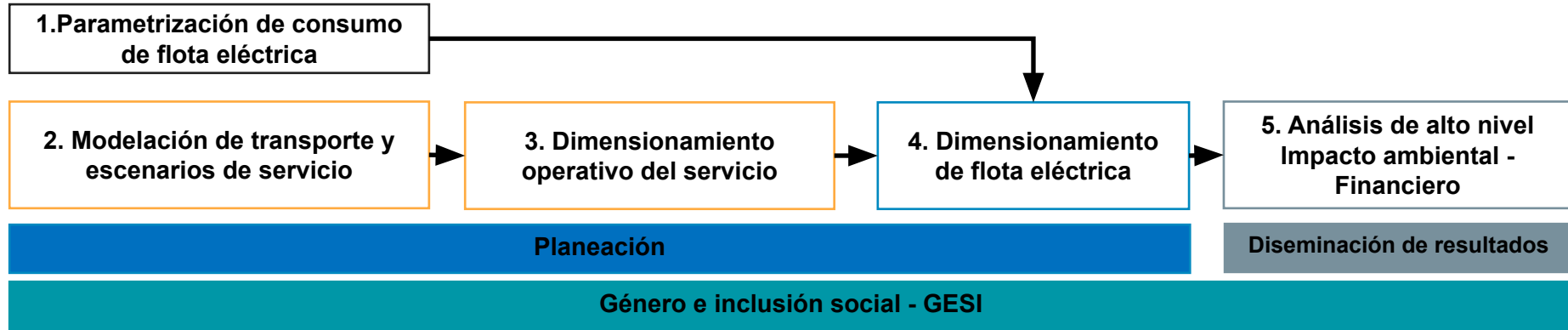


Planeación con énfasis en **planeación técnica y operacional**



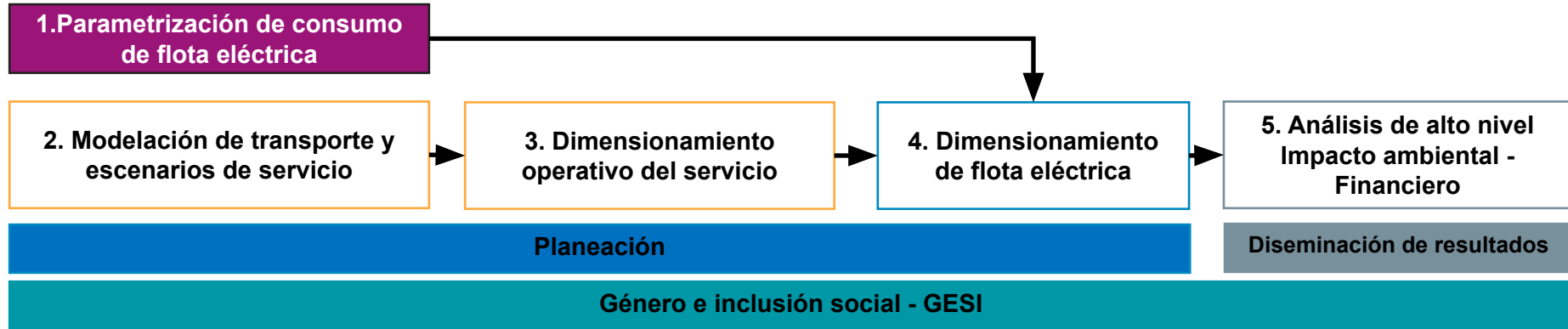
# Esquema general planeación macro

Asistencia técnica para la electrificación del transporte público, Metrobús Ciudad de México



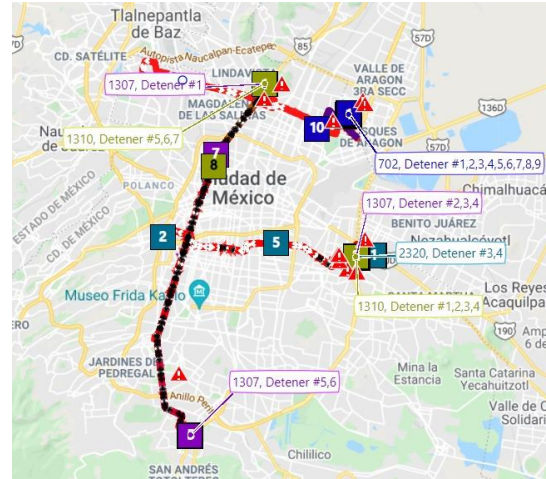
# Esquema general planeación macro

Asistencia técnica para la electrificación del transporte público, Metrobús Ciudad de México



# Recolección datos de campo

Instalación de equipos tipo GPS de alta precisión y datalogger



Visualizador de posición de vehículos

1. Parametrización de consumo

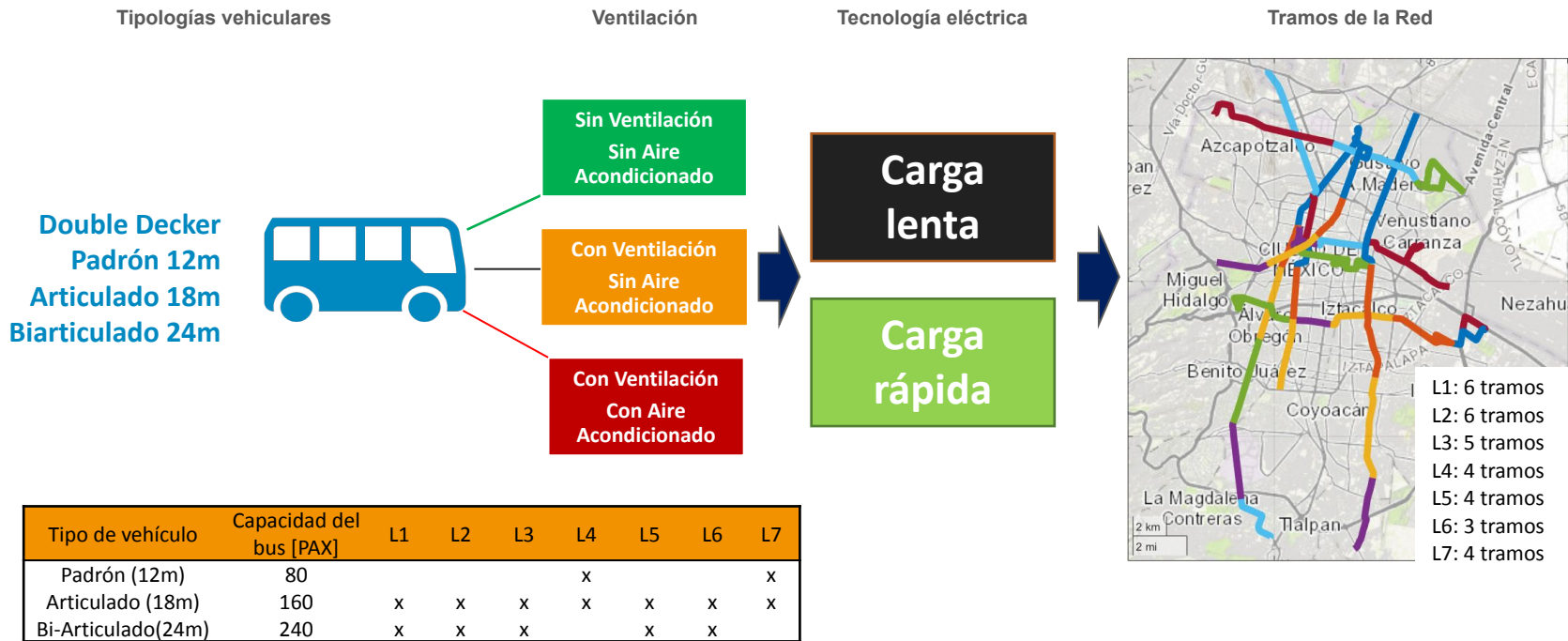


Perfil de datos de velocidad

Perfil de datos de motor 1307



# Descripción de resultados obtenidos – Parámetros de consumo de flota eléctrica

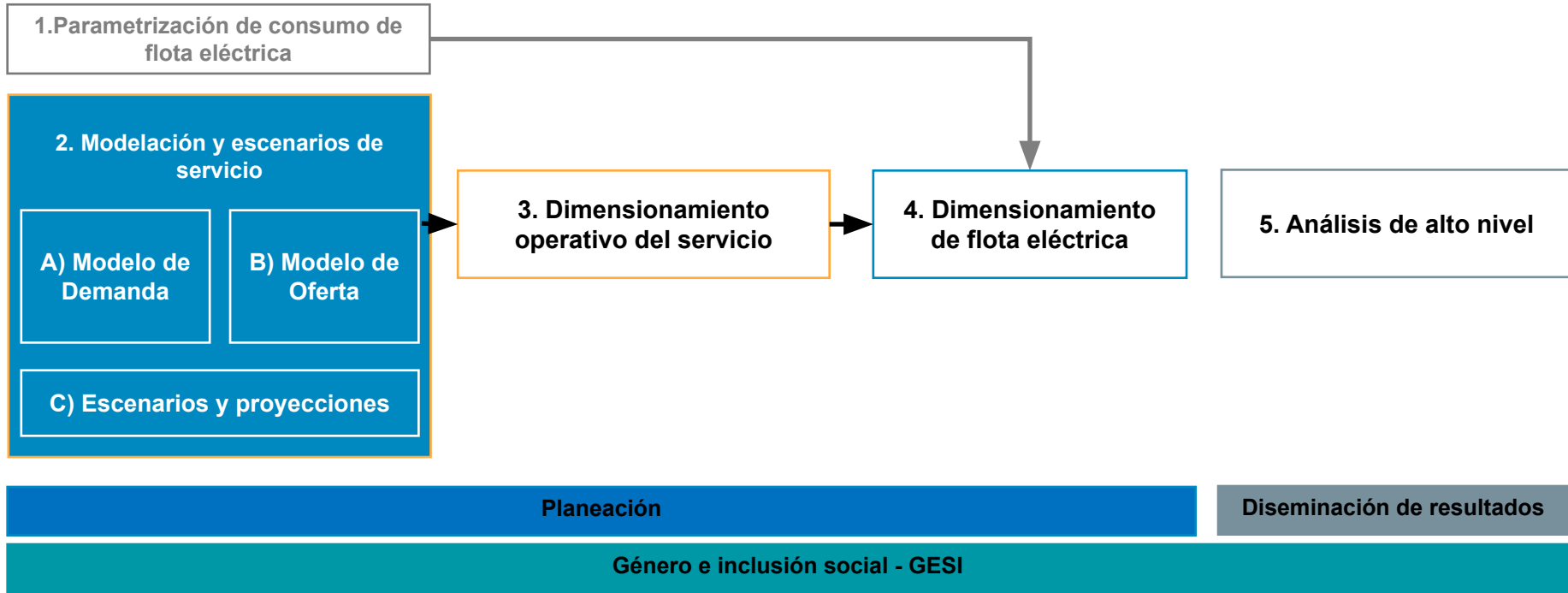


1. Parametrización de consumo



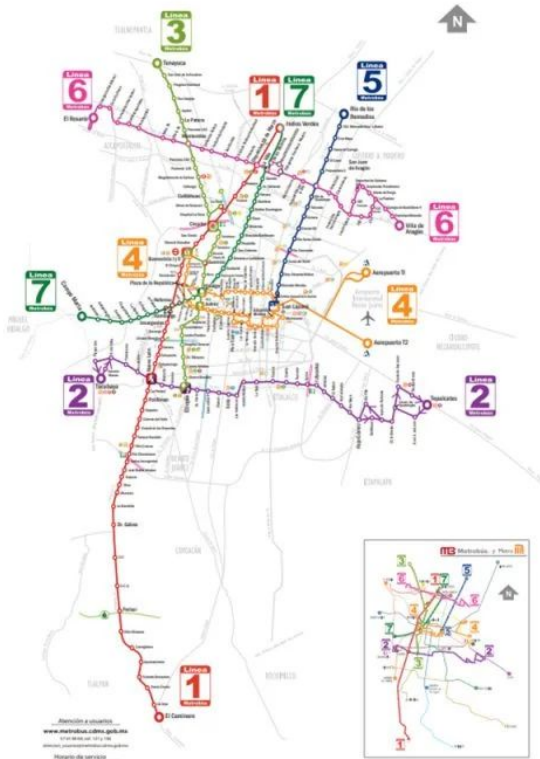
# Esquema general planeación macro

Asistencia técnica para la electrificación del transporte público, Metrobús Ciudad de México





# ¿Porqué un modelo de transporte?

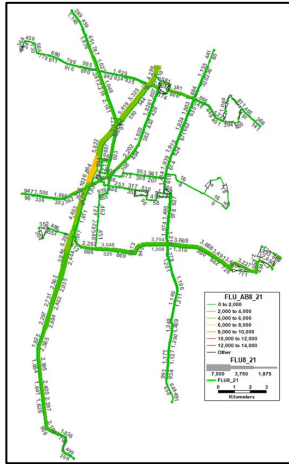


Actualmente Metrobús cuenta con 7 líneas de BRT + servicio emergente Tláhuac, con planes de aumentar líneas en un futuro o ampliar las existentes.

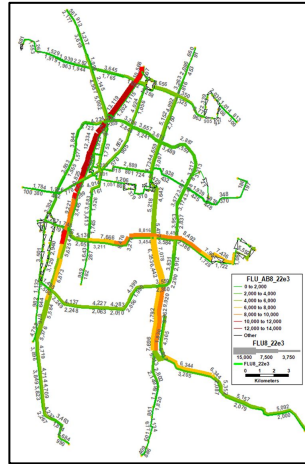


Tenemos información de la cantidad de pasajeros que usan las líneas actuales, pero, ¿cómo saber cuál podría ser el comportamiento/uso de las personas usuarias ante un cambio en el sistema?

# ¿Porqué un modelo de transporte?



Modelación situación actual



Modelación futura

Para esto existe la modelación de transporte, que nos permite tener una fotografía de la situación actual y hacer un pronóstico de cómo será el uso del sistema en un futuro, y de esta forma, poder **planear el número de autobuses necesarios para atender la demanda futura.**

# ¿Porqué un modelo de transporte?



Con la tecnología disponible y los planes de reposición de la flota a medida que cumple sus años de vida, se puede planear el **proceso de transformación eléctrica del sistema.**



2. Modelación

# Etapas del modelo

## Modelo de transporte

### a) Modelo de Demanda

- Corredores actuales (con datos):
  - *Proyección de entradas y salidas*
  - *Matriz semilla*
- Corredores futuros (sin datos):
  - *Modelo de predicción de entradas y salidas en horas pico por estación.*
  - *Modelo predicción de viajes entre estaciones.*

### b) Modelo de Oferta:

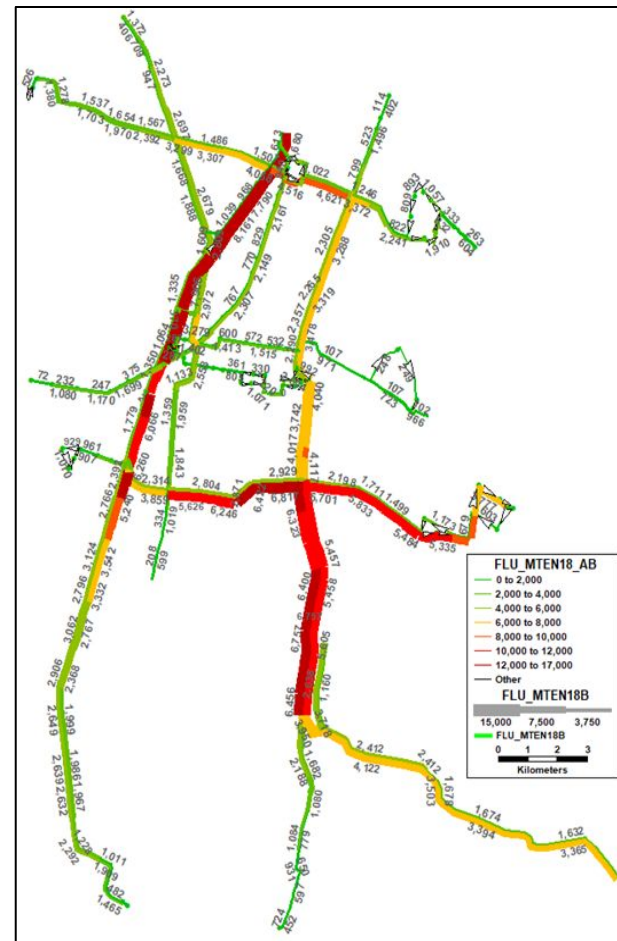
- Red de representación del sistema:
  - Arcos:
    - *De red del sistema*
    - *De transferencia*
  - Atributos:
    - *Velocidad*
    - *Capacidad*
    - *Función de flujo demora (uniforme)*

### c) Escenarios y proyecciones

# Modelo de oferta: red de modelación

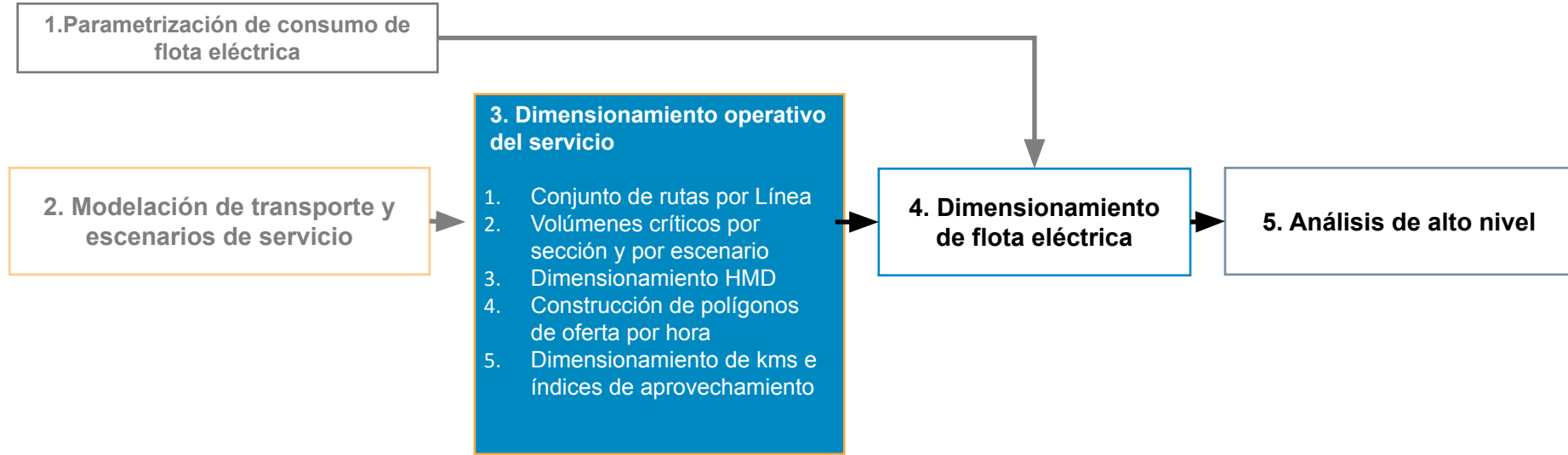
Rutas Metrobús 2024

- Demanda al 75%.
- Se integran LT, extensiones de L3, L5 y Pantitlán
- Demanda proyectada de forma tendencial al 2024
- **Escenario utilizado para la electrificación del sistema**



# Esquema general planeación macro

Asistencia técnica para la electrificación del transporte público, Metrobús Ciudad de México



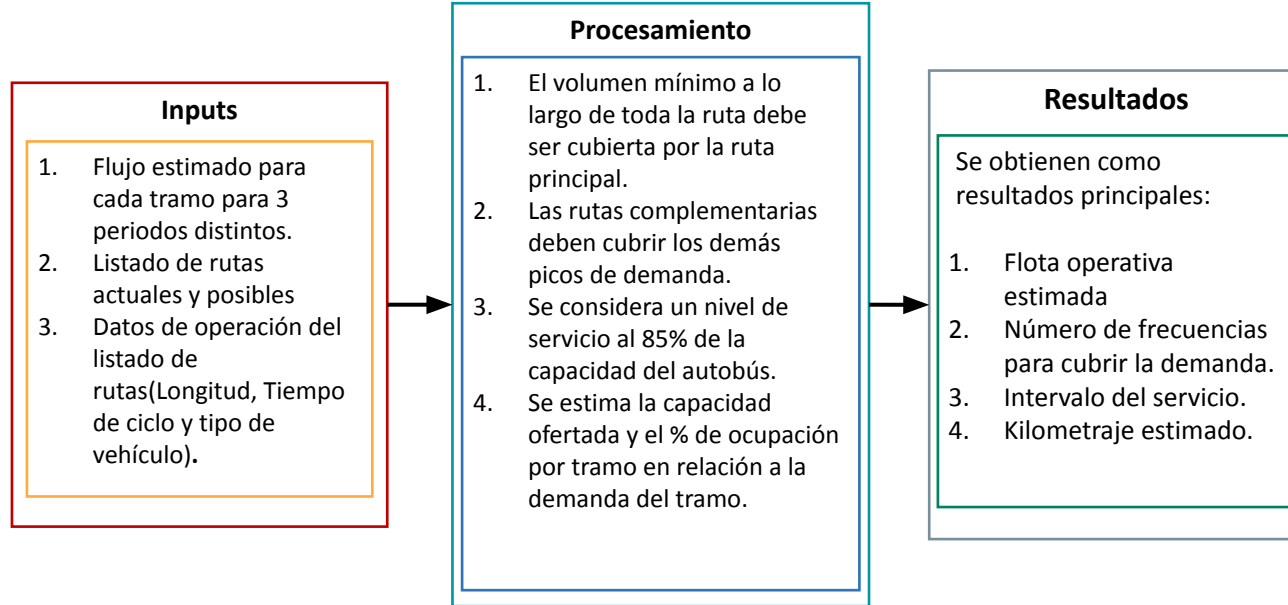
**Planeación**

**Diseminación de resultados**

**Género e inclusión social - GESI**



# Metodología dimensionamiento operativo

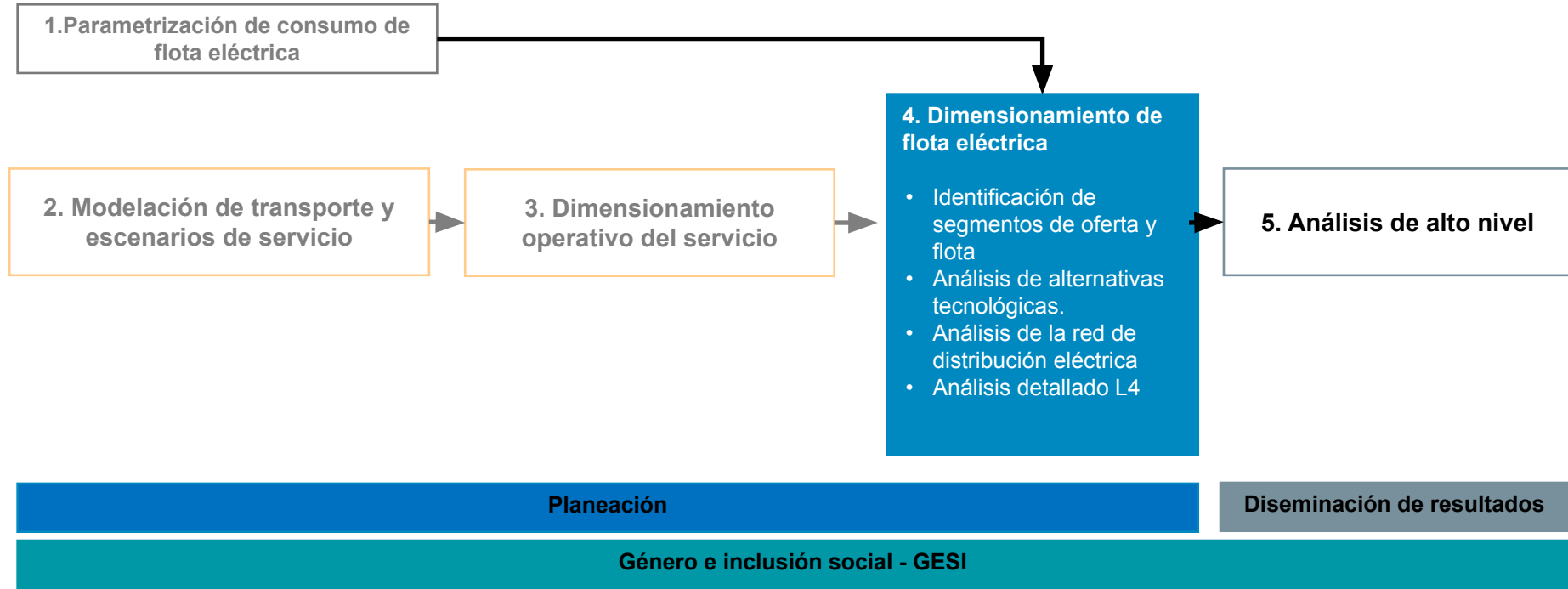


3. Dimensionamiento operativo



# Esquema general planeación macro

Asistencia técnica para la electrificación del transporte público, Metrobús Ciudad de México





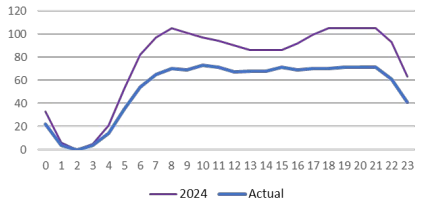
# Metodología dimensionamiento flota eléctrica

**INSUMO:  
Dim.  
Operativo**

### Comportamiento de flota (por ruta y por línea)

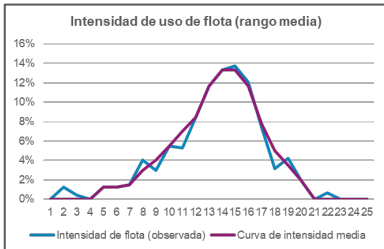
- Perfil de flota en operación

Perfil horario \_ Actual vs Modelo 2024 - L2



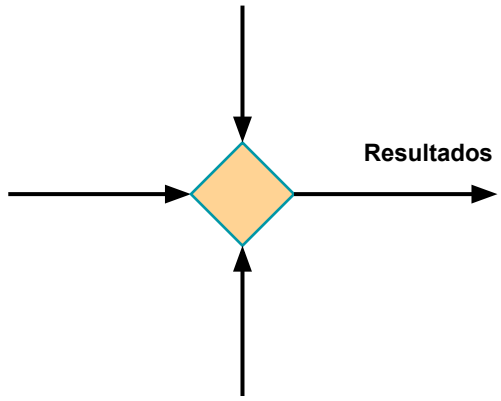
- Intensidad de uso por vehículo

Intensidad de uso de flota (rango media)



- Distribución de flota en patios.

**Parametrización de consumo de flota eléctrica (rendimiento por línea)**



Consideraciones y alternativas tecnológicas

**E. Conservador**  
Carga "lenta", nocturna

### Dimensionamiento eléctrico

L1
L2
L3
L4
L5
L6
L7

#### Segmentos de flotas

- Flota
- Consumo energético

#### Requerimientos básicos:

- Distribución por puntos de recarga (patios)
- Cargadores
- Consumo energético
- Demanda eléctrica

4. Dimensionamiento flota eléctrica

## Potencial de electrificación del sistema para 2024

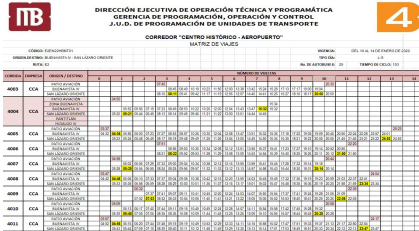
- Se estima que potencialmente el 49% de la flota de Metrobús lograría ser electrificada en el año 2024, bajo una exigencia operativa similar a la presentada antes de la pandemia y usando la tecnología de carga lenta, con carga nocturna en patios únicamente. Esta flota recorrería diariamente el 42% del km de servicio
- Con estas características los patios requerirían una potencia instalada de entre 1mW y 13.9 mW, siendo los casos más críticos el Patio Aviación (13.9 mW), Patio Norte (6.8 mW), Patio Jupiter (4.2 mW), Patio Las Bombas (3.8 mW).
- Los consumos anuales de energía, en la mayoría de los patios, superan el millón de kwh, y suman un total de más de 45 millones de kwh para todo el sistema, en este escenario.



# Análisis detallado de electrificación línea 4

## INSUMOS:

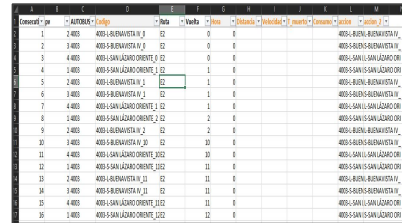
- Dimensionamiento de flota eléctrica y Diseño Operativo (D.O)
- Programaciones de servicio de L4
- Distancias oficiales entre estaciones.



Revisión de consumo por autobús

## Procesamiento de las bases de datos:

- Conformación de una base de datos unificada con todas las «actividades» ejecutadas diariamente por cada vehículo programado para el servicio.
- La BD generada se complementa con los consumos energéticos específicos, asociados a cada actividad programada del vehículo.



## Simulación de alternativas de estrategias de recarga para la L4, considerando D.O.

Carga nocturna

### Resultados:

- Simulación de asignación de cargadores.
- Disponibilidad de autobuses para su operación

Carga nocturna + carga diurna

### Resultados:

- Matriz de consumo optimizada.
- Matriz de autobuses con posibilidad de carga diurna

Carga de oportunidad

### Resultados:

- Visualizadores de estado de carga (SOC) para escenarios de 150 y 300 Kwh
- Número de pantógrafos requeridos por terminal ( 4 escenarios).
- Carga nocturna remanente y número de cargadores
- Disponibilidad de buses para operación

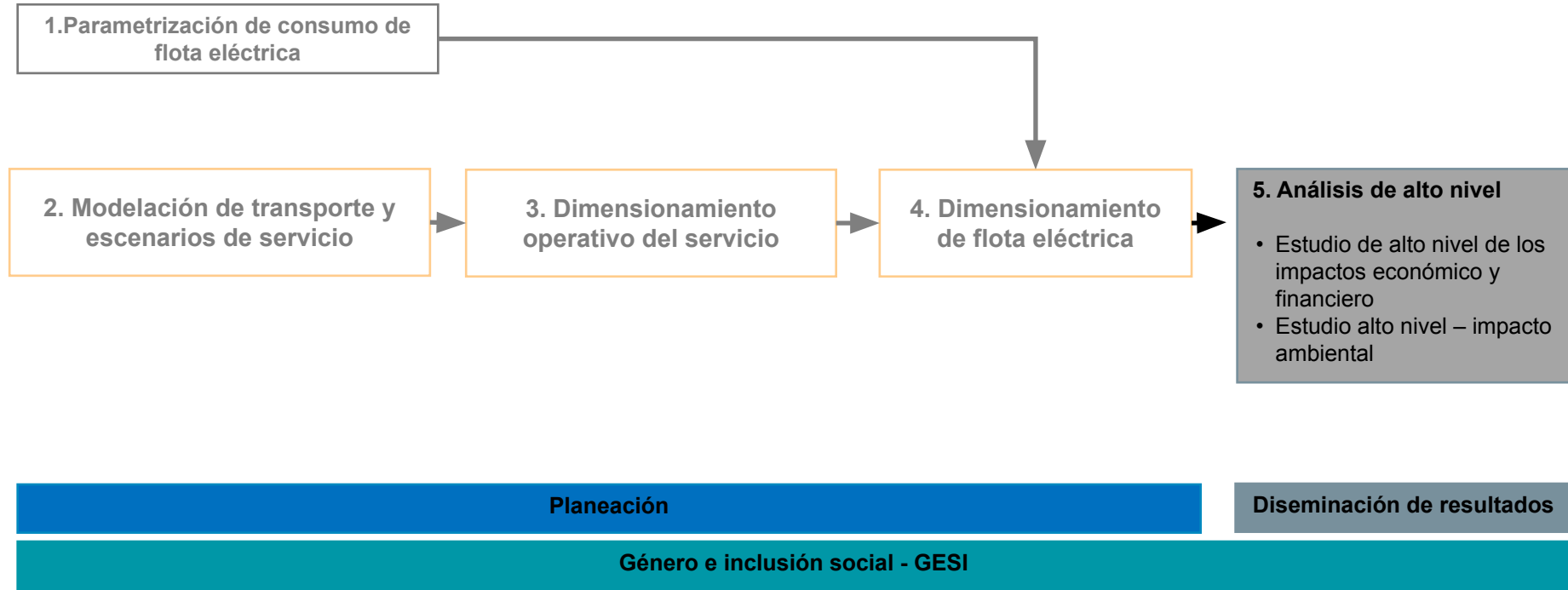
## Análisis detallado de electrificación línea 4

- Si solo se utiliza la carga nocturna como alternativa para el dimensionamiento eléctrico de esta línea se estarían requiriendo 36 cargadores para un total de 69 Autobuses lo cual representa el 96% de la flota en operación.
- Solo 4 autobuses son candidatos para la carga diurna lo cual hace que el impacto en el ahorro en la carga nocturna sea únicamente del 3% y todos estos buses están ubicados en el patio Aviación y son pertenecientes a la ruta E4 (Pantitlán).



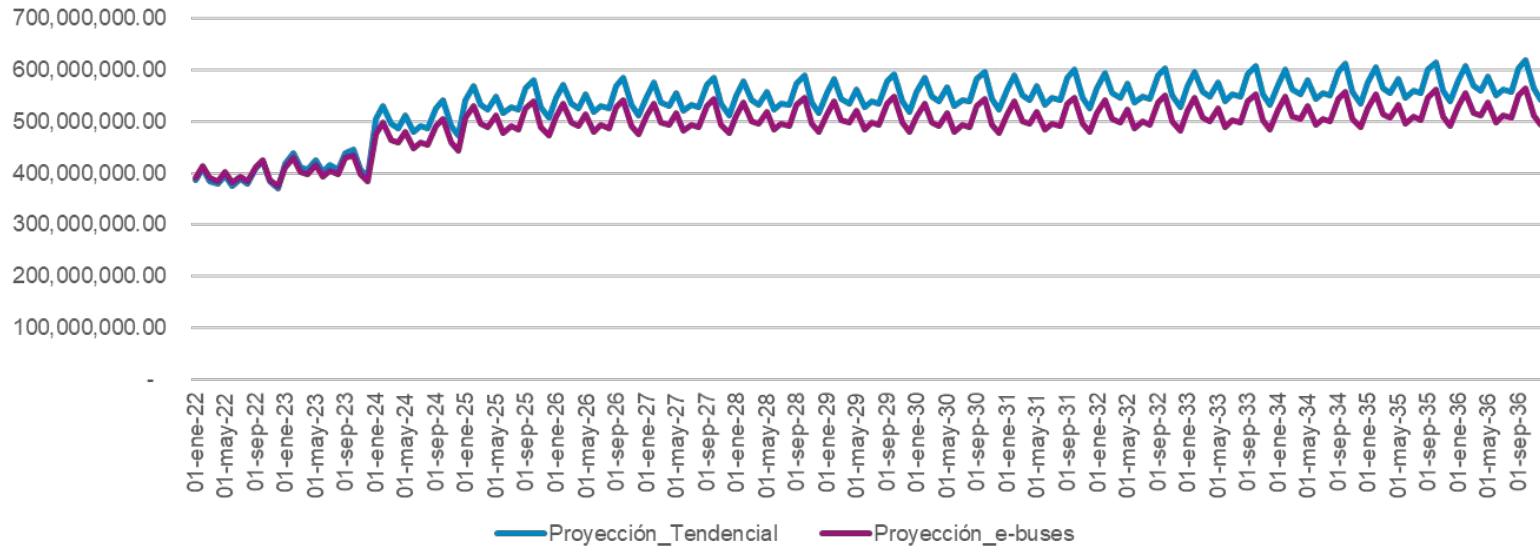
# Esquema general planeación macro

Asistencia técnica para la electrificación del transporte público, Metrobús Ciudad de México



# Estudio de alto nivel de los impactos económico y financiero

Comparativa de Proyecciones  
 Tendencial vs e-Buses  
 pesos



## Estudio de alto nivel de los impactos económico y financiero

**El ahorro en los costos operativos de los buses eléctricos** (respecto de los diésel), **permitiría cubrir** (o identificar la brecha de) **los compromisos financieros asumidos para la adquisición de los buses e infraestructura eléctrica**; de tal forma que los flujos de egresos totales de MB, en un horizonte de 15 años, se observen **compensados**.

# Estudio de alto nivel impacto ambiental

## Contexto

La sustitución de autobuses eléctrico en las líneas del sistema del transporte del Metrobús podría tener beneficios ambientales en:



La reducción de las emisiones de los contaminantes atmosféricos

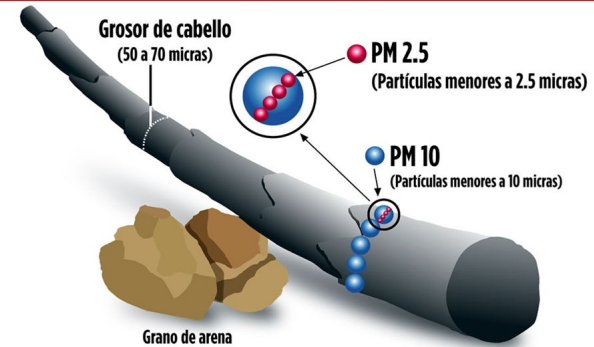


Mejoras en la calidad del aire y en la salud de la población expuesta



Mitigación del cambio climático regional y global

Las partículas PM2.5 y PM10, que predominan en el ambiente, son casi microscópicas, pero sus efectos en la salud son de grandes proporciones.



Dato importante: Las emisiones de PM2.5 de vehículos a diésel son carcinogénicas para los humanos\*



# Estudio de alto nivel impacto ambiental

## Resultados

Si bien los autobuses que circulan actualmente tienen tecnologías de avanzada en el control de emisiones, la electrificación paulatina del 49% (536) de los autobuses en el periodo (2021-2025), tendría una reducción relativa la las emisiones estimadas en 2018 de:

- 2.5% y 1.7% de PM2.5 y PM10, respectivamente
- 0.7% y menos del resto de los contaminantes
- 4.5% de carbono negro, respectivamente
- 1.7% de metano\*
- 0.4% y 0.1% de CO2 y N2O, respectivamente

\*La reducción de metano tiene un potencial de calentamiento entre 28 y 34 veces mayor que el CO2 y por tanto se contribuye a la mitigación del calentamiento global



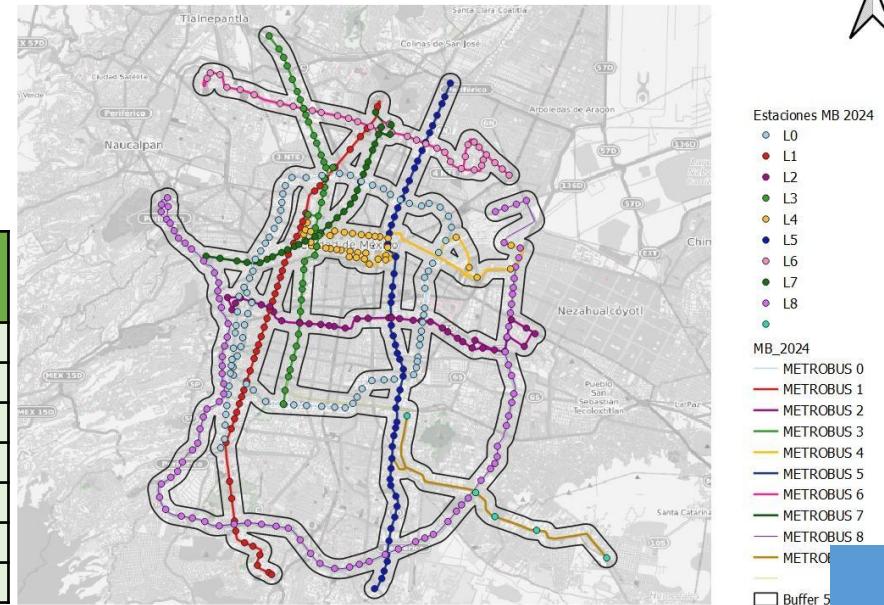
Si bien la reducción relativa del CO2 es de 0.41%, su magnitud asciende a 64,813.2 ton, en el periodo de estudio, lo que equivale al secuestro de carbono de 32135.3 ha de bosque\*

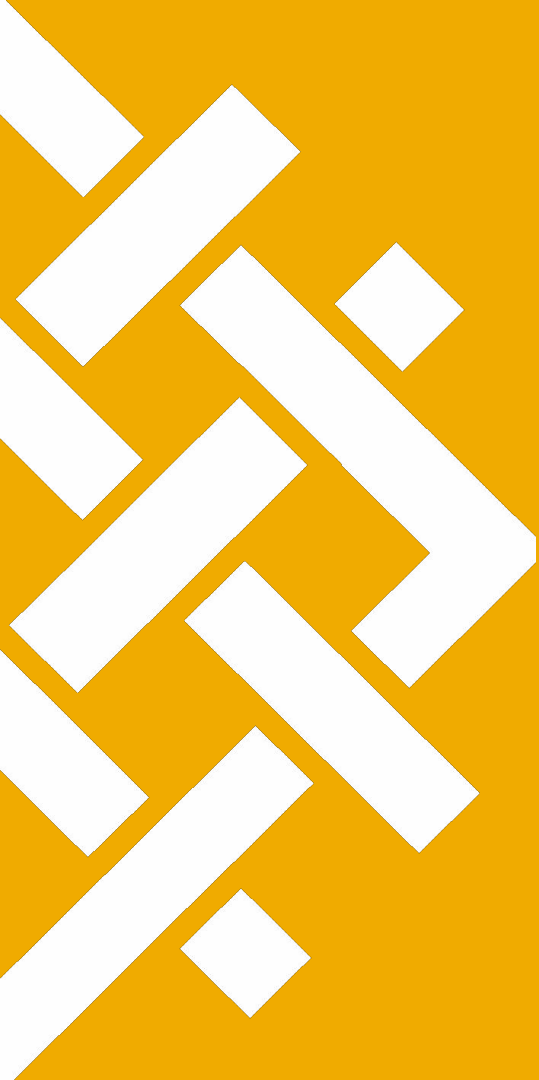
# Línea base con perspectiva GESI

Línea base sobre el actual funcionamiento de las 7 líneas de Metrobús de acuerdo con criterios de género e inclusión social (GESI), que permite conocer y evaluar el comportamiento actual del sistema en este sentido.

Línea	Variables de análisis				Ponderación de variables	Posición GESI
	Demanda	Conectividad	Población	Índice inclusión		
Línea 1	1.0	1.0	2.8	3.0	2.0	1
Línea 2	3.0	3.0	2.8	2.0	2.7	2
Línea 3	2.6	5.0	3.0	5.0	3.9	4
Línea 4	5.8	6.0	7.0	7.0	6.5	7
Línea 5	5.6	2.0	2.6	1.0	2.8	3
Línea 6	3.6	4.0	5.4	4.0	4.3	5
Línea 7	N/A	7.0	4.4	6.0	5.8	6

Líneas y estaciones del sistema Metrobús proyectadas para el 2024





**¡Gracias!**