

Estudio de recopilación de datos sobre los efectos de mitigación del cambio climático derivados de los cambios en el transporte público en el área metropolitana de Lima y Callao (Acción por el Clima)

Reporte Final

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN (JICA)

ALMEC CORPORATION

IM
JR
26-006

**Estudio de recopilación de datos sobre
los efectos de mitigación del cambio
climático derivados de los cambios en el
transporte público en el área
metropolitana de Lima y Callao
(Acción por el Clima)**

Reporte Final

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN (JICA)

ALMEC CORPORATION

Tabla de contenido

RESUMEN

1. Esquema del estudio

1.1	Antecedentes	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Área de estudio	3
1.4	Flujo de trabajo	3
1.5	Cooperación con otro estudio de JICA.....	5
1.6	Contrapartes y Actividades	5

2. Condiciones y planes de transporte urbano

2.1	Red vial y transporte por carretera.....	7
2.2	Servicios de transporte público	10
2.3	Desarrollo de sistemas de transporte masivo y su impacto en la elección modal de los pasajeros.....	11
2.4	Planes de desarrollo del transporte urbano y proyectos en curso	13
2.5	Modos anteriores y modos de acceso de los usuarios de transporte masivo	16

3. Acciones climáticas en Perú

3.1	Últimas tendencias de la COP y otras actividades relacionadas	17
3.2	Principales informes presentados por el Gobierno de Perú a la secretaría de la CMNUCC	19
3.3	El objetivo de reducción de GEI de Perú	20
3.4	Medidas de mitigación para el cumplimiento de la NDC de Perú	21
3.5	Medidas de mitigación en el sector transporte	24
3.6	Estrategia de Desarrollo A Largo Plazo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Perú.....	28
3.7	Implementación de Estructura MRV en el Peru	29

4. Recopilación de datos para estudiar los Impactos de las acciones climáticas

4.1	Emisiones de GEI del sector transporte en Perú y sus metodologías de cuantificación	32
4.2	Metodologías para calcular las reducciones de emisiones de GEI a partir de medidas de transporte público	37
4.3	Reducciones de emisiones de GEI de las medidas de transporte público en Perú y sus metodologías de cuantificación.....	40
4.4	Datos relacionados con el cálculo de emisiones	42
4.5	Estado del apoyo de otros donantes en Perú.....	46

5. Estudio sobre los métodos de estimación de los impactos de la acciones climáticas

5.1	Lógica de las reducciones de emisiones de GEI de los proyectos de tránsito masivo.....	51
5.2	Opciones para la estimación.....	51
5.3	Proyectos de estudio de casos y pronóstico de demanda de tráfico de prueba.....	54

6. Cálculo simplificado de GEI para el seguimiento de NDC

6.1	Enfoques Básicos.....	55
6.2	Metodologías para calcular y monitorear las reducciones de emisiones de GEI	58
6.3	Cálculo de las reducciones de emisiones de GEI (Método 2) (prueba y tentativo)	62
6.4	Comparación de la metodología propuesta y la metodología MDL	68
6.5	Estructura organizacional de MRV	71
6.6	Procedimiento de MRV	73

7. Metodología de asignación de la demanda de tráfico mediante el uso del M-TRES (Método 2)

7.1	Enfoques básicos (Método 2)	75
7.2	Metodologías para el cálculo y seguimiento de las reducciones de emisiones de GEI.....	78
7.3	Cálculo de las reducciones de emisiones de GEI (Método 2).....	81

8. Estudio sobre Medidas de Co-beneficio	
8.1 Co-beneficios representativos de los proyectos del sector del transporte	86
8.2 Selección de co-beneficios en el estudio.....	90
8.3 Estado actual de la evaluación de Co-beneficios en el Perú	93
8.4 Métodos para evaluaciones de co-beneficios.....	95
8.5 Evaluación de co-beneficios (reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos) ...	97
8.6 Para evaluaciones adicionales.....	100
9. Conclusiones y Recomendaciones	102
Appendix	

Índice de figuras y tablas

Figura 1.1 Ubicación del AMLC	2
Figura 1.2 Red ferroviaria urbana propuesta en el AMLC (Área Metropolitana de Lima y Callao)	2
Figura 1.3 Flujo de trabajo del estudio y excursiones de estudio	4
Figura 2.1 Vías para uso del transporte público en el AMLC	8
Figura 2.2 Estimación del parque automotor de cuatro ruedas en el Perú y en el AMLC, 2007-2018	9
Figura 2.3 Variación de las cuotas modales de transporte, 2004 y 2019	10
Figura 2.4 Alineaciones de las rutas de la Línea 1 del Metro y del Metropolitano (BRT).....	12
Figura 2.5 Proyectos de transporte público en el AMLC.....	14
Figura 4.1 Tendencias de las emisiones de GEI del sector transporte en Perú.....	33
Figura 4.2 Método para el cálculo de emisiones de GEI del transporte en Lima/Callao	34
Figura 5.1. Diagrama de flujo del cálculo de emisiones de GEI mediante la metodología 2	52
Figura 5.2. Proyectos de Caso de Estudio	54
Figura 6.1 Cálculo de las reducciones de emisiones del proyecto de transporte público masivo.....	56
Figura 6.2 Cálculo simplificado de las reducciones de emisiones del proyecto de transporte público masivo .	57
Figura 6.3 Estructura Organizacional Propuesta de MRV para Proyectos de Transporte Público.....	71
Figura 7.1 Resultados de la asignación de tráfico sin caso de proyecto	76
Figura 7.2 Resultados de la asignación de tráfico con el caso del proyecto	76
Figura 7.3 Imagen del cálculo de la reducción de emisiones del proyecto de transporte público mediante la metodología 2.....	77
Figura 7.4 Diagrama de flujo conceptual del estudio del sistema de transporte público de JICA sobre la previsión de la demanda	78
Figura 7.5 Caracteres de los métodos de asignación de tráfico	79
Figura 7.6 Red de tránsito desarrollada por el estudio del sistema de transporte público de JICA....	80
Figura 7.7 Comparación del resultado de la asignación de tráfico a lo largo de la Línea 2 del Metro	82
Figura 7.8 Comparaciones del Resultado de Asignación de Tráfico a lo largo del Metropolitano	82
Figura 7.9 Concepto para reestructuración de la ruta de transporte público a lo largo del corredor de transporte masivo	83
Figura 8.1 Marco conceptual de los co-beneficios del cambio climático de la JICA para un desarrollo resiliente y sostenible al clima	87

Figura 8.2 Co-beneficios identificados del desarrollo del transporte público en el AMLC.....	89
Figura 8.3 Mapa mundial de la concentración media anual de PM _{2,5} de 2024.....	90
Figura 8.4 Concentración media diaria de PM _{2,5} en estaciones de monitoreo de calidad del aire seleccionadas en Perú, Tailandia y Japón para comparación.....	91
Tabla 2.1 Servicios de transporte público disponibles.....	11
Tabla 2.2 Resumen de proyectos de transporte publico	15
Tabla 2.3 Modos de transporte previos de los pasajeros del Metropolitano (BRT) y de la Línea 1 del Metro .	16
Tabla 2.4 Modos de alimentación de los pasajeros del Metropolitano (BRT) y de la Línea 1 del Metro ..	16
Tabla 3.1 Principales informes presentados por el Gobierno de Perú a la CMNUCC	19
Tabla 3.2 Relación entre sectores de emisión de GEI, autoridades sectoriales y su ámbito de competencia según sus reglamentos de operación y funciones.	22
Tabla 3.4 Características de las medidas de mitigación en el sector energía - combustión móvil en implementación	25
Tabla 4.1 Tendencias en las emisiones de GEI del sector transporte en Perú.....	32
Tabla 4.2 Emisiones de GEI del sector transporte en Lima/Callao por tipos de modos	34
Tabla 4.3 Emisiones de GEI del sector transporte en Lima/Callao por tipo de combustible.....	35
Tabla 4.4 Emisiones de GEI del transporte público en Lima/Callao (tCO ₂ eq/año).....	36
Tabla 4.5 Emisiones de GEI por pasajero del transporte público en Lima/Callao (tCO ₂ eq/pasajero) 36	
Tabla 4.6 Principales metodologías para estimar las reducciones de emisiones de GEI asociadas al cambio modal de pasajeros a ferrocarril urbano y BRT	38
Tabla 4.7 Ejemplos de reducción de emisiones de GEI por medidas de transporte en Perú	40
Tabla 4.8 Clasificación de tipos de vehículos para factores de emisión de vehículos motorizados en Perú	42
Tabla 4.9 Factores de emisión de GEI (en g/km).....	43
Tabla 4.10 Factores de emisión de contaminantes locales (en g/km).....	44
Tabla 4.11 El Kilometraje anual promedio por categoría de vehículo.....	45
Tabla 4.12 Costo social asignado a cada contaminante (en US\$ / tonelada evitada)	45
Tabla 4.13 Principales proyectos del BID relacionados al transporte público en años recientes	48
Tabla 4.14 Principales proyectos del Banco Mundial relacionados con el transporte público en años recientes	49
Tabla 4.15. Proyectos indicativos por ser financiados en función del programa aprobado por el GCF “FP237: E-Motion: Movilidad Eléctrica y Transporte Bajo en Carbono”	50
Tabla 5.1 Comparación de los métodos de cálculo de la reducción de emisiones de GEI.....	53
Tabla 6.1 Esquema metodológico para el cálculo y monitoreo de las reducciones de emisiones de GEI	58
Tabla 6.2 Parámetros de monitoreo	60
Tabla 6.3 Parámetros fijos	60
Tabla 6.4. Selección de Transporte Publico Objetivo.....	62
Tabla 6.5 Datos recopilados (para la metodología 2).....	62

Tabla 6.6 Parámetros utilizados para el cálculo y monitoreo de la reducción de emisiones de GEI..	65
Tabla 6.7. Parámetros utilizados en el cálculo de las reducciones de emisiones de GEI para la Línea 2 del Metro y el Metropolitano, incluida la extensión norte.....	66
Tabla 6.8 Reducción de emisiones de GEI en 2024 (prueba y tentativo).....	67
Tabla 6.9 Comparación entre la metodología propuesta y la metodología MDL	69
Tabla 6.10 Comparación de la reducción de emisiones de proyectos de ferrocarril urbano en diferentes países	70
Tabla 6.11. Funciones y responsabilidades de las organizaciones que participan en el sistema MRV propuesto.....	72
Tabla 6.12 Procedimiento de Implementación Propuesto para Proyectos de Transporte Público	73
Tabla 6.13 Contenido de un plan MRV.....	73
Tabla 6.14 Contenido del Reporte de Monitoreo.....	74
Tabla 7.1 Comparación entre situaciones «con» y «sin» proyecto.....	76
Tabla 7.2 Indicadores de rendimiento proporcionados por los casos probados	81
Tabla 7.3 Vehículo-kilómetro revisado del servicio de transporte público por casos	84
Tabla 8.1 Características e impactos en la salud de los principales contaminantes del aire	92
Tabla 8.2 Emisiones del transporte público en Lima/Callao (t/año).....	93
Tabla 8.3 Emisiones de PM2.5 por pasajero del transporte público en Lima/Callao (kg/pasajero)....	93
Tabla 8.4 Estimación de la carga de mortalidad por PM2.5 en el sector del transporte	95
Tabla 8.5 Herramientas y datos requeridos para cada evaluación y las ventajas/ desventajas de su aplicación.....	96
Tabla 8.6 Resultados de la evaluación de emisiones: reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos mediante la operación de la Línea 2	99
Tabla 8.7 Resultados de la evaluación de emisiones: reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos mediante la operación del Metropolitano (incluida la extensión norte)	99
Tabla 8.8 Ejemplos de empresas consultoras en Perú capaces de realizar simulaciones de calidad del aire	101
Tabla 8.9 Servicios de SGS Perú (ECOTECNOS) en Relación a Simulaciones de Calidad del Aire	101

Lista de Abreviaturas

ACM	Metodología Consolidada Aprobada (para MDL)
ADB	Banco Asiático de Desarrollo
AERMOD	Modelo Regulatorio de la Sociedad Meteorológica Estadounidense (AMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)
AFD	Agencia Francesa de Desarrollo
AM	Metodología Aprobada (para MDL)
AMLC	Área Metropolitana de Lima y Callao
AMLC/AMLC	Área Metropolitana de Lima y Callao
AMS	Estados Miembros de la ASEAN
APTA	Asociación Estadounidense de Transporte Público
ATU	Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao
BaU	Escenario Base (Business as Usual)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BM	BM Banco Mundial
BOCM	Mecanismo Bilateral de Crédito de Carbono (Bilateral Offset Credit Mechanism)
BRT	Bus de Tránsito Rápido (Bus Rapid Transit)
BTR	Informe Bienal de Transparencia
BUR	Informe Bienal de Actualización
C	Celsius
CANCC	Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático
CBD	Distrito Central de Negocios
CDM	Mecanismo de Desarrollo Limpio
CDR	Registro Detallado de Llamadas
CH4	Metano
CIMO	Ciudades en Movimiento
CMAQ	Sistema Comunitario de Modelización de la Calidad del Aire a Escalas Múltiples
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNG	Gas Natural Comprimido
CO	Monóxido de Carbono
CO2	Dióxido de Carbono
COP	Conferencia de las Partes
COSAC	Corredor Segregado de Alta Capacidad
COVID-19	Enfermedad del coronavirus 2019
CRD	Desarrollo Resiliente al Clima
CTF	Formato Tabular Común
DAAS	Dirección de Medio Ambiente y Gestión Social (ATU)
DGAAM	Dirección General de Asuntos Ambientales (del MTC)
DGCA	Dirección General de Calidad Ambiental
DGCCD	Dirección General de Cambio Climático y Desertificación
DGTT	Dirección General de Transporte Terrestre (ATU)
DKTI	Movilidad Urbana Sostenible en Ciudades Secundarias
ECM	Energía de Combustión Móvil

EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
EIRR	Tasa Interna de Retorno Económico
EMEP	Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación / Agencia Europea de Medio Ambiente
ENCC	Estrategia Nacional ante el Cambio Climático
EPA	Agencia de Protección Ambiental
ERU	Unidad de Reducción de Emisión
ETF	Marco de Transparencia Reforzado
EV	Vehículo Eléctrico
FIRR	Tasa Interna Financiera de Retorno
FP	Propuesta de Financiamiento
FS	Estudio de Factibilidad
FY	Año Fiscal
GCF	Fondo Verde para el Clima
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GHG	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH/ Agencia Alemana de Cooperación Internacional
GST	Balance Mundial (Global Stocktake)
GTM-NDC	Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de la Contribución Determinada a Nivel Nacional
HCMC	Ciudad Ho Chi Minh
IBRD	Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento
INFOCARBONO	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
IPPU	Procesos Industriales y Uso de Productos
ITS	Sistemas Inteligentes de Transporte
JBIC	Banco Japonés para la Cooperación Internacional
JCM	Mecanismo de Crédito Conjunto
JET	Equipo Experto de JICA
ktCO₂eq	Kilotoneladas de CO ₂ equivalente (kt = 1,000 t)
LMCC	Ley Marco sobre Cambio Climático
LPG	Gas Licuado de Petróleo
LULUCF	Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM)
MIDAGRI	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MJ	Mega julios
MPGs	Modalidades, procedimientos y directrices
MRT	Tránsito Rápido Masivo
MRV	Medición, Reporte y Verificación
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MtCO₂eq	Millones de toneladas de CO ₂ equivalente
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
MWh	Mega Watts hora

NAMA	Acción Nacional de Mitigación Apropiaada
NC	Comunicación Nacional
NCV	Poder calorífico neto (del combustible)
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional
NGV	Vehículo de Gas Natural
NID	Documento de Inventario Nacional
NMT	Transporte no Motorizado
NO	Óxidos de Nitrógeno
OD	Par Origen-Destino
OGPP	Oficina General de Planeamiento y Presupuesto
OSITRAN	Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público
PAX	Pasajeros
PCU	Unidad Equivalente de Automóvil Particular
PDCA	Ciclo de Deming Planear, Hacer, Verificar y Actuar
PM	Material Particulado
PMU	Plan de Movilidad Urbana
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PPHPD	Pasajeros por Hora Pico por Dirección
PRODUCE	Ministerio de la Producción
PRR	Reporte de Avance
PT	Viaje por Persona
RAGEI	Informe Anual de Gases de Efecto Invernadero
RENAMI	Registro Nacional de Medidas de Mitigación
RLMCC	Reglamento de la Ley Marco sobre Cambio Climático
SAPI	Asistencia Especial para la Implementación de Proyectos
SIMOM	Sistema para el Monitoreo de las Medidas de Adaptación y Mitigación
SINANPE	Servicio Nacional de Protección de Áreas Naturales
SO2	Dióxido de Azufre
SUV	Vehículo Utilitario Deportivo
TEEMP	Modelo de Evaluación de Emisiones del Transporte para Proyectos
TER	Revisión Técnica de Expertos
TERR	Informe de Revisión Técnica de Expertos
TJ	Tera Julio
TOD	Desarrollo Orientado al Transporte
TTC	Costo del Tiempo de Viaje
UNEA-6	6.ª Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
USD	Dólar Estadounidense
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
VOC	Costo de Operación del Vehículo
Volumen	V/C por capacidad
WHO	Organización Mundial de la Salud
WRF	Modelo de Investigación y Predicción del Tiempo

RESUMEN

El Estudio

El presente estudio ejecutado en colaboración con la Agencia de Cooperación del Japón (JICA), se centra en los efectos de mitigación del cambio climático del transporte público y las medidas climáticas relacionadas con el transporte público en el Área Metropolitana de Lima y Callao (AMLC). El transporte público urbano, en particular los sistemas de transporte masivo como el metro y el BRT, emiten menos gases de efecto invernadero en comparación con otros medios de transporte, incluidos los automóviles, las motocicletas, los camiones y los autobuses ordinarios, exceptuando el transporte no motorizado (NMT). En consecuencia, es válido esperar una reducción considerable de las emisiones de GEI al momento de implementar los sistemas de transporte público junto con la transferencia de pasajeros del transporte privado y el servicio de autobuses convencionales. En este marco, el estudio ha introducido dos **metodologías** de estimación representativos para determinar la reducción de emisiones de GEI adaptándolos a las condiciones de tráfico de la AMLC.

Las dos **metodología** de estimación tienen objetivos diferentes. Uno está diseñado para ser un metodología de seguimiento de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) del proyecto de transporte público en Perú y el otro está diseñado para ser un método de asignación de la demanda de tráfico utilizando el M-TRES o la base de datos de demanda de tráfico y el modelo de previsión desarrollados por la Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU). Adicionalmente, el estudio propone consejos prácticos, por ejemplo el sistema de medición, reporte y verificación (MRV) para el primer metodología, en cuanto al segundo metodología, se postula el cálculo de las emisiones de GEI derivadas del transporte y su posible reducción durante el próximo estudio del plan maestro de transporte público.

El estudio se ha llevado a cabo de conformidad con la Agenda Global «Cambio Climático» de JICA. Dicha iniciativa es una política de cooperación para promover la aplicación del Acuerdo de París y las acciones climáticas orientadas que deriven en beneficios colaterales. En ese sentido, el estudio ha identificado el desarrollo del transporte público en AMLC como uno de los beneficios colaterales más destacados por la acción climática. Por ello este estudio se ha centrado en analizar la contaminación atmosférica y así estimar la posible reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos debido a la implementación de transporte público.

Condiciones del Transporte Urbano y Planes

En 2020, la AMLC concentraba un tercio de la población nacional, equivalente a 10,8 millones de habitantes, y en 2018 albergaba dos tercios del parque vehicular del país —excluyendo motocicletas y mototaxis—, lo que representa aproximadamente 1,9 millones de vehículos de cuatro ruedas. Esta proporción refleja una notable concentración de vehículos en la región de la AMLC. En cuanto a la distribución modal del transporte en dicha área, se observa que los vehículos particulares incrementaron su participación en un 7 %, pasando del 13 % al 20 % entre 2004 y 2019. En contraste, el transporte público redujo su participación en 5 puntos porcentuales, alcanzando un 47 % en 2019

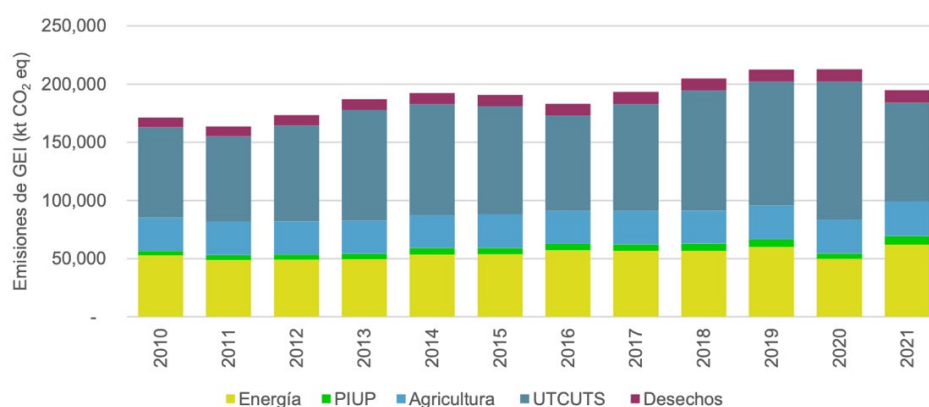
durante el mismo periodo.

La oferta de transporte público en la AMLC está compuesta por el sistema de Metro, el BRT (Bus de Tránsito Rápido), los Corredores Complementarios y el servicio regular de autobuses. Históricamente, se han implementado servicios de autobuses plenamente estructurados con el objetivo de mantener una alta tasa de uso del transporte público entre la ciudadanía. Para ofrecer un servicio público rápido, frecuente y de alta capacidad, el sistema Metropolitano (con 37,2 km de extensión) inició operaciones en 2010 como sistema BRT, mientras que la Línea 1 del Metro (34,6 km) se encuentra completamente operativa desde 2014. Durante el periodo de estudio, se reporta que se encuentran en construcción la Línea 2 del Metro, el ramal de la Línea 4 (ambas con una longitud conjunta de 34,3 km) y la extensión norte del Metropolitano (10 km). Si bien el Gobierno cuenta con un plan maestro para la red de metro —que contempla seis líneas con una extensión total de 185,9 km—, así como con diversos proyectos de nuevas rutas BRT, el lento avance en la inversión destinada a estos sistemas de transporte masivo ha contribuido, según se informa, a una reciente disminución en la participación del transporte público.

Acciones Climática en el Perú

El Gobierno del Perú ratificó el Acuerdo de París el 25 de julio de 2016. Desde entonces, ha presentado diversos informes ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), incluyendo la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) en 2016 y su actualización (NDC 3.0 para el 2050). Los Informes de Comunicación Nacional (NC), los Informes Bienales de Actualización (BUR), los Informes Bienales de Transparencia (BTR), entre otros. Durante el periodo de estudio, se presentaron el Cuarto Informe NC en marzo de 2025 y la Política Nacional: Estrategia Nacional de Cambio Climático al 2050 en junio de 2025.

Las emisiones de GEI en Perú fueron de 194,9 MtCO₂eq en 2021, y se proyecta que las emisiones del escenario base (BaU) para 2030 alcancen los 298,3 MtCO₂eq. El objetivo de reducción de GEI, componente clave de la acción climática del país (mitigación), está establecido en la versión actualizada de la primera NDC. La meta de emisiones para 2030 se fija en no superar los 208,8 MtCO₂eq, de los cuales 179,0 MtCO₂eq están sujetos a apoyo internacional.



Fuente: BTR1 (2024)

Figura S1 Tendencia de las emisiones de GEI en Perú por categoría (incluye LULUCF)

Las medidas de mitigación adoptadas por el Perú se clasifican conforme a los sectores de emisiones de GEI definidos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC): (i) energía (combustión estacionaria y móvil); (ii) procesos industriales y uso de productos (IPPU); (iii) residuos (residuos sólidos y aguas residuales); (iv) uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (LULUCF), y agricultura (IPCC, 2006). El número de medidas de mitigación formuladas en el sector transporte (combustión móvil) representa el 21 % (14) del total de 66 medidas reportadas (BTR1).

Las medidas de mitigación en el sector transporte pueden agruparse en los siguientes componentes:

- Transporte sostenible: Estas medidas contribuyen a la implementación de sistemas de transporte integrados y masivos, así como al uso de fuentes de energía menos contaminantes en el transporte.
 - ECM25: Implementación de los corredores complementarios del Sistema Integrado de Transporte (SIT) de Lima.
 - ECM26: Operación actual del Metropolitano y sus ampliaciones.
 - ECM27: Implementación de las Líneas 1 y 2 del Metro de Lima y Callao.
 - ECM33: Programa Nacional de Transporte Urbano Sostenible (PROMOVILIDAD).
 - ECM34: Programa Nacional de Chatarreo y Renovación Vehicular.
- Eficiencia energética en el transporte: Se espera que estas medidas promuevan un uso más eficiente de combustibles fósiles con baja intensidad de carbono, además de generar ahorro en el consumo de combustible mediante tecnologías adecuadas en la flota vehicular.
 - ECM32: Capacitación en conducción eficiente para conductores profesionales (hombres y mujeres).
- Mejora de la infraestructura vial: Estas medidas buscan optimizar la infraestructura vial nacional, lo que conlleva una reducción en los tiempos de viaje por carretera y un menor consumo de combustible para los usuarios del transporte de pasajeros y de carga.
 - ECM35: Proyecto "Construcción del Túnel Trasandino".
 - ECM36: Mejoramiento de los servicios de transporte ferroviario en el tramo Tacna–Arica.
 - ECM37: Rehabilitación integral del ferrocarril Huancayo–Huancavelica.

Recopilación de Datos para Estudiar los Impactos de las Acciones Climáticas

Las emisiones de GEI del sector transporte en la región de la AMLC fueron estimadas en 5,2 MtCO₂eq en 2019 por Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). En términos de participación modal, el transporte público registró una participación dominante del 75 %. La ATU también realiza estimaciones anuales de las emisiones de GEI y de material particulado fino (PM_{2.5}) generadas por el transporte público. Entre los servicios de transporte público, el transporte regular en autobús y el servicio de taxi representaron proporciones significativas de las emisiones de GEI, con

59,4 % y 38,0 %, respectivamente, en 2024. El servicio de taxi presenta la mayor emisión por pasajero (aproximadamente 4,8 kg-CO₂eq), mientras que el sistema de metro muestra la menor (alrededor de 0,1 kg-CO₂eq). Recientemente, los servicios de taxi por aplicación, como Uber, han ganado popularidad entre los ciudadanos. No obstante, para enfrentar el desafío del cambio climático, el Gobierno debería priorizar el desarrollo de la red de metro.

El estudio ha recopilado y analizado diversas metodologías para calcular las reducciones de emisiones de GEI derivadas del desarrollo del transporte masivo. Dado que estas metodologías responden a distintos objetivos —como la emisión de créditos de carbono, el seguimiento de las NDC y la evaluación de proyectos—, el estudio abarca las metodologías del Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM), la metodología “Mecanismo Conjunto de Acreditación (MCA) / Mecanismo Bilateral de Compensación de Emisiones” (MBCE) del Ministerio del Medio Ambiente de Japón, las metodologías de seguimiento de NDC en Japón, Tailandia, India y Singapur, así como las metodologías de evaluación de impacto de proyectos utilizadas por el Fondo para el Medio Ambiente (GEF), el Banco de Cooperación Internacional (JBIC) y JICA.

Para realizar estimaciones locales precisas, se ha recopilado información relevante, incluyendo: (1) factores de emisión de GEI por categoría vehicular, tipo de combustible y año de fabricación; (2) factores de emisión de contaminantes atmosféricos por categoría vehicular, tipo de combustible y año de fabricación; (3) kilometraje promedio anual por categoría vehicular; y (4) costo social asociado a cada contaminante.

Además de JICA, otras agencias de cooperación han brindado apoyo a medidas de mitigación del cambio climático y al desarrollo del transporte público en Perú. El estudio ha identificado actividades recientes de GIZ, BID, Banco Mundial y PNUMA.

Métodos de Estimación de los Impactos de las Acciones Climáticas

Con la implementación de sistemas de transporte masivo, las emisiones de GEI pueden reducirse mediante dos mecanismos principales:

- (1) El cambio modal de pasajeros desde medios de transporte existentes —como automóviles particulares, autobuses locales convencionales y motocicletas— hacia el transporte masivo, el cual genera menores emisiones por pasajero-kilómetro; y
- (2) La disminución de la congestión vehicular en las vías que recorren las rutas del transporte masivo, lo que puede acortar la distancia recorrida por los vehículos y reducir sus emisiones. No obstante, una menor congestión podría inducir un aumento de las emisiones vehiculares debido a una mayor distancia recorrida a velocidades más altas, motivada por la intención de minimizar el costo de oportunidad o los costos combinados de operación vehicular y de tiempo de viaje. Por ello, se considera necesario realizar simulaciones de tráfico.

El estudio ha analizado comparativamente dos metodologías. La metodología **1** se enfoca principalmente en el cambio modal de pasajeros, mientras que la metodología **2** está diseñada para calcular tanto el cambio modal como la reducción de congestión vehicular en las vías.

Tabla S1 Comparación de métodos de cálculo de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

	Método 1: metodología de seguimiento de los NDC de Perú para el cambio modal de pasajeros.	Método 2: metodología de asignación de la demanda de tráfico mediante el uso del M-TRES actualizado.
Objetivo	Proyectos individuales de transporte público (metro, BRT)	Las futuras redes de transporte urbano, incluidos varios proyectos de transporte público.
Propósito Principal	Monitoreo anual/bienal de la reducción de emisiones de GEI Operación periódica del sistema MRV en proyectos de transporte masivo para el seguimiento de la NDC	Proyección de emisiones/reducciones de GEI Evaluación del impacto del cambio climático en el plan maestro de transporte urbano
Diferencias Entre Situaciones «Con» y «Sin» Transporte	Mediante una encuesta realizada a pasajeros del transporte público.	Por resultados de asignación de tráfico en situaciones «con» y «sin» transporte público
Impacto en las Vías	Calibrado de forma limitada	Se puede evaluar la reducción general de la congestión vial.
Análisis de Beneficios Colaterales (Calidad Del Aire)	Calibrado de forma limitada	Se pueden analizar todas las emisiones de los vehículos.
Carga de Trabajo Necesaria	Baja	Alta debido a las prácticas de asignación del tráfico.
Posible Ciclo de Cálculo	Cada año, con base en datos actualizados (número de pasajeros, consumo de electricidad y combustible, etc.).	Cada 5 a 10 años, cuando se renuevan las tablas de OD existentes y futuras.

Fuente: Equipo de Expertos JICA

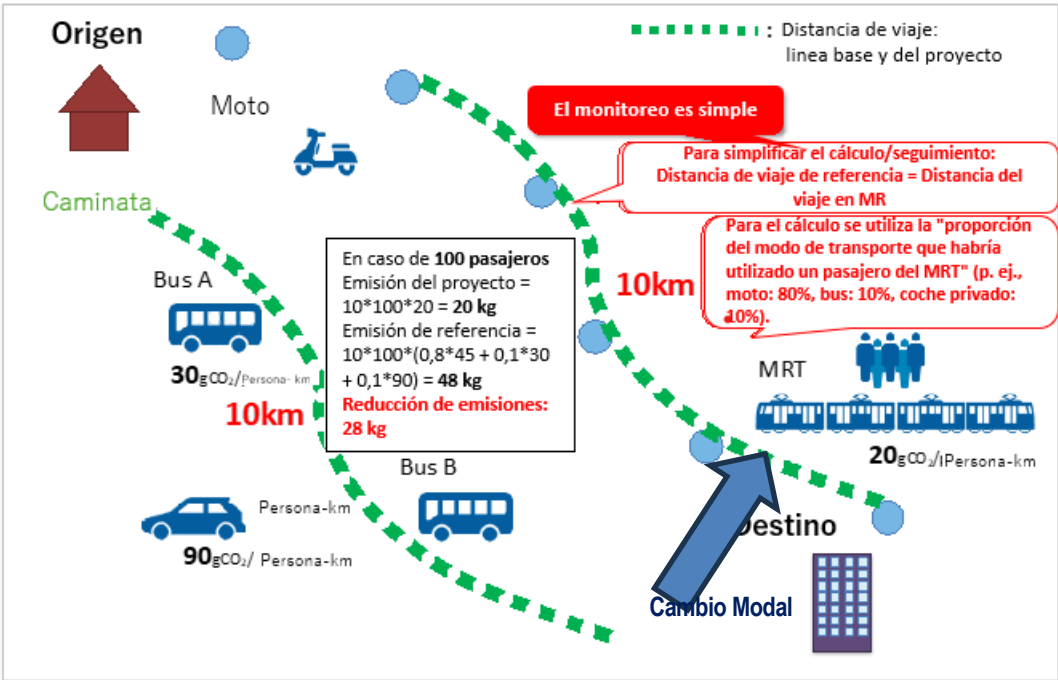
Para evaluar la aplicabilidad de los dos métodos, se han seleccionado los siguientes proyectos de estudio de caso:

- Línea 2 del Metro con el ramal de la Línea 4 (35 km en total)
- Sistema Metropolitano, incluyendo la ampliación norte (47 km en total)

Cabe señalar que la metodología 1 también puede aplicarse a sistemas de transporte masivo ya existentes, como la Línea 1 del Metro y el Metropolitano sin la ampliación norte, con fines de monitoreo real utilizando datos operativos actualizados

Método 1: Metodología de Seguimiento de las Contribuciones Determinadas a NDC del Perú para el Cambio Modal de Pasajeros

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero derivada del cambio modal de los pasajeros se ilustra en la figura S2. En el caso del MRT de Vietnam, según los resultados de la encuesta realizada, una parte de los usuarios de autobuses, motocicletas y automóviles privados se trasladaría al MRT tras su puesta en funcionamiento.



Fuente : Equipo de Expertos JICA

Figura S2 Imagen del Cálculo Simplificado de la Reducción de Emisiones en el MRT de Vietnam.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de datos locales en el AMLC, la metodología 1 está diseñado para calcular el cambio modal de los pasajeros mencionado anteriormente mediante las 5 fórmulas que figuran en la columna de la página siguiente. Los parámetros necesarios se enumeran en la tabla S2. Los resultados del cálculo se indican en la tabla S3.

Tabla S2 Parámetros dla metodología 1

Parámetros		Datos de entrada
Monitoreo de Parámetros	PKM _y	Volumen transportado por transporte público en el año y (pasajeros-km/año)
	P _y	Número de pasajeros del transporte público en el año y (pasajeros/año)
	TD _y	Distancia media recorrida por los pasajeros del transporte público en el año y (km)
	EC _y	Consumo eléctrico del transporte público en el año y (MWh/año)
	FC _y	Consumo de combustible (por ejemplo, gas natural) del transporte público en el año y (m3/año)
Parámetros Fijos	MS _{i,y}	Porcentaje de pasajeros del transporte público que habrían utilizado el medio de transporte i en la referencia en el año
	EF _{PKM,i}	Factor de emisión de CO ₂ por pasajero-kilómetro para el modo de transporte i (gCO ₂ /pasajero-km)
	EF _{KM,i}	Factor de emisión de CO ₂ del modo de transporte i (gCO ₂ /km)
	OC _i	Tasa media de ocupación del modo de transporte i (pasajeros/vehículo)
	EF _{grid}	Factor de emisión de CO ₂ de la electricidad de la red (tCO ₂ /MWh)
	Combustible NCV	Valor calorífico neto del combustible (por ejemplo, gas natural) (MJ/m³)
	Combustible EF	Factor de emisión de CO ₂ del combustible (por ejemplo, gas natural) (tCO ₂ /MJ)

Fuente: Equipo de Expertos JICA

Fórmulas para Estimar las Reducciones de Emisiones de GEI Mediante la metodología 1

$$E_{ry} = BE_y - PE_y$$

BE_y : Emisiones de referencia en el año y (tCO₂/año)

PE_y : Emisiones del proyecto en el año y (tCO₂/año)

ER_y : Reducción de emisiones en el año y (tCO₂/año)

$$BE_y = \sum_i (PKM_y \times MS_{i,y} \times EF_{PKM,i} \times 10^{-6})$$

$$PKM_y = P_y \times TD_y \quad EF_{PKM,i} = \frac{EF_{KM,i}}{OC_i}$$

PKM_y : Volumen transportado por transporte público en el año y (pasajeros-km/año)

MS_{i,y} : Porcentaje de pasajeros del transporte público que habrían utilizado el medio de transporte i en la referencia en el año y.

EF_{PKM,i} : Factor de emisión de CO₂ por pasajero-kilómetro para el modo de transporte i (gCO₂/pasajero-km)

P_y : Número de pasajeros del transporte público en el año y (pasajeros/año)

Tabla S3 Reducciones de Emisiones de GEI de Determinados Transportes Públicos Según la metodología 1

Emisiones	Seguimiento/control real 2024		Estimación de proyectos de estudio de casos 2025	
	Línea 1 del Metro	Metropolitano	Línea2 del Metro	Metropolitano Incluida la ampliación norte
Emisiones de referencia (tCO ₂ /año)	50,437	71,178	30,403	125,463
Emisiones del proyecto (tCO ₂ /año)	16,850	57,884	10,157	102,030
Reducción de emisiones (tCO ₂ /año)	33,587	13,294	20,246	23,433
pasajero-km	1,351,028,861	1,782,078,219	814,401,000	3,141,211,500
Número de pasajeros (pax/año)	190,285,755	122,060,152	-	-
Distancia media del viaje (km)	7.1	14.6	-	-
Factores de emisión de CO ₂ de referencia	Pasajeros vehículo: 147, Bus: 34 (gCO ₂ / Pasajeros -km)			

Fuente: Equipo de Expertos JICA

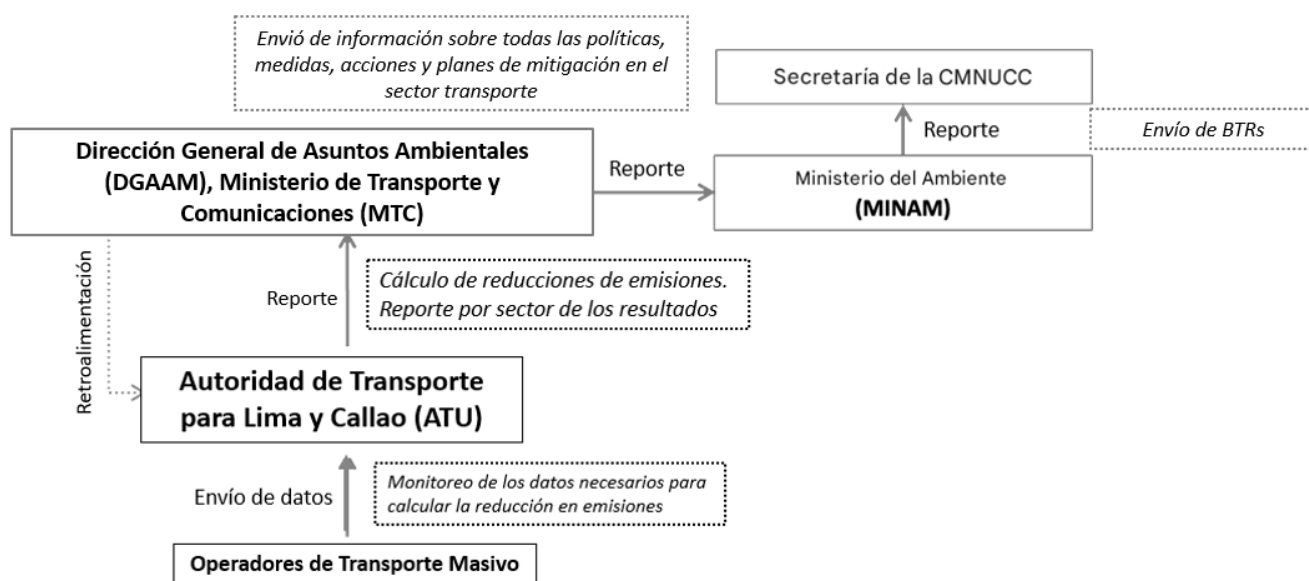
Nota: Los datos sobre pasajeros-km de los proyectos del estudio de caso proceden de la asignación de tráfico de prueba realizada por el Equipo de Estudio del Sistema de Transporte Público de la JICA.

Sistema MRV para Proyectos de Transporte Público

En Perú, el artículo 37 del Reglamento de la Ley Marco sobre Cambio Climático establece que el MRV comprende un conjunto de acciones orientadas a realizar el monitoreo periódico de información, sujeto a verificación técnica, sobre emisiones y remociones de GEI, así como sobre reducciones de emisiones e incrementos en las remociones de GEI. En este sentido, el MRV constituye un procedimiento clave para la consolidación de la NDC del país, tanto a nivel sectorial como de proyectos.

En consecuencia, el estudio propone una estructura organizativa para implementar una serie de procesos MRV enfocados en la reducción de emisiones de GEI mediante proyectos de transporte masivo. Este procedimiento se compone de tres etapas:

- (1) Planificación: Elaborar y presentar el plan MR
- (2) Implementación: Recopilar, medir y registrar datos; calcular la reducción de emisiones de GEI; preparar y presentar el informe de monitoreo
- (3) Aprobación: Validar y aprobar el informe de monitoreo



Fuente: Equipo de Expertos JICA

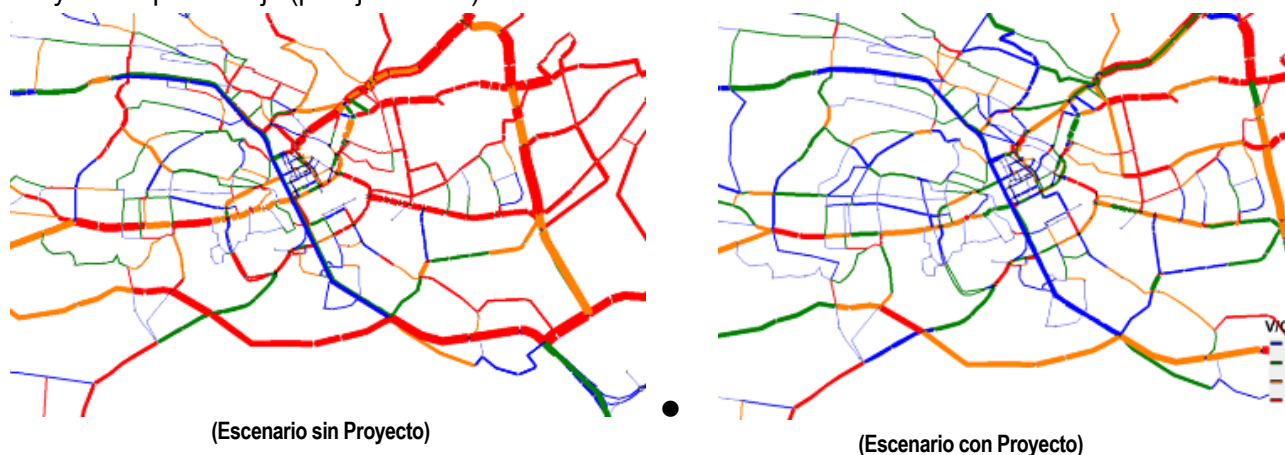
Figura S3 Estructura Organizacional Propuesta de MRV en Proyectos de Transporte Público

Método 2: Una metodología de asignación de demanda de tráfico mediante el uso del M-TRES

Teóricamente, la metodología 2 presenta la ventaja de permitir una evaluación más amplia del impacto en mitigación del cambio climático derivado de proyectos de transporte masivo planificados, considerando la totalidad de la red de transporte. En comparación con la metodología 1, la metodología 2 es relativamente más complejo, ya que requiere una base de datos integral de demanda de tráfico

que incluya tanto las redes de transporte existentes como las proyectadas, además de matrices de origen–destino.

Como ejemplo ilustrativo de la aplicación de la metodología 2, se presenta un caso del plan maestro de transporte urbano de Nairobi en la Figura S4. En ausencia de un proyecto de transporte masivo, la asignación del tráfico genera vías congestionadas y vehículos que circulan a baja velocidad. En cambio, con la introducción de un sistema de transporte masivo, el servicio rápido y confiable atrae a numerosos pasajeros y contribuye significativamente a aliviar la congestión vial. Este impacto puede cuantificarse mediante mejoras en indicadores de desempeño, tales como el volumen total de tráfico (vehículo–km) y el tiempo de viaje (pasajero–hora).



Fuente: Proyecto de desarrollo de capacidades para la política y gestión de operaciones de autobuses en el área metropolitana de Nairobi (JICA, 2025)

Figura S4 Resultados de la Asignación de Tráfico con o sin Caso de Proyecto

El estudio ha verificado la validez de la metodología 2 en colaboración con el equipo del Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA, el cual actualizó el modelo M-TRES y realizó trabajos preparatorios para el estudio del plan maestro de transporte público en la región de la AMLC, con asistencia de JICA. Los dos proyectos seleccionados como estudios de caso fueron sometidos a pruebas de validez bajo las siguientes limitaciones:

El equipo de JICA no participó en los trabajos de planificación maestra de gran escala;

- Para la asignación de tráfico de prueba, solo se contó con matrices de origen–destinos existentes.
- No se realizó ninguna reorganización de rutas de autobuses ni de frecuencias de servicio, incluso cuando el proyecto de estudio de caso se diseñó sobre el mismo corredor (a pesar de que dicha reorganización constituye una tarea esencial en la planificación maestra).

Las emisiones de GEI se estimaron a partir de los resultados de la asignación de tráfico de prueba (ver Tabla S4). Como resultado, la metodología 2 permite simular el movimiento general del tráfico por modo de transporte, y a partir de dicha simulación es posible estimar las emisiones de GEI. Sin embargo, debido a las limitaciones mencionadas, la reducción de congestión vehicular no fue debidamente simulada en los proyectos de estudio de caso. Cabe señalar que se realizaron ajustes manuales en la frecuencia operativa para mantener la ocupación de pasajeros en las flotas de autobuses y en los trenes de la Línea 2.

Tabla S4 Estimación de emisiones de CO2 de los casos analizados

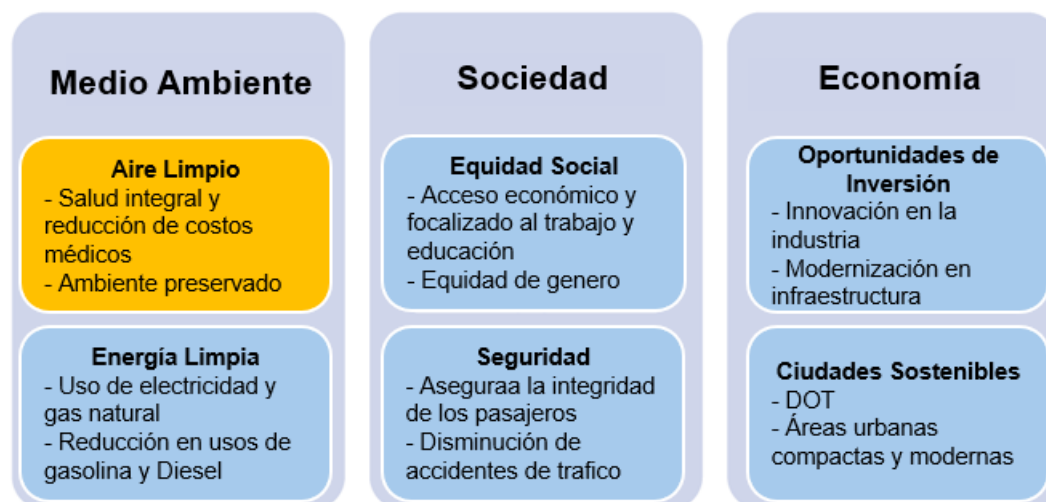
Indicador	Categoría	Modo	Caso 1 (Línea base)	Caso 2 (con Línea 2 del Metro)	Caso 3 (con Extensión del Metropolitano)
Emisiones de CO ₂ (toneladas/hora punta)	Privado	Coches privados	874	876	868
	Carga	Camión ligero tipo furgón	13.5	13.5	13.5
		Camión de 2 ejes	36.3	36.2	36.2
		Camión pesado	42.5	42.5	42.5
		Subtotal	92.3	92.2	92.2
	Publico	BRT	4.7	4.7	6.0
		BRT alimentador	1.1	1.1	1.2
		Línea 1	4.8	4.8	4.8
		Línea 2	0.0	2.6	0.0
		Autobús grande	14.9	14.3	14.2
		Autobús regular	96.5	91.4	94.2
		Subtotal	122	119	120
		Total	1,089	1,087	1,081
	Ahorro (brecha con el Caso 1)	a (tonelada/hora punta)	0	2.1	8.1
		b (tonelada/día): a/13 %	0	16.0	62.2
		c (tonelada/año): b*350	0	5,598	21,778

Fuente: Equipo de Expertos JICA

Estudio en Medidas de Co-Beneficio

La acción climática ofrece numerosas oportunidades de cobeneficios. Estos suelen manifestarse de forma más inmediata y local que los efectos globales y a largo plazo de la mitigación del cambio climático. Iniciativas internacionales, incluidas las de JICA, abogan por un enfoque de cobeneficios para promover el desarrollo resiliente al clima (DRC).

El Estudio ha identificado y analizado cobeneficios representativos de los sistemas de transporte público en el AMLC desde las perspectivas ambiental, social y económica.



Fuente: Equipo de Expertos JICA

Figura S.5 Co-beneficios identificados del desarrollo del transporte público en el AMLC

Lima se encuentra entre las ciudades más contaminadas de América en términos de calidad del aire. Esta situación se debe, en gran medida, al envejecimiento del perfil del parque vehicular. En 2021, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA), en colaboración con el Ministerio del Ambiente (MINAM), investigó el impacto de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad en la región de la AMLC. El informe estimó que más de la mitad de las muertes relacionadas con partículas finas PM2.5 (10,556) fueron atribuibles al sector transporte.

En este contexto, el estudio ha centrado su atención en la mejora de la calidad del aire como un beneficio adicional del desarrollo del transporte masivo, en particular durante el proceso de implementación de sistemas que emplean energía limpia. Los resultados de la metodología 2, tanto con como sin los proyectos de estudio de caso, se utilizaron para evaluar las emisiones de PM2.5, NOx y SO₂.

Si bien, como se ha señalado, las limitaciones técnicas de la asignación de tráfico de prueba de la metodología 2 impidieron simular adecuadamente la reducción de la congestión vehicular en los proyectos analizados, es posible cuantificar parcialmente el impacto en la disminución de los contaminantes atmosféricos.

Tabla S5 Resultados de las Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de los Proyectos de Estudio de Caso

Elemento de Evaluación por Proyecto de Estudio de Caso		PM _{2.5}	NO _x	SO ₂
Sin el Proyecto (toneladas/año)		193.8	9,701	137.9
Línea 2 del metro	Con el Proyecto (toneladas/año)	188.4	9,566	136.4
	Reducción de emisiones (toneladas/año)	5.4	135	1.5
	Tasa de reducción (%)	2.8	1.4	1.1
Metropolitano (incluida la Extensión Norte)	Con el Proyecto (toneladas/año)	190.9	9,651	136.4
	Reducción de emisiones (toneladas/año)	2.9	50	1.5
	Tasa de reducción (%)	1.5	0.5	1.1

Fuente: Equipo de Expertos JICA

En este Estudio, la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos fue evaluada como un buen ejemplo de los co-beneficios del desarrollo del transporte masivo. Sin embargo, estos beneficios no se limitan a la mejora de la calidad del aire, sino que también aportan a aspectos sociales y urbanos, como se resume en la Figura S.5. En consecuencia, vale la pena estudiar más a fondo estos resultados positivos, mencionados en ECM25, ECM26 y ECM27, para futuros estudios. La DGAAM del MTC será un punto focal para este tipo de evaluación de proyectos ambientales.

Conclusiones y Recomendaciones

En términos generales, el equipo de expertos de JICA valora positivamente los esfuerzos del Gobierno del Perú en materia de acción climática vinculada al sector de transporte urbano, impulsados por el trabajo conjunto entre el MINAM, el MTC y la ATU. Con el fin de fortalecer dichas iniciativas, el estudio presenta las siguientes conclusiones y recomendaciones.

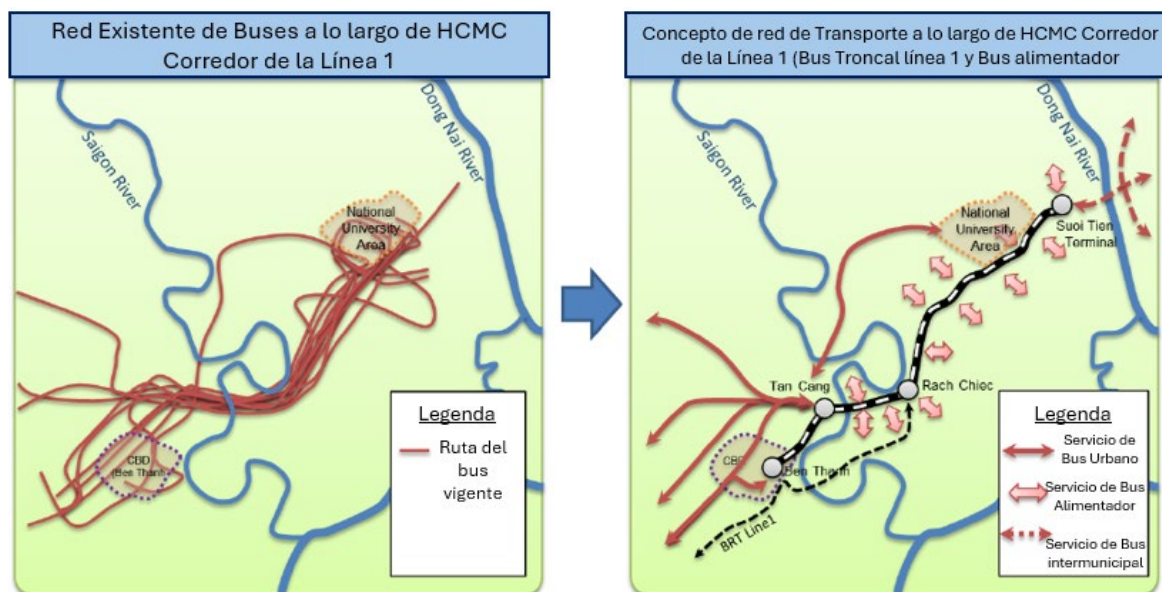
Conclusiones

- En la región de la AMLC, el desarrollo del transporte masivo constituye una acción climática eficaz. Contribuye significativamente al transporte sostenible dentro de un sistema urbano integrado, a la eficiencia energética mediante el uso de fuentes menos contaminantes, y a la mejora de las condiciones viales, donde se logran menores tiempos de viaje y una reducción en el consumo de combustible.
- El estudio introdujo dos métodos de estimación para calcular la reducción de emisiones de GEI derivadas de proyectos de transporte masivo. Tras varias sesiones, incluidas reuniones virtuales, se ha comprobado que ambos métodos resultan viables para su aplicación con la ATU.
- La metodología 1 resulta eficaz para evaluar un único proyecto de transporte masivo y es adecuado para el seguimiento de las NDC, siempre que se cuente con un sistema MRV apropiado durante el periodo de monitoreo correspondiente.
- La metodología 2 permite evaluar uno o varios proyectos de transporte masivo mediante el modelo M-TRES, tanto en redes de transporte existentes como futuras. Sin embargo, el estudio no ha logrado demostrar plenamente las capacidades de la metodología 2 debido a la falta de vinculación con los trabajos de planificación del transporte, como ya se ha señalado.
- El desarrollo del transporte masivo en la AMLC puede generar diversos co-beneficios. La combinación de acciones climáticas (como el desarrollo del transporte masivo) con estos beneficios adicionales puede abrir el camino hacia un desarrollo resiliente al clima (CRD).
- Entre los co-beneficios identificados en el estudio, se destaca la reducción de la contaminación del aire. Considerando el volumen de reducción calculado mediante los resultados de la metodología 2, el estudio concluye que el transporte masivo contribuye significativamente a disminuir los contaminantes atmosféricos.

Recomendaciones

Se ha informado que la ATU iniciará próximamente un nuevo estudio para el plan maestro de transporte público. Para abordar el tema del cambio climático en dicho estudio, el presente informe formula recomendaciones prácticas:

- Se recomienda que la ATU adopte los resultados del estudio como un activo propio. Estos incluyen los dos métodos de cálculo para la reducción de emisiones de GEI de proyectos de transporte masivo, así como el cálculo de la reducción de contaminantes atmosféricos mediante la metodología de evaluación de emisiones. Las hojas de cálculo correspondientes se adjuntan como apéndices del informe.
- En el caso de la metodología 1, es fundamental realizar entrevistas presenciales con usuarios del transporte masivo para comprender el cambio modal hacia estos sistemas. El estudio se basó en una encuesta algo antigua, realizada en 2013. Dado que la participación del transporte privado ha ido en aumento en la AMLC, se recomienda llevar a cabo una nueva encuesta de entrevistas.
- La metodología 2 se aplicó en el estudio bajo ciertas limitaciones. Se recomienda que este método se utilice como parte de los trabajos de planificación maestra del transporte público. En ese contexto, deberían modificarse algunas rutas de autobuses redundantes y añadirse nuevas rutas alimentadoras hacia las estaciones de metro cuando se proponga una nueva línea en la red de transporte, como se ilustra en la Figura S6.
- Con el fin de implementar y avanzar de manera constante en el MRV para las medidas de la NDC en el sector transporte lideradas por la ATU, tales como ECM25, ECM26 y ECM27, se recomienda específicamente implementar los siguientes tres puntos:
 - Incorporar y aplicar la metodología MRV propuesta y la estructura/procedimiento organizacional en la actualización de las medidas de mitigación del transporte público, en estrecha coordinación con el MTC;
 - Desarrollar un plan de fortalecimiento institucional sobre el MRV para las medidas de mitigación del transporte público, y llevar a cabo programas de desarrollo de capacidades;
 - Formular un protocolo interinstitucional entre la ATU, el MTC y el MINAM sobre el MRV para las medidas de mitigación del transporte público.
- El estudio mostró cómo calcular la reducción de contaminantes atmosféricos mediante la metodología de evaluación de emisiones basado en los resultados de la metodología 2. Para profundizar en la evaluación local de la contaminación del aire, se recomienda realizar una estimación de concentraciones mediante simulaciones de calidad del aire, preferiblemente a cargo de un instituto de investigación local o una firma consultora especializada, con el fin de manejar adecuadamente los grandes volúmenes de datos locales y los cálculos complejos involucrados.



Fuente: Asistencia especial para la ejecución de proyectos (SAPI) de la JICA para el proyecto ferroviario urbano de la ciudad de Ho Chi Minh (tramo Ben Thanh-Suoi Tien (LÍNEA 1))

Figura S6 Imagen conceptual de la reestructuración de las rutas de transporte público a lo largo del corredor de transporte masivo.

1. Esquema del estudio

1.1 Antecedentes

La República del Perú (en adelante, Perú) está familiarizada con los cambios climáticos debido al impacto de eventos como El Niño. Perú ratificó el Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 2016 y presentó su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC); en 2020, presentó una NDC actualizada a la Secretaría de la CMNUCC y está en proceso de promover la acción climática. En este sentido, se ha aprobado la Estrategia Nacional de Cambio Climático al 2050. Asimismo, se han implementado diversos instrumentos vinculados a la gestión climática, como la Huella de Carbono Perú, INFOCARBONO y el Registro Nacional de Medidas de Mitigación (RENAMI).

En marzo de 2024, la 6ª Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (UNEA6) adoptó una Resolución sobre la Promoción de la Sinergia, la Cooperación y los Vínculos en la Implementación Nacional de las Convenciones Ambientales Internacionales y Otros Instrumentos Ambientales Relevantes. En dicha resolución, el Perú se unió a otros seis países, incluido Japón, en calidad de copatrocinador. Esta resolución resulta especialmente relevante para el presente estudio, al promover la recopilación e intercambio de estudios de caso orientados a fortalecer el conocimiento y la comprensión de medidas con co-beneficios ambientales.

El sector transporte en Perú representa el 13.4% de las emisiones totales de GEI (42.3% entre las emisiones derivadas de la energía) y es el segundo mayor emisor de GEI después del sector Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS)¹, por lo que la acción climática en el sector transporte es importante. A nivel regional, el Área Metropolitana de Lima-Callao concentra aproximadamente un tercio de la población nacional (alrededor de 11 millones de personas en 2023) y dos tercios del parque automotor, lo que la convierte en una zona prioritaria para la intervención en materia de transporte. El elevado uso del automóvil ha generado una congestión vial crónica y una grave contaminación del aire. En este contexto, el Plan de Acción frente al Cambio Climático para el Sector Transporte Urbano (TRANSPerú – Transporte Urbano Sostenible NAMA Perú), publicado en 2015 con el apoyo de la GIZ, plantea como pilares fundamentales el cambio modal del transporte privado hacia el transporte público (ferroviario y por carretera), así como la mejora del entorno urbano para ciclistas y peatones.

La Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU) fue creada mediante la Ley N.º 30900, promulgada el 28 de diciembre de 2018, como un organismo técnico especializado adscrito al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Su finalidad es organizar, implementar y gestionar el Sistema Integrado de Transporte (SIT) en el ámbito de Lima y Callao. Actualmente, la ATU se encuentra en proceso de actualización de su Plan Maestro con el objetivo de consolidar un sistema de

¹ Información actualizada – Perú. Documento de Inventario Nacional (DIN) 2024. El uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (USCUS) generan emisiones de GEI especialmente en el proceso de deforestación.

transporte urbano verdaderamente integrado. En paralelo, se viene elaborando el Plan de Movilidad Urbana (PMU), con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Además, existen otros elementos estrechamente vinculados a los servicios de la ATU

- Una herramienta de planificación (M-TRES, versión 2.1. Aprobada en enero de 2025 con Resolución Directoral N° D-000002-2025-ATU/DIR) con una base de datos de demanda de tráfico y modelo de pronóstico para el transporte urbano.
- Las seis redes de trenes urbanos propuestas en 2014 (ver Figura 1) y el desarrollo escalonado.
- El Plan Regulador de Rutas (PRR) aprobado en diciembre de 2024 mediante Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 282-2024-ATU/PE y actualizado en febrero de 2025 mediante Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 055-2025- ATU/PE el cual muestra 482 rutas de transporte público autorizadas y 363 empresas operadoras.



Source: CIA, The World Factbook, 2004 (izquierda) y MAPADELIMA.COM (derecha)

Figura 1.1 Ubicación del AMLC



Source: ATU

Figura 1.2 Red ferroviaria urbana propuesta en el AMLC (Área Metropolitana de Lima y Callao)

1.2 Objetivos

Los objetivos del Estudio son los siguientes:

- Para promover la acción climática en el sector transporte, el presente estudio examinará cuestiones relacionadas con la estimación de las emisiones de GEI, el cálculo de los efectos de mitigación del cambio climático en el esquema de Medición-Reporte-Verificación (MRV). En particular, con relación a los efectos de mitigación del cambio climático de las medidas de cambio modal hacia el transporte público, se presentarán propuestas de métodos de cálculo y sistemas de implementación para permitir un MRV sostenible en el Perú.
- El presente estudio se llevará a cabo de acuerdo con la Agenda Global de JICA “Cambio Climático”, que es una política de cooperación para promover la implementación del Acuerdo de París y acciones climáticas orientadas a los co-beneficios. Desde esta perspectiva, se harán recomendaciones a JICA sobre la cooperación futura en el sector transporte en Perú a partir del resultado del presente Estudio.

1.3 Área de estudio

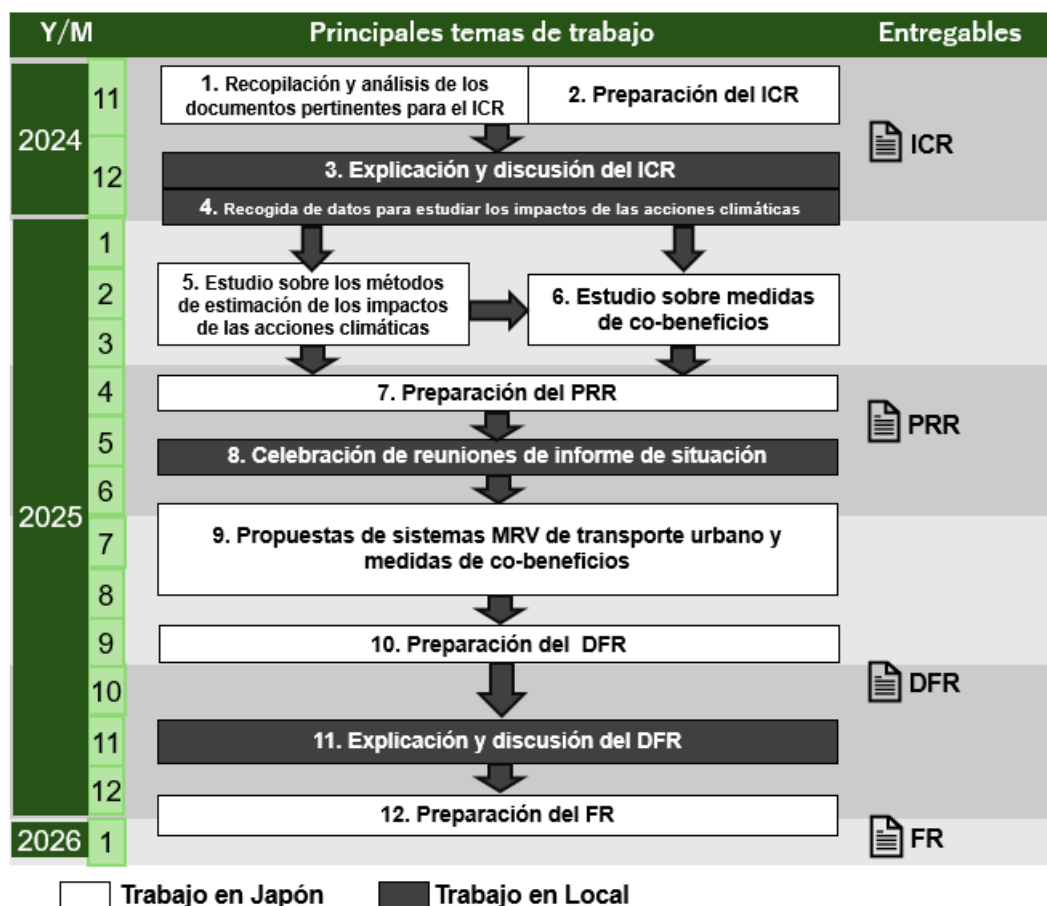
En este estudio, se considerará la acción climática a nivel de políticas en Perú.

En particular, se cubrirá el Área Metropolitana de Lima y Callao (AMLC) respecto a los efectos de mitigación del cambio climático del cambio modal al transporte público y el establecimiento de un sistema MRV y un marco de implementación.

1.4 Flujo de trabajo

El cronograma y la interrelación entre los componentes de trabajo del presente estudio se presentan en la siguiente figura

Está previsto que el estudio contemple tres misiones al Área Metropolitana de Lima-Callao. Tras cada visita, el equipo elaborará informes intermedios, a saber: el Informe Inicial (diciembre de 2024), el Informe de Progreso (mayo de 2025) y el Informe Final Preliminar (octubre de 2025). Posteriormente, una vez concluidos los ajustes finales, el Informe Final del Estudio será entregado en enero de 2026



Viaje Nº	Duración	Miembros asignados	Rol / Especialidad	Alcance
1	14 al 25 de enero de 2025	Sr. Ken KUMAZAWA	Líder / Planificación del Transporte Urbano	Reunión de inicio (Kick-off). Recolección de datos sobre acciones climáticas. Introducción dla metodología 1
		Dr. Yasuki SHIRAKAWA	Metodología MRV de Transporte y Sistema de Implementación	
2	21 de mayo al 4 de junio de 2025	Sr. Ken KUMAZAWA	Líder / Planificación del Transporte Urbano	Recolección de datos sobre acciones climáticas. Introducción dla metodología 2
		Dr. Takayoshi FUTOSE	Proyección de Demanda de Tráfico / Estimación de Emisiones de GEI	
3	30 de octubre al 7 de noviembre de 2025	Sr. Ken KUMAZAWA	Líder / Planificación del Transporte Urbano	Discusión sobre medidas de co-beneficios
		Dr. Yasuki SHIRAKAWA	Metodología MRV de Transporte y Sistema de Implementación	
Todos los viajes		Dr. José Luis Wong Villanueva	Profesor Asociado, Universidad de Lima	Apoyo técnico local a las actividades del estudio
		Sr. Franco Moldauer	Asistente de Investigación, Universidad de Lima	

Fuente: Equipo de expertos JICA

Figura 1.3 Flujo de trabajo del estudio y excursiones de estudio

1.5 Cooperación con otro estudio de JICA

JICA está desarrollando el “Estudio de Recopilación de Datos sobre los Efectos de Mitigación del Cambio Climático del Cambio hacia el Transporte Público en el Área Metropolitana de Lima y Callao”, también denominado “Estudio del Sistema de Transporte Público”, el cual se ejecuta entre septiembre de 2024 y enero de 2026. Este estudio comparte nombre y objetivos generales con el presente estudio, por lo que también se le denomina “Estudio del Sistema de Transporte Público”.

En mayo y junio de 2025, el Estudio del Sistema de Transporte Público realizará una encuesta adicional, basada en entrevistas, para evaluar con mayor precisión las tasas de viaje de los hogares de altos ingresos y ajustar los coeficientes de viaje correspondientes.

Dado que ambos estudios cuentan con la misma contraparte institucional (la ATU) y comparten el mismo ámbito geográfico, los datos recopilados y los resultados de las encuestas de tráfico serán compartidos de manera continua entre los equipos. En términos de alcance, mientras que el Estudio del Sistema de Transporte Público se enfocará en la recolección de datos amplios sobre el transporte urbano, el presente estudio priorizará información vinculada a la acción climática en dicho sector. Se espera que ambos estudios se complementen, fortaleciendo así la base técnica y analítica para la toma de decisiones.

1.6 Contrapartes y Actividades

1) Contraparte

La principal contraparte del Estudio es la ATU. El Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) desempeñan un papel importante en el cumplimiento de los objetivos del Estudio. En caso de que estas entidades consideren pertinente la participación de otros organismos para facilitar una implementación eficiente, se establecerán los mecanismos de colaboración correspondientes.

2) Actividades

La primera visita se realizó en enero de 2025. El Equipo de Estudio visitó la ATU y los ministerios y agencias gubernamentales relevantes, como MTC, MINAM y OSITRAN, para presentar y explicar el Informe Inicial y solicitar la provisión de datos relacionados. También se visitó a GIZ para comprender sus logros de cooperación técnica sobre el cambio climático en el sector transporte. Además de dichas reuniones iniciales, el Equipo de Estudio intentó familiarizarse con las condiciones del transporte urbano, en particular, los servicios de transporte público en el AMLC.

La segunda visita se realizó entre mayo y junio de 2025. En esta ocasión, se presentó el Informe de Avance ante la ATU, el MTC y el MINAM. En total, se realizaron tres reuniones en la ATU para discutir los métodos prácticos de estimación del impacto climático en la implementación de proyectos de transporte masivo, como el Metro y el BRT.

Posteriormente, tras la segunda visita, el equipo de expertos y la ATU sostuvieron diversas reuniones virtuales para informar y debatir los trabajos posteriores al Informe de Avance. Entre los temas abordados se incluyen:

- a. La recopilación de datos locales, como los factores de emisión por tipo de vehículo y la distancia promedio de viaje por pasajero, el 4 de julio (hora de Perú);
- b. El cálculo de la reducción de emisiones de GEI mediante la metodología 1 y su análisis de sensibilidad, el 24 de julio (hora de Perú);
- c. La asignación preliminar de demanda de tráfico para los proyectos de estudio de caso en la red de transporte existente y el cálculo de reducción de emisiones de GEI mediante la metodología 2, el 28 de agosto (hora de Perú);

El resumen de los Métodos 1 y 2, así como los co-beneficios de los proyectos de transporte masivo, el 25 de septiembre (hora de Perú).

La tercera visita se llevó a cabo en octubre de 2025. El Borrador del Informe Final fue presentado y expuesto ante la ATU, el MTC y la GIZ. Asimismo, se realizaron una serie de reuniones —dos en total— en la ATU con el fin de fortalecer su comprensión sobre las metodologías de estimación para acciones climáticas introducidas en el Estudio.

2. Condiciones y planes de transporte urbano

El Plan de Movilidad Urbana (PMU) más reciente para la región metropolitana de Lima y Callao representa el instrumento central de planificación que guía la transformación a largo plazo de la movilidad en la capital del Perú. Publicado oficialmente mediante la Resolución de la Presidencia Ejecutiva de la ATU N.º 395-2025-ATU/PE en diciembre de 2025, el plan consolida el mandato institucional otorgado a la ATU bajo la Ley N.º 30900 para organizar, regular e integrar el sistema de transporte metropolitano.

Aunque los actos legales se mencionan principalmente como marcos habilitadores, el PMU se concibe como una hoja de ruta orientada al futuro que alinea la política de movilidad metropolitana con los objetivos más amplios de desarrollo nacional del Perú, incluida la visión de largo plazo establecida en el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional hacia 2050.

Según la ATU y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el PMU 2025–2045 presenta una visión integral para los próximos veinte años, proponiendo una cartera de casi 200 proyectos diseñados para mejorar las condiciones de movilidad de más de 11 millones de residentes de Lima y Callao.

El plan enfatiza la expansión de la infraestructura de transporte masivo, particularmente el desarrollo de nuevas líneas de metro. Esta expansión se plantea como una respuesta estructural a la congestión crónica, los largos tiempos de viaje y los impactos ambientales asociados con la actual predominancia de servicios de transporte informales y de baja capacidad.

Este esfuerzo de integración metropolitana se complementa con instrumentos regulatorios como el Plan Regulador de Rutas, cuyas fichas técnicas fueron actualizadas a inicios de 2025 mediante la Resolución N.º 055-2025-ATU/PE, demostrando la alineación operativa entre la visión estratégica del PMU y los ajustes regulatorios cotidianos necesarios para reorganizar la red de buses.

El PMU pone un fuerte énfasis en los principios de movilidad sostenible, priorizando el transporte público, la caminata y el ciclismo como componentes esenciales de un sistema urbano más equitativo y ambientalmente responsable. También incorpora lineamientos sobre seguridad vial, accesibilidad universal y la transición hacia tecnologías vehiculares más limpias—elementos que resuenan con los compromisos nacionales del Perú en materia de mitigación climática y desarrollo urbano. El horizonte temporal del plan, que se extiende hasta 2045, garantiza la continuidad más allá de los ciclos electorales y posiciona la planificación de la movilidad en un marco nacional de largo plazo.

2.1 Red vial y transporte por carretera

Las carreteras existentes se clasifican en cuatro (4) categorías, que son Carreteras Longitudinales, Rutas Transversales, Rutas Departamentales y Rutas Vecinales². Las Autopistas se dividen en dos tipos de vías: la Autopista Nacional y Regional y la Autopista Metropolitana.

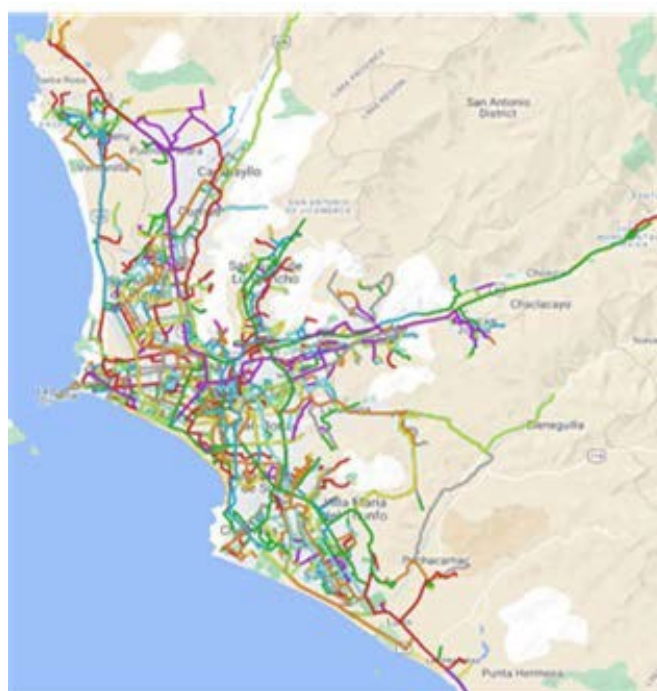
² Decreto Supremo N. 09-95 - MTC

Debido a su ubicación estratégica, el AMLC es un cruce importante en el sistema de carreteras de Perú. Tres carreteras principales se originan en el AMLC.

- La Carretera Panamericana Norte se extiende por más de 1,330 kilómetros hasta la frontera con Ecuador, conectando los distritos del norte con muchas ciudades importantes a lo largo de la costa norte peruana.
- La Carretera Central conecta los distritos orientales con ciudades del centro de Perú. La carretera se extiende por 860 kilómetros y termina en Pucallpa, cerca de Brasil.
- La Carretera Panamericana Sur conecta los distritos del sur con la costa sur. La carretera se extiende 1,450 kilómetros hasta la frontera con Chile.

La autopista metropolitana conecta cada distrito dentro del área del AMLC con un alto estándar de diseño vial. Estas autopistas se mantienen como un sistema de control de tráfico de acceso total como Lima EXPRESA (anteriormente LAMSAC).

Además de las vías expresas, las carreteras arteriales y algunas carreteras colectoras sirven para los servicios de autobuses en el AMLC.



Fuente: ATU

Figura 2.1 Vías para uso del transporte público en el AMLC

Hasta el año 2023, el parque automotor nacional comprende 8,612,646 vehículos. Los vehículos más pequeños, como motocicletas trimoto o mototaxi, representan el 60.3% del parque automotor nacional. El 79.2% de los vehículos a nivel nacional funcionan con gasolina, mientras que el 11.25% utiliza diésel³.

³ GOPP, 2023

El AMLC concentra el 45.7% del parque automotor nacional. Excluyendo motocicletas y trimoto o mototaxi, el parque automotor del AMLC es alrededor de dos tercios del total nacional. (Referirse a la Figura 2.2) Esta comparación permite entender que la proporción de vehículos es considerablemente mayor en comparación con la población de Perú y el AMLC, 32.6 millones y 10.8 millones en 2020 o la participación del AMLC (33%).

El parque automotor peruano enfrenta un problema de envejecimiento. La edad promedio del parque automotor peruano es de 13.6 años, según cálculos internos. La tasa promedio de renovación en Perú es de alrededor del 5%, lo que acelera aún más el problema⁴. En el servicio de transporte público, el 29% de los autobuses que operan en el AMLC tienen más de 15 años, lo que incrementa los niveles de contaminación⁴.

Otro problema grave en el transporte por carretera es la congestión del tráfico y el tiempo de conducción prolongado. Un trabajo de investigación informó lo siguiente:⁵

- El tiempo promedio de conducción en el AMLC es de 24 minutos por cada 10 kilómetros, en comparación con los 19 minutos en América Latina en promedio.
- Durante las horas pico (6–9 AM y 5–8 PM), el retraso aumenta casi un 50%, alcanzando un promedio de 33 minutos por cada 10 kilómetros.
- Como resultado, una persona en el AMLC pierde hasta 55 horas al año debido al tráfico.

Asimismo, una investigación ha desarrollado un índice de congestión vehicular en 500 ciudades del mundo utilizando datos flotantes de vehículos⁶. El resultado del año 2024 muestra que Lima ocupa el octavo puesto a nivel mundial y el segundo en Latinoamérica, después de Barranquilla, Colombia.

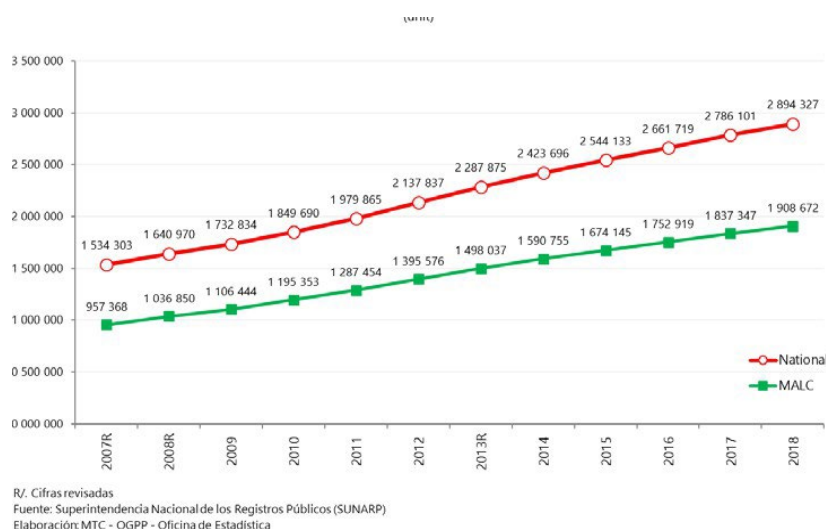


Figura 2.2 Estimación del parque automotor de cuatro ruedas en el Perú y en el AMLC, 2007-2018

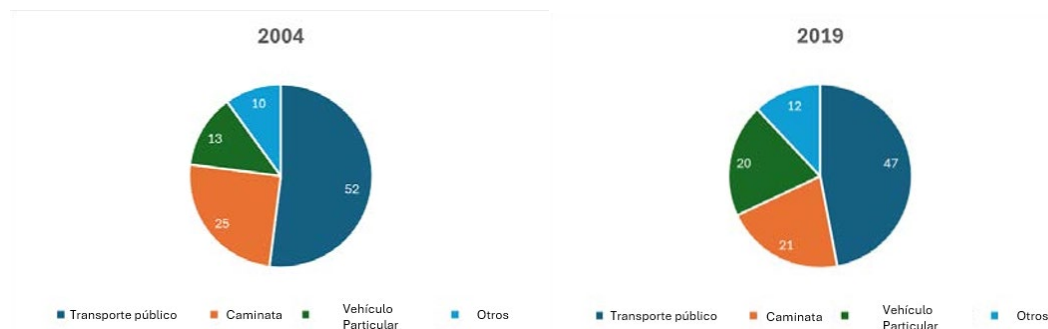
⁴ MTC, 2024

⁵ Guerrero, 2024, ¿Cuánto se pierde en Lima Metropolitana por el tráfico? Instituto Peruano De Economía

⁶ <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>

2.2 Servicios de transporte público

En el AMLC, el ciudadano puede acceder a diversos servicios de transporte público. Los viajes diarios de pasajeros del uso del transporte público aumentaron ligeramente de 9.4 millones en 2004 a 10.8 millones en 2019, respectivamente. Sin embargo, en términos de participación modal, el transporte público redujo su participación del 52% al 47%. En cambio, el patrocinio de vehículos privados aumentó del 13% al 20% durante el mismo período.



Fuente: Fuente para el 2004: JICA Encuesta PT, Fuente para el 2019: ATU proporcionado al Estudio del Sistema Integrado de Transporte de JICA

Figura 2.3 Variación de las cuotas modales de transporte, 2004 y 2019

En la actualidad, cuatro tipos de servicios de transporte público están disponibles en el AMLC: Metro, BRT, Corredores Complementarios y del servicio de transporte regular convencional. Sus características operativas se resumen en la tabla precedente

Como organización técnica especializada dependiente del MTC, la ATU tiene el mandato de implementar, gestionar y supervisar el sistema de transporte integrado de Lima y Callao. La ATU administra el transporte público (metro y BRT), los autobuses y otros medios de transporte público, los servicios de taxi y turísticos, mientras que la gestión del tráfico, los semáforos, los carriles bici, las motocicletas y los vehículos de tres ruedas quedan fuera de su ámbito de responsabilidad. En relación con el estudio, la ATU tiene una función de monitoreo ambiental para medir las emisiones de gases de efecto invernadero y los contaminantes atmosféricos de los vehículos de transporte público, así como una función de planificación que elabora el plan de movilidad urbana, el plan maestro de transporte, el plan del sistema de rutas y el plan de logística urbana.

Tabla 2.1 Servicios de transporte público disponibles

(1) Metro 	La Línea 1 del Metro de Lima comenzó a operar completamente en 2011 con una longitud de ruta de 34.6 km con una velocidad máxima de 80km/h. Por otro lado, la Línea 2, que operó parcialmente en 2024, operará completamente en 2025. La capacidad total de los trenes del Metro de Lima es de 1,200 pasajeros por tren, con un total de 264 vagones en servicio. (OGPP, 2023)
(2) BRT 	El Metropolitano, un sistema BRT (Bus de Tránsito Rápido) en Lima, también conocido como corredor exclusivo de alta capacidad (COSAC I), comenzó su operación completa en 2010 en los carriles exclusivos para autobuses (37,2 km), conectando el norte y el sur de la metrópoli. En enero de 2024, el sistema BRT transportó a 11.2 millones de pasajeros. (ATU)
(3) Corredores Complementarios 	Actualmente existen 3 rutas: líneas roja, azul y morada administradas por la ATU Según la ATU, los siguientes datos de pasajeros se reportaron en febrero de 2024: Línea roja: 3.55 millones de pasajeros Línea azul: 1.54 millones de pasajeros Línea morada: 1.64 millones de pasajeros
(4) Cústers y Combis 	El 87% de la demanda de viajes en Lima y Callao es cubierta por 507 rutas autorizadas de empresas de transporte público convencional, que operan con una flota de 22,000 vehículos. (ATU, 2024)

Fuente: Fuentes citadas en la tabla

2.3 Desarrollo de sistemas de transporte masivo y su impacto en la elección modal de los pasajeros

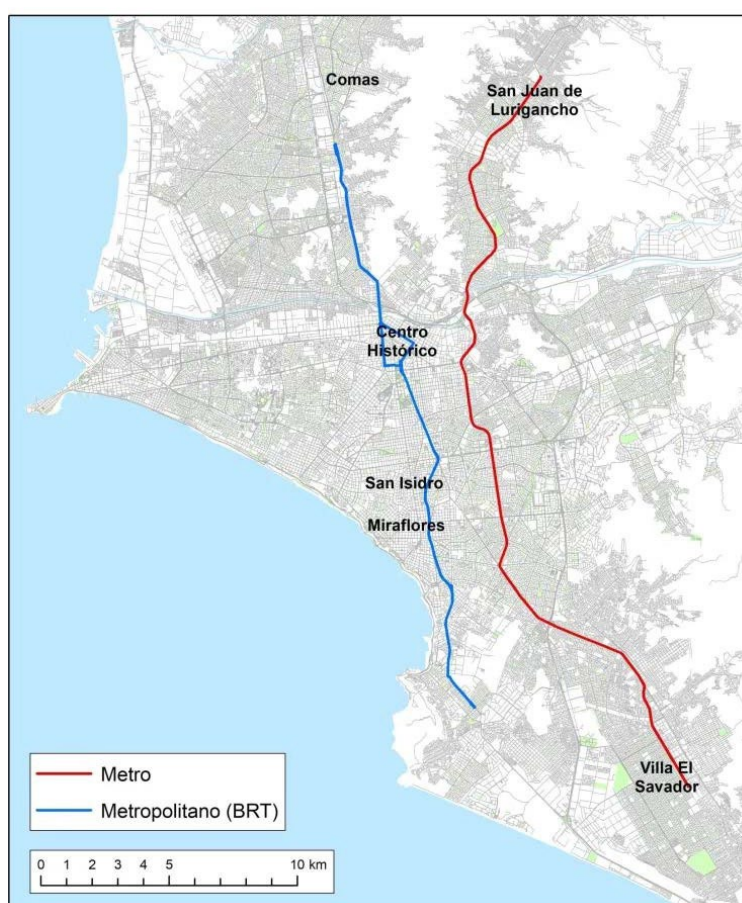
Tras un largo tiempo de preparación, se introdujeron dos sistemas de transporte masivo en el AMLC a principios de la década de 2010:

- La Línea 1 del Metro de Lima y Callao inició su operación comercial en 2011 y su operación completa en 2014. La Línea 1 tiene un sistema de ancho de vía estándar de 39.6 km con una velocidad máxima de 80 km/h. En 2024, el sistema transportó

190.3 millones de pasajeros o un promedio diario de 521 mil pasajeros.

- El Metropolitano inició su operación en 2010 como un sistema BRT con una longitud de ruta de 37.2 km. Ofrece servicios regulares y expresos. El número de pasajeros anual más reciente es de 122.1 millones o un promedio diario de 334 mil pasajeros.

Los trazados de ambos sistemas se ilustran en la Figura 2.4. Aunque sus rutas están alineadas en la misma dirección, el Metropolitano llega directamente a concurridos distritos centrales de negocios (CBDs, por sus siglas en inglés) como el Centro, San Isidro y Miraflores. Por ello, con frecuencia se reporta una alta densidad de pasajeros en los buses articulados.



Fuente: Equipo de Expertos JICA

Figura 2.4 Alineaciones de las rutas de la Línea 1 del Metro y del Metropolitano (BRT)

2.4 Planes de desarrollo del transporte urbano y proyectos en curso

Tras la puesta en operación de los primeros proyectos de Metro y BRT en la década de 2010, no se ha introducido ningún nuevo sistema de transporte masivo, salvo la operación parcial de la Línea 2 del Metro. Como se informó anteriormente, el parque automotor ha aumentado constantemente y, por lo tanto, la congestión del tráfico vial se ha vuelto severa en muchas partes de la red vial de la AMLC.

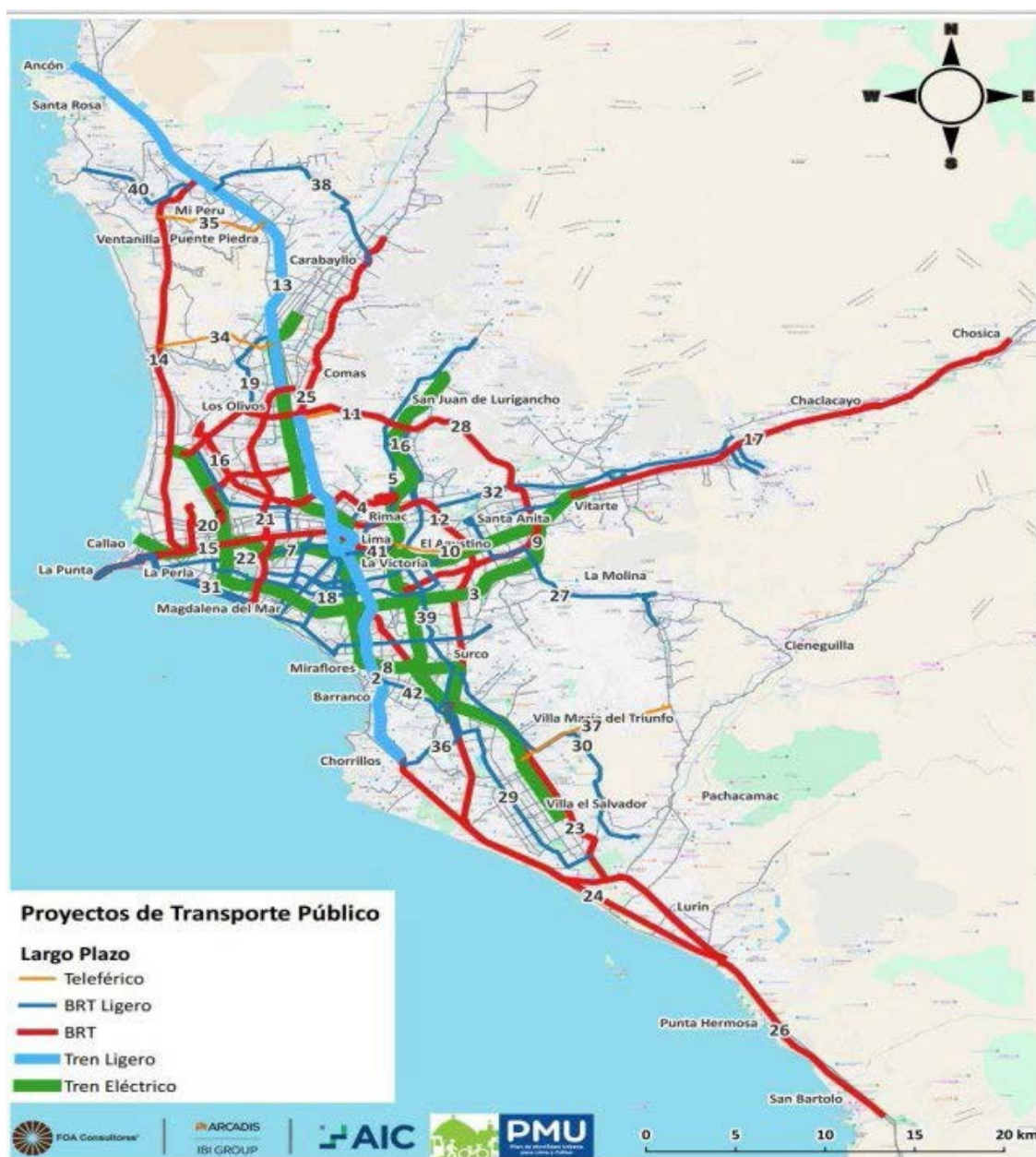
Según el Plan de Movilidad Urbana (PMU) 2025-2045 se proyecta la operación progresiva de la red de metro, incluyendo la culminación de la Línea 2 y la extensión futura con la Línea 4, así como la ampliación de corredores preferenciales para BRT en ejes estructurantes como La Marina–Javier Prado, Panamericana Norte y Tomás Valle, con metas de alcanzar más de 200 km de infraestructura para buses de alta y mediana capacidad.

En 2025 se han iniciado medidas operativas, como la reorganización del sistema urbano de rutas para mejorar la eficiencia del transporte público, y un plan regulador de rutas que prioriza corredores y tecnologías más modernas para la movilidad urbana.

Algunas líneas de BRT se convertirán en sistemas de Tren Ligero a finales de la década de 2030, como el Metropolitano (BRT) y el CC01 (BRT).

Después de 2035, la AMLC tiene la intención de desarrollar varios sistemas de teleférico, en particular en zonas urbanas con colinas.

Los proyectos de transporte público antes mencionados se representan en la Figura 2.5 y se tabulan en la Tabla 2.2.



Fuente: Equipo de estudio del sistema de transporte público de JICA, basado en el Informe número 6 de la PMU

Figura 2.5 Proyectos de transporte público en el AMLC

Tabla 2.2 Resumen de proyectos de transporte publico

Capacidad	Nº en Mapa	Proyecto	Longitud (km)	Año de Operación	Inversión (Millones \$)
Grande (más de 20.000 pas/h/sentido)	1	Línea 1 del Metro	34.6	2011	-
	2	Metropolitano (BRT) COSAC 1 / Tren Ligero	42.8	2010 Tren Ligero: 2038	BRT: 48.1 Tren Ligero: 4,011.6
	7	Línea 2 del Metro y Ramal (Etapa 1B)	34.3	2025	1,337.2
	8	Línea 3 del Metro	33.7	2037	6,256.7
	9	Línea 4 del Metro	23.3	2040	3,347.8
	-	Línea 5 del Metro	28	Después de 2044	-
	-	Línea 6 del Metro	32	Después de 2044	-
Mediana (5.000 – 20.000 pas/h/sentido)	13	Eje CC01 Panamericana (Amarillo) Línea Ancón (BRT/Tren Ligero)	26.2	BRT: 2025 Tren Ligero: 2037	BRT: 240 Tren Ligero: 2,176.1
	12	BRT Ligero Eje CC01 Panamericana (Amarillo) – Caquetá – Atocongo, Tramo 2 Sur	20.7	2025	67.6
	3	BRT Eje CC04 San Juan TGA (Azul) Ruta Mixta	18.9	2025	89.3
	4	BRT Ligero Eje CC03 TGA (Azul) Ruta Mixta	10.6	2025	44.6
	5	BRT Eje CC04 San Juan TGA (Azul) Ruta Mixta	24.0	2025	118.4
	-	Otros 6 Proyectos BRT	-	-	-
Pequeña (Menos de 50.000 pas/h/sentido)	41	Conexión por BRT Ligero del COSAC 1 con Est. Grau (Línea 1)	2.5	2030	12.2
	10	Teleférico Agustino	4.2	2044	87.4
	11	Teleférico Independencia	5.9	2039	133.4
	34	Teleférico Delta Chillón – Av. La Cordialidad	6.9	2042	164.2
	35	Teleférico Playa Azul – Ricardo Palma	6.5	2044	124
	37	Teleférico VMT - Pumacahua	9.1	2035	130.7
	-	Otros 11 Proyectos de BRT Ligero	-	-	-

Fuente: Equipo de Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA, basado en el Informe de la UGP y otras fuentes.

2.5 Modos anteriores y modos de acceso de los usuarios de transporte masivo

Un sistema de transporte masivo puede cambiar considerablemente la elección modal y los patrones de desplazamiento de los pasajeros debido a su gran capacidad. La Encuesta de Recopilación de Datos sobre Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao (JICA, 2013). entrevistó directamente a los usuarios de transporte masivo de la Línea 1 del Metro y del Metropolitano (BRT) en la AMLC sobre los modos de transporte que utilizaban anteriormente y sus modos de acceso actuales a dichos sistemas de transporte masivo. Cabe señalar que la Línea 1 del Metro inició su operación completa en 2014, por lo que la encuesta entrevistó a los pasajeros que utilizaban la Línea 1 del Metro durante su operación comercial parcial en ese momento.

La encuesta indicó que los pasajeros utilizaban los siguientes modos de transporte antes de ser usuarios de los servicios de transporte masivo y para acceder a ellos:

- Antes de utilizar el Metropolitano y la Línea 1 del Metro, la mayoría de los pasajeros usaban autobús y combi, lo que representaba un promedio del 92.8%. El porcentaje de pasajeros provenientes de automóvil y taxi era de apenas el 5%.
- Al utilizar el Metropolitano y la Línea 1 del Metro, casi la mitad de los pasajeros llegaban a las estaciones caminando. Los modos de transporte público, como el autobús y la combi, representaron el 42% de los servicios alimentadores para los pasajeros del transporte masivo.

Tabla 2.3 Modos de transporte previos de los pasajeros del Metropolitano (BRT) y de la Línea 1 del Metro

	Cantidad					Porcentaje			
	Auto/Taxi	Bus	Combi	Otros	Total	Auto/Taxi	Bus	Combi ⁽¹⁾	Otros
Metropolitano	37	394	155	16	602	6.1	65.4	25.7	2.7
Línea 1 del Metro de Lima	14	233	157	6	410	3.4	56.8	38.3	1.5
Total	51	627	312	22	1,012	5.0	62.0	30.8	2.2

JICA, Encuesta de Recopilación de Datos sobre Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao, 2013.
Se define como un autobús de tamaño pequeño con capacidad para 15-24 pasajeros (sentados y de pie).

Tabla 2.4 Modos de alimentación de los pasajeros del Metropolitano (BRT) y de la Línea 1 del Metro

	Cantidad					Porcentaje			
	Caminata	Carro	No-convencional ⁽¹⁾	Público	Total	Caminata	Carro	No-convencional	Público
Metropolitano	904	5	91	722	1,722	52.5	0.3	5.5	41.9
Línea 1 del Metro de Lima	673	7	157	609	1,446	46.5	0.5	10.9	42.1
Total	1,577	12	248	1,331	3,168	49.8	0.4	7.8	42.0

JICA, Encuesta de Recopilación de Datos sobre Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao, 2013
Definido como taxi tipo mototaxi.

Aunque la encuesta por entrevista se realizó hace 13 años, los resultados mostraron algunas características destacadas de los pasajeros de transporte masivo en el AMLC. Sin embargo, para comprender la situación actual, se considera necesaria una encuesta por entrevista similar.

3. Acciones climáticas en Perú

3.1 Últimas tendencias de la COP y otras actividades relacionadas

El Acuerdo de París fue adoptado en la COP21 (Conferencia de las Partes, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) en diciembre de 2015 y entró en vigor en noviembre de 2016. Sucediendo al Protocolo de Kioto, que fue adoptado en diciembre de 1997, el Acuerdo de París es un acuerdo importante que promoverá medidas para combatir el cambio climático en toda la comunidad internacional. Uno de sus objetivos es "mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 grados C por encima de los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1.5 grados C por encima de los niveles preindustriales, reconociendo que esto reduciría significativamente los riesgos e impactos del cambio climático".

El Acuerdo de París incluye mecanismos para fortalecer gradualmente las acciones climáticas en cada país. Cada cinco años, cada país establecerá su propio objetivo de reducción de emisiones de GEI en su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), y cada dos años, se informará sobre los progresos hacia el objetivo en un Informe Bienal de Transparencia (BTR) bajo el Marco de Transparencia Reforzado (ETF). Luego, cada cinco años, el Balance Mundial (GST) evaluará el progreso de todo el mundo hacia los objetivos del Acuerdo de París.

El primer GST se adoptó en la COP28 en 2023, con un documento de decisión sobre sus resultados⁷. La decisión destaca que "a pesar del progreso general en mitigación, adaptación y medios de implementación y apoyo, las Partes aún no están colectivamente en camino de lograr el propósito del Acuerdo de París y sus objetivos a largo plazo," y se enfatiza "la necesidad de acción urgente y apoyo para mantener el objetivo de 1.5 grados C al alcance y abordar la crisis climática en esta década crítica". Con respecto al fortalecimiento de las medidas de mitigación, se reconoce que limitar el calentamiento global a 1.5 grados C sin o con un sobrepaso limitado requiere reducciones profundas, rápidas y sostenidas de las emisiones de GEI del 43% para 2030 y del 60% para 2035 en relación con el nivel de 2019 y alcanzar cero emisiones netas de CO₂ para 2050". Además, en cuanto a las medidas de mitigación para el sector transporte, el documento de decisión establece que "es necesario acelerar la reducción de emisiones del transporte por carretera en una gama de vías, incluso a través del desarrollo de infraestructura y el despliegue rápido de vehículos de cero y bajas emisiones".

Todas las Partes del Acuerdo de París (tanto países desarrollados como en desarrollo) deben presentar un BTR y los requisitos de presentación de informes se definen en "Las Modalidades, procedimientos y directrices (MPG) para la presentación de informes y revisión en virtud del ETF para la acción y el apoyo mencionados en el Artículo 13 del Acuerdo de París (Decisión 18/CMA.1)⁸⁸" adoptadas en la COP24. Las MPG se aplicarán a todas las Partes, y por primera vez desde la adopción de la CMNUCC, los países desarrollados y en desarrollo informarán los documentos pertinentes

⁷ https://unfccc.int/sites/default/files/resource/1_CMA.5.pdf

⁸ <https://unfccc.int/resource/tet/0/00mpg.pdf>

utilizando directrices comunes. Específicamente, cada Parte debe informar en el BTR: i) inventario nacional de GEI; ii) progreso hacia el logro de los objetivos de la NDC, como las acciones de mitigación; iii) impactos y adaptación al cambio climático; iv) apoyo proporcionado por las Partes que son países desarrollados; y v) apoyo requerido y recibido por los países en desarrollo. En las

MPG, los informes sobre iii) y v) se expresan con "debería", mientras que los demás son "deberá". Los principios de implementación del ETF son de manera facilitadora, no intrusiva, no punitiva, respetando la soberanía nacional.

La información sobre los progresos en las NDC contenida en los informes BTR debe informarse en el Formato Tabular Común (CTF). Como todas las Partes informan en este formato común, se garantiza la transparencia del contenido de los informes y la comparabilidad entre las partes. Para promover una mayor participación, el ETF refleja una flexibilidad específica disponible para aquellas Partes que son países en desarrollo que la necesitan a la luz de sus capacidades. Las disposiciones de flexibilidad afectan el alcance, la frecuencia y los detalles de la presentación de informes, así como el alcance de la revisión.

Después de presentar el BTR, cada país se someterá a una evaluación por parte del equipo de Revisión Técnica de Expertos (TER) aprobado por la Secretaría de la CMNUCC. La evaluación verificará si el BTR cumple con los requisitos de presentación de informes de las MPG y examinará la implementación y el logro de la NDC. Los resultados del TER se compilarán en un Informe de Revisión Técnica de Expertos (TERR) y se divulgarán en el sitio web de la CMNUCC. A través del TER, se espera que las Partes mejoren continuamente la calidad de sus informes BTR y produzcan informes más transparentes y completos.

3.2 Principales informes presentados por el Gobierno de Perú a la secretaría de la CMNUCC

El Gobierno de Perú ratificó el Acuerdo de París el 25 de julio de 2016. Los principales informes presentados por el Gobierno a la Secretaría de la CMNUCC hasta la fecha se enumeran en la Tabla 3.1. Más recientemente, la Cuarta Comunicación Nacional se presentó en marzo de 2025.

Tabla 3.1 Principales informes presentados por el Gobierno de Perú a la CMNUCC

Nombre del informe	Fecha de presentación
NDC actualizada (NDC 3.0)	2025.11.6
Política nacional: Estrategia Nacional sobre el Cambio Climático para 2050	2025.6.2
Cuarta Comunicación Nacional (CN4)	2025.3.30
Primer Informe Bienal de Transparencia 2024 (BTR1), CTF-NDC	2024.12.31
Primer Informe Bienal de Transparencia 2024 (BTR1)	2024.12.31
Documento de Inventario Nacional (DIN) 2000-2021	2024.12.31
Tercer Informe Bienal de Actualización (BUR3)	2023.7.23
Primera NDC (Contribución Determinada a Nivel Nacional: Envío actualizado)	2020.12.18
Segundo Informe Bienal de Actualización (BUR2)	2019.12.17
Segundo Informe Bienal de Actualización (BUR2). Informe de Inventario Nacional.	2019.12.17
Primera NDC	2016.7.16
Tercera Comunicación Nacional (CN3)	2016
Primer Informe Bienal de Actualización (BUR1)	2014.12
Segunda Comunicación Nacional (CN2)	2010.9.28
Primera Comunicación Nacional (CN1)	2001

NDC (Contribución Determinada a Nivel Nacional): Un plan nacional sobre políticas y medidas de cambio climático, que incluye objetivos de reducción de emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero).

NC (Comunicación Nacional): Un informe que recopila información sobre las medidas de cambio climático del país, las proyecciones futuras de emisiones de GEI, los impactos del cambio climático y las medidas de adaptación, la asistencia financiera y la transferencia de tecnología, etc.

NID (Documento de Inventario Nacional): Un informe que resume la cantidad de GEI emitidos y absorbidos por el país durante los años objetivo.

BUR (Informe Bienal de Actualización): Un informe bienal que resume la información sobre las medidas de cambio climático de un país y el progreso hacia el logro de sus objetivos de reducción de emisiones.

BTR (Informe Bienal de Transparencia): Un informe que resume el progreso hacia el cumplimiento de la NDC cada dos años, en el marco del Marco de Transparencia Reforzado (ETF, por sus siglas en inglés).

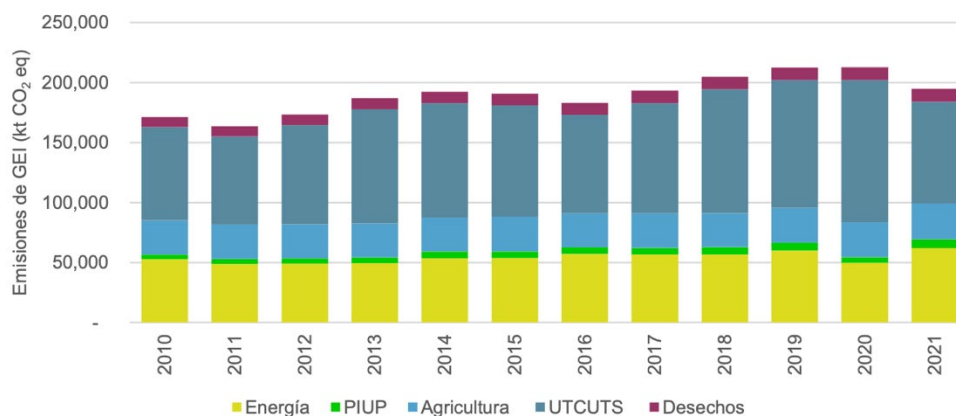
3.3 El objetivo de reducción de GEI de Perú

El objetivo de reducción de GEI, que constituye una parte importante de la acción climática (mitigación) del Perú, se establece en la primera NDC (Contribución Determinada a Nivel Nacional, versión actualizada) presentada en 2020. Ese objetivo se establece en emisiones que no excedan los 208.8 MtCO₂eq (millones de toneladas de CO₂ equivalente) en 2030, y

179.0 MtCO₂eq de emisiones sujetas a apoyos internacionales. Las emisiones de GEI en 2021 son 194.9 MtCO₂eq y las emisiones BaU (escenario base) en 2030 se establecen en 298.3 MtCO₂eq.

Source: BTR1

Figura 3.1 muestra la tendencia de las emisiones del país (incluidas las LULUCFS). Se puede observar que las emisiones netas se mantuvieron relativamente constantes, aunque presentaron tres picos notables en 2018, 2019 y 2020, asociados a la deforestación en la Amazonía (Fuente: p. 20, BTR1).



Source: BTR1

Figura 3.1 Tendencia de las emisiones de GEI por categoría (con UTCUTS)

3.4 Medidas de mitigación para el cumplimiento de la NDC de Perú

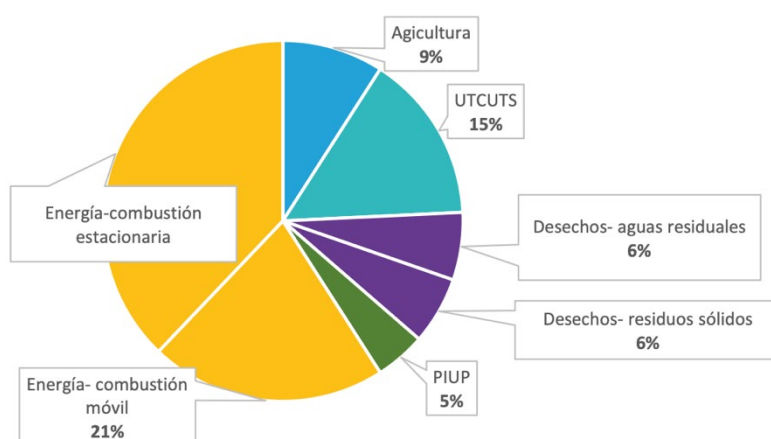
La LMCC (Ley Marco sobre Cambio Climático) establece que el Gobierno del Perú debe diseñar e implementar programas, proyectos y actividades orientados a reducir las emisiones de GEI, a aumentar la captura de carbono y a ampliar los sumideros. Para este fin, el país propone priorizar:

i) la protección, conservación y manejo sostenible de los bosques; ii) la forestación y reforestación; iii) el control del uso de la tierra y el cambio de uso de la tierra; iv) el transporte sostenible; v) la gestión de residuos sólidos; vi) el control de emisiones gaseosas y efluentes;

vii) el cambio progresivo de los patrones de consumo y la matriz energética hacia energías renovables y limpias; viii) la eficiencia energética en los diversos sectores productivos y extractivos; entre otros (Fuente: p.54, BTR1).

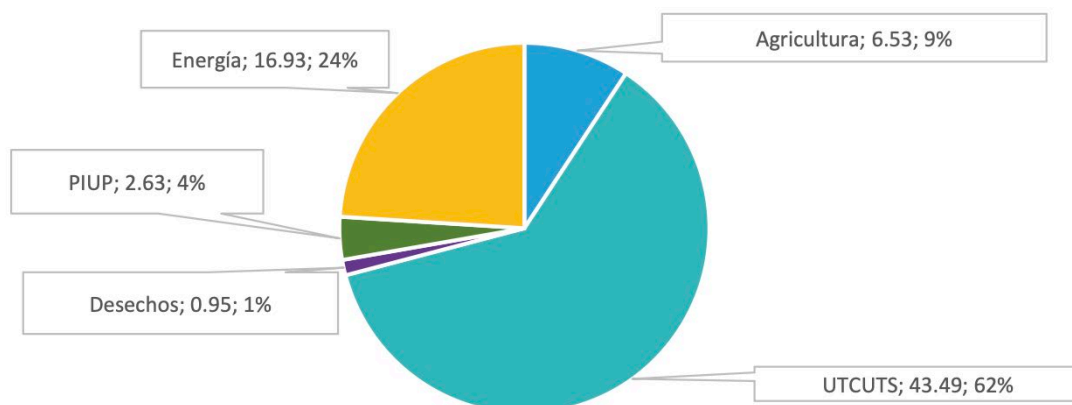
Los miembros del sector implementador del GTM-NDC (Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de la Contribución Determinada a Nivel Nacional) identificaron las 62 medidas de mitigación que posteriormente sustentaron el objetivo enviado a la Secretaría de la CMNUCC en diciembre de 2020 (MINAM, 2020). Más recientemente, entre 2022 y 2023, en cumplimiento de sus funciones, la CANCC (Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático) aprobó la incorporación de cuatro nuevas medidas de mitigación. Así, a septiembre de 2024, la NDC de Perú se basa en la implementación de 66 medidas de mitigación con un potencial combinado de reducción de emisiones de 70,536 MtCO₂eq en 2030 (Fuente: p.54, B1).

Las medidas de mitigación adoptadas por Perú se categorizan según los sectores de emisiones de GEI definidos por el IPCC: i) Energía (combustión estacionaria y combustión móvil); ii) Procesos industriales y uso de productos (IPPU); iii) Residuos (residuos sólidos y aguas residuales); iv) Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (LULUCF); y, Agricultura (IPCC, 2006). El número de medidas de mitigación formuladas en el sector transporte (combustión móvil) representa el 21% (14 medidas) del total de 66 medidas (ver figuras procedentes, Fuente: p.54, BTR1).



Fuente: BTR1

Figura 3.2 Número de medidas de mitigación en la NDC del Perú distribuidas por sector



Fuente: BTR1

Figura 3.3 Reducción potencial de emisiones de GEI (MtCO₂eq) en 2030 por sector

Como se establece en la LMCC y su Reglamento, el MINAM, como autoridad nacional en materia de cambio climático, monitorea el progreso en la implementación de las medidas que componen la NDC del país. Las medidas de mitigación son implementadas por una o más autoridades sectoriales. Hay siete autoridades sectoriales involucradas en la implementación de medidas de mitigación (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego; Ministerio del Ambiente; Ministerio de Energía y Minas; Ministerio de Transportes y Comunicaciones; Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social; Ministerio de la Producción; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento).

La Tabla 3.2 indica la relación entre las autoridades sectoriales (entidades gubernamentales) y los sectores de emisiones que agrupan las medidas.

Tabla 3.2 Relación entre sectores de emisión de GEI, autoridades sectoriales y su ámbito de competencia según sus reglamentos de operación y funciones.

Sector emisiones de GEI	Componentes	Autoridad sectorial	Ámbito de competencia según su Reglamento de organización y funciones
Energía	Energía-Combustión Estacionaria: Emisiones provenientes de la generación eléctrica, de la combustión de combustibles obtenidos por extracción y de su uso en industrias manufactureras y de la construcción.	Ministerio de Energía y Minas (MINEM)	MINEM ejerce competencias en materia de energía, que comprende electricidad e hidrocarburos, y de minería.
		Ministerio de la Producción (PRODUCE)	PRODUCE tiene competencia en pesquería, acuicultura, industria, micro, pequeña, mediana y gran empresa, comercio interno, promoción, desarrollo de cooperativas y parques industriales.
		Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS)	MVCS tiene competencias en vivienda, construcción, saneamiento, urbanismo y desarrollo urbano, bienes estatales y propiedad urbana.
		MINAM	MINAM ejerce la competencia y rectoría a nivel nacional para la gestión y manejo de los residuos sólidos, de conformidad con

			la ley de la materia.
	Energía-Combustión Móvil Emisiones provenientes de la quema y la evaporación de combustible para todas las actividades de transporte (excepto del transporte militar)	MINEM	MINEM ejerce competencias en energía, que comprende electricidad e hidrocarburos, y en minería.
		MTC	MTC ejerce jurisdicción en el ámbito nacional, regional y local, como ente rector del sector Transportes y Comunicaciones, en el marco de sus competencias exclusivas y compartidas que le otorga la ley.
Procesos industriales y uso de productos (PIUP)	Industria, manufactura y uso de productos. Emisiones de GEI provenientes de las industrias de minerales, químicas, de metales, de electrónica, la manufactura, el uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente, y el uso de productos como sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono.	PRODUCE	Produce es competente en pesquería, acuicultura, industria, micro, pequeña, mediana y gran empresa, comercio interno, promoción, desarrollo de cooperativas y parques industriales
Desechos	Residuos Sólidos. Considera las emisiones de metano y dióxido de carbono provenientes de la eliminación, el tratamiento biológico, la incineración y la incineración abierta de desechos sólidos	MINAM	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS); y otros sectores.
	Aguas Residuales. Considera las emisiones de metano y óxido nitroso por		MVCS tiene competencias en vivienda, construcción, saneamiento, urbanismo y desarrollo urbano, bienes estatales y
Sector de emisiones de GEI	Componentes	Autoridad sectorial	Ámbito de competencia según su Reglamento de organización y funciones
	aguas domésticas, comerciales e industriales.	MVCS; y otros sectores.	propiedad urbana. Otros sectores tienen competencia sobre aguas residuales industriales
Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)	Considera las emisiones de GEI resultantes de los cambios en los depósitos de carbono en la biomasa, materia orgánica muerta y suelos minerales, las producidas por incendios, las provenientes de óxido nitroso en las tierras, en humedales y las emisiones asociadas a productos de madera recolectada.	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI)	MIDAGRI ejerce su competencia a nivel nacional en materias de tierras de uso agrícola y de pastoreo, tierras forestales y tierras eriazas con aptitud agraria, recursos forestales y su aprovechamiento, flora y fauna, recursos hídricos, infraestructura agraria, riego y utilización de agua para uso agrario, cultivos y crianzas, etc.
		MINAM	MINAM ejerce la función de dirigir el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE) de carácter nacional; así como de formular y proponer la política y las estrategias nacionales de gestión de los recursos naturales y de la diversidad biológica.
Agricultura	Agricultura y ganadería. Considera las emisiones de GEI provenientes de la fermentación entérica del ganado, la descomposición del estiércol, de materia orgánica en arrozales, de las derivadas de la aplicación de fertilizantes sintéticos, estiércol animal, emisiones por la quema de sabanas o pastizales y quema de residuos agrícolas.	MIDAGRI	MIDAGRI ejerce su competencia a nivel nacional en materias de tierras de uso agrícola y de pastoreo, tierras forestales y tierras eriazas con aptitud agraria, recursos forestales y su aprovechamiento, flora y fauna, recursos hídricos, infraestructura agraria, riego y utilización de agua para uso agrario, cultivos y crianzas, etc.

Fuente: (p.334-335, NC4)

3.5 Medidas de mitigación en el sector transporte

Las medidas de mitigación en el sector transporte (el Sector Energía - Combustión Móvil) tienen como objetivo promover la eficiencia energética en el transporte, así como mejorar la calidad del transporte público y privado en las principales ciudades de Perú. Además, estas medidas promueven la conservación y mejora de las rutas de transporte nacional en el interior del país. Estas medidas se pueden agrupar según los siguientes componentes

- Transporte sostenible: estas medidas contribuyen a la implementación de sistemas de transporte integrados y masivos, así como al uso de fuentes de energía menos contaminantes en el transporte, como la electricidad y los vehículos a gas natural, que reemplazarían a los combustibles fósiles tradicionales como el diésel y la gasolina.
- ECM27: Implementación de los corredores complementarios del SIT de Lima
ECM26: Operación actual del Metropolitano y sus ampliaciones
ECM27: Implementación de las Líneas 1 y 2 del Metro de Lima y Callao
- ECM33: Programa Nacional de Transporte Urbano Sostenible
- CM34: Programa Nacional de Chatarrización y Renovación Vehicular
 - *Eficiencia energética en el transporte:* mediante la implementación de estas medidas, se espera aumentar el uso de combustibles fósiles más eficientes con baja intensidad de carbono en los vehículos a nivel nacional; así como ahorros en el consumo de combustible mediante el uso de tecnologías apropiadas en la flota vehicular, lo que genera la reducción de las emisiones de GEI.
 - ECM32: Capacitación en conducción eficiente para conductores profesionales (mujeres y hombres)
 - Mejora de la infraestructura vial: estas medidas tienen como objetivo mejorar la infraestructura ferroviaria nacional con la consiguiente reducción de los tiempos de viaje en las carreteras terrestres y el consumo de combustible por parte de los usuarios del transporte de pasajeros y carga.
 - ECM35: Proyecto “Construcción del Túnel Transandino”
ECM36: Mejoramiento de los servicios de transporte ferroviario en el tramo Tacna–Arica
ECM37: Rehabilitación integral del ferrocarril Huancayo–Huancavelica

Las principales características de las medidas de mitigación en el sector Energía - combustión móvil que se están implementando se presentan en la Tabla 3.3.

Las medidas relacionadas con el Tránsito Masivo (como Metro y BRT) son ECM25, 26 y 27 en NC4. Por otro lado, BTR1 enumera ECM26 y 27 como medidas en implementación⁹:

ECM26: Operación y extensión del Metropolitano. Reemplazo de buses diésel convencionales por nuevos buses a gas natural: Esta medida busca la implementación del Corredor Segregado de Alta

⁹ ECM25 no está descrito en BTR1.

Capacidad (COSAC I), conocido como Metropolitano. COSAC I es un sistema integrado de transporte público para Lima compuesto por buses articulados de alta capacidad que circulan por corredores exclusivos bajo el esquema de Bus de Tránsito Rápido. Se estima que las reducciones de emisiones de GEI por esta medida son de 0.08 MtCO₂eq en 2030.

ECM27: Aumentar la capacidad de la Línea 1 del Metro y completar la construcción de la Línea 2 (27 estaciones, 27 km): La medida consiste en la implementación de la Línea 1 del metro que recorre Lima Metropolitana a través de un viaducto elevado de 35 km de longitud, que cuenta con 26 estaciones. Esta infraestructura facilita el tránsito de 320,000 pasajeros por día. La Línea 2, de 27 km de longitud, cubrirá Lima Metropolitana y Callao. Se estima que las reducciones de emisiones de GEI por esta medida son de 0.12 MtCO₂eq en 2030.

Tabla 3.3 Características de las medidas de mitigación en el sector energía - combustión móvil en implementación

Nombre de la medida	Objetivo y descripción	Potencial de reducción (MtCO ₂ eq) en el 2030	Alcance geográfico	Avances en la implementación
ECM25 Implementación de los Corredores Complementarios del Sistema Integrado de Transporte de Lima	Objetivo: Implementar los sistemas de rutas tronco-alimentadoras de gran capacidad para el transporte público con la meta de que puedan circular en vías segregadas o mixtas en Lima Metropolitana y el Callao. Esta medida forma parte del Sistema Integrado de Transporte (SIT), consiste en la renovación de las unidades de transporte público en un plazo no mayor a cinco años y la ejecución de un Plan de Chatarreo de Vehículos Obsoletos en los primeros cinco años de la operación de cada paquete de licitación. /2014	0.172 CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Lima y Callao MTC	Funcionamiento de tres corredores complementarios, el Rojo (Ruta 201, 204, 206 y 209), Azul (Ruta 301, 303, 305, 336, 370 y 371) y Morado (Ruta 404, 405, 406 Y 412).
ECM26 Operación actual del Metropolitano y ampliaciones	Objetivo: Reemplazar los buses convencionales a diésel por nuevos buses operados con gas natural. La medida, propuesta por la Municipalidad Metropolitana de Lima, busca la implementación del Corredor Segregado de Alta Capacidad (Cosac I), conocido como Metropolitano. /2010	0.076 CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Lima y Callao MTC	Funcionamiento del Metropolitano, primer corredor segregado de alta capacidad para el transporte público urbano y masivo en Lima Metropolitana, bajo la habilitación de 38 estaciones y tres servicios de alimentadores: Matellini, Naranjal y Los Inca. Gestión de la Municipalidad de Lima, a través del Banco Mundial, para el financiamiento de la ampliación del Metropolitano para cuatro nuevas estaciones: Universidad, 22 de agosto, Andrés Belaunde; y Los Incas.
ECM27 Implementación de las Líneas 1 y 2 del Metro de Lima y Callao	Objetivo: Optimizar el tiempo de viaje, cambio de combustible fósil y la mejora de los sistemas de transporte público. Esta medida consiste en la implementación de la Línea 1 del metro que recorre Lima Metropolitana a través de un viaducto elevado de 35 km de extensión, el cual cuenta con 26 estaciones. La Línea 1 facilita el tránsito diario de 320 000	0.124 CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Lima y Callao MTC	La línea 1 del Metro de Lima se encuentra en funcionamiento desde el 2011, cuenta con 26 estaciones en operación a lo largo de 11 distritos y con un recorrido total de 33 kilómetros. En diciembre de 2023, inició la marcha blanca de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao, con la puesta en operación de cinco estaciones entre los

Nombre de la medida	Objetivo y descripción	Potencial de reducción (MtCO ₂ eq) en el 2030	Alcance geográfico	Avances en la implementación
	personas, una cifra que supera la demanda estimada. La Línea 2, de 27 km de longitud, cubrirá Lima Metropolitana y el Callao, así como los 8 km (tramo 1) de la futura Línea 4. /2012			distritos de Ate Vitarte y Santa Anita, con una distancia de recorrido de 5 kilómetros.
ECM28 Promoción de Gas Natural Vehicular (GNV) para vehículos livianos	Objetivo: Promover la masificación del uso del gas natural para vehículos. La medida busca la conversión de automóviles gasolineros a Gas Natural Vehicular (GNV) a través del Programa de Financiamiento y Conversión a Gas Natural, con la consecuente reducción de emisiones de GEI debido a que el GNV es un combustible más ecológico y sin azufre	0.219 CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Nacional MINEM	Existencia del "Procedimiento para ejecutar el Programa de promoción de vehículos de gas natural vehicular (GNV) con recursos del Fondo de Inclusión Social Energético (FISE)". Existencia del proyecto "Programa de Promoción de Vehículos de GNV a Nivel Nacional" a fin de beneficiar a 200 000 vehículos con plazo hasta el año 2027. Se cuenta con un presupuesto de 220 millones de soles en el marco del Programa de Promoción de Vehículos de GNV – Ahorro GNV. Creación, por parte del Pluspetrol, del Bono Camisea, un fondo de 33.5 millones de dólares. A la fecha, existen 130 buses convertidos mediante este mecanismo privado.
ECM29 Promoción del uso de combustibles más limpios	Objetivo: Optimizar la eficiencia del motor de combustión. La medida busca reducir los niveles de azufre contenidos en los combustibles (diésel, gasolina y gasoholes de alto octanaje), mejorando la calidad de vida de la población y salvaguardando la calidad del aire y la salud pública. La sostenibilidad de esta medida se logrará con la aplicación de normas que garanticen la conservación ambiental, como las tecnologías Euro V y Euro VI. /2010	0.541 CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Nacional MINEM	Aprobación del Decreto Supremo n.º 014-2021-EM, que establece medidas relacionadas al contenido de azufre en el diésel, la gasolina y el gasohol para su comercialización y uso. Promulgación de la Ley n.º 31646, que establece que los vehículos de transporte terrestre internacional ingresen al territorio nacional cumpliendo la normativa peruana en materia de calidad de combustibles.

Fuente: p.344-345, NC4

Por mandato de la Resolución Ministerial N° 344-2024-MTC/01.02 (junio de 2024), el MTC formuló y publicó la Hoja de ruta para la reducción de emisiones de Gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes locales en el transporte urbano a nivel nacional”) en marzo de 2025. La Hoja de Ruta describe acciones estratégicas y metas específicas para reducir las emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos locales, alineándose con los compromisos de sostenibilidad nacionales e internacionales. La hoja de ruta define seis componentes estratégicos con sus correspondientes objetivos y propósitos:

- Mejorar la integración y cobertura del Sistema Integrado de Transporte Público Masivo de Lima;
- Impulsar el uso del transporte no motorizado mediante infraestructura adecuada;
- Fortalecer las capacidades institucionales y la coordinación para la gestión del transporte;
- Reducir las emisiones de la flota vehicular mediante medidas de control y tecnologías limpias;

- Modernizar la flota de vehículos de servicio público, priorizando la eficiencia y las bajas emisiones;
- Fortalecer a los gobiernos locales para implementar políticas de transporte sostenible.

3.6 Estrategia de Desarrollo A Largo Plazo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Perú

La Estrategia Nacional de Ante el Cambio Climático (ENCC 2050) representa el marco estratégico de largo plazo del Perú para enfrentar dicha coyuntura, en concordancia con los compromisos asumidos en el marco del Acuerdo de París. Este instrumento fue elaborado mediante un proceso participativo que involucró a 29 entidades gubernamentales y recibió aportes de la sociedad civil, con el objetivo de modernizar la gobernanza climática del país. La política establece siete objetivos prioritarios, siendo el tercero especialmente relevante para el sector transporte por su enfoque en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante intervenciones específicas.

La ENCC 2050 se fundamenta en un diagnóstico claro: el cambio climático se está acelerando y genera impactos adversos que deben ser gestionados con urgencia, respaldados por el marco científico del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). La estrategia contempla no solo medidas actuales de mitigación y adaptación, sino también una visión de futuro al año 2050, en la que se proyecta una reducción del 30 % en los daños ocasionados por amenazas climáticas. En un horizonte más cercano, hacia 2030, el documento plantea una meta de reducción del 20 % en los impactos climáticos en sectores críticos como salud, pesca, agricultura, turismo y transporte. Para su implementación, la estrategia enfatiza la incorporación transversal del cambio climático en la planificación sectorial y territorial, el fortalecimiento de capacidades institucionales, la gestión de riesgos y el desarrollo de mecanismos de financiamiento. Su ambición es posicionar al Perú en una trayectoria de desarrollo resiliente y bajo en carbono, que responda tanto a las necesidades de mitigación como de adaptación.

La estructura de la ENCC 2050 incluye secciones dedicadas al diagnóstico, la formulación de objetivos prioritarios, los indicadores de seguimiento y la alineación con los compromisos internacionales asumidos en el marco de la CMNUCC. Esta política está respaldada por el Decreto Supremo N.º 012-2024-MINAM, que establece su carácter obligatorio para todas las entidades públicas del Estado en todos sus niveles, así como para las personas jurídicas privadas y la sociedad civil, cuando corresponda.

Como se mencionó anteriormente, la norma establece una serie de objetivos enfocados en distintas actividades económicas. Para el sector transporte, el documento define el Objetivo Prioritario 3: Reducción de Emisiones de GEI en el Transporte, el cual reconoce al transporte como una de las principales fuentes de emisiones en el país. Este objetivo plantea una transformación sistémica mediante la modernización de la logística de carga y la expansión de la infraestructura ferroviaria como alternativa de menor emisión. Entre las medidas propuestas se incluyen la transición hacia tecnologías más limpias, la promoción de fuentes de energía alternativas y la optimización de los corredores logísticos para reducir la congestión y las emisiones. Asimismo, la estrategia impulsa la planificación integrada del uso del suelo para facilitar el transporte bajo en carbono, fomentando la adopción de criterios de movilidad sostenible en el desarrollo urbano.

Lineamiento Estratégico 8: Sistemas de Transporte Terrestre y Ferroviario Sostenibles
Entre los 18 lineamientos estratégicos que operacionalizan los objetivos de la ENCC 2050, el Lineamiento 8 está específicamente orientado al desarrollo de un sistema de transporte sostenible. Este propone un conjunto integral de estrategias para rediseñar las redes de transporte terrestre y ferroviario del país, con miras a mejorar su resiliencia y desempeño bajo en carbono.

En el ámbito ferroviario, la política se articula con el Plan Maestro de Desarrollo Ferroviario al 2050, promovido por la Presidencia del Consejo de Ministros. Este plan contempla una conectividad nacional mediante sistemas ferroviarios eficientes que reemplacen progresivamente el transporte de carga por carretera. También respalda la implementación de líneas ferroviarias interurbanas, orientadas a reducir la intensidad de carbono, aliviar la congestión vial y mejorar la competitividad logística del país.

En cuanto al transporte urbano y privado, el lineamiento promueve la adopción de vehículos eléctricos e híbridos, y fomenta programas de renovación de flotas que cumplan con estándares ambientales exigentes. Se prevén incentivos fiscales y financieros para las empresas que integren tecnologías limpias en sus operaciones.

Este lineamiento también se vincula con iniciativas de infraestructura de mayor alcance, como la Línea 2 del Metro de Lima, la Nueva Carretera Central y los sistemas ferroviarios regionales de cercanías, todos ellos concebidos bajo criterios de sostenibilidad y resiliencia climática. Además, la política impulsa sistemas de transporte intermodal, que permiten combinaciones eficientes de modos de transporte para reducir la dependencia de vehículos con motor de combustión interna y optimizar el rendimiento energético.

En síntesis, la ENCC 2050 promueve el compromiso formal del Perú con la acción climática mediante un marco legal, participativo y científicamente fundamentado, diseñado para orientar los esfuerzos de corto y largo plazo en la reducción de vulnerabilidades, el fortalecimiento de la resiliencia y la disminución de emisiones de manera coordinada.

3.7 Implementación de Estructura MRV en el Peru

El Perú ha desarrollado su marco legal para introducir el sistema MRV (Medición, Reporte y Verificación). Este incluye, entre otros:

- Ley Marco sobre Cambio Climático (Ley N.º 30754) publicada el 17 de abril de 2018.
- Reglamento de la Ley Marco sobre Cambio Climático (Decreto Supremo N.º 013-2019-MINAM) aprobado el 31 de diciembre de 2019.
- Decreto Supremo N.º 010-2024-MINAM — aprueba las “Disposiciones para el Funcionamiento del Registro Nacional de Medidas de Mitigación (RENAMI)”.
- Resolución Ministerial N.º 00052-2025-MINAM — aprueba los “Lineamientos para la Formulación y Actualización de las Medidas de Adaptación y Mitigación que conforman las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC)”.

1) Descripción general del MRV en Perú

Según el Artículo 37 del RLMCC (Reglamento de la Ley Marco sobre Cambio Climático), el MRV comprende un conjunto de acciones destinadas a realizar un seguimiento periódico de la información, sujeta a verificación técnica sobre 1) emisiones y absorciones de GEI, y 2) reducciones de emisiones y aumentos en las absorciones de GEI. Así, el objetivo del MRV es fortalecer la acción nacional, regional y local para la cuantificación y reporte adecuados de las reducciones de emisiones y el aumento de las absorciones de GEI en el territorio nacional. El MRV también incluye el cumplimiento de las medidas de mitigación que componen la NDC de Perú, además de permitir la participación del país en los diferentes mecanismos establecidos en el Acuerdo de París. Asimismo, se lleva a cabo considerando las circunstancias nacionales, los mecanismos de flexibilidad y el proceso de mejora continua; mecanismos establecidos por el MINAM.

Así, el reporte consiste en sistematizar, documentar y comunicar a las instancias correspondientes los avances en la implementación de las medidas de mitigación. Mientras que la verificación consiste en evaluar, externa e independientemente, la consistencia metodológica y la veracidad de las fuentes de información utilizadas en la elaboración de los informes.

(Fuente: p.48, BTR1)

2) Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INFOCARBONO).

MINAM, mediante Decreto Supremo N° 013-2014-MINAM, aprobó las disposiciones para la elaboración del INFOCARBONO. Esto constituye el arreglo institucional nacional para la planificación, elaboración y gestión del INFOCARBONO a través de un esquema de trabajo conjunto con instituciones del Estado; y es una de las herramientas del MRV de mitigación del SIMOM (Sistema para el Monitoreo de las Medidas de Adaptación y Mitigación), como se describe en los Artículos 32 y 51 del Reglamento de la LMCC. La DGCCD (Dirección General de Cambio Climático y Desertificación) del MINAM es la entidad encargada de su implementación, administración y conducción.

La elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero (RAGEI) para cada uno de los sectores cubiertos por las directrices del IPCC asigna responsabilidades específicas a los ministerios con competencias en fuentes de emisiones y absorciones de GEI, denominadas entidades competentes de INFOCARBONO, para preparar los RAGEIs. Estos ministerios son: Ministerio de Energía y Minas (MINEM); Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC); Ministerio de la Producción (PRODUCE); Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS); Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI); y Ministerio del Ambiente (MINAM).

(Fuente: p.49, BTR1)



Fuente: NC4

Figura 3.4 Breve explicación de INFOCARBONO

3) Registro nacional de medidas de mitigación (RENAMI)

El RENAMI es también una herramienta de MRV que forma parte del SIMOM y tiene como objetivo recopilar, registrar, monitorear y gestionar información sobre las medidas de mitigación implementadas en el país. De esta manera, se registran las medidas de mitigación que componen la NDC, las medidas de mitigación del mercado de carbono y sus Unidades de Reducción de Emisiones o Unidades de Absorción de Gases de Efecto Invernadero (URE). El 12 de noviembre de 2024, con Decreto Supremo N° 010-2024-MINAM, se aprobaron las disposiciones para el funcionamiento del RENAMI. La implementación de esta norma busca fortalecer la gestión integrada del cambio climático, promoviendo la integridad ambiental y la transparencia en la información sobre las medidas de mitigación y sus URE.

(Fuente: p.50, BTR1)

4) MRV de las reducciones de emisiones de GEI de las medidas de transporte

En el sistema nacional de MRV, la DGAAM del MTC es la entidad responsable, en el sector de transporte, del monitoreo y reporte sectorial de mitigación, en coordinación con el MINAM.

Para las emisiones de GEI de las medidas de transporte público, la Dirección de Asuntos Ambientales y Sociales (DAAS) de la ATU es la dirección que calcula las emisiones y elabora el informe. La DAAS cuenta con una hoja de cálculo para calcular las emisiones y luego, a través de un informe (Informe N° D-000106-2025-ATU_DAAS), envía los cálculos al Ministerio del Ambiente bajo la supervisión de MTC quien posee autoridad sectorial.

4. Recopilación de datos para estudiar los Impactos de las acciones climáticas

4.1 Emisiones de GEI del sector transporte en Perú y sus metodologías de cuantificación

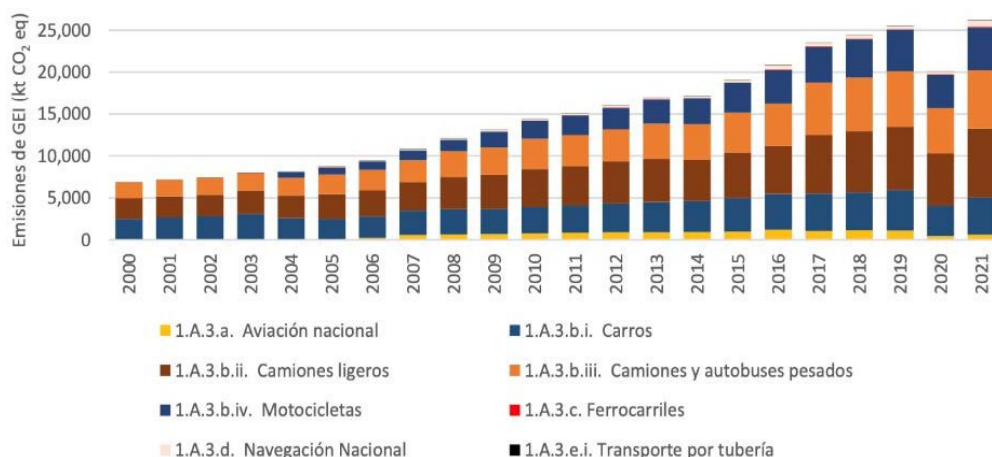
1) Emisiones de GEI del sector transporte en Perú

Las tendencias en las emisiones de GEI del sector transporte en Perú se muestran en la Tabla 4.1 y la Figura 4.1 En 2021, las emisiones de GEI en el sector de transporte fueron de 26,212.82 ktCO₂eq (kt = 1,000 t), representando el 42.27% de las emisiones totales del sector energético mientras que las emisiones nacionales totales en 2021 son 194.896 ktCO₂eq (las emisiones sin incluir el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura son 110.104 ktCO₂eq). Las emisiones del sector transporte han seguido aumentando, a pesar de una disminución temporal debido a la pandemia de COVID19, y han aumentado un 281.8% en comparación con el año 2000 y un 30.4% en comparación con 2020. Las emisiones del transporte por carretera (1.A.3.b.) son de 24,656.50 ktCO₂eq, representando aproximadamente el 94% de las emisiones totales del sector transporte, siendo este un subsector relevante. Así mismo, en este subsector, la proporción de camiones y autobuses es relativamente grande.

Tabla 4.1 Tendencias en las emisiones de GEI del sector transporte en Perú

Categoría	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
1.A.3. Transporte	6,865.92	8,764.81	14,443.04	19,027.83	24,428.35	25,556.03	20,106.18	26,212.82
1.A.3.a. Aviación nacional	-	51.83	776.76	988.56	1,126.72	1,092.85	455.71	634.38
1.A.3.b. Transporte por carretera	6,852.84	8,587.28	13,430.05	17,737.07	22,804.91	23,951.97	19,204.63	24,656.50
1.A.3.b.i. Carros	2,522.68	2,443.82	3,111.75	4,013.41	4,547.27	4,851.84	3,616.02	4,426.52
1.A.3.b.ii. Camiones ligeros	2,414.74	2,964.95	4,544.61	5,393.98	7,258.77	7,562.48	6,243.05	8,229.21
1.A.3.b.iii. Camiones y autobuses pesados	1,915.42	2,318.27	3,619.09	4,775.35	6,422.03	6,599.82	5,406.42	6,927.87
1.A.3.b. iv. Motocicletas	-	860.24	2,154.60	3,554.33	4,576.84	4,937.84	3,939.14	5,072.90
1.A.3.c. Ferrocarriles	-	27.35	22.21	50.12	74.93	96.13	78.93	86.87
1.A.3.d. Navegación Nacional	-	88.70	205.64	244.13	400.77	390.85	353.62	821.19
1.A.3.e. Otro transporte	13.08	9.65	8.38	7.95	21.02	24.22	13.29	13.88
1.A.3.e.i. Transporte por tubería	13.08	9.65	8.38	7.95	21.02	24.22	13.29	13.88

Fuente : NID 2000-2021fN



Fuente: NID 2000-2021

Figura 4.1 Tendencias de las emisiones de GEI del sector transporte en Perú

La metodología para calcular las emisiones de GEI consiste básicamente en multiplicar la "cantidad de actividad" por el "factor de emisión". Para el transporte por carretera, se incluyen automóviles, camiones pequeños, camiones grandes/autobuses y motocicletas. La cantidad de actividad es la cantidad de combustible consumido (cantidad de combustión), y se utilizan los siguientes datos:.

- Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Eficiencia Energética. Balance Nacional de Energía. Recuperado de:¹⁰
- Parque automotor circulante por clase de vehículo del 2021 MTC-OGPP: PERU ESTIMACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL CIRCULANTE POR CLASE, SEGÚN DPTO 2000 AL 2022.xls.Recuperado mediante correo electrónico de la Oficina de Estadística de la OGPP del MTC.
- PERU_PARQUE DE VEHICULO MENOR (MOTOS - MOTOKAR) POR DPTO Recuperado mediante correo electrónico de la OGPP del MTC
- PARQUE AUTOMOTOR REGISTRADO POR TIPO DE COMBUSTIBLE 2007-2022. Proporcionado por la Oficina de Estadística de la OGPP del MTC.

Los factores de emisión de GEI predeterminados para los combustibles (CO₂, CH₄, N₂O) se toman de las Directrices del IPCC de 2006. El gas natural es una excepción, y se utiliza el valor específico para Perú. Los valores caloríficos netos de los combustibles son los valores proporcionados por las empresas de energía en Perú o los valores de las Directrices del IPCC de 2006.

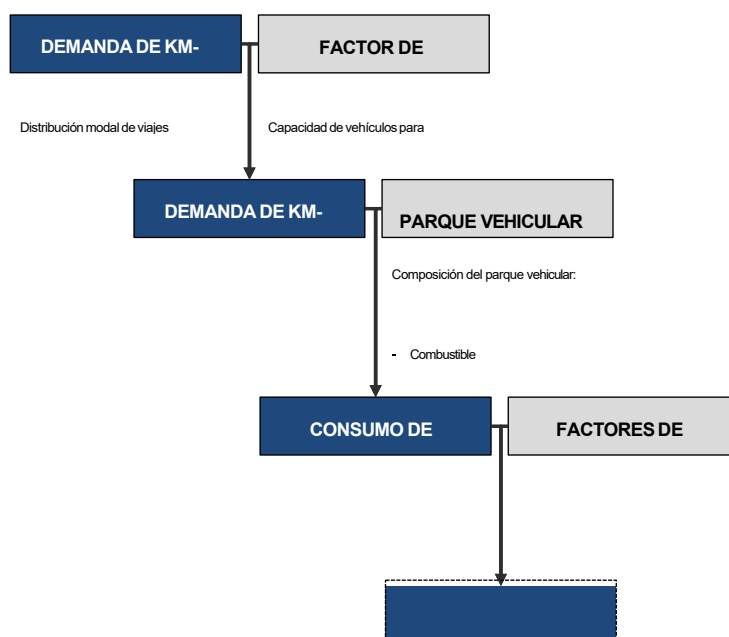
2) Emisiones de GEI del sector transporte en Lima/Callao

Las emisiones de GEI del sector transporte en Lima/Callao fueron calculadas por GIZ en la "Recopilación de datos de transporte urbano y factores clave para el desarrollo de un Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) para el transporte urbano de Lima Metropolitana y Callao.

¹⁰ https://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=664

2020". Las emisiones son de 5.2 MtCO₂eq en 2019. El método para calcular las emisiones de GEI se muestra en la Figura 4.2. Las emisiones se estiman considerando la estimación de viajes a partir del análisis de movilidad. La demanda de viajes-persona kilómetros se convierte en demanda de viajes-vehículo basándose en

factores de uso/aglomeración. Los factores de consumo de combustible para cada tipo de vehículo se aplican a la demanda de kilómetros recorridos por vehículo y se estiman las emisiones del consumo de dichos combustibles.



Fuente : Recopilación de datos del transporte urbano y factores clave para el desarrollo de un Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) para el transporte urbano en Lima Metropolitana y Callao. GIZ. 2020.

Figura 4.2 Método para el cálculo de emisiones de GEI del transporte en Lima/Callao

Tabla 4.2 Emisiones de GEI del sector transporte en Lima/Callao por tipos de modos

Combustible	Emisiones (millones de toneladas)			Total
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Automóvil	1.16	0.0007	0.0001	1.16
Taxi	0.19	0.0001	0.0000	0.19
Motocicleta	0.12	0.0001	0.0000	0.12
Mototaxi	0.08	0.0000	0.0000	0.08
Bus	1.93	0.0002	0.0001	1.93
Corredores	0.15	0.0000	0.0000	0.15
Metropolitano	0.16	0.0003	0.0000	0.16
Combi o custer	1.26	0.0002	0.0001	1.27
Colectivo	0.15	0.0001	0.0000	0.15
Total	5.20	0.0017	0.0003	5.20

Fuente : Recopilación de datos del transporte urbano y factores clave para el desarrollo de un Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) para el transporte urbano en Lima Metropolitana y Callao. GIZ. 2020.

Tabla 4.3 Emisiones de GEI del sector transporte en Lima/Callao por tipo de combustible

Combustible	Emisiones (millones de toneladas)			Total	
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Emisiones	%
Diesel	3.06	0.00	0.00	3.06	59%
Gasolina	1.53	0.00	0.00	1.53	29%
GLP	0.25	0.00	0.00	0.25	5%
GNV	0.36	0.00	0.00	0.36	7%
Total	5.19	0.00	0.00	5.20	100%

Fuente : Recopilación de datos del transporte urbano y factores clave para el desarrollo de un Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) para el transporte urbano en Lima Metropolitana y Callao. GLZ. 2020.

3) Emisiones de GEI del transporte público en Lima/Callao

ATU estima las emisiones de GEI y PM_{2.5} del transporte público (COSAC, Línea 1 del Metro, taxis, etc.) cada año. Las emisiones para 2021, 2022 y 2023 se muestran en la Tabla 4.4. Las emisiones de GEI del transporte público en 2023 fueron aproximadamente 4,519 ktCO₂eq, un ligero aumento desde 2022. Según un análisis de la ATU¹¹, una de las razones de la reducción se debe a los cambios en los factores de emisión empleados. En 2023 se aplicaron factores más altos, que reflejaban tecnologías más antiguas. Para 2024, los factores de emisión fueron actualizados, reduciendo significativamente las emisiones proyectadas sin que ello implique necesariamente una transformación física de la flota vehicular que opera en Lima y Callao. La mayor proporción corresponde al Transporte Regular, que representa aproximadamente el 62%, seguido por los taxis (35%) y COSAC (1.4%). La Línea 1 del Metro representa 16 ktCO₂eq, y tiene la proporción más pequeña de las emisiones totales. ATU también calculó las emisiones de GEI por pasajero (Tabla 4.5). El taxi tuvo las emisiones más altas por pasajero (aprox. 4.9 kg-CO₂eq/pasajero), y la Línea 1 del Metro tuvo las más bajas (0.09 kg-CO₂eq/pasajero).

El método para calcular las emisiones de GEI es "cantidad de actividad" multiplicada por "factor de emisión". La cantidad de actividad es la distancia recorrida (km/año o km/día) o el consumo de electricidad (MWh) para los ferrocarriles, y es proporcionada por la Dirección General de Transporte Terrestre (DGTT). El factor de emisión utilizado son los de la "Guía de Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos EMEP/EEA (Agencia Europea de Medio Ambiente)" y las directrices del IPCC. El factor de emisión para la electricidad se basa en el valor proporcionado por MINAM (0.1999 tCO₂eq/MWh para 2022). Estos factores de emisión se definen en la "Metodología para el Cálculo de Emisiones Evitadas y Valoración de Externalidades Ambientales Mitigadas con la Implementación de los Programas de Chatarrero - 2024" (Aprobada mediante Resolución Directoral N° 006-2024-MTC/18, con fecha: 29-02-2024).

¹¹ Informe N° D-000106-2025-ATU_DAAS

Tabla 4.4 Emisiones de GEI del transporte público en Lima/Callao (tCO₂eq/año)

Modalidad de transporte	2021	2022	2023
Transporte Regular	2,993,780.2	2,795,355.0	2,794,757.5
Corredores Complementarios (bus)	146,354.6	69,360.6	59,602.0
COSAC		69,272.8	63,958.6
Línea 1	12,304.1	9,350.0	15,947.1
Taxis	1,557,118.8	1,557,118.8	1,584,325.2
Total	4,709,557.7	4,500,457.2	4,518,590.5

Fuente : Informe D-000052-2024-ATU-DAAS-SDAA, Informe D-000040-2022-ATU-DAAS-SDAA

Tabla 4.5 Emisiones de GEI por pasajero del transporte público en Lima/Callao (tCO₂eq/pasajero)

Modalidad de transporte	2021	2022	2023
Transporte Regular	0.785470	0.783907	0.780902
Corredores Complementarios (bus)	0.963433	0.746502	0.681520
COSAC		0.603943	0.397736
Línea 1	0.159535	0.072143	0.092761
Taxis	4.971841	4.971842	4.876484
Total	1.082452	1.067387	1.045015

Fuente : Informe D-000052-2024-ATU-DAAS-SDAA, Informe D-000040-2022-ATU-DAAS-SDAA

4.2 Metodologías para calcular las reducciones de emisiones de GEI a partir de medidas de transporte público

Se han identificado las tendencias en las metodologías para calcular las reducciones de emisiones de GEI relacionadas con el Tránsito Masivo, como los ferrocarriles urbanos y el BRT. Existen varias metodologías que pueden aplicarse al tránsito masivo. Se pueden dividir ampliamente en aquellas que tienen como objetivo emitir créditos de carbono como el MDL, y aquellas que simplemente tienen como objetivo estimar los efectos/beneficios del proyecto. También existen métodos de cálculo únicos utilizados en las NDC, que forman parte de esta última categoría. La Tabla 4.6 presenta una visión general y los problemas de estas metodologías. En resumen, los siguientes son los aspectos más destacados del esquema y los problemas de estas metodologías.

- Metodologías para crédito MDL (a, b): Extremadamente complicadas y requieren considerable mano de obra y tiempo para calcular y monitorear las reducciones de emisiones;
- Metodología para el mecanismo de crédito bilateral (c): El cálculo y monitoreo de la reducción de emisiones se simplifican basándose en las metodologías MDL;
- Metodologías para evaluar los impactos del proyecto (d, e): Aunque se desarrollan para coincidir con los objetivos del programa involucrado, y la fórmula de cálculo y el método de monitoreo se simplifican, no está diseñado para un monitoreo práctico y sostenible por parte de los países anfitriones como en la NDC.
- Metodología para el MRT de Indonesia (f): Se desarrolló basándose en los problemas de la metodología aprobada por el MDL ACM0016, y permite calcular fácilmente las reducciones de emisiones. Existe la posibilidad de que las reducciones de emisiones se sobreestimen ligeramente, porque los viajes de acceso/egreso no se tienen en cuenta en el cálculo de las emisiones del proyecto.
- Metodología para la NDC de Vietnam (g): Se desarrolló basándose en los problemas de varias metodologías existentes, y permite calcular fácilmente las reducciones de emisiones. Se desarrolló para ser utilizada de manera práctica y sostenible por las organizaciones relevantes del Gobierno de Vietnam. El método se aplica al estudio teniendo en cuenta las condiciones locales en el AMLC, Perú (véanse las secciones 5.3, 5.4 y 5.5)..
- Metodologías para NDC (h, i, j, k): Japón utiliza un método muy simple que no requiere encuestas adicionales. Por otro lado, países como Tailandia utilizan un método relativamente sofisticado que incluye encuestas, y los métodos utilizados varían de un país a otro. Cabe señalar que, en términos de gestión del progreso de las medidas de mitigación bajo la NDC, el desarrollo del método para calcular las reducciones de emisiones de GEI se deja a cada país, y no existen directrices armonizadas proporcionadas por la CMNUCC.

Tabla 4.6 Principales metodologías para estimar las reducciones de emisiones de GEI asociadas al cambio modal de pasajeros a ferrocarril urbano y BRT

Metodología	Esquema	Limitaciones/ Observaciones
Propósito de crédito como MDL		
a) Metodología MDL: ACM0016: Metodología de Línea Base para Proyectos de Tránsito Rápido Masivo	Una metodología aprobada para proyectos de crédito MDL como ferrocarriles urbanos y BRT. Es necesaria una encuesta de entrevista entre pasajeros (para conocer los medios de transporte de línea base y las distancias de viaje, etc.) para estimar la emisión de línea base. Necesidad de considerar los viajes de acceso/egreso. Deben considerarse los efectos en las carreteras circundantes (reducción de congestión, efectos rebote). El cálculo y monitoreo de la reducción de emisiones son muy complicados.	Muchas fórmulas para el cálculo (24), Muchos parámetros (28) que preparar (en la metodología ver 6.1.)), Una metodología diseñada para crear créditos de carbono y, por lo tanto, con un alto grado de robustez. Los métodos para calcular y monitorear las reducciones son extremadamente complejos y requieren un esfuerzo significativo para calcular y monitorear.
b) Metodología MDL: AM0031: Proyectos de autobús de tránsito rápido	Una metodología aprobada para proyectos de crédito MDL como BRT. Es necesaria una encuesta de entrevista entre pasajeros (para conocer los medios de transporte de línea base y las distancias de viaje, etc.) para estimar la emisión de línea base. Necesidad de considerar los viajes de acceso/egreso. Deben considerarse los efectos en las carreteras circundantes (reducción de congestión, efectos rebote). El cálculo y monitoreo de la reducción de emisiones son muy complicados.	Muchas fórmulas para el cálculo (20), Muchos parámetros que preparar (32), Una metodología diseñada para crear créditos de carbono y, por lo tanto, con un alto grado de robustez. Los métodos para calcular y monitorear las reducciones son extremadamente complejos y requieren un esfuerzo significativo para calcular y monitorear.
c) MOE Japón: Metodología para JCM/BOCM: Cambio Modal a través de la Construcción de un Sistema MRT (Abril 2013)	Una metodología para proyectos de mecanismo de acreditación bilateral de compensación. Considerando las dificultades de las metodologías MDL, el cálculo y monitoreo de la reducción de emisiones se simplifican. No es necesario considerar los efectos en las carreteras circundantes (reducción de congestión, efectos rebote) ni los viajes de acceso/egreso.	Existe la posibilidad de que la reducción de emisiones se calcule de forma conservadora porque los viajes de acceso/egreso no se tienen en cuenta en el cálculo.
Metodologías para evaluar los impactos del proyecto		
d) GEF:Manual para Calcular los Beneficios de Gases de Efecto Invernadero para	Una metodología para la evaluación ex-ante de proyectos del GEF. Estimado por TEEMP	Aunque existen hojas de cálculo y cálculos de muestra, no hay una metodología que explique
Metodología	Esquema	Limitaciones/Observaciones
Proyectos de Transporte del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (2010)	(El Modelo de Evaluación de Emisiones de Transporte para Proyectos) utilizando una hoja de cálculo Excel. Fácil de estimar con valores predeterminados. Puede no ser adecuado para la evaluación ex-post (monitoreo).	cómo calcular las cifras., No existe una metodología para la evaluación ex-post., Parece que no está destinado a ser utilizado de manera práctica y sostenible como en la NDC.
e) JBIC: Metodología para J- MRV: No.5 Proyectos de Transporte en Área Urbana (Octubre 2012)	Una metodología para la evaluación ex-ante/ex-post de proyectos apoyados por JBIC. Metodología muy simple, no es necesario considerar los efectos en las carreteras circundantes (reducción de congestión, efectos rebote) ni los viajes de acceso/egreso.	No se proporcionan directrices/manuales prácticos., Es posible que los valores predeterminados necesiten mejorarse aún más para ajustarse a proyectos específicos., Parece que no está destinado a ser utilizado de manera práctica y sostenible como en la NDC.
f) Nunuj Nurdjanah et al.: Simplificación del mecanismo de desarrollo limpio para medir las reducciones de emisiones de CO2 por el cambio de transporte privado a	Esta investigación simplifica la metodología MDL (ACM0016) para hacerla más fácil y aplicable en Indonesia, excluyendo varias emisiones, como las emisiones de los viajes de acceso/egreso.	Simple., Existe la posibilidad de que las reducciones de emisiones se sobreestimen ligeramente, porque los viajes de acceso/egreso no se tienen en cuenta en el cálculo de las emisiones del proyecto.

tránsito rápido masivo: estudio de caso de MRT Yakarta Fase 1. F1000Research 2024, 13:1069 Última actualización: 13 NOV 2024		
g) JICA: Metodología para Ferrocarriles en Vietnam (Informe Final de la "Encuesta de Recopilación de Datos sobre el Desarrollo del Sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV) en el Sector Ferroviario Urbano en Vietnam". Febrero, 2021)	La metodología fue desarrollada para su uso en la gestión del progreso de la NDC. Una metodología simplificada (sin considerar el impacto en los viajes de acceso/egreso ni en las carreteras circundantes) considerando la facilidad de adquisición de datos en Vietnam. Se proporcionan valores predeterminados para los factores de emisión. Fue desarrollada con referencia a la metodología c.	Simple y práctica., Está destinada a ser utilizada de manera práctica y sostenible como en la NDC., Existe la posibilidad de que las reducciones de emisiones se calculen de forma conservadora porque las distancias de viaje de línea base se establecen como iguales a la distancia promedio de viaje del proyecto.
Metodologías para NDCs		
h) Japón, (Informe Bial de Transparencia (BTR))	Medida objetivo, Promoción del uso del transporte público, Metodología (Kilómetro total de pasajeros en el año objetivo) – (Kilómetro total de pasajeros en el AF2010)) * (Participación Modal Relativa) * (Factor de emisión de CO2 por pasajero kilómetro) •Factor de emisión de CO2 por pasajero kilómetro	Reducciones de emisiones monitoreadas: 2017: 0.56 MtCO2eq 2018: 0.40 MtCO2eq 2019: 0.098 MtCO2eq
Metodología	Esquema	Limitaciones/Observaciones
	(gCO2/pasajero-km): Automóvil privado: 132, avión: 124, autobús: 90, ferrocarril: 25	
i) Tailandia, (Primer BTR de Tailandia. Presentado a la CMNUCC el 26 de dic. de 2024)	Medida objetivo Desarrollo de infraestructura de transporte ferroviario Metodología: por confirmar	Reducciones de emisiones monitoreadas: 2022: 0.1587 MtCO2e
j) India, (Tercer Informe Bial de Actualización de la India. 2021)	Medida objetivo, Sistema y Servicios de Metro Ferroviario operativos en 18 ciudades de la India. Estas incluyen Calcuta, Delhi, Bengaluru, Gurugram, Mumbai, Chennai, Jaipur, Kochi, Hyderabad, Lucknow, Noida, Greater Noida, Ahmedabad, Nagpur, Ghaziabad, Faridabad, Ballabhgarh y Bahadurgarh." Metodología No disponible.	Reducciones de emisiones monitoreadas: 2015: 0.78 MtCO2eq 2016: 0.86 MtCO2eq
k) Singapur, (Quinta Comunicación Nacional y Quinto Informe Bial de Actualización de Singapur. 2022.)	Medida objetivo, "Aumentar la participación modal del transporte público: Expandir las redes de trenes y autobuses, construir centros de transporte integrado, implementar más medidas de prioridad para autobuses; y gestionar la demanda de viajes y planificar mejor como se detalla en el Plan Maestro de Transporte Terrestre 2040." Metodología, El efecto de mitigación se calcula como la diferencia entre la energía total consumida para (i) la demanda de viaje BAU proyectada y la división modal; y (ii) el viaje real realizado y la división modal.	Reducciones de emisiones monitoreadas: 2020: 1.02 MtCO2eq

Fuente : Equipo de Expertos JICA

4.3 Reducciones de emisiones de GEI de las medidas de transporte público en Perú y sus metodologías de cuantificación

En Perú, las reducciones de emisiones de GEI de las medidas relacionadas con el transporte público (particularmente Metro y BRT) se calculan en las NDC y otros documentos (Tabla 4.7). Sin embargo, según la entrevista a las agencias relevantes, no se ha creado ninguna metodología original específica para la NDC de Perú, y las reducciones enumeradas en BTR1 y los BUR presentados a la CMNUCC se basan en metodologías MDL calculadas en estudios anteriores (o interpolación/extrapolación de estos resultados). Por ejemplo, no se realizó ninguna nueva encuesta y/o cálculo con el fin de reportar BTR1.

En diciembre de 2024, el MTC preparó el documento titulado Metodologías, herramientas e instrumentos para la estimación

de GEI y CL en el Transporte Urbano a nivel nacional. Su objetivo principal es identificar, analizar y sistematizar las metodologías, herramientas técnicas e instrumentos legales actualmente utilizados para estimar las emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos locales del transporte urbano a nivel nacional. El documento busca alinear las prácticas nacionales con los estándares internacionales, como los establecidos por el IPCC y el EMEP/EEA, para mejorar la consistencia, precisión y comparabilidad de las estimaciones de emisiones, y para respaldar la formulación de políticas basadas en evidencia en el transporte urbano sostenible y la mitigación del cambio climático. Las principales metodologías utilizadas en Perú para estimar las emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos locales en el transporte urbano son: 1) Directrices del IPCC de 2006, 2) Guía EMEP/EEA de 2023, 3) La metodología nacional desarrollada para el cálculo de emisiones evitadas y la valoración de externalidades ambientales mitigadas provenientes de los programas de chatarreo vehicular, 4) Metodología MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) aprobada ACM0016 y AM0031.

Tabla 4.7 Ejemplos de reducción de emisiones de GEI por medidas de transporte en Perú

Proyecto	Reducciones de emisiones de GEI/ metodología	Fuente
BRT: Metropolitano		
Expandir el servicio del Metropolitano en cuatro rutas. Reemplazo de buses diésel convencionales con nuevos buses a gas natural	0.076 MtCO2eq (2030), Método.: Se supone igual que BUR3.	BTR1
Operación del metropolitano actual y extensión	0.076 MtCO2eq (2030), "Método.: Aplicar la metodología MDL AM0031 (versión 4.0.0) para sistemas BRT, que utiliza la proyección de pasajeros diarios transportados por la medida y sus extensiones hasta 2030, aplicando factores como tasas de ocupación para cada modo de transporte, consumo de gas natural de la tecnología de la medida y factores de emisión de GEI	BUR3 Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (GTM-NDC)

	por pasajero-kilómetro para los modos de transporte tradicionales."	
Extensión de 10.2km del Metropolitano	"302,826 tCO ₂ eq de 2024 a 2040 (Promedio anual: 0.018 tCO ₂ eq)"	Banco Mundial. Extensión Norte del BRT Metropolitano de Lima (P170595). Resumen de Revisión Ambiental y Social de Evaluación. Etapa de Evaluación. 21/8/2019
Metro		
"Aumentar la capacidad de la Línea 1 del Metro y completar la construcción de la Línea 2 (27 estaciones, 27 km)"	0.124 MtCO ₂ eq (2030), Método.: Se supone igual que BUR3.	BTR1
Implementación de la Línea 1 y Línea 2 del Metro en Lima y Callao	0.124 MtCO ₂ eq (2030), "Método.: Aplicar la metodología MDL ACM0016, Versión 03.0 para Sistemas de Tránsito Rápido Masivo (MRTS), que se basa	BUR3 Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de
Proyecto	Reducciones de emisiones de GEI/ metodología	Fuente
	en la proyección de pasajeros transportados en 2030 por las Líneas 1 y 2, aplicando factores como tasas de ocupación para los modos de transporte en el escenario BAU, consumo de electricidad para la tecnología de la medida y factores de emisión de GEI por pasajero-kilómetro para cada modo de transporte."	generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (GTM-NDC)
Otros		
Implementación de los Corredores Complementarios del Sistema Integrado de Transporte de Lima	0.172 MtCO ₂ eq (2030), "Método.: Este potencial se ha estimado basándose en el número de unidades nuevas (5,200 buses) que estarán en operación en los 5 Corredores Complementarios en Lima y Callao, en comparación con las unidades de transporte tradicional que estarían en operación hasta 2030, si no se implementara la medida. Asimismo, se han utilizado las directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC 2006) bajo un enfoque metodológico de Nivel 3 (Tier 3) basado en el número de vehículos por distancia recorrida y factores de emisión basados en el contenido de carbono predeterminado."	Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (GTM-NDC)
NAMA de Transporte Urbano Sostenible Introducción del transporte público en el área metropolitana de Lima/Callao (metro, buses, buses alimentadores, promoción del uso de la bicicleta, etc.)	2.43 MtCO ₂ eq, Método.: Aunque los detalles del método de cálculo no se proporcionan en el BUR, el cálculo se realizó utilizando la metodología TRANSFER (proyecto de asistencia técnica de GIZ)."	BUR2, TRANSPerú – NAMA de Transporte Urbano Sostenible Perú. 2015 (GIZ)

Fuente: Citados en la tabla

4.4 Datos relacionados con el cálculo de emisiones

Básicamente, el cálculo de emisiones de GEI en el NID emplea un "enfoque basado en el consumo de combustible" utilizando el consumo de combustible y los factores de emisión de CO₂ por tipo de combustible proporcionados por las "Directrices del IPCC de 2006". Solo el gas natural utiliza un valor local específico de Perú. Los valores caloríficos netos de los combustibles son valores proporcionados por empresas peruanas relacionadas con la energía o valores de las "Directrices del IPCC de 2006". El factor de emisión utilizado para calcular las emisiones de CO₂ de la electricidad de la red es un valor proporcionado por el MINAM.

Los factores de emisión por distancia recorrida para GEI y contaminantes atmosféricos de vehículos motorizados utilizados para calcular las emisiones derivadas de vehículos en Perú se determinan de acuerdo con la "Metodología para el Cálculo de Emisiones Evitadas y Valoración de Externalidades Ambientales Mitigadas con la Implementación de los Programas de Chatarreo - 2025" del MTC (Aprobada por Resolución Directoral N° 006-2024- MTC/18, de fecha 16 de enero de 2025) y otros documentos relevantes, como se muestra en la Tabla 4.9 y la Tabla 4.10. Los factores de emisión se muestran para cada tipo de vehículo categorizado en la Tabla 4.8. Estos factores de emisión se refieren a las Directrices del IPCC de 2006 y a la Guía de Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos EMEP/EEA 2023.

Tabla 4.8 Clasificación de tipos de vehículos para factores de emisión de vehículos motorizados en Perú

Categoría vehicular de fuente de emisión		Definición	Carrocería vehicular (SUNARP y MTC)
M	M1	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de pasajeros.	Sedan, Coupé, Hatchback, Station Wagon, Limosina, SUV, Multipropósito
	M2		microbús, minibús, etc.
	M3		Ómnibus Urbano, Ómnibus interurbano articulado, etc.
N	N1	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de mercancía.	Pick Up y Panel (N1, N2), remolcador, Plataforma, Baranda, Furgón, Camión Grúa (N2, N3), cisterna, Volquete, Grúa, etc.
	N2		
	N3		
L	L	Vehículos automotores menores de hasta tres ruedas y cuatriciclos.	Motocicletas, trimotos, cuatrimotos, etc.

Fuente : "Metodología para el Cálculo de Emisiones Evitadas y Valoración de Externalidades Ambientales Mitigadas con la Implementación de los Programas de Chatarreo - 2024" (Aprobada mediante Resolución Directoral N° 006-2024-MTC/18, con fecha: 29-02-2024).

Tabla 4.9 Factores de emisión de GEI (en g/km)

Categoría	Combustible	Año de Fabricación	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
M1	Gasolina	Antes del 2000	234.0000	0.1112	0.0108
M1	Gasolina	2000 - 2002	200.0000	0.0954	0.0092
M1	Gasolina	2003 - 2006	200.0000	0.0954	0.0092
M1	Gasolina	2007 - 2017	200.0000	0.0954	0.0092
M1	Gasolina	2018 o posterior	200.0000	0.0954	0.0092
M1	Diésel	Antes del 2000	199.0000	0.0105	0.0105
M1	Diésel	2000 - 2002	174.0000	0.0092	0.0092
M1	Diésel	2003 - 2006	174.0000	0.0092	0.0092
M1	Diésel	2007 - 2017	174.0000	0.0092	0.0092
M1	Diésel	2018 o posterior	174.0000	0.0092	0.0092
M1	GLP	Antes del 2000	174.0000	0.1705	0.0006
M1	GLP	2000 - 2002	167.0000	0.1643	0.0005
M1	GLP	2003 - 2006	167.0000	0.1643	0.0005
M1	GLP	2007 - 2017	167.0000	0.1643	0.0005
M1	GLP	2018 o posterior	167.0000	0.1643	0.0005
M1	GNV	Antes del 2000	194.4123	0.3187	0.0104
M1	GNV	2000 - 2002	194.4123	0.3187	0.0104
M1	GNV	2003 - 2006	194.4123	0.3187	0.0104
M1	GNV	2007 - 2017	194.4123	0.3187	0.0104
M1	GNV	2018 o posterior	169.5010	0.2778	0.0091
M2	Gasolina	Antes del 2000	374.0000	0.1781	0.0173
M2	Gasolina	2000 - 2002	326.0000	0.1551	0.0150
M2	Gasolina	2003 - 2006	326.0000	0.1551	0.0150
M2	Gasolina	2007 - 2017	326.0000	0.1551	0.0150
M2	Gasolina	2018 o posterior	326.0000	0.1551	0.0150
M2	Diésel	Antes del 2000	346.0000	0.0182	0.0182
M2	Diésel	2000 - 2002	302.0000	0.0159	0.0159
M2	Diésel	2003 - 2006	302.0000	0.0159	0.0159
M2	Diésel	2007 - 2017	302.0000	0.0159	0.0159
M2	Diésel	2018 o posterior	302.0000	0.0159	0.0159
M2	GNV	Antes del 2000	255.0000	0.4173	0.0136
M2	GNV	2000 - 2002	222.0000	0.3636	0.0119
M2	GNV	2003 - 2006	222.0000	0.3636	0.0119
M2	GNV	2007 - 2017	222.0000	0.3636	0.0119
M2	GNV	2018 o posterior	222.0000	0.3636	0.0119
M3	Gasolina	Antes del 2000	1065.0000	0.5070	0.0492
M3	Gasolina	2000 - 2002	928.0000	0.4417	0.0428
M3	Gasolina	2003 - 2006	928.0000	0.4417	0.0428
M3	Gasolina	2007 - 2017	928.0000	0.4417	0.0428
M3	Gasolina	2018 o posterior	928.0000	0.4417	0.0428
M3	Diésel	Antes del 2000	995.0000	0.0524	0.0524
M3	Diésel	2000 - 2002	867.0000	0.0456	0.0456
M3	Diésel	2003 - 2006	867.0000	0.0456	0.0456
M3	Diésel	2007 - 2017	867.0000	0.0456	0.0456
M3	Diésel	2018 o posterior	867.0000	0.0456	0.0456
M3	GNV	Antes del 2000	973.7861	1.5962	0.0521
M3	GNV	2000 - 2002	848.6251	1.3910	0.0454
M3	GNV	2003 - 2006	848.6251	1.3910	0.0454
M3	GNV	2007 - 2017	848.6251	1.3910	0.0454
M3	GNV	2018 o posterior	848.6251	1.3910	0.0454
N1	Gasolina	Antes del 2000	258.0000	0.1228	0.0119
N1	Gasolina	2000 - 2002	212.0000	0.1010	0.0098
N1	Gasolina	2003 - 2006	212.0000	0.1010	0.0098
N1	Gasolina	2007 - 2017	212.0000	0.1010	0.0098
N1	Gasolina	2018 o posterior	212.0000	0.1010	0.0098
N1	Diésel	Antes del 2000	263.0000	0.1254	0.0122
N1	Diésel	2000 - 2002	237.0000	0.1129	0.0109
N1	Diésel	2003 - 2006	237.0000	0.1129	0.0109
N1	Diésel	2007 - 2017	237.0000	0.1129	0.0109
N1	Diésel	2018 o posterior	237.0000	0.1129	0.0109
N1	GNV	Antes del 2000	132.0000	0.0628	0.0061
N1	GNV	2000 - 2002	109.0000	0.0517	0.0050
N1	GNV	2003 - 2006	109.0000	0.0517	0.0050
N1	GNV	2007 - 2017	109.0000	0.0517	0.0050
N1	GNV	2018 o posterior	109.0000	0.0517	0.0050
N2	Gasolina	Antes del 2000	540.0000	0.2574	0.0250
N2	Gasolina	2000 - 2002	451.0000	0.2146	0.0208
N2	Gasolina	2003 - 2006	451.0000	0.2146	0.0208
N2	Gasolina	2007 - 2017	451.0000	0.2146	0.0208
N2	Gasolina	2018 o posterior	451.0000	0.2146	0.0208
N2	Diésel	Antes del 2000	454.0000	0.2163	0.0210
N2	Diésel	2000 - 2002	379.0000	0.1803	0.0175
N2	Diésel	2003 - 2006	379.0000	0.1803	0.0175
N2	Diésel	2007 - 2017	379.0000	0.1803	0.0175
N2	Diésel	2018 o posterior	379.0000	0.1803	0.0175
N2	GNV	Antes del 2000	426.0000	0.2026	0.0196
N2	GNV	2000 - 2002	355.0000	0.1690	0.0164
N2	GNV	2003 - 2006	355.0000	0.1690	0.0164
N2	GNV	2007 - 2017	355.0000	0.1690	0.0164
N2	GNV	2018 o posterior	355.0000	0.1690	0.0164
N3	Gasolina	Antes del 2000	857.0000	0.4080	0.0396
N3	Gasolina	2000 - 2002	723.0000	0.3443	0.0334
N3	Gasolina	2003 - 2006	723.0000	0.3443	0.0334
N3	Gasolina	2007 - 2017	723.0000	0.3443	0.0334
N3	Gasolina	2018 o posterior	723.0000	0.3443	0.0334
N3	Diésel	Antes del 2000	720.0000	0.3429	0.0332
N3	Diésel	2000 - 2002	608.0000	0.2894	0.0281
N3	Diésel	2003 - 2006	608.0000	0.2894	0.0281
N3	Diésel	2007 - 2017	608.0000	0.2894	0.0281
N3	Diésel	2018 o posterior	608.0000	0.2894	0.0281
N3	GNV	Antes del 2000	675.0000	0.3212	0.0311
N3	GNV	2000 - 2002	569.0000	0.0420	0.0263
N3	GNV	2003 - 2006	569.0000	0.0420	0.0263
N3	GNV	2007 - 2017	569.0000	0.0420	0.0263
N3	GNV	2018 o posterior	569.0000	0.0420	0.0263
L	Gasolina	Antes del 2022	122.8980	2.3091	0.0592
L	Gasolina	2022 o posterior	121.6220	2.3319	0.0592

Fuente: METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES EVITADAS Y VALORACIÓN DE EXTERNALIDADES AMBIENTALES MITIGADAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CHATARREO - 2025
Anexo de la R.D. N° 001-2025-MTC/18

Tabla 4.10 Factores de emisión de contaminantes locales (en g/km)

Categoría	Combustible	Año de Fabricación	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂
M1	Gasolina	Antes del 2000	0.0022	2.3200	0.0077
M1	Gasolina	2000 - 2002	0.0022	0.4850	0.0066
M1	Gasolina	2003 - 2006	0.0022	0.2550	0.0066
M1	Gasolina	2007 - 2017	0.0011	0.0970	0.0066
M1	Gasolina	2018 o posterior	0.0011	0.0610	0.0066
M1	Diésel	Antes del 2000	0.2209	1.8320	0.0063
M1	Diésel	2000 - 2002	0.0842	1.4790	0.0055
M1	Diésel	2003 - 2006	0.0548	1.1260	0.0055
M1	Diésel	2007 - 2017	0.0391	0.7730	0.0055
M1	Diésel	2018 o posterior	0.0076	0.4200	0.0055
M1	GLP	Antes del 2000	0.0022	2.3600	0.0165
M1	GLP	2000 - 2002	0.0022	0.4140	0.0160
M1	GLP	2003 - 2006	0.0022	0.1800	0.0160
M1	GLP	2007 - 2017	0.0011	0.0900	0.0160
M1	GLP	2018 o posterior	0.0011	0.0560	0.0160
M1	GNV	Antes del 2000	0.0029	2.8895	0.0004
M1	GNV	2000 - 2002	0.0025	2.0957	0.0004
M1	GNV	2003 - 2006	0.0013	1.9052	0.0004
M1	GNV	2007 - 2017	0.0013	1.2701	0.0004
M1	GNV	2018 o posterior	0.0011	0.0560	0.0003
M2	Gasolina	Antes del 2000	0.0002	0.1787	0.0123
M2	Gasolina	2000 - 2002	0.0002	0.0368	0.0107
M2	Gasolina	2003 - 2006	0.0002	0.0193	0.0107
M2	Gasolina	2007 - 2017	0.0001	0.0074	0.0107
M2	Gasolina	2018 o posterior	0.0001	0.0046	0.0107
M2	Diésel	Antes del 2000	0.2400	4.7173	0.0274
M2	Diésel	2000 - 2002	0.1464	3.1681	0.0274
M2	Diésel	2003 - 2006	0.0670	2.9212	0.0274
M2	Diésel	2007 - 2017	0.0670	1.8061	0.0274
M2	Diésel	2018 o posterior	0.0084	0.8594	0.0274
M2	GNV	Antes del 2000	0.0038	3.7839	0.0016
M2	GNV	2000 - 2002	0.0033	2.7444	0.0016
M2	GNV	2003 - 2006	0.0017	2.4949	0.0016
M2	GNV	2007 - 2017	0.0017	1.6632	0.0016
M2	GNV	2018 o posterior	0.0008	0.4158	0.0016
M3	Gasolina	Antes del 2000	0.0005	0.5089	0.0351
M3	Gasolina	2000 - 2002	0.0005	0.1047	0.0306
M3	Gasolina	2003 - 2006	0.0005	0.0550	0.0285
M3	Gasolina	2007 - 2017	0.0002	0.0209	0.0285
M3	Gasolina	2018 o posterior	0.0002	0.0132	0.0285
M3	Diésel	Antes del 2000	0.6895	13.5500	0.0315
M3	Diésel	2000 - 2002	0.4205	9.1000	0.0274
M3	Diésel	2003 - 2006	0.1925	8.3906	0.0274
M3	Diésel	2007 - 2017	0.1925	5.1875	0.0274
M3	Diésel	2018 o posterior	0.0242	2.4686	0.0274
M3	GNV	Antes del 2000	0.0225	22.7500	0.0099
M3	GNV	2000 - 2002	0.0200	16.5000	0.0099
M3	GNV	2003 - 2006	0.0100	15.0000	0.0099
M3	GNV	2007 - 2017	0.0100	10.0000	0.0099
M3	GNV	2018 o posterior	0.0050	2.5000	0.0099
N1	Gasolina	Antes del 2000	0.0023	3.0900	0.0085
N1	Gasolina	2000 - 2002	0.0023	0.5630	0.0070
N1	Gasolina	2003 - 2006	0.0023	0.2300	0.0070
N1	Gasolina	2007 - 2017	0.0011	0.1290	0.0070
N1	Gasolina	2018 o posterior	0.0011	0.0640	0.0070
N1	Diésel	Antes del 2000	0.3560	1.6600	0.0089
N1	Diésel	2000 - 2002	0.1170	1.2200	0.0080
N1	Diésel	2003 - 2006	0.1170	1.2200	0.0080
N1	Diésel	2007 - 2017	0.0783	1.0300	0.0080
N1	Diésel	2018 o posterior	0.0089	0.7370	0.0080
N1	GNV	Antes del 2000	0.0015	1.5014	0.0007
N1	GNV	2000 - 2002	0.0013	1.0889	0.0007
N1	GNV	2003 - 2006	0.0007	0.9899	0.0007
N1	GNV	2007 - 2017	0.0007	0.6599	0.0007
N1	GNV	2018 o posterior	0.0003	0.1650	0.0007
N2	Gasolina	Antes del 2000	0.0066	6.4770	0.0178
N2	Gasolina	2000 - 2002	0.0049	1.1949	0.0149
N2	Gasolina	2003 - 2006	0.0049	0.4882	0.0149
N2	Gasolina	2007 - 2017	0.0023	0.2738	0.0149
N2	Gasolina	2018 o posterior	0.0014	0.1358	0.0149
N2	Diésel	Antes del 2000	0.3337	6.8100	0.0154
N2	Diésel	2000 - 2002	0.1650	5.6707	0.0128
N2	Diésel	2003 - 2006	0.0825	4.4950	0.0128
N2	Diésel	2007 - 2017	0.0724	3.4650	0.0128
N2	Diésel	2018 o posterior	0.0070	0.9594	0.0128
N2	GNV	Antes del 2000	0.0049	4.9024	0.0021
N2	GNV	2000 - 2002	0.0043	3.5556	0.0021
N2	GNV	2003 - 2006	0.0022	3.2323	0.0021
N2	GNV	2007 - 2017	0.0022	2.1549	0.0021
N2	GNV	2018 o posterior	0.0011	0.5387	0.0021
N3	Gasolina	Antes del 2000	0.0105	10.2675	0.0282
N3	Gasolina	2000 - 2002	0.0078	1.9169	0.0238
N3	Gasolina	2003 - 2006	0.0078	0.7831	0.0238
N3	Gasolina	2007 - 2017	0.0037	0.4392	0.0238
N3	Gasolina	2018 o posterior	0.0023	0.2179	0.0238
N3	Diésel	Antes del 2000	0.4145	10.8067	0.0243
N3	Diésel	2000 - 2002	0.2853	9.2008	0.0205
N3	Diésel	2003 - 2006	0.1510	7.5900	0.0205
N3	Diésel	2007 - 2017	0.1230	6.0000	0.0205
N3	Diésel	2018 o posterior	0.0117	1.6542	0.0205
N3	GNV	Antes del 2000	0.0078	7.8642	0.0034
N3	GNV	2000 - 2002	0.0069	5.7037	0.0034
N3	GNV	2003 - 2006	0.0035	5.1852	0.0034
N3	GNV	2007 - 2017	0.0035	3.4568	0.0034
N3	GNV	2018 o posterior	0.0017	0.8642	0.0034
L	Gasolina	Antes del 2022	0.0853	0.0663	0.0001
L	Gasolina	2022 o posterior	0.0096	0.2800	0.0001

Fuente: METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES EVITADAS Y VALORACIÓN DE EXTERNALIDADES AMBIENTALES MITIGADAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CHATARREO – 2025 Anexo de la R.D. N° 001-2025-MTC/18

El kilometraje anual promedio por categoría de vehículo se proporciona como se muestra en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 El Kilometraje anual promedio por categoría de vehículo

Categoría vehicular	Recorridos promedio (km)
M1	73,013
M2	122,795
M3	121,437
N1	128,146
N2	128,855
N3	127,704
L	15,334

Fuente: METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES EVITADAS Y VALORACIÓN DE EXTERNALIDADES AMBIENTALES MITIGADAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CHATARREO – 2025 Los factores requeridos para calcular los costos sociales se definen para cada contaminante como se muestra en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12 Costo social asignado a cada contaminante (en US\$ / tonelada evitada)

Parámetro	Unidad	Valor estimado de la externalidad negativa a mitigar	Fuente bibliográfica
PM _{2.5}	US\$/ton evitada	85,138.33	International Monetary Fund (2014). "Getting energy prices right: from principle to practice".
NO _x	US\$/ton evitada	657.36	
SO ₂	US\$/ton evitada	3,214.19	
CO ₂	US\$/ton evitada	36.00	Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases (2021). "Technical Support Document: Social Cost of Carbon, Methane, and Nitrous Oxide".
CH ₄	US\$/ton evitada	758.33	
N ₂ O	US\$/ton evitada	9,005.21	

Fuente: METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES EVITADAS Y VALORACIÓN DE EXTERNALIDADES AMBIENTALES MITIGADAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CHATARREO – 2025

4.5 Estado del apoyo de otros donantes en Perú

A continuación, se presenta un resumen del apoyo brindado por cada donante para las medidas de mitigación del cambio climático y el transporte público en Perú.

1) GIZ

Desde 2015, GIZ ha estado apoyando la Política Nacional de Transporte Urbano Sostenible de Perú a través del proyecto CIMO (Ciudades en Movimiento). Desde 2019, ha estado cooperando con el Programa Nacional de Transporte Urbano Sostenible del MTC, PROMOVILIDAD, e implementando iniciativas en las tres ciudades de Trujillo, Arequipa y Piura. El programa tiene los siguientes cuatro pilares:

- Fortalecer el Programa Nacional de Transporte Urbano Sostenible (PROMOVILIDAD).
- Desarrollar medidas exitosas para sistemas de transporte integrados y equitativos en cuanto al género.
- Comprometidos con el uso amplio de tecnologías digitales.
- Introducir conceptos para formalizar y profesionalizar las empresas de transporte privado.

Por otro lado, se han implementado los siguientes tres proyectos relacionados con la cuantificación de emisiones de GEI.

- TRANSPerú (2016-2021): Para contrarrestar la tendencia al alza de las emisiones de CO₂, el Gobierno peruano, liderado por su Ministerio de Transportes y Comunicaciones, desarrolló TRANSPerú – Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMA): más de 50 medidas diseñadas para reducir las emisiones de GEI relacionadas con el transporte y la movilidad urbana. GIZ apoyó al MTC en la creación y consolidación de estructuras que permitan la implementación de un sistema eficiente de transporte público local y en la provisión de asistencia técnica a varios socios implementadores. Esto incluye la adaptación de marcos legales e institucionales y la mejora de procesos seleccionados, incluida la planificación del transporte y el monitoreo de emisiones (MRV).
- TRANSfer III (2017-2023): GIZ apoyó al MTC para desarrollar estrategias y planes de acción para hacer más eficiente el sector del transporte de carga y reducir los GEI. Los objetivos prioritarios son promover la conducción ecológica, es decir, un estilo de conducción que ahorre energía, y modernizar la flota de camiones del país. El proyecto diseñó cursos de capacitación sobre el tema de la conducción ecológica con la provisión del Manual de Conducción Ecológica.
- DKTi (2017-2022): El objetivo del proyecto es mejorar la movilidad en ciudades secundarias y las condiciones para el desarrollo de un sector de transporte urbano más sostenible y bajo en carbono. Las medidas incluyen el establecimiento de un programa nacional de transporte urbano llamado Promovilidad, que apoya a ciudades de tamaño mediano (100,000 a dos millones de habitantes) en el diseño de sistemas de transporte urbano de bajas emisiones y más sostenibles. Específicamente, se había fortalecido el transporte urbano sostenible en Huamanga, Cusco y

Chiclayo. Un proyecto "Recopilación de datos de transporte urbano y factores clave para el desarrollo de un Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) para el transporte urbano de Lima Metropolitana y Callao. 2020", que parece haberse llevado a cabo como parte de TRANSPerú, calculó las emisiones de GEI del sector transporte de Lima/Callao utilizando resultados de encuestas OD y otros datos relacionados. Los resultados se muestran en la sección 4.1.

2) GIZ

KfW es un banco alemán de inversión y desarrollo de propiedad estatal. Según el MTC, KfW enviará un equipo de consultores para apoyar al MTC en la elaboración de sistemas MRV que cubran el sector transporte en el Perú a partir de diciembre de 2025. Para implementar este proyecto de 8 meses, el MTC ha llevado a cabo lo siguiente como preparación:

- Aprobación, mediante resolución ministerial, de la hoja de ruta para mitigar los impactos ambientales del transporte urbano.
- Creación de una comisión sectorial para monitorear la implementación de la hoja de ruta.

3) BID

La Tabla 4.16 muestra los principales proyectos del BID relacionados con el transporte público en los últimos años. El BID apoya principalmente el desarrollo de infraestructura relacionada con el transporte. El "Programa de Apoyo al Transporte Urbano Sostenible en Lima y Callao" es un programa de cooperación técnica para el transporte urbano sostenible en Lima y Callao, y tiene como objetivo diseñar acciones a corto y mediano plazo que mejoren la movilidad y el transporte en Lima y Callao de manera sostenible. Entre las acciones, se planea intervenir en el transporte masivo de autobuses de los corredores complementarios, incluido el diseño de mejoras de infraestructura, así como el análisis de nuevos modelos de negocio y soluciones de electromovilidad que promuevan la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Durante el período de estudio en 2025, el BID ha proporcionado, asistencia técnica adicional en relación con el sistema de cámara de compensación (transacción monetaria).

Tabla 4.13 Principales proyectos del BID relacionados al transporte público en años recientes

ID del proyecto	Nombre del proyecto	Costo total (\$US)	Fecha de aprobación
PE-T1592 (2024 - en ejecución)	Plan Maestro para el Desarrollo Ferroviario del Perú al 2050	470,000.00	7 de agosto del 2024
PE-T1570 (2024 – en ejecución)	Apoyo a la Iniciativa del Sistema de Operación de Autobuses en Huancayo, a través del Programa PROMOVILIDAD	550,000.00	9 de abril del 2024
PE-T1525 (2022 – en ejecución)	Programa de Apoyo al Transporte Urbano Sostenible en Lima y Callao	600,000.00	13 de diciembre del 2022
PE-T1446	Promoción del transporte urbano sostenible en Perú	350,000.00	6 de agosto del 2020
PE-T1387	Apoyo al Sistema de Transporte Urbano de Lima (II)	16,106,764.42	2 de julio del 2018
PE-L1147	Línea 2 y 4, Metro de Lima	4,185,510,000.00	3 de diciembre del 2014

Fuente: Pagina web del BID

4) Banco Mundial

La Tabla 4.17 muestra los principales proyectos del Banco Mundial relacionados con el transporte público en los últimos años. La "Extensión Norte del BRT Metropolitano de Lima" es un proyecto que apoya la construcción de 10.2 km de vías exclusivas para autobuses entre la Terminal Naranjal y la nueva Terminal Chimpú Oclo y la optimización de las operaciones y servicios del BRT Metropolitano.

Tabla 4.14 Principales proyectos del Banco Mundial relacionados con el transporte público en años recientes

ID del proyecto	Nombre del proyecto	Compromiso del BIRF (\$US)	Fecha de aprobación de la junta
P170595	Extensión Norte del Metropolitano BRT de Lima	93,000,000	30 de enero 2020
P145610	Proyecto Línea 2 del Metro de Lima, Perú	300,000,000	15 de septiembre 2015

Fuente: Página web del Banco Mundial

5) UNEP

El UNEP implementó el proyecto "Fortalecimiento de capacidades para el sistema de transparencia de Perú para la mitigación y adaptación al cambio climático" desde abril de 2019 hasta febrero de 2024. El objetivo del proyecto era desarrollar las capacidades institucionales y humanas de Perú para cumplir con los requisitos de reporte del marco de transparencia mejorado del Acuerdo de París. Específicamente, los principales resultados fueron el desarrollo de factores de emisión, la mejora de las capacidades en proyecciones de emisiones de GEI de los equipos de inventario de GEI, y el desarrollo de directrices generales y herramientas para garantizar la consistencia y comparabilidad de las proyecciones de emisiones de GEI entre sectores.

6) GFC

El GCF aprobó el "FP237: E-Motion: Electromovilidad y Transporte de Bajo Carbono" el 18 de julio de 2024. El objetivo del Programa es acelerar el despliegue de Vehículos Eléctricos (EV) y permitir una transición regional a gran escala hacia la electromovilidad en 7 países de América Latina (Perú, Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, México) mediante asistencia financiera y técnica. El enfoque del Programa está en la electrificación de los autobuses de transporte público.

El Programa apoya un cambio de paradigma hacia sistemas de transporte de bajas emisiones. Los impactos que se busca lograr son: (i) reducción de GEI; (ii) mejora de la calidad del aire; (iii) reducción de la dependencia de importación de combustibles fósiles; (iv) aumento de la eficiencia energética.

Los resultados esperados del Programa son: (1) mayor capacidad del sector público y privado y un marco normativo habilitador más favorable para el transporte bajo en carbono; (2) reducción de las emisiones de GEI del sector transporte debido a un cambio del transporte privado al público y a un

cambio de medios de transporte fósiles a eléctricos, resultando en 4.33 MtCO₂e de emisiones de GEI reducidas y un uso de energía reducido estimado en 48,343 TJ de energía ahorrada.

El Programa está estructurado en 3 componentes:

Componente 1: Establecimiento de un ecosistema de movilidad sostenible que fomente la electrificación y el cambio hacia el transporte público (Asistencia Técnica)

Componente 2: Medidas de inversión para el cambio modal hacia el transporte público (Asistencia Financiera)

Componente 3: Despliegue de flotas de vehículos eléctricos (Asistencia Financiera)

El financiamiento total (GCF + cofinanciamiento) asciende a 210,981,104 EUROS (103,895,500 USD) y el financiamiento total solicitado al GCF es de 78,333,415 EUROS (40,264,000 USD). La Tabla 4.15 muestra proyectos indicativos a ser financiados, incluyendo para el Perú.

Tabla 4.15. Proyectos indicativos por ser financiados en función del programa aprobado por el GCF “FP237: E-Motion: Movilidad Eléctrica y Transporte Bajo en Carbono”

País, Ciudad	N.º de e-buses	Préstamo GCF (millones USD)	Préstamo AFD (millones USD)	Financiamiento Nacional (millones USD)	Total (millones USD)	Impacto GEI (ton CO ₂ -equivalente)
Brasil, Florianópolis ¹	aprox. 300 e-buses	37	64	12	113	904,000
Colombia, ciudades secundarias ¹	aprox. 280 e-buses	35	68	11	114	2,986,000
México, Sinaloa	200 e-buses	25	32	6	63	348,000
Perú, Arequipa	aprox. 80 e-buses	15	13	1	29	97,000

Fuente: Documentación del GCF: Propuesta de Financiamiento FP237: *E-Motion: Movilidad Eléctrica y Transporte Bajo en Carbono*

¹ Incluye inversiones relacionadas con el transporte público.

5. Estudio sobre los métodos de estimación de los impactos de las acciones climáticas

5.1 Lógica de las reducciones de emisiones de GEI de los proyectos de tránsito masivo

Con la introducción del Tránsito Masivo, las emisiones de GEI pueden reducirse a través de las siguientes dos lógicas. Las metodologías MRV existentes para el Tránsito Masivo a menudo abordan la primera lógica: los conductores cambian a modos menos contaminantes, como de vehículos privados a transporte público. La segunda implica incertidumbres en las reducciones de emisiones y básicamente requiere modelos de simulación de tráfico para el cálculo, lo que resulta en pocas propuestas de metodologías que incluyan el monitoreo de las reducciones de emisiones. Solo como referencia, la Práctica Recomendada⁹ de la APTA (Asociación Estadounidense de Transporte Público) concluye que, debido a la falta de consenso sobre los beneficios de la congestión, el documento ya no proporciona una metodología para medir los beneficios de la congestión.

- Cambio modal de pasajeros desde modos de transporte existentes como automóviles privados, autobuses convencionales locales y motocicletas hacia el Tránsito Masivo que emite menos emisiones por pasajero-kilómetro, y
- Reducción de la congestión del tráfico en las carreteras a lo largo de la ruta del Tránsito Masivo (por otro lado, lo que puede tener el potencial de generar un efecto rebote (es decir, aumento del tráfico rodado) que conduce a emisiones adicionales).

5.2 Opciones para la estimación

El Estudio ha analizado comparativamente dos opciones (Método 1 y Método 2) para la estimación de la reducción de emisiones de GEI. En cuanto al Método 1, este se centra principalmente en el cambio modal de los pasajeros, mientras que la metodología 2 está diseñado para calcular tanto el cambio modal de los pasajeros como la reducción de la congestión del tráfico en las carreteras. Descrito con detalles técnicos se puede mencionar lo siguiente:

1) Método 1: Cálculo simplificado de GEI para el seguimiento de NDC

Se basa en la metodología desarrollada en el “Data collection survey on development of measurement, report and verification (MRV) system in urban railway sector in Vietnam (JICA, 2021)”. La metodología propuesta se debatió en el grupo de trabajo técnico de Vietnam, formado por el Ministerio de Transporte, el Consejo de Administración Ferroviaria, el equipo del proyecto de ferrocarriles urbanos del BAD (Banco Asiático de Desarrollo), institutos de investigación locales y profesores universitarios, etc. Posteriormente, el Gobierno de Vietnam decidió emplear la metodología propuesta por JICA para cuantificar las reducciones de emisiones de GEI de los ferrocarriles urbanos como actividad de

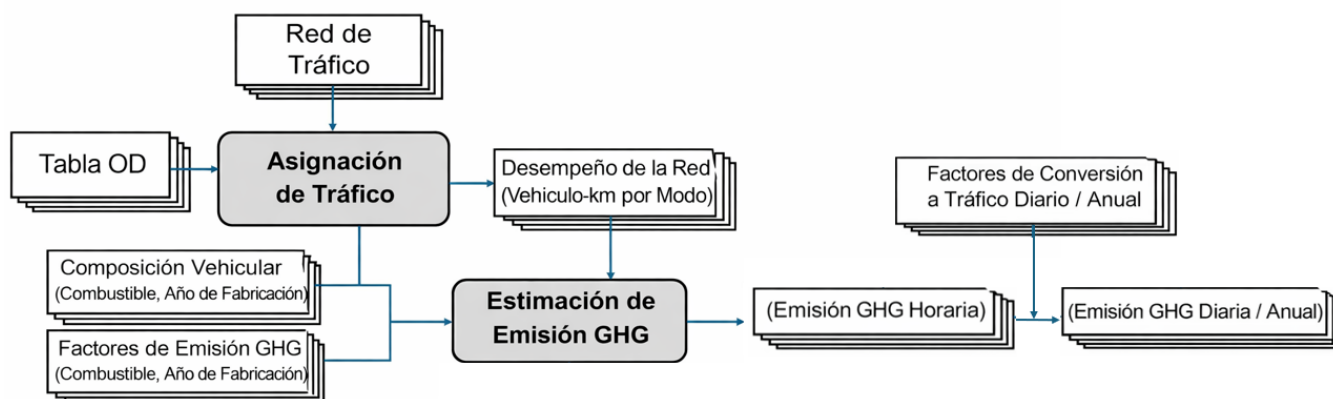
seguimiento de la NDC. También cabe destacar que esta metodología constituye la base de la Versión 6.0 de “JICA Climate Fit de Transporte / Cambio Modal (Pasajeros)” en mayo de 2025 ¹².

Para el desarrollo de la metodología, el Estudio utiliza en su mayor parte el mismo conjunto de fórmulas con algunas modificaciones de los parámetros que reflejan las condiciones locales de tráfico en la AMLC.

2) Método 2: Modelo de pronóstico de demanda de tráfico

Se ha diseñado como parte de los trabajos de planificación maestra del transporte para cuantificar el impacto de la mitigación del cambio climático al planificar los sistemas de transporte masivo (metro y BRT). Por lo general, un plan maestro de transporte se evalúa desde los puntos de vista económico (mediante indicador TIRE), financiero (mediante indicador TIRF) y social (utilizando los hogares de reasentamiento y otros). En este sentido, el impacto de la mitigación del cambio climático es un nuevo enfoque para la evaluación de los planes directores.

El diagrama de flujo del cálculo de emisiones de GEI se visualiza en la Figura 5.1. El total de kilómetros-vehículo por modo de viaje en el Área de Estudio, como resultado de la asignación de tráfico, se toma como referencia y se multiplica por los factores de emisión de GEI. La diferencia entre el caso con proyecto y sin proyecto puede considerarse como el efecto de reducción de emisiones del proyecto objetivo. Las hojas de cálculo de las emisiones de GEI a partir del resultado de la proyección de demanda de tráfico se presentan en el Apéndice 3.



Fuente : Equipo de Expertos JICA

Figura 5.1. Diagrama de flujo del cálculo de emisiones de GEI mediante la metodología 2

¹² https://www.jica.go.jp/english/activities/issues/climate/_icsFiles/afieldfile/2025/06/13/M03_Transport_Modal-Shift_Passenger_E_ver6.0.pdf

Para la metodología 2, se requiere una base de datos de demanda de tráfico previamente preparada que conste de redes de transporte existentes y futuras y matrices Origen-Destino. Este estudio utiliza el M-TRES actualizado, desarrollado por ATU como base de datos de demanda de tráfico y modelo de previsión para el transporte urbano. La tabla siguiente muestra la comparación entre la metodología 1 y la metodología 2:

Tabla 5.1 Comparación de los métodos de cálculo de la reducción de emisiones de GEI

	Método 1 - Una metodología de seguimiento de los NDC de Perú para el cambio modal de los pasajeros	Método 2 – Metodología de asignación de demanda de tránsito usando el M-TRES actualizado
Objetivo	Proyectos individuales de transporte masivo (Metro, BRT)	Redes de transporte urbano futuras que incluyen múltiples proyectos de transporte masivo
Propósito Principal	- Monitoreo anual/bienal de la reducción de emisiones de GEI - Operación periódica del sistema MRV en proyectos de transporte masivo para el seguimiento de la NDC	- Proyección de emisiones/reducciones de GEI - Evaluación del impacto del cambio climático en el plan maestro de transporte urbano
Comparación entre escenarios 'con' y 'sin'	A partir de encuestas a usuarios del transporte masivo	A través de resultados de asignación de tráfico en escenarios con y sin transporte masivo
Impacto sobre la red vial	Evaluación limitada del impacto	Es posible cuantificar la mitigación general de la congestión vial
Análisis de co-beneficios (calidad del aire)	Evaluación limitada	Se pueden analizar todas las emisiones vehiculares
Carga de trabajo requerida	Baja; uso de datos de trabajos regulares tanto como sea posible	Alta, debido a la aplicación de técnicas de asignación de tráfico
Frecuencia de cálculo posible	Anualmente, según datos actualizados (demanda, consumo de electricidad/combustible)	Cada 5 a 10 años, cuando se actualizan las matrices origen-destino actuales y proyectadas

Fuente: Equipo Experto JICA

En el Informe de Progreso, la metodología 1 se describe en las siguientes secciones del Capítulo 6. La metodología 2 se expondrá respectivamente en el capítulo 7.

5.3 Proyectos de estudio de casos y pronóstico de demanda de tráfico de prueba

En este estudio, se evalúan los mismos proyectos utilizando dos métodos diferentes para aclarar sus respectivas características. Los proyectos de estudio de caso se seleccionan mediante diálogo con la ATU.

- **Línea 2 del Metro (Lima–Callao):** La Línea 2 del Metro, totalmente subterránea, se extiende unos 27 km de este a oeste desde Ate hasta Callao, con una extensión adicional de 8 km (Línea 4 blanca) hasta el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. Está diseñada para conectar 35 estaciones y reducir el tiempo de viaje de un extremo a otro de más de dos horas por carretera a menos de 45 minutos.
- **Extensión Norte del Metropolitano:** Se planea extender el Metropolitano unos 10 km hacia el norte, desde Naranjal hasta Chimpu Ocllo, añadiendo 17 estaciones modernas y de acceso universal para mejorar la conectividad, el acceso al trabajo y la fiabilidad de los viajes de cientos de miles de residentes de Comas y Carabaylo.

La ubicación de los proyectos de estudio de caso se muestra en la Figura 5.1. Independientemente de su viabilidad o necesidad actual, se estimó la demanda de tráfico de estos proyectos, suponiendo que estuvieran en operación hoy, para evaluar sus impactos ambientales.



Fuente: Equipo Experto JICA

Figura 5.2. Proyectos de Caso de Estudio

6. Cálculo simplificado de GEI para el seguimiento de NDC

6.1 Enfoques Básicos

1) Principios Básicos

Las metodologías para proyectos de Tránsito Masivo (como ferrocarril urbano y BRT) tienden a ser complicadas, requiriendo considerable mano de obra y tiempo en el momento de la evaluación después de que comienza el proyecto. Por lo tanto, se debe desarrollar y proponer una metodología práctica y sostenible, que requiera menos carga/costo para las autoridades locales. A la luz de los problemas con las metodologías existentes enumeradas en la Tabla 13, los enfoques importantes en el desarrollo de la metodología son los siguientes

- Las reducciones de emisiones se estiman de forma razonable y transparente.
- Un método y una fórmula de cálculo más sencillos, considerando la disponibilidad de datos.
- Los datos de monitoreo pueden obtenerse, en la medida de lo posible, de la operación diaria de los ferrocarriles urbanos.
- Utilizar, en la medida de lo posible, los factores de emisión de GEI elaborados por organismos públicos.

2) Consideración sobre los efectos de la reducción de la congestión del tráfico

Basándose en las consideraciones básicas anteriores, esta metodología solo incluye en el cálculo la lógica de que un cambio modal del transporte motorizado existente al Tránsito Masivo emitirá menos emisiones por pasajero-kilómetro. La otra lógica que dice que un cambio modal resultará en una reducción de la congestión del tráfico en las carreteras a lo largo de la ruta del Tránsito Masivo se excluye del cálculo, porque la cuantificación de las reducciones de emisiones en el momento del monitoreo después de que el Tránsito Masivo comience a operar puede requerir mucho esfuerzo y tiempo para obtener datos de monitoreo, como a través de encuestas de volumen de tráfico, aunque se puede estimar de antemano (ex-ante) utilizando modelos de simulación.

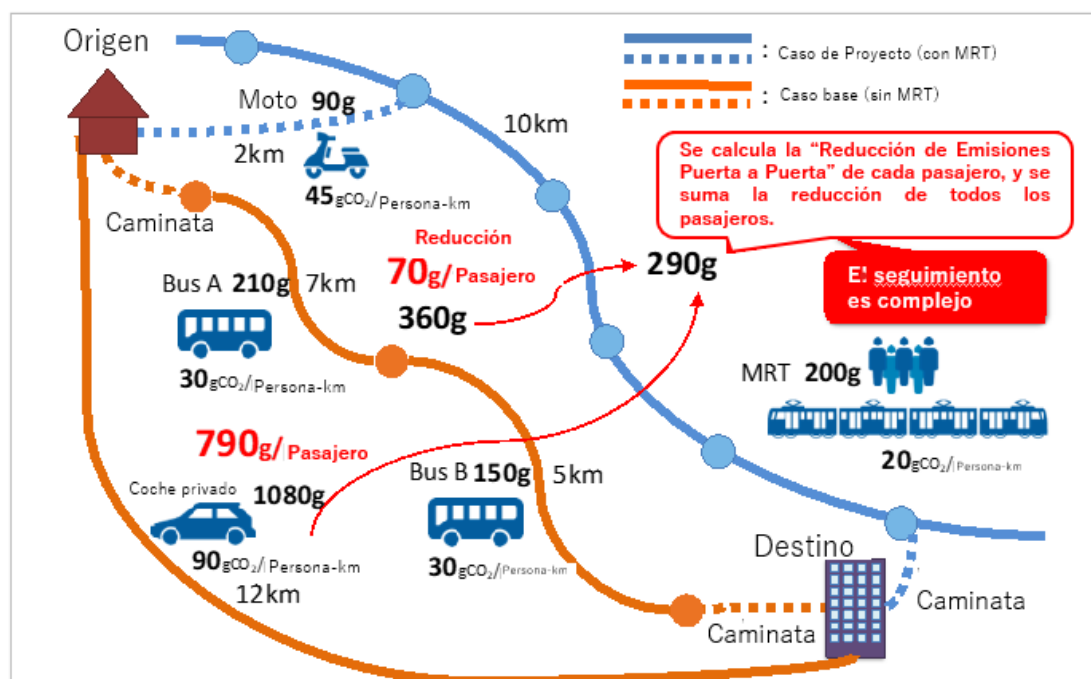
3) Consideración sobre el transporte de acceso/egreso

La reducción de emisiones a través del cambio modal de pasajeros se ilustra en la Figura

5.1. La reducción es la diferencia entre las emisiones relacionadas con los viajes de pasajeros (OD: Origen a destino) antes y después de la operación del Tránsito Masivo. En la Figura 5.1, después de que el Tránsito Masivo comienza a operar (caso del proyecto), un pasajero viaja desde un origen a un destino en motocicleta durante 2 km, luego en Tránsito Masivo durante 10 km, antes de caminar el tramo final. En este caso, la emisión asociada con el viaje del pasajero es de 290 gCO₂, asumiendo que el factor de emisión de CO₂ para la motocicleta y el Tránsito Masivo es de 45 y 20 gCO₂/pasajero-km, respectivamente. Por otro lado, si antes de la operación del Tránsito Masivo (caso base), el pasajero usaba un automóvil y conducía 12 km desde el mismo origen hasta el destino, la emisión sería de 1,080 gCO₂, asumiendo que el factor de emisión de CO₂ del automóvil de pasajeros es de 90

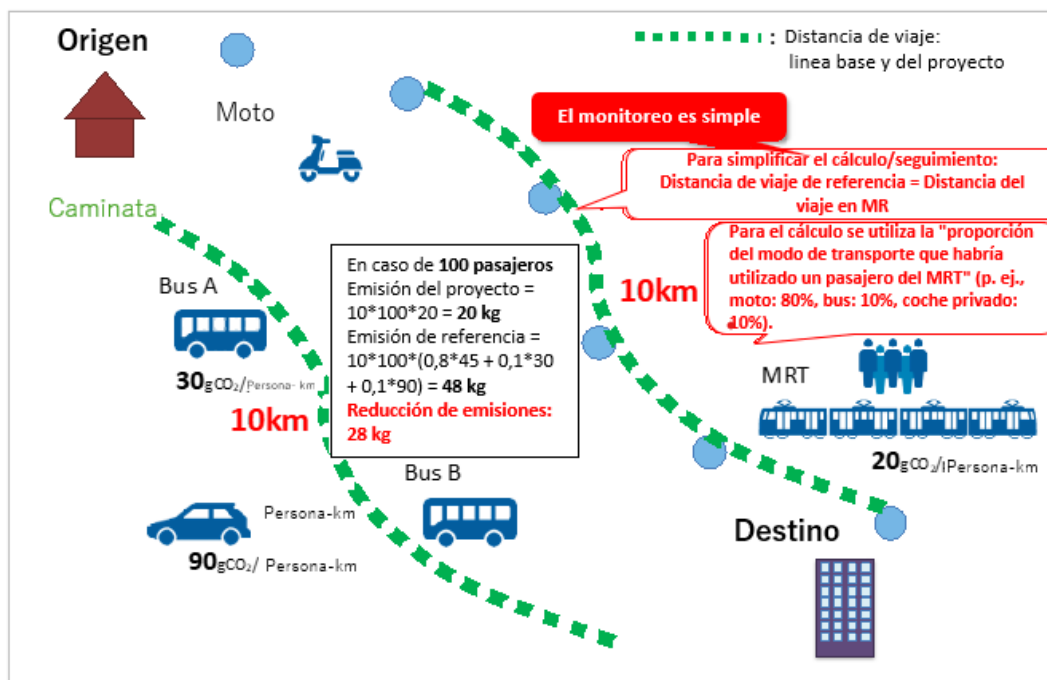
gCO₂/pasajero-km. Por lo tanto, la reducción de emisiones generada por este pasajero de Tránsito Masivo se puede calcular como 790 g CO₂ (=1,080-290). De esta manera, es posible calcular las reducciones de emisiones de cada viaje de pasajero, incluido el transporte de acceso y egreso. Sin embargo, es necesario realizar una encuesta de entrevista detallada sobre los viajes de los pasajeros, incluido el transporte de acceso y egreso, en el caso base y el caso del proyecto, y el cálculo de la reducción de emisiones tiende a ser complicado.

Por lo tanto, en este estudio, el Equipo de Estudio propone simplificar el cálculo sobre el transporte de acceso/egreso. Por ejemplo, en el caso anterior, la distancia de viaje del pasajero se fija a la distancia de viaje del Tránsito Masivo (10 km) tanto en el caso base como en el caso del proyecto. Las emisiones del transporte de acceso/egreso no se incluyen ni en el caso base ni en el caso del proyecto. Para el tipo de transporte base, el modo de transporte típico utilizado por los pasajeros debe identificarse mediante encuestas de entrevista, etc., y se debe calcular la participación de cada modo de transporte (que habrían utilizado los pasajeros sin el caso del Tránsito Masivo) (por ejemplo, 80% para motocicletas, 10% para autobuses, 10% para automóviles privados). En este método, si hay 100 pasajeros de Tránsito Masivo, la emisión del proyecto será de 20 kgCO₂, que se calcula mediante 100 pasajeros x 10 km x 20 gCO₂/pasajero-km. Por otro lado, la emisión base se puede calcular como 48 kgCO₂ mediante 100 pasajeros x 10 km x (0.8 x 45 + 0.1 x 30 + 0.1 x 90), lo que resulta en una reducción de emisiones de 28 kgCO₂ (Figura 5.2).



Fuente: Equipo experto JICA

Figura6.1 Cálculo de las reducciones de emisiones del proyecto de transporte público masivo.



Fuente: Equipo Experto JICA

Figura 6.2 Cálculo simplificado de las reducciones de emisiones del proyecto de transporte público masivo

6.2 Metodologías para calcular y monitorear las reducciones de emisiones de GEI

1) Esquema de la metodología

La Tabla 6.1 muestra el esquema de la metodología.

Tabla 6.1 Esquema metodológico para el cálculo y monitoreo de las reducciones de emisiones de GEI

Ítem	Esquema metodológico
Aplicabilidad	La metodología es aplicable para la nueva construcción o extensión de Tránsito Masivo como ferrocarril urbano y BRT.
GEI (Gases de Efecto Invernadero)	CO ₂ (necesita análisis para CH ₄ y N ₂ O si son despreciables)
Alcance	Ruta de Tránsito Masivo y área circundante (más explícitamente, el área por donde viaja un pasajero de Tránsito Masivo)
Reducción de emisiones	Diferencia entre las emisiones de línea base y las emisiones del proyecto. Emisiones de línea base: Emisiones asociadas con los viajes de pasajeros de Tránsito Masivo sin el proyecto de Tránsito Masivo. Emisiones del proyecto: Emisiones asociadas con los viajes de pasajeros de Tránsito Masivo.
Emisión de Línea Base (sin Tránsito Masivo)	Enfoque: Estimar las emisiones asociadas con los modos de transporte que habrían utilizado los pasajeros de Tránsito Masivo sin el proyecto de Tránsito Masivo. Fórmula básica: [Volumen de transporte de pasajeros de línea base (pasajero-km) × Factor de emisión de CO ₂ del transporte de línea base (tCO ₂ /pasajero-km)] En caso de que se utilicen varios modos de transporte, aplicar la fórmula anterior utilizando la cuota modal. Para simplificar, el "volumen de transporte de pasajeros de línea base" se asume igual al "volumen de transporte de pasajeros de Tránsito Masivo". Recomendar el uso de factores de emisión proporcionados por las autoridades gubernamentales."
Emisión del Proyecto (con Tránsito Masivo)	Enfoque: Estimar las emisiones de la operación del Tránsito Masivo. Fórmula básica: [Consumo de electricidad/combustible del Tránsito Masivo (kWh o litro o m ³) En cuanto al "volumen de transporte de pasajeros de Tránsito Masivo (o número anual de pasajeros y distancia promedio de viaje)", para la estimación ex ante, usar valores proporcionados en los informes de FS (Estudio de Factibilidad), y para el cálculo ex post, usar datos que pueda obtener el operador del proyecto como la ATU. Recomendar el uso de factores de emisión proporcionados por las autoridades gubernamentales.
Monitoreo	Monitorear el volumen de transporte de pasajeros de Tránsito Masivo (pasajero-km) (o número anual de pasajeros y distancia promedio de viaje) y el consumo de electricidad/combustible por el Tránsito Masivo. Recomendar establecer la cuota modal después de que el Tránsito Masivo comience a operar.

Fuente: Equipo de Expertos JICA

2) Fórmula para Estimar las Reducciones de Emisiones de GEI

Basado en el enfoque básico descrito en la sección anterior, se propone aquí un método práctico, empleando una fórmula simplificada de la metodología MDL "ACM0016 Proyectos de tránsito rápido

masivo". Las reducciones de emisiones de GEI se calculan restando las emisiones del proyecto de las emisiones base. Las emisiones base son las emisiones de los medios de transporte utilizados por los pasajeros de Tránsito Masivo en ausencia del proyecto de Tránsito Masivo. Las emisiones del proyecto son las emisiones asociadas con la operación del Tránsito Masivo.

$$ER_y = BE_y - PE_y$$

BE_y : Emisión base en el año y (tCO₂/año)

PE_y : Emisión del proyecto en el año y (tCO₂/año)

ER_y : Reducción de emisiones en el año y (tCO₂/año)

$$BE_y = \sum_i (PKM_y \times MS_{i,y} \times EF_{PKM,i} \times 10^{-6})$$

$$PKM_y = P_y \times TD_y$$

$$EF_{PKM,i} = \frac{EF_{KM,i}}{OC_i}$$

PKM_y : Volumen transportado por Tránsito Masivo en el año y (pasajero-km/año)

$MS_{i,y}$: Proporción de pasajeros de Tránsito Masivo que habrían utilizado el modo de transporte i en la línea base en el año y

$EF_{PKM,i}$: Factor de emisión de CO₂ por pasajero kilómetro para el modo de transporte i (gCO₂/pasajero-km)

P_y : Número de pasajeros de Tránsito Masivo en el año y (pasajero/año)

TD_y : Distancia promedio de viaje del pasajero de Tránsito Masivo en el año y (km) $EF_{KM,i}$: Factor de emisión de CO₂ del modo de transporte i (gCO₂/km)

OC_i : Tasa de ocupación promedio del modo de transporte i (pasajero/vehículo)

i : 1; Automóvil privado, 2; Autobús, 3; Motocicleta, etc.

$$PE_y = EC_y \times EF_{grid} \text{ or } FC_y \times NCV_{fuel} \times EF_{fuel}$$

EC_y : Consumo de electricidad de Tránsito Masivo en el año y (MWh/año)

EF_{grid} : Factor de emisión de CO₂ de la electricidad de la red (tCO₂/MWh)

FC_y : Consumo de combustible (p. ej., gas natural) de Tránsito Masivo en el año y

NCV_{fuel} : Valor calorífico neto del combustible (p. ej., gas natural) (MJ/m³)

EF_{fuel} : Factor de emisión de CO₂ del combustible (p. ej., gas natural) (tCO₂/MJ)Tipos de Parámetro

La Tabla 6.2 muestra los parámetros a monitorear cada año.

Tabla 6.2 Parámetros de monitoreo

Parámetro	Método de monitoreo
PKM _y Volumen transportado por el transporte masivo en el año y (pasajero-km/año)	No disponible . Se calcula entonces empleando P _y y TD _y
P _y Número de <i>pasajeros</i> del transporte masivo en el año y (pasajero/año)	<i>Proporcionado por la ATU</i> Método: La información se obtiene de las validaciones realizadas por los usuarios al abordar los servicios.
TD _y Distancia promedio de viaje del pasajero de transporte masivo en el año y (km)	Estimado utilizando datos de viaje de pasajeros proporcionados por la ATU
EC _y Consumo de electricidad del transporte masivo en el año y (MWh/año)	Proporcionado por la ATU
FC _y Consumo de combustible (por ejemplo, gas natural) del transporte masivo en el año y (m³/año)	Proporcionado por la ATU

Fuente: Equipo de estudio JICA

Los siguientes parámetros se establecen una vez antes de que comience el proyecto

Tabla 6.3 Parámetros fijos

Parámetro	Fuente
MS _{i,y} Participación de pasajeros de Transporte Masivo que habrían utilizado el modo de transporte <i>i</i> en el escenario base en el año <i>y</i>	Entrevista presencial a los usuarios del transporte masivo, o métodos más eficientes en el futuro, como el uso del sistema de billeteaje con tarjeta IC. De ser posible, actualizar los datos en los años en que ocurran cambios significativos en el sistema de transporte público, por ejemplo, cuando una nueva línea del Metro entre en operación. A continuación, se presenta un ejemplo de las preguntas principales para la encuesta: Datos del encuestador: - Nombre del encuestador - Fecha y hora - Lugar donde se realizó la entrevista - Estado de la respuesta / nivel de completitud Datos generales de la persona entrevistada: - Edad - Género - Nivel de ingresos Datos del viaje de la persona entrevistada: - Origen del viaje, estación de ingreso, estación de salida, destino final - Desde el origen hasta la estación de ingreso: modo de transporte y distancia - Desde la estación de salida hasta el destino final: modo de transporte y

	distancia 4. Suponiendo que el sistema de transporte masivo no existiera: ¿Habría realizado igualmente el viaje que está haciendo ahora? ¿O se habría quedado en casa / oficina / lugar de origen? 5. Información sobre el transporte en la línea base: - Suponiendo que el sistema de transporte masivo no existiera, ¿cómo habría realizado el mismo viaje que está haciendo ahora?
$EF_{PKM,i}$ Factor de emisión de CO ₂ por pasajero-kilómetro para el modo de transporte i (gCO ₂ /pasajero-km)	Información calculada por la ATU
$EF_{KM,i}$ Factor de emisión de CO ₂ del modo de transporte i (gCO ₂ /km)	<i>Establecer este parámetro, en caso de que $EF_{PKM,i}$ no esté disponible. Se necesita información del MTC sobre el número de vehículos por tipo/antigüedad en Lima/Callao, para estimar factores de emisión representativos por modos de transporte utilizando datos oficiales del MTC: "Metodología para el Cálculo de Emisiones Evitadas y Valoración de Externalidades Ambientales Mitigadas con la Implementación de los Programas de Chatarreo - 2024" (Aprobada mediante Resolución Directoral N°. 006-2024-MTC/18, con fecha: 29-02-2024)." Ver Tabla 16 para más detalles. &lt;br> De ser posible, actualizar los datos cada XXXX años.</i>
OC_i Tasa de ocupación promedio del modo de transporte i (pasajero/vehículo)	<i>Establecer este parámetro, en caso de que $EF_{PKM,i}$ no esté disponible.</i> Encuesta de tasa de ocupación vehicular.
EF_{grid} Factor de emisión de CO ₂ de la electricidad de la red (tCO ₂ /MWh)	Datos oficiales del MINAM.
NCV_{fuel} Poder calorífico neto del combustible (por ejemplo, gas natural) (MJ/m ³)	El valor utilizado en el NID.
EF_{fuel} Factor de emisión de CO ₂ del combustible (por ejemplo, gas natural) (tCO ₂ /MJ)	El valor utilizado en el NID.

Fuente: Equipo de estudio JICA

6.3 Cálculo de las reducciones de emisiones de GEI (Método 2) (prueba y tentativo)

1) Selección del transporte público objetivo

Se realizaron estimaciones de reducción de emisiones de GEI para los siguientes cuatro (4) sistemas de transporte masivo. En el caso de la Línea 1 del Metro y el sistema Metropolitano, las estimaciones se basaron en datos reales monitoreados durante sus operaciones en 2024, tales como el número de pasajeros y el consumo eléctrico para la tracción ferroviaria. Por otro lado, las estimaciones correspondientes a la Línea 2 del Metro y al Metropolitano, incluyendo su extensión norte, se realizaron utilizando datos de proyección de demanda en términos de pasajero-kilómetro para cada sistema de transporte masivo, proporcionados por el Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA.¹³

Tabla 6.4. Selección de Transporte Publico Objetivo

Transporte Masivo	Método de cálculo de las reducciones de emisiones de GEI
Línea 1 del Metro	Monitoreo/seguimiento real: utilizando datos reales monitoreados en 2024
Metropolitano	
Línea 2 del Metro	Estimación ex ante: utilizando datos de pronóstico de demanda proporcionados por el Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA ¹²
Metropolitano, incluyendo la extensión norte	

Fuente: Equipo Experto JICA

2) Recopilación de datos

Los datos necesarios para calcular las reducciones de emisiones de GEI se recopilaron para la Línea 1 del Metro y la línea troncal del Metropolitano como se muestra en la Tabla 5.4.

Tabla 6.5 Datos recopilados (para la metodología 2)

ítem	Datos	Fuente
PKMy Volumen transportado por transporte público en el año y (pasajeros-km/año)	- Línea 2 del Metro: 814.401.000 - Metropolitano, incluyendo la prolongación norte: 3.141.211.500	Asignación de tráfico del año base (2025) por el Equipo de Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA ¹²

¹³ Encuesta de recolección de datos sobre los efectos del cambio climático en el transporte público en el área metropolitana de Lima y Callao

P_y Número de <i>pasajeros</i> de transporte masivo en el año y (pasajero/año)	- Metro Line 1 <table><tr><td>Year 2022</td><td>Year 2023</td><td>Year 2024</td></tr><tr><td>129,593,580</td><td>171,017,671</td><td>190,285,755</td></tr></table> COSAC I (Metropolitano) <table><tr><td>Year 2022</td><td>Year 2023</td><td>Year 2024</td></tr><tr><td>103,560,822</td><td>114,438,883</td><td>122,060,152</td></tr></table> North feeder buses <table><tr><td>Year 2022</td><td>Year 2023</td><td>Year 2024</td></tr><tr><td>30,709,260</td><td>34,648,896</td><td>31,469,901</td></tr></table> South feeder buses <table><tr><td>Year 2022</td><td>Year 2023</td><td>Year 2024</td></tr><tr><td>9,138,913</td><td>10,667,613</td><td>9,655,860</td></tr></table>	Year 2022	Year 2023	Year 2024	129,593,580	171,017,671	190,285,755	Year 2022	Year 2023	Year 2024	103,560,822	114,438,883	122,060,152	Year 2022	Year 2023	Year 2024	30,709,260	34,648,896	31,469,901	Year 2022	Year 2023	Year 2024	9,138,913	10,667,613	9,655,860	ATU												
Year 2022	Year 2023	Year 2024																																				
129,593,580	171,017,671	190,285,755																																				
Year 2022	Year 2023	Year 2024																																				
103,560,822	114,438,883	122,060,152																																				
Year 2022	Year 2023	Year 2024																																				
30,709,260	34,648,896	31,469,901																																				
Year 2022	Year 2023	Year 2024																																				
9,138,913	10,667,613	9,655,860																																				
TD_y Distancia promedio de viaje del pasajero de transporte masivo en el año y (km)	- Linea 1 del Metro 7.1km <- <i>Es un valor tentativo. Estimado utilizando los siguientes datos de la ATU.</i> <table><tr><th>Rangos</th><th>Frecuencia</th></tr><tr><td>Hasta 5 Km</td><td>19671</td></tr><tr><td>Entre 5 y 10 km</td><td>5292</td></tr><tr><td>Entre 10 y 15 km</td><td>4717</td></tr><tr><td>Entre 20 y 25 km</td><td>1142</td></tr><tr><td>Entre 25 y 30 km</td><td>625</td></tr><tr><td>Entre 30 y 40 km</td><td>578</td></tr><tr><td>Entre 40 y 50 km</td><td>240</td></tr><tr><td>Más de 50 km</td><td>183</td></tr></table> - Metropolitano 14.6 km <- <i>Es un valor tentativo. Estimado utilizando los siguientes datos de la ATU.</i> <table><tr><th>Rangos</th><th>Frecuencia</th></tr><tr><td>Hasta 5 Km</td><td>70</td></tr><tr><td>Entre 5 y 10 km</td><td>121</td></tr><tr><td>Entre 10 y 15 km</td><td>258</td></tr><tr><td>Entre 20 y 25 km</td><td>64</td></tr><tr><td>Entre 25 y 30 km</td><td>39</td></tr><tr><td>Entre 30 y 40 km</td><td>29</td></tr><tr><td>Entre 40 y 50 km</td><td>19</td></tr><tr><td>Más de 50 km</td><td>2</td></tr></table>	Rangos	Frecuencia	Hasta 5 Km	19671	Entre 5 y 10 km	5292	Entre 10 y 15 km	4717	Entre 20 y 25 km	1142	Entre 25 y 30 km	625	Entre 30 y 40 km	578	Entre 40 y 50 km	240	Más de 50 km	183	Rangos	Frecuencia	Hasta 5 Km	70	Entre 5 y 10 km	121	Entre 10 y 15 km	258	Entre 20 y 25 km	64	Entre 25 y 30 km	39	Entre 30 y 40 km	29	Entre 40 y 50 km	19	Más de 50 km	2	ATU
Rangos	Frecuencia																																					
Hasta 5 Km	19671																																					
Entre 5 y 10 km	5292																																					
Entre 10 y 15 km	4717																																					
Entre 20 y 25 km	1142																																					
Entre 25 y 30 km	625																																					
Entre 30 y 40 km	578																																					
Entre 40 y 50 km	240																																					
Más de 50 km	183																																					
Rangos	Frecuencia																																					
Hasta 5 Km	70																																					
Entre 5 y 10 km	121																																					
Entre 10 y 15 km	258																																					
Entre 20 y 25 km	64																																					
Entre 25 y 30 km	39																																					
Entre 30 y 40 km	29																																					
Entre 40 y 50 km	19																																					
Más de 50 km	2																																					
$MS_{i,y}$ Participación de pasajeros de transporte masivo que habrían utilizado el modo de transporte i en el escenario base en el año y	- Linea 1 del Metro Bus: 56.8%, Combi: 38.3%, Carro/Taxi: 3.4%, Others: 1.5% - Metropolitano Bus: 65.4%, Combi: 25.7%, Carro/Taxi: 6.1%, Others: 2.7% * Nota: Ejemplos de casos de otros países. BRT Bogotá, Colombia: Vehiculo privado: 2.1%, Bus convencional: 90.6%, Taxi: 5.4% BRT in Guatemala City: Private car: 4.6%, Bus convencional: 89.6%, Taxi: 2.7% BRT Zhengzhou, China: Private car: 9.7%, Bus convencional: 77.7%, Taxi: 11.4%	Encuesta de Recopilación de Datos sobre Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao, Informe Final, JICA, Ene. 2013, MTC.																																				
$EF_{KM,i}$ Factor de emisión	Vehiculo privado: 200, Bus: 928, Taxi: 174 Los datos se seleccionan de la Tabla 16. Se necesita información	MTC																																				

de CO ₂ por pasajero-kilómetro para el modo de transporte i (gCO ₂ /pasajero-km)	sobre la participación por tipo de vehículo y categorías de antigüedad vehicular para calcular un factor de emisión promedio ponderado más preciso por modo.			
OC _i	Auto privado: 1.91, Autobús Convencional: 29.4, Taxi: 1.07			ATU
Tasa de ocupación promedio del modo de transporte i (pasajero/vehículo)	Plan Maestro sobre Transporte Urbano del Área Metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú (Fase 1). Informe Final. JICA. Agosto de 2005. Se necesitan datos más recientes con mayor variedad de modos de transporte.			
ítem	Datos			
EC _y Consumo de electricidad del transporte masivo en el año y (MWh/año)	- Metro Line 1 (MWh/año)			
	Año 2022	Año 2023	Año 2024	
	77,341,934.91	79,775,318.12	84,291,721	
FC _y Consumo de combustible (ej. gas natural) del transporte masivo en el año y (m³/año)	- Metropolitano (Gas Natural en m³)			ATU
	Año 2022	Año 2023	Año 2024	
	29,683,215.1	28,769,237.4	28,694,861.9	
EF _{grid} Factor de emisión de CO ₂ de la electricidad de la red (tCO ₂ /MWh)	0.1999 (Year 2022) Se necesitan datos más recientes si están disponibles.			MINAM
NCV _{fuel} Poder calorífico neto del combustible (ej. gas natural) (MJ/m³)	35.7			NID
EF _{fuel} Factor de emisión de CO ₂ del combustible (ej. gas natural) (tCO ₂ /MJ)	56.505*10 ⁻⁶			NID

Fuente: *NID: Peru. 2024 National Inventory Document

3) Cálculo de las reducciones de emisiones de GEI (prueba y tentativo)

Las reducciones de emisiones de GEI de la Línea 1 del Metro y el Metropolitano se calcularon utilizando datos reales de monitoreo, aplicando la metodología descrita en la Sección 6.2.

La Tabla 6.6 Parámetros utilizados para el cálculo y monitoreo de la reducción de emisiones de GEI. Se utilizan los datos más recientes (2024). Por otro lado, las reducciones de emisiones de GEI de la Línea 2 del Metro y el Metropolitano, incluyendo la extensión norte, se calcularon utilizando datos de pronóstico de demanda como estimación ex ante. La Tabla 6.7. Parámetros utilizados en el cálculo de las reducciones de emisiones de GEI para la Línea 2 del Metro y el Metropolitano, incluida la extensión norte.

Tabla 6.6 Parámetros utilizados para el cálculo y monitoreo de la reducción de emisiones de GEI

Parámetro		Línea 1 del Metro	Metropolitano	
PKM _y Volumen transportado por transporte masivo en el año y (pasajero-km/año)		2022: 920,114,418 2023: 1,214,225,464 2024: 1,351,028,861 *P _y x TD _y	2022: 1,511,988,001 2023: 1,670,807,692 2024: 1,782,078,219 *P _y x TD _y	1
EF _{PKM,i} Factor de emisión de CO ₂ por pasajero-kilómetro para el modo de transporte i (gCO ₂ /pasajero-km)	Vehiculos privados	147		2
	Bus	34		
MS _{i,y} Participación de pasajeros de transporte masivo que habrían utilizado el modo de transporte i en el escenario base en el año y	Vehiculos privados	3.4% (incl. taxi)	6.1% (incl. taxi)	5
	Motocicleta	-		
	Taxi	-		
	Bus	95.1% (Bus + Combi)	91.1% (Bus + Combi)	
EC _y		2022: 77,341.93491		
Consumo de electricidad del transporte masivo		2023: 79,775.31812	N.D.	1
en el año y (MWh/año)		2024: 84,291.721		
EF _{grid} Factor de emisión de CO ₂ de la electricidad de la red (tCO ₂ /MWh)		0.1999 (Año 2022) <i>Se necesita actualización</i>	N.D.	3
FC _y Consumo de combustible (ej. gas natural) del transporte masivo en el año y (m³/año)		N.D.	2022: 29,683,215.1 2023: 28,769,237.4 2024: 28,694,861.9	1
NCV _{fuel} Poder calorífico neto del combustible (ej. gas natural) (MJ/m³)		N.D.	35.7	4
EF _{fuel} Factor de emisión de CO ₂ del combustible (ej. gas natural) (tCO ₂ /MJ)		N.D.	56.505*10 ⁻⁶	4

Fuente: La numeración se indica en la columna derecha de la tabla.

*1: Monitoreo vigente provisionado por la ATU

*2: Provisionado por la ATU

*3: Encuesta de Recolección de Datos sobre Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao. Informe Final. JICA. Ene. 2013

*4: MINAM

*5: NID

Tabla 6.7. Parámetros utilizados en el cálculo de las reducciones de emisiones de GEI para la Línea 2 del Metro y el Metropolitano, incluida la extensión norte

Parámetro		Línea del Metro 2	Metropolitano incluyendo la extensión norte	
PKMy: Volumen transportado por transporte masivo en el año y (pasajeros-km/año)		814,401,000	3,141,211,500	1
EFPKM: factor de emisión de CO ₂ por pasajero-kilómetro para transporte modo i (gCO ₂ /passenger-km)	Coche privado	147		2
	Bus	34		
MS _{iy} : Porcentaje de pasajeros del transporte público que habrían utilizado el modo de transporte i en la línea de base en el año y	Coche privado	3.4% (incl. taxi)	6.1% (incl. taxi)	3
	Bus	95.1% (Bus + Combi)	91.1% (Bus + Combi)	
EC _y Consumo de electricidad del transporte público en el año y (MWh/año)		50,811 (estimado con datos de la Línea 1 del Metro 2024: 0,06239 kWh/pasajero-km:84291, 721MWh/190.285.755pax*7,1km)	N.A.	
EF _{grid} CO ₂ factor de emisión de la electricidad de la red (tCO ₂ /MWh)		0.1999 (Año 2022)	N.A.	4
FC _y Consumo de combustible (por ejemplo, gas natural) del transporte público en el año y (m3/año)		N.A.	50,579,503 (Estimado con datos del Metropolitano 2024: 0,01610 m3/pasajero-km = 28694861,9m3/122060152pax*14,6 km)	
NCV _{fuel} : Valor calorífico neto del combustible (e.g. gas natural) (MJ/m ³)		N.A.	35.7	5
EF _{fuel} : CO ₂ factor de emisión del combustible (e.g. gas natural) (tCO ₂ /MJ)		N.A.	56.505*10 ⁻⁶	5

Fuente: La numeración se indica en la columna derecha de la tabla.

*1: Monitoreo vigente provisionado por la ATU

*2: Provisionado por la ATU

*3: Encuesta de Recolección de Datos sobre Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao. Informe Final. JICA. Ene. 2013

*4: MINAM

*5: NID

La Tabla 6.8 muestra las reducciones de emisiones de GEI para la Línea 1 del Metro y el Metropolitano. Las reducciones estimadas para la Línea 1 del Metro y el Metropolitano, con base en datos reales monitoreados, son de 33.587 tCO₂/año y 13.294 tCO₂/año en el año 2024, respectivamente. Por otro lado, las reducciones estimadas para la Línea 2 del Metro y el Metropolitano, incluyendo la Extensión Norte, con base en los datos de pronóstico de demanda, son de 20.246 tCO₂/año y 23.433 tCO₂/año, respectivamente.

Como referencia, en BTR1, las reducciones se estiman en 0,076 MtCO₂eq (2030) para el Metropolitano y 0,124 MtCO₂eq (2030) para la Línea 1 del Metro (incluyendo la Línea 2 del Metro).

Tabla 6.8 Reducción de emisiones de GEI en 2024 (prueba y tentativo)

Emisiones	Monitoreo/seguimiento real 2024		Estimación ex ante	
	Línea 1 del metro	Metropolitano	Línea 2 del metro	Metropolitano Incl. Extensión Norte
Emisiones de referencia (tCO ₂ /año)	50,437	71,178	30,403	125,463
Emisiones del proyecto (tCO ₂ /año)	16,850	57,884	10,157	102,030
Reducción de emisiones (tCO ₂ /año)	33,587	13,294	20,246	23,433
Parámetros clave				
pasajero-km	1,351,028,861	1,782,078,219	814,401,000	3,141,211,500
Número de pasajeros (pax/año)	190,285,755	122,060,152	-	-
Distancia media de viaje (km)	7.1	14.6	-	-
Factores de emisión de CO ₂ de los modos de transporte de referencia (gCO ₂ /pasajero-km)	Pasajeros veh: 147 Bus: 34			
Proporción de pasajeros por modo de transporte de referencia (%)	Pasajeros veh: 3.4 Bus: 95.1	Pasajeros veh: 6.1 Bus: 91.1	Pasajeros veh: 3.4 Bus: 95.1	Pasajeros veh: 6.1 Bus: 91.1
Consumo energético del Metro (kWh/pasajero-km) o Metropolitano (m ³ /pasajero-km)	0.06239	0.01610	0.06239	0.01610

Fuente: Equipo Experto JICA

6.4 Comparación de la metodología propuesta y la metodología MDL

Como se menciona en la Sección 5.2, la Metodología 1 propuesta se basa en la metodología desarrollada en el estudio de JICA en Vietnam “Encuesta de recopilación de datos sobre el desarrollo del sistema de medición, reporte y verificación (MRV) en el sector ferroviario urbano en Vietnam (JICA, 2021)”. La metodología para Vietnam es una mejora de las metodologías MDL ACM0016 y AM0031, al reducir la complejidad de las fórmulas, parámetros y requisitos de monitoreo —que son propios de los esquemas de créditos de carbono— y hacerlas más simples y prácticas para fines de seguimiento de las NDC. La Metodología 1 de este estudio sigue el mismo enfoque y lógica para calcular las reducciones de emisiones que la metodología utilizada en Vietnam.

Como referencia, la Tabla 6.9 muestra uno de los resultados que el Estudio de JICA en Vietnam comparó las reducciones de emisiones entre la metodología desarrollada en el estudio de Vietnam de JICA (que tiene la misma lógica y formulación que la metodología 1 propuesta en este estudio) y la metodología MDL (base ACM0016: cálculo del monto de reducción incluyendo transporte de acceso y egreso). La metodología MDL requiere más fórmulas y parámetros para calcular las reducciones de emisiones, y se requieren muchas encuestas para obtener los datos necesarios, lo cual es muy costoso. También requiere el cálculo no solo de las emisiones del transporte de acceso/egreso sino también de los efectos de reducción de la congestión en las carreteras circundantes a lo largo de las líneas de Tránsito Masivo, además de las reducciones de emisiones por cambios modales. Las reducciones de emisiones para cada línea calculadas utilizando la metodología desarrollada en el estudio de Vietnam de JICA son menores que las reducciones calculadas utilizando la metodología MDL: Para la Línea 1 de Hanoi, la Línea 2 y la Línea 1 de HCMC, las reducciones son del 83%, 70% y 69%, respectivamente. El cálculo mediante la metodología propuesta puede describirse como conservador.

Tabla 6.9 Comparación entre la metodología propuesta y la metodología MDL

ítem	Metodología desarrollada en el estudio de Vietnam de JICA	Metodología MDL (ACM0016 Ver 6.1)
Cálculo de RE (Reducción de Emisiones)	Simple	Complicado
N.º de Fórmulas	4	18
N.º de Parámetros	5	24
Monitoreo	Simple	Complicado
N.º de Parámetros de Monitoreo	3 (o 4)	14
Encuesta Necesaria para Monitoreo	- Encuesta de entrevista (cara a cara o enfoque más simple), *Cada XXXX años	- Encuesta de entrevista (cara a cara) - Encuesta de tasa de ocupación - Encuesta de velocidad vehicular - Conteo vehicular, etc. *1er y 4º año
Costo (1 línea de Tránsito Masivo por año)	Menos de USD20,000 para la encuesta cara a cara	USD150,000 para todas las encuestas anteriores
Reducciones de Emisiones Estimadas (tCO2/año)	Línea 1 de Hanói : 54,541	Línea 1 de Hanói : 65,453
	Línea 2 de Hanói : 39,614	Línea 2 de Hanói : 56,632
	Línea 1 de HCMC : 56,877	Línea 1 de HCMC : 82,026

Fuente: Equipo de Expertos JICA

La Tabla 6.10 presenta las reducciones de emisiones de GEI en proyectos ferroviarios urbanos de varios países. Para facilitar la comparación, también se muestran las reducciones por pasajero en cada proyecto.

Tabla 6.10 Comparación de la reducción de emisiones de proyectos de ferrocarril urbano en diferentes países

Project	Tipo	Longitud (km)	Pasajeros	Emisión Base	Emisión del Proyecto	Reducción de Emisiones	Reducción de Emisiones/Pasajero	Fuente
		(km)	(pass./day)	(tCO ₂ /year)	(kgCO ₂ / passenger)			
Línea 1 del Metro de Lima	Monitoreo real	39.6	521,331	45,365	16,850	28,515	0.15	JET
Metropolitano de Lima	Monitoreo real	37.2	334,411	62,627	57,884	4,743	0.04	JET
Línea Sur- Norte de Yakarta	Estimación	23	629,900	175,535	59,967	115,569	0.50	*1
Línea Púrpura de Bangkok	Monitoreo Real	20	26,000	18,735	11,125	7,250	0.76	*2
Enlace Ferroviario al Aeropuerto de Bangkok	Monitoreo Real	28.6	37,415	11,618	6,302	5,316	0.39	*3
Metro de Delhi	Estimación	102	1,685,899	758,933	296,020	462,913	0.75	*4
Metro Uno de Bombay	Estimación	64	578,817	293,006	75,732	217,274	1.03	*5
Metro en Delhi, Calcuta, Chennai y Bangalore	Monitoreo Real	-	-	-	-	720,000	-	*6
Línea 1 de Hanói	Estimación	27.2	597,000	131,378	75,951	55,427	0.25	*7
Línea 2 de Hanói	Estimación	34.4	556,000	94,302	54,097	40,206	0.20	*7
Línea 1 de HCMC (Ciudad Ho Chi Minh)	Estimación	19.0	687,000	135,099	77,040	58,059	0.23	*7

*1: Estudio de Viabilidad del Nuevo Mecanismo para el Desarrollo de Sistemas de Tránsito Rápido Masivo (MRT) en Yakarta (Indonesia), y Hanói y Ciudad Ho Chi Minh (Vietnam). 2011. Ministerio de Medio Ambiente, Japón.

*2: Tailandia, MOT (Ministerio de Transporte).

*3: Estudio de Demostración de MRV (Medición, Reporte y Verificación) utilizando el Proyecto Modelo "Cambio Modal de Transporte mediante la Construcción del Sistema MRT." 2012. Ministerio de Medio Ambiente, Japón.

*4: Documento de Diseño del Proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) "Metro Delhi".

*5: Documento de Diseño del Proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) "Mumbai Metro One".

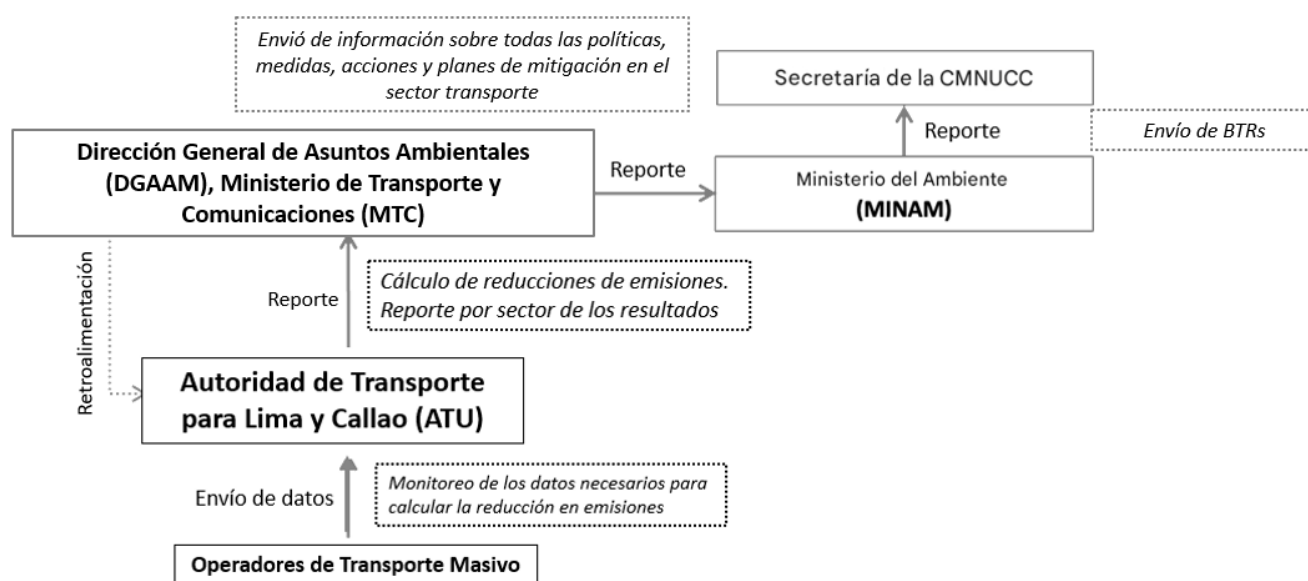
*6: Segundo Informe Bienal de Actualización de la India.

*7: Informe Final, "Encuesta de Recopilación de Datos sobre el Desarrollo del Sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV) en el Sector Ferroviario Urbano en Vietnam". Febrero, 2021.

6.5 Estructura organizacional de MRV

El equipo del estudio propone una estructura organizativa para implementar una serie de procesos MRV orientados a la reducción de emisiones de GEI mediante proyectos de transporte masivo. Estos procesos comprenden la recopilación de datos, el cálculo de reducciones de emisiones de GEI, la elaboración de informes de monitoreo y su verificación. Asimismo, el equipo identifica los roles y responsabilidades, y plantea una estructura organizativa MRV que sea práctica y sostenible. El término “práctica y sostenible” se refiere a la ejecución eficiente del MRV utilizando los sistemas estadísticos y de reporte ya existentes, dentro de las limitaciones de recursos humanos y financieros.

Actualmente, en el Perú no existe una regulación concreta sobre el sistema MRV para la reducción de emisiones de GEI en sistemas de transporte masivo, y dicho sistema aún no ha sido establecido. La Figura 6.3 y la Tabla 6.11 presentan la estructura organizativa MRV propuesta, así como los roles asignados a cada entidad. El equipo del estudio recomienda que esta propuesta sea adoptada en los reportes de los sistemas sectoriales MRV de GEI en el país. Además, se sugiere utilizar las hojas de cálculo adjuntas en los apéndices del informe para realizar los cálculos de reducción de emisiones de GEI en sistemas de transporte masivo.



Fuente: Equipo de Expertos JICA

Figura 6.3 Estructura Organizacional Propuesta de MRV para Proyectos de Transporte Público

Tabla 6.11. Funciones y responsabilidades de las organizaciones que participan en el sistema MRV propuesto

Organización	Rol/Responsabilidad
MINAM	Verificar y resumir los planes de MRV y los informes de monitoreo presentados por el MTC. Presentar el contenido de las actividades de MRV a la CMNUCC.
DGAAM del MTC	Aprobar y recopilar los planes de MRV y los informes de monitoreo presentados por la ATU. Presentar los planes de MRV y los informes de monitoreo al MINAM.
ATU	Preparar planes MRV para todos los sistemas de transporte público bajo su gestión. Supervisar y preparar informes de supervisión. Presentar planes MRV e informes de supervisión a la MTC.
MRT Operadores	Supervisar los datos necesarios indicados en las hojas de cálculo. Enviar estos datos a la ATU.

Fuente: Equipo de Expertos JICA

6.6 Procedimiento de MRV

El equipo de estudio también propone un procedimiento de implementación para MRV para proyectos de transporte público, tal y como se muestra en la Tabla 6.12. Un Plan MRV se elabora una sola vez, cuando se desarrolla una nueva medida de mitigación, antes de la implementación de dicha medida. Un informe de monitoreo se preparará una vez al año, siguiendo los contenidos descritos en el Plan MRV.

Tabla 6.12 Procedimiento de Implementación Propuesto para Proyectos de Transporte Público

Asunto	Descripción	Organización Encargada
A. Planeación		
A-1: Desarrollar y presentar el Plan MRV	Describir el esquema del proyecto, la metodología de cálculo de la reducción de emisiones de GEI, la estructura organizativa, etc., en un Plan MRV y presentarlo al MTC. La Tabla 6.13 muestra el contenido propuesto para el Plan MRV.	ATU
A-2: Aprobar el Plan MRV	Aprobar el Plan MRV presentado por la ATU y remitirlo al MINAM	MTC
B. Implementación		
B-1: Recopilar/medir y registrar datos	Recopilar/medir y registrar los datos que sean necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI de acuerdo con las hojas de cálculo.	MRT operadores
B-2: Calcular las reducciones de emisiones de GEI	Calcule las reducciones de emisiones de GEI utilizando la hoja de cálculo.	ATU
B-3: Elaborar y presentar informe de seguimiento	Elaborar un informe de seguimiento recopilando las reducciones de emisiones calculadas y los datos utilizados para el cálculo, y presentarlo anualmente. El contenido propuesto para el informe de seguimiento se muestra en la Tabla 6.14.	ATU
C. Aprobación		
C-1: Aprobar informe de seguimiento	Aprobar el informe de seguimiento presentado por la ATU y remitirlo al MINAM.	MTC

Fuente: Equipo de Expertos JICA

Tabla 6.13 Contenido de un plan MRV

I. Información general sobre la acción de mitigación a) Nombre de la acción de mitigación b) Organizaciones involucradas y sus funciones c) Objetivos d) Tecnología introducida en la acción de mitigación e) Tipo de GEI objetivo f) Ubicación g) Plazo h) Costo de la acción de mitigación	II. Cálculo, seguimiento y presentación de informes sobre la reducción de emisiones a) Metodología para calcular la reducción de emisiones de GEI b) Estimación de la reducción de emisiones de GEI c) Estructura organizativa para el seguimiento y la presentación de informes d) Periodo de seguimiento e) Método de monitoreo f) QA/QC
---	---

i) Beneficios de la acción de mitigación y contribución al desarrollo sostenible j) Fuente de financiamiento y esquema de apoyo financiero k) Información sobre los mecanismos de mercado internacionales, si los hubiera l. Información general sobre la acción de mitigación	
---	--

Fuente: Equipo de Expertos JICA

Tabla 6.14 Contenido del Reporte de Monitoreo

I. Información general sobre la medida de mitigación Mismo contenido que el Plan MRV de la tabla 6.13.	II. Resultados del seguimiento a) Periodo de seguimiento b) Reducción de emisiones del periodo de seguimiento c) Datos utilizados para el cálculo de la reducción de emisiones
--	--

Fuente: Equipo de Expertos JICA

7. Metodología de asignación de la demanda de tráfico mediante el uso del M-TRES (Método 2)

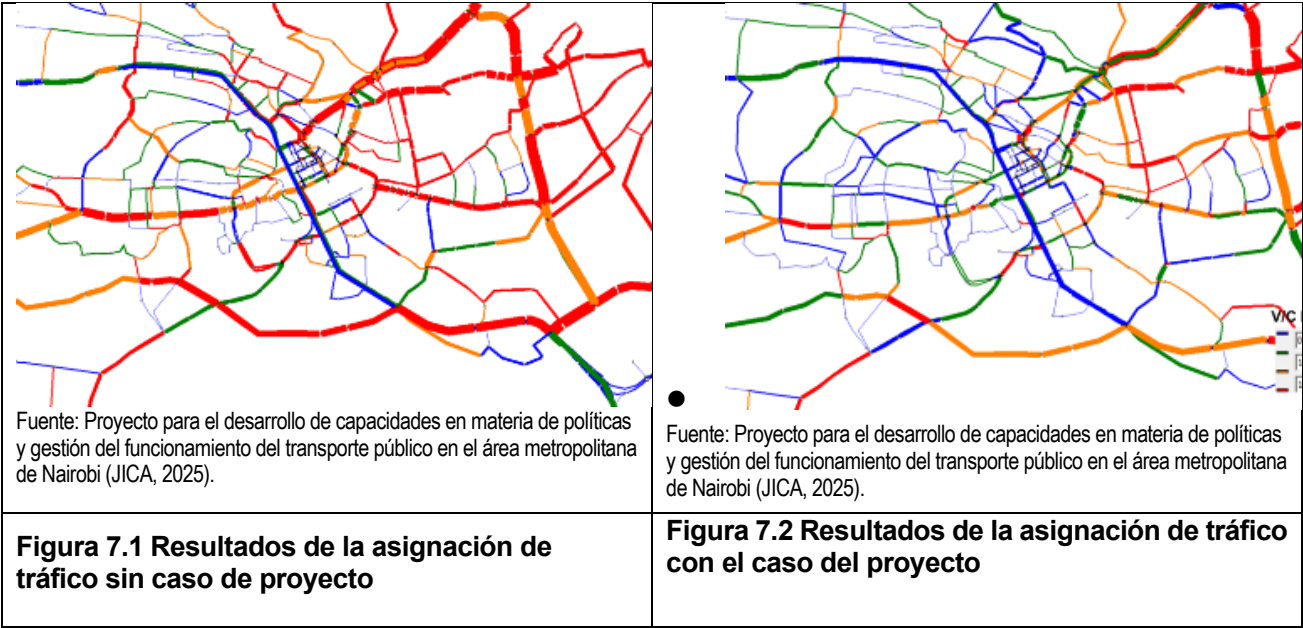
7.1 Enfoques básicos (Método 2)

1) Principios Básicos

Como se menciona en el capítulo 5, la metodología 2 se desarrolló como parte de las actividades de planificación maestra del transporte para evaluar los impactos de mitigación del cambio climático de los proyectos de transporte público previstos, como los ferrocarriles urbanos y los sistemas BRT. La metodología es relativamente compleja y requiere considerables recursos humanos, tiempo y una base de datos exhaustiva sobre la demanda de transporte que incluya tanto las redes de transporte existentes como las futuras, así como matrices de origen-destino. El estudio utiliza el M-TRES, una base de datos sobre la demanda de transporte y un modelo de previsión para el transporte urbano desarrollado por la ATU, que posteriormente fue actualizado por otro equipo de la JICA en el marco del estudio sobre el sistema de transporte público.²⁾ Consideración de los efectos de la reducción de la congestión del tráfico

Por lo tanto, en este informe se presenta un resultado ilustrativo dla metodología 2 utilizando un ejemplo de un plan maestro de transporte urbano. La Figura 7.1 muestra los resultados de la asignación del tráfico sin la implementación de un proyecto de transporte público, en el que las carreteras se congestionan y los vehículos se ven obligados a circular a baja velocidad. Por el contrario, la figura 7.2 ilustra la mejora de las condiciones del tráfico con la introducción de un proyecto de transporte público, en el que la prestación de servicios de transporte público rápidos y fiables atrae a muchos pasajeros y alivia significativamente la congestión vial. Como resultado, los impactos de los proyectos de transporte pueden cuantificarse a través de mejoras en los indicadores de rendimiento, como la reducción del volumen total de tráfico (PCU-km) ¹⁴y del tiempo de viaje (pasajeros-hora).

¹⁴ Una métrica que convierte diferentes tipos de vehículos en un número equivalente de automóviles de pasajeros estándar.



Como resultado, se resumen dos situaciones comparativas en la Tabla 7.1. Estos indicadores se cuantifican en términos del Costo de Operación Vehicular (VOC), es decir, el costo total de operación de los vehículos para la realización de viajes; mientras más corta sea la distancia recorrida, menor será el gasto. Asimismo, se considera el Costo de Tiempo de Viaje (TTC), que representa el valor monetario asignado al tiempo dedicado al desplazamiento, tratado como un costo de oportunidad. Los ahorros resultantes pueden considerarse beneficios económicos de los proyectos de transporte, mientras que los ingresos por tarifas o peajes provenientes del transporte público y de proyectos de autopistas de peaje constituyen sus beneficios financieros

Tabla 7.1 Comparación entre situaciones «con» y «sin» proyecto

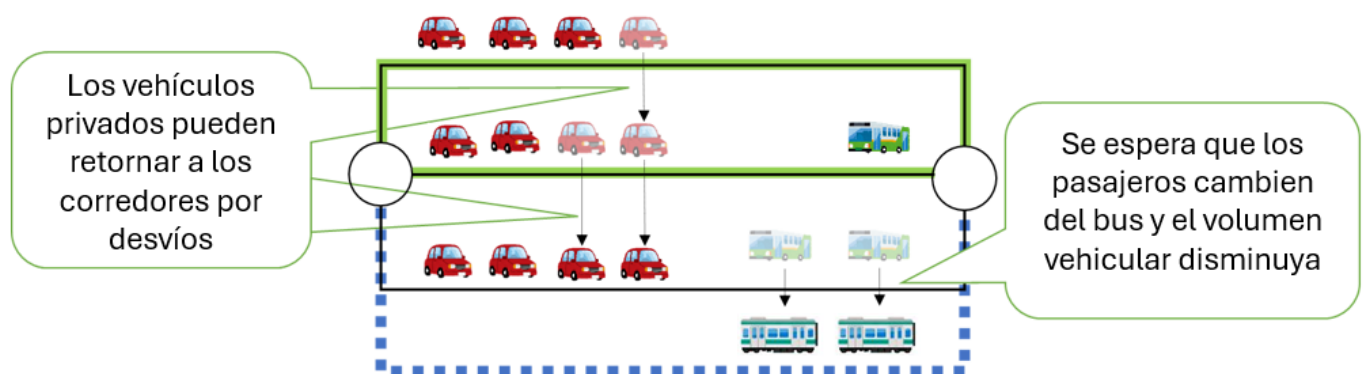
Caso	Volumen de tráfico (000/day)					Total, pasajeros - hora (000/día)	Velocidad media de viaje (km/h)	Volumen/ capacidad promedio
	Vehiculos-kilometros				PCU-km (000/día)			
	Motorcycle	Car	Public	Truck				
Sin caso de proyecto	8,435	14,906	3,796	7,918	39,451	13,216	11.5	0.94
Con caso de proyecto	7,639	14,111	2,430	7,714	34,908	8,479	17.9	0.79

Fuente: Proyecto de desarrollo de capacidades para la política y gestión de operaciones de autobuses en el área metropolitana de Nairobi (JICA, 2025)

Las emisiones vehiculares se estiman multiplicando el volumen de tráfico (vehículo-kilómetro) en el área de estudio por el factor de emisión correspondiente a cada tipo de vehículo. Si las emisiones vehiculares estimadas en el escenario con proyecto son menores que las del escenario sin proyecto, la diferencia puede interpretarse como la reducción de emisiones de GEI atribuible al proyecto.

Desde la perspectiva comparativa con la metodología 1, la característica distintiva dla metodología 2 radica en su capacidad para evaluar impactos a escala de toda el área de estudio (es decir, de toda la región metropolitana), en lugar de centrarse únicamente en los usuarios actuales del proyecto. Cuando se desarrolla un sistema de Metro o BRT, se espera que los pasajeros que anteriormente utilizaban

autobuses en el corredor se trasladen al nuevo servicio de transporte masivo, lo que reduce los volúmenes de tráfico. Los usuarios de vehículos privados que no utilizan transporte público también se benefician del desarrollo, gracias a la disminución de los tiempos de viaje como resultado de la reducción de la congestión vial. Algunos conductores que anteriormente se desviaban por rutas alternativas pueden volver al corredor principal, y efectos similares pueden observarse en vías paralelas o conectadas. Por tanto, la metodología 2 permite verificar las reducciones de emisiones de GEI a escala metropolitana, incluyendo estos efectos indirectos.



Fuente: Equipo de Expertos JICA

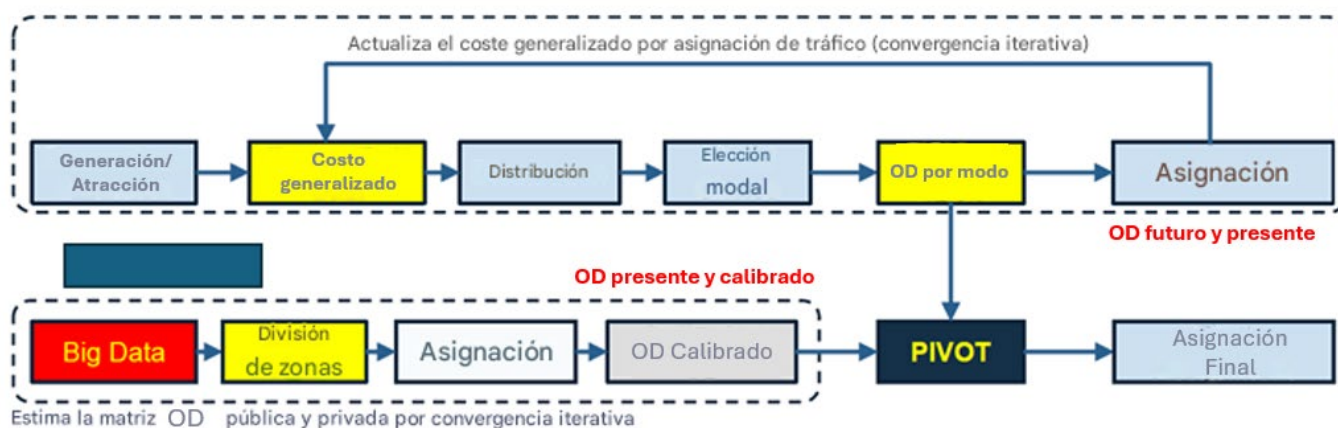
Figura 7.3 Imagen del cálculo de la reducción de emisiones del proyecto de transporte público mediante la metodología 2

7.2 Metodologías para el cálculo y seguimiento de las reducciones de emisiones de GEI

1) Esquema de los modelos de pronóstico de la demanda actualizados por el estudio del sistema de transporte público de JICA

Los detalles de los modelos de proyección de demanda actualizados en el marco del Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA se describen en el informe correspondiente. El modelo comprende los siguientes tres procesos:

- El modelo tradicional de pronóstico de la demanda de cuatro pasos consiste en la generación y atracción de viajes, la distribución de viajes, la elección modal y la asignación de tráfico. En este paso, se calculan las tasas de crecimiento para cada par de matrices Origen-Destino (OD). La estructura general se basa en el modelo MTRES, pero fue actualizada por el Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA, incorporando datos adicionales de la encuesta de tráfico.
- PIVOT: Esta etapa consiste en estimar las matrices OD futuras utilizando las matrices de tasas de crecimiento y las matrices OD calibradas generadas a partir de Big Data. Para evitar fluctuaciones extremas, cualquier tasa de crecimiento que exceda cinco veces se limita a ese valor. Por ejemplo, si un par OD registra actualmente 10 viajes y se proyecta que aumente a 100, el valor se ajusta a 50.
- Modelo de asignación de tráfico utilizando las matrices OD futuras: A través de la asignación de tráfico, se estima el costo generalizado (es decir, el costo de viaje que incluye el valor monetario del tiempo de viaje) por par OD y modo de transporte, y posteriormente se reestima la tabla OD. Los modelos de distribución de viajes y elección modal utilizan el costo generalizado como variable clave, de modo que los pares OD o modos de transporte con costos más altos reciben menos viajes, mientras que aquellos con costos más bajos atraen más viajes.



Fuente: Encuesta de recopilación de datos sobre los efectos de la mitigación del cambio climático del cambio de transporte público en el área metropolitana de Lima y Callao (Estudio del sistema de transporte público de JICA)

Figura 7.4 Diagrama de flujo conceptual del estudio del sistema de transporte público de JICA sobre la previsión de la demanda

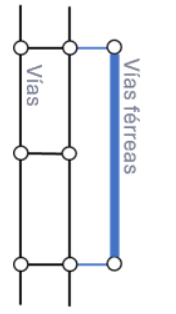
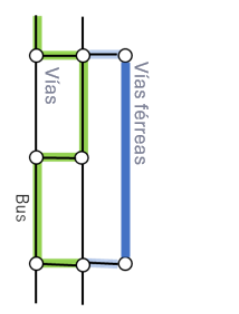
2) Estudios Testeados

Para la estimación de reducciones de emisiones de GEI bajo la metodología 2, los resultados de la asignación de tráfico—que representan los productos finales de todo el proceso de modelación—fueron estimados y proporcionados por el equipo del Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA para los siguientes tres casos. Independientemente de su viabilidad o necesidad actual, la demanda de tráfico de estos proyectos, bajo el supuesto de que estuvieran en operación hoy, fue estimada con el fin de facilitar el análisis.

- 1) Línea base a 2025, sin Línea 2 ni Ampliación Norte del Metropolitano
- 2) Caso 1) + la apertura total de la Línea 2
- 3) Caso 1) + la ampliación norte del Metropolitano (incluyendo plan futuro).

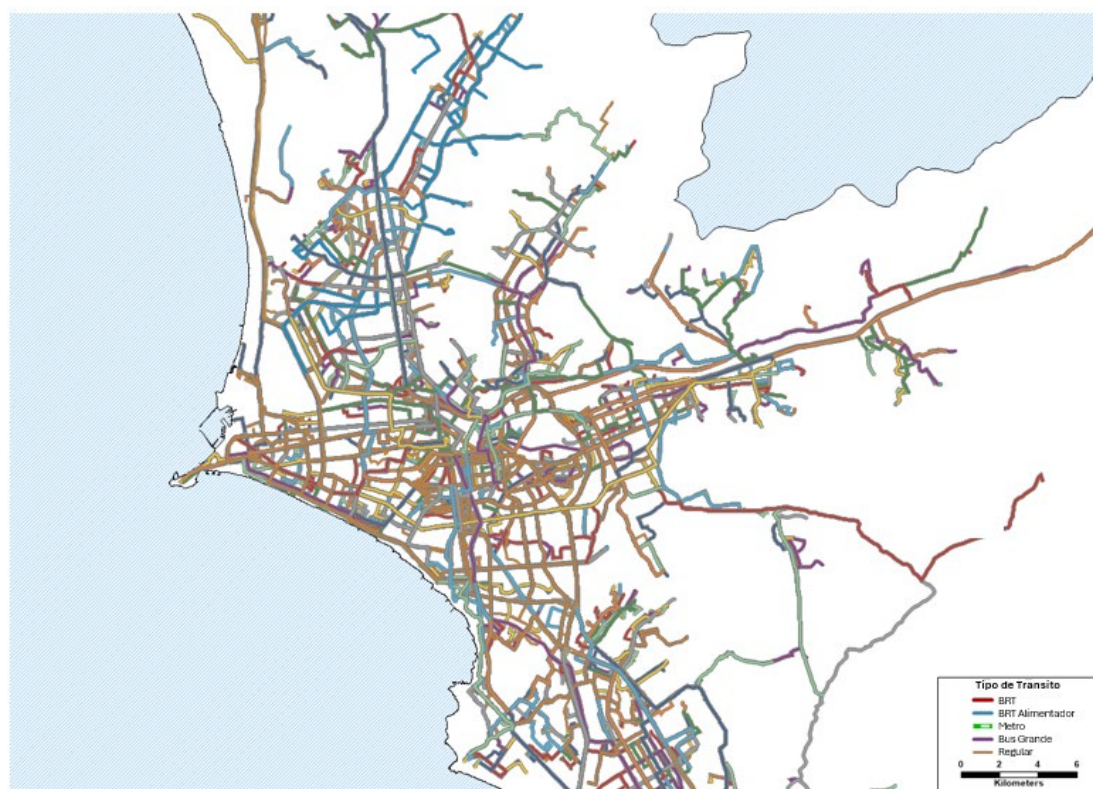
3) Asignación de Tránsito y Red de Tránsito

El Estudio del Sistema de Transporte Público de la JICA aplica un modelo de asignación de tránsito (descrito en la Figura 7.5), en el que los viajes en transporte público se asignan a una red integral que abarca todos los modos de transporte público. Los sistemas de transporte público existentes, incluidos el Metro, el Metropolitano (BRT) y sus líneas alimentadoras, los servicios del Corredor y las rutas regulares de autobús, se modelan digitalmente y se visualizan en la Figura 7.6.

Asignación de autopistas El ferrocarril/MRT se considera una autopista. El transporte público puede cubrir todos los tramos. Es útil aprovechar el potencial de la red ferroviaria.		Asignación de tránsito El número de viajes en los medios de transporte público (tren/autobús) es fijo. Los viajes públicos solo pueden realizarse en rutas de tránsito. Es útil comprender el rendimiento específico del ferrocarril, incluyendo la comodidad de los transbordos.	
--	---	--	---

Fuente: Equipo de Expertos JICA

Figura 7.5 Caracteres de los métodos de asignación de tráfico



Fuente: Encuesta de recopilación de datos sobre los efectos de la transición al transporte público en la mitigación del cambio climático en el área metropolitana de Lima y Callao (Estudio del sistema de transporte público de JICA)

Figura 7.6 Red de tránsito desarrollada por el estudio del sistema de transporte público de JICA

7.3 Cálculo de las reducciones de emisiones de GEI (Método 2)

1) Asignación de Tráfico

El experto del equipo del Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA proporcionó los indicadores generales de desempeño derivados de los resultados de la asignación de tráfico, tal como se muestra en la Tabla 7.2. Una observación destacada es que los vehículo-kilómetros de los modos de transporte público existentes permanecen idénticos en los tres casos analizados. Según la explicación del equipo de expertos, la oferta de servicio (vehículo-kilómetros) del transporte público por carretera se mantiene constante en los tres escenarios, independientemente de la demanda de pasajeros (pasajero-kilómetros). Dado que estas cifras representan el conjunto del área metropolitana, las diferencias entre los casos parecen limitadas a nivel agregado; sin embargo, se esperan impactos significativos en corredores específicos—en particular, la Línea 2 del Metro en el Caso 2 y el Metropolitano en el Caso 3—especialmente en lo que respecta a los cambios en pasajero-kilómetros.

Tabla 7.2 Indicadores de rendimiento proporcionados por los casos probados

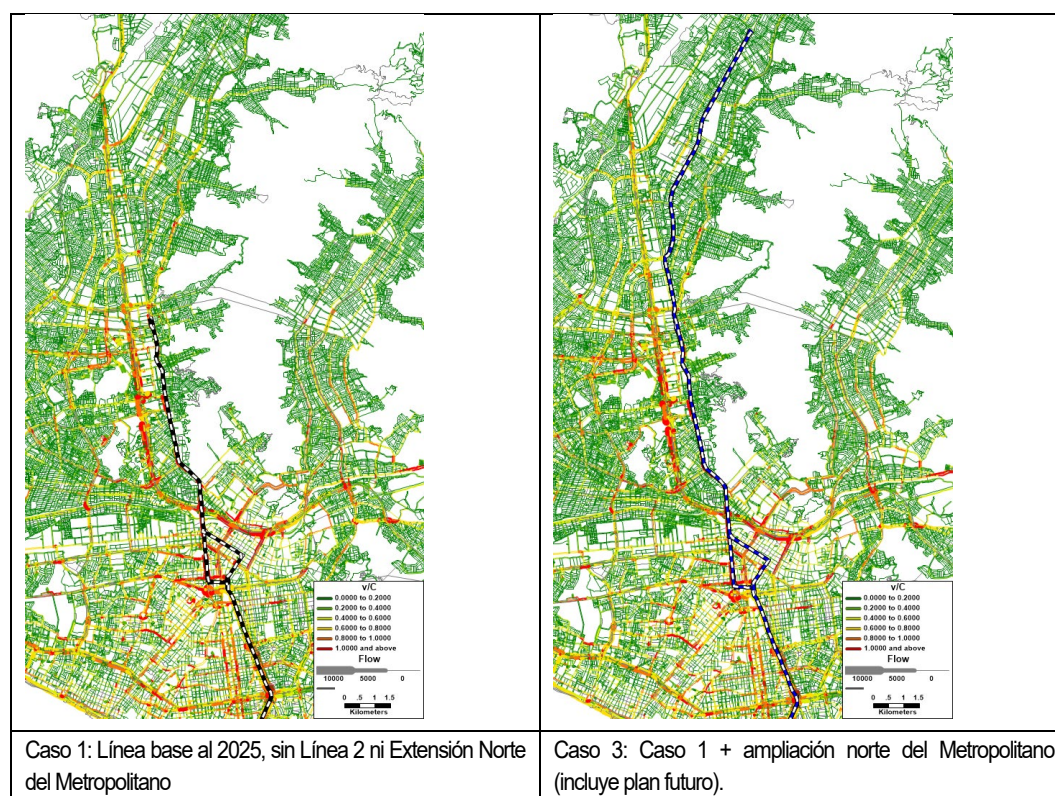
Indicador	Categoría	Modo	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Vehículo - kilómetro (000 / hora pico)	Privado	Automóviles particulares	4,372	4,378	4,340
	Carga	Camiones ligeros tipo furgoneta	63.8	63.8	63.8
		Camiones de 2 ejes	80.4	80.3	80.3
		Camiones pesados	58.8	58.7	58.7
	Público	BRT	5.5	5.5	10.9
		Alimentador BRT	4.4	4.4	4.4
		Línea 1	1.3	1.3	1.3
		Línea 2	0.0	2.2	0.0
		Autobús grande	17.0	17.0	17.0
		Autobús regular	319	319	319
		Subtotal	347	349	353
Pasajero - kilómetro (000 / hora punta)	Público	BRT	700	707	897
		Alimentador BRT	112	113	126
		Línea 1	837	843	824
		Línea 2	0	233	0
		Autobús grande	251	241	239
		Autobús regular	6,975	6,608	6,806
		Subtotal	8,876	8,744	8,893
Factor de ocupación promedio (Pasajero- kilómetro / Vehículo- km)	Público	BRT	126.4	127.5	82.2
		BRT Feeder	25.5	25.8	28.7
		Line-1	632.1	636.4	622.0
		Line-2	-	107.6	-
		Large Bus	14.8	14.2	14.1
		Regular Bus	21.9	20.7	21.3
		Subtotal	821	932	768
Número de pasajeros (000/hora punta)	Público	BRT	92	91	105
		Alimentador BRT	33	34	37
		Línea 1	66	68	65
		Línea 2	0.0	19.4	0.0
		Autobús grande	40	39	39
		Autobús regular	1,647	1,568	1,620
		Subtotal	1,880	1,819	1,866

Fuente: Resultados de la prueba de tráfico asignada por el Equipo de Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA



Fuente: Encuesta de recopilación de datos sobre los efectos de la mitigación del cambio climático del cambio de transporte público en el área metropolitana de Lima y Callao (Estudio del sistema de transporte público de JICA)

Figura 7.7 Comparación del resultado de la asignación de tráfico a lo largo de la Línea 2 del Metro

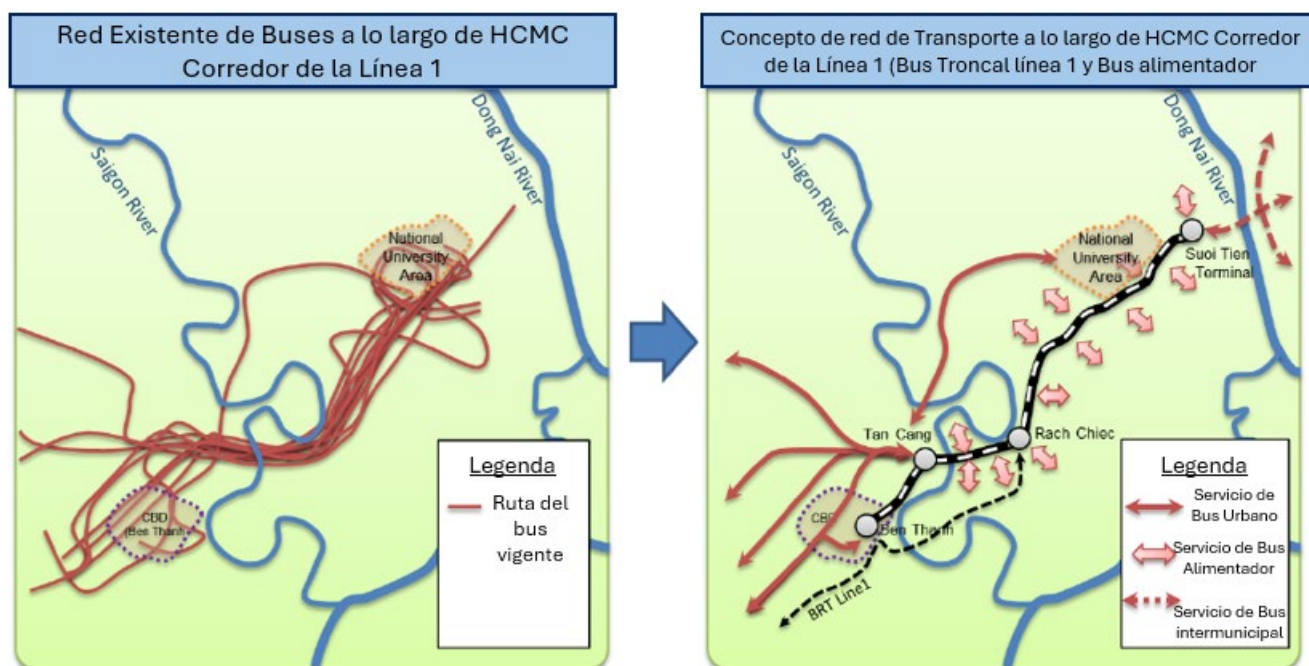


Fuente: Encuesta de recopilación de datos sobre los efectos de la mitigación del cambio climático del cambio de transporte público en el Área Metropolitana de Lima y Callao (Estudio del Sistema de Transporte Público de JICA)

Figura 7.8 Comparaciones del Resultado de Asignación de Tráfico a lo largo del Metropolitano

Idealmente, la oferta de servicios para los Casos 2 y 3 debería diseñarse con base en la experiencia de especialistas en transporte público y perfeccionarse mediante cálculos iterativos. Sin embargo, dentro del alcance de la colaboración entre el equipo de expertos de este estudio y el del Estudio del Sistema de Transporte Público, dichos ajustes no han sido implementados. Como resultado, los impactos de los proyectos sobre la reducción de emisiones de GEI, mencionados en la Sección 7.1, no fueron observados, y el Caso 2 incluso registró un nivel más alto de vehículo-kilómetros privados recorridos que el Caso 1. Este resultado podría sugerir erróneamente que “la Línea 2 del Metro podría contribuir al aumento del tráfico vehicular privado”.

Las Figuras 7.7 y 7.8 presentan los resultados de la asignación de tráfico a lo largo de la Línea 2 del Metro y del Metropolitano, respectivamente, pero no se identifican diferencias significativas entre los casos desde el punto de vista visual. En concordancia con el desarrollo de la Línea 2 del Metro o la extensión del Metropolitano, la red de rutas de autobuses debería ser reestructurada para maximizar los beneficios de estas intervenciones y evitar la competencia entre el transporte masivo de alta capacidad y los servicios convencionales de autobuses, como se ilustra conceptualmente en la Figura 7.9.



Fuente: Asistencia especial para la ejecución del proyecto (SAPI) para el proyecto de ferrocarril urbano de la ciudad de Ho Chi Minh (tramo Ben Thanh-Suoi Tien (línea 1))

Figura 7.9 Concepto para reestructuración de la ruta de transporte público a lo largo del corredor de transporte masivo

Se aplicó un enfoque simplificado para estimar el estado operativo del transporte público por carretera tras la introducción de los sistemas de transporte masivo. Con base en el factor de ocupación promedio (es decir, el número de pasajeros por vehículo, calculado como pasajero-kilómetros dividido entre

vehículo-kilómetros), los vehículo-kilómetros para los Casos 2 y 3 fueron estimados bajo la suposición de que el factor de ocupación promedio se mantiene igual al del Caso 1. Para la oferta de servicio de la Línea 2 del Metro (aplicable solo al Caso 2), se asumió una alta frecuencia operativa de dos minutos, con 108 pasajeros por tren, lo cual es significativamente inferior a la capacidad de la Línea 1 del Metro, que es de 636 pasajeros por tren. Cuando la frecuencia se redujo a un intervalo de seis minutos, la carga de pasajeros por tren se estimó en 323, lo que sigue siendo casi la mitad de la capacidad de la Línea 1 del Metro.

Los vehículo-kilómetros estimados para el transporte público se presentan en la Tabla 7.3. Cabe señalar que este enfoque se limita a los vehículos de transporte público y no considera los efectos sobre los automóviles particulares o los vehículos de carga derivados de la reducción de la congestión vial.

Tabla 7.3 Vehículo-kilómetro revisado del servicio de transporte público por casos

Indicador	Modo	Caso 1	Caso 2	Cas0 3
Vehículo-km (000 / hora)	BRT	5.5	5.5	10.9
	Alimentador BRT	4.4	4.4	4.4
	Línea 1	1.3	1.3	1.3
	Línea 2	0.0	2.2	0.0
	Autobús grande	17.0	17.0	17.0
	Autobús regular	319	319	319
	Subtotal	347	349	353
Factor de carga promedio (Pax-km / Veh-km)	BRT	126.4	127.5	82.2
	Alimentador BRT	25.5	25.8	28.7
	Línea 1	632.1	636.4	622.0
	Línea 2	-	107.6	-
	Autobús grande	14.8	14.2	14.1
	Autobús regular	21.9	20.7	21.3
	Subtotal	821	932	768
Vehículo-km (000/hora) (Ajustado según los pasajeros-km y el factor de carga del caso 1)	BRT	5.5	5.5	7.1
	Alimentador BRT	4.4	4.4	4.9
	Línea 1	1.3	1.3	1.3
	Línea 2	0.0	0.7	0.0
	Autobús grande	17.0	16.3	16.2
	Autobús regular	319	302	311
	Subtotal	347	330	341

Fuente: Equipo de Expertos JICA

2) Estimación de la Reducción de Emisiones de GEI por Caso

Las emisiones estimadas de CO₂ para los casos analizados se resumen en la Tabla 7.4. Se calcularon multiplicando el volumen de tráfico (vehículos-kilómetros) dentro del área de estudio por el factor de emisión de cada tipo de vehículo, tal y como se resume en la Tabla 4.9. Las reducciones anuales estimadas de emisiones para la línea 2 del metro y la ampliación del Metropolitano son de 5598 tCO₂/año y 21 778 tCO₂/año, respectivamente.

En el área metropolitana de Lima y Callao (AMLC), los automóviles privados son la principal fuente de emisiones de GEI, por lo que la reducción de los vehículos-kilómetro recorridos sigue siendo un objetivo clave de las medidas de mitigación.

Table 7.1 Estimated CO2 Emission by the Tested Cases

Indicador	Categoría	Modo	Caso 1 (Línea base)	Caso 2 (con Línea 2 del Metro)	Caso 3 (con extension del Metropolitano)
Emisiones de CO ₂ (tonelada/hora punta)	Privado	Autos particulares	874	876	868
	Carga	Camioneta ligera tipo furgoneta	13.5	13.5	13.5
		Camión de 2 ejes	36.3	36.2	36.2
		Camión pesado	42.5	42.5	42.5
		Subtotal	92.3	92.2	92.2
	Publico	BRT	4.7	4.7	6.0
		Alimentador BRT	1.1	1.1	1.2
		Línea 1	4.8	4.8	4.8
		Línea 2	0.0	2.6	0.0
		Autobús grande	14.9	14.3	14.2
		Autobús regular	96.5	91.4	94.2
		Subtotal	122	119	120
	Total		1,089	1,087	1,081
	Ahorro (brecha con el Caso 1)	a (tonelada/hora punta)	0	2.1	8.1
		b (tonelada/día): a/13 %	0	16.0	62.2
		c (tonelada/año): b*350	0	5,598	21,778

Fuente: Equipo Experto JICA

Se espera que los funcionarios del gobierno local practiquen los cálculos de emisiones de GEI utilizando los casos de prueba y empleando la versión actualizada de M-TRES. La hoja de cálculo en Microsoft Excel se proporciona como anexo del informe.

8. Estudio sobre Medidas de Co-beneficio

8.1 Co-beneficios representativos de los proyectos del sector del transporte

1) Iniciativas Internacionales

La acción climática genera numerosos co-beneficios—o efectos positivos colaterales—que van más allá de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El IPCC destaca el concepto de desarrollo resiliente al clima (CDR) en su Sexto Informe de Evaluación, publicado entre 2021 y 2023. Este se define como un proceso que integra medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, al tiempo que promueve el desarrollo sostenible para todos, desde las perspectivas ambiental, social y económica, las cuales son consideradas co-beneficios de la acción climática en un sentido amplio

Una de las iniciativas internacionales recientes en esta materia es la “Resolución sobre la Promoción de Sinergias, Cooperación o Colaboración para la Implementación Nacional de Acuerdos Ambientales Multilaterales y Otros Instrumentos Ambientales Relevantes”, copatrocinada por Japón junto con Fiyi, Canadá, Chile, Suiza, Noruega y Perú, y adoptada en la UNEA-6 en 2024.¹⁵ La resolución establece lo siguiente:

- Fortalecer las sinergias, la cooperación o la colaboración, según corresponda, al implementar sus respectivas obligaciones y compromisos en el marco de los acuerdos ambientales multilaterales y otros instrumentos ambientales relevantes, respetando al mismo tiempo los mandatos individuales de cada parte. Esto contribuirá a la implementación efectiva de las políticas y acciones ambientales nacionales, a la generación de beneficios ambientales globales y al cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, considerando la mejor evidencia científica disponible, el conocimiento indígena, el saber tradicional y el conocimiento local;
- Mejorar el conocimiento y la comprensión sobre los posibles co-beneficios de las sinergias, la cooperación o la colaboración, según corresponda, mediante el incremento de esfuerzos para recopilar y compartir buenas prácticas, así como fomentar el intercambio de información.

2) JICA's Approach

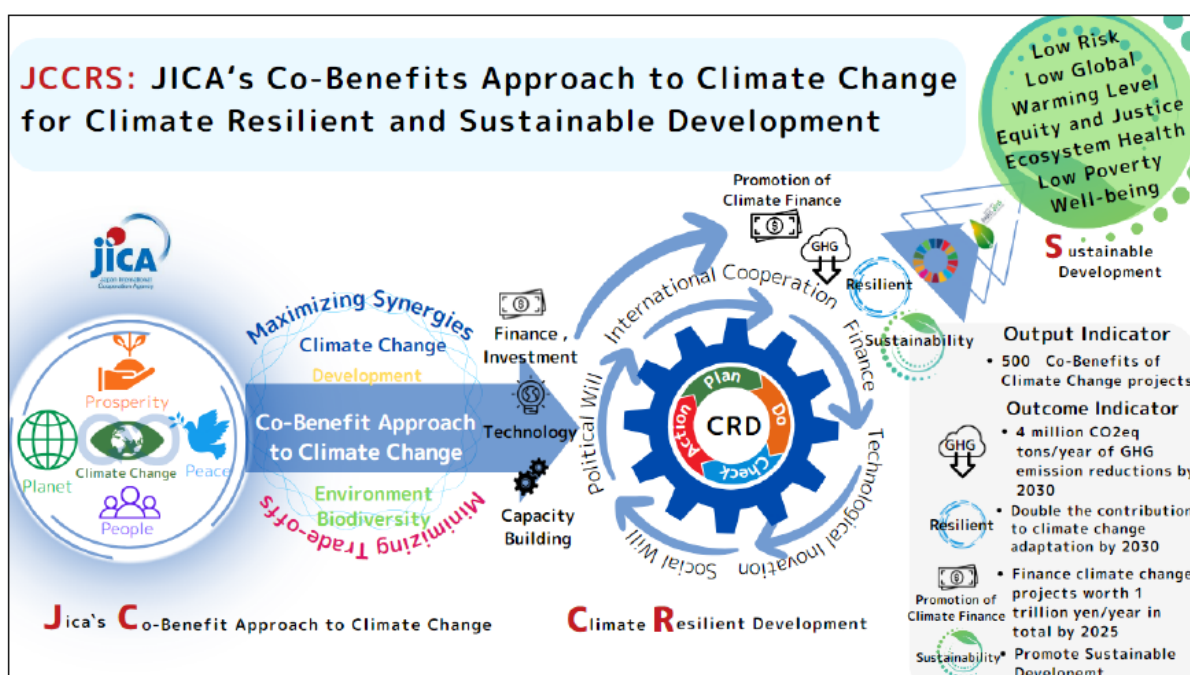
JICA está promoviendo su enfoque de co-beneficios frente al cambio climático con el objetivo de impulsar el desarrollo resiliente al clima (CRD) en los países socios, así como fomentar una toma de decisiones transformadora hacia una sociedad con bajo riesgo, baja emisión de carbono, saludable para las personas y el planeta, equitativa y justa.

El enfoque de co-beneficios de JICA frente al cambio climático es una estrategia integradora, inclusiva y holística que busca alcanzar el desarrollo sostenible, generando al mismo tiempo beneficios

¹⁵ <https://docs.un.org/en/UNEP/EA.6/RES.4>

adicionales en materia de adaptación y mitigación, en contribución al CRD. Estas medidas están orientadas a maximizar las sinergias y minimizar los posibles compromisos con el desarrollo sostenible, considerando el entorno natural y la biodiversidad.

Este enfoque se implementa conforme a las necesidades, estrategias y prioridades de cada país o región, mediante distintos esquemas, que incluyen cooperación técnica, préstamos y donaciones. A través de estos esquemas, JICA apoya a los países socios en el fortalecimiento de capacidades y en el financiamiento para la formulación de estrategias y políticas (Plan), su implementación (Do), la evaluación y el monitoreo (Check), y la mejora basada en los resultados de evaluación (Action). JICA contribuye así a decisiones sociales continuas que promueven la acción climática y el desarrollo sostenible mediante estos ciclos PDCA.



Fuente: JICA

Figura 8.1 Marco conceptual de los co-beneficios del cambio climático de la JICA para un desarrollo resiliente y sostenible al clima

Co-beneficios Representativos del Desarrollo del Transporte Masivo Los co-beneficios de la acción climática suelen manifestarse a nivel local y de manera más inmediata que los efectos globales y de largo plazo de la mitigación del cambio climático. El estudio se centra en el desarrollo del transporte masivo como una acción climática clave para fortalecer los servicios de transporte público y facilitar el cambio modal hacia este sistema en la región de la AMLC.

En la AMLC, la Línea 1 del Metro (ruta completa), la Línea 2 (ruta corta) y el Metropolitano (BRT) actualmente ofrecen servicios de transporte masivo caracterizados por operaciones rápidas, económicas, frecuentes, puntuales y de gran capacidad. Estas operaciones contribuyen de manera significativa al impacto climático mediante la reducción de emisiones de GEI. El estudio ha identificado

co-beneficios representativos de estos sistemas de transporte masivo desde las perspectivas ambiental, social y económica.

Desde el punto de vista ambiental, los sistemas actuales de transporte masivo contribuyen de manera evidente al uso de energía limpia y a la mejora de la calidad del aire:

- **Energía limpia:** La mayoría de los vehículos de carretera funcionan con gasolina y diésel en el AMLC, mientras que los trenes del metro funcionan con electricidad y los autobuses del Metropolitano con gas natural utilizan fuentes más amigables con el medio ambiente y reducen el consumo de gasolina y diésel en consecuencia.
- **Aire limpio:** al reducirse el consumo de gasolina y diésel, debe disminuir el volumen de emisiones contaminantes de los vehículos. La reducción de los contaminantes atmosféricos puede generar beneficios muy importantes para las personas y la sociedad. Por ejemplo, una mejor calidad del aire puede reducir las enfermedades respiratorias y otras enfermedades relacionadas. Esto puede contribuir a reducir los costos médicos correspondientes y mejorar el bienestar de los ciudadanos. El aire limpio también puede aumentar el atractivo turístico, especialmente en las AMLC, para disfrutar de unas vistas claras y hermosas de la ciudad con aire fresco, en lugar de una visibilidad deficiente con aire polvoriento.

Desde el punto de vista social, los transportes públicos actuales contribuyen en gran medida a la equidad social y a la seguridad:

- **Equidad Social:** Los sistemas de transporte público actuales ofrecen servicios rápidos, frecuentes y puntuales a los ciudadanos con tarifas asequibles. Por lo tanto, las personas con ingresos bajos o medios pueden ir al trabajo y a la escuela sin sufrir desventajas sociales. La motocicleta es un medio de transporte privado económico, pero una parte considerable de las mujeres parece reacia a utilizarla en el AMLC. Si se garantiza una buena accesibilidad al transporte público, es posible que no se produzcan problemas de género. Por lo tanto, los sistemas de transporte público también pueden garantizar la igualdad de género.
- **Seguridad y protección:** los sistemas de transporte público actuales cuentan con espacios exclusivos para su funcionamiento, como vías férreas y carriles exclusivos para autobuses, lo que puede mejorar la seguridad vial. Pueden gestionar un control de entrada y salida más estricto y, por lo tanto, proporcionar un servicio de seguridad más riguroso en los sistemas de las plataformas y dentro de los trenes y autobuses.

Desde el punto de vista económico, el transporte público actual contribuye de manera significativa a las oportunidades de inversión y a la sostenibilidad de las ciudades:

- **Oportunidades de inversión:** Los sistemas de transporte masivo requieren inversiones iniciales considerables y tecnologías avanzadas para su operación, mantenimiento y reparación. Asimismo, demandan una amplia gama de industrias auxiliares. Para mantener y seguir mejorando una operación rápida, frecuente y segura de manera sostenible, es necesario fomentar la innovación tecnológica continua y la adopción ágil de buenas prácticas provenientes de otros

países. Como resultado, se puede desarrollar y conservar infraestructura urbana moderna, al tiempo que se generan diversas oportunidades de inversión.

- Ciudad sostenible: El Desarrollo Orientado al Transporte (TOD, por sus siglas en inglés) es un tipo de planificación urbana que maximiza la cantidad de espacios residenciales, comerciales y recreativos dentro de una distancia caminable al transporte público. Los sistemas de transporte masivo pueden fomentar la renovación urbana en las zonas cercanas a las estaciones e inducir un desarrollo urbano compacto en torno a ellas, dentro de un radio accesible a pie. La estructura urbana basada en el transporte masivo favorece el uso del transporte público y resulta ambientalmente sostenible, en contraste con la expansión urbana dispersa que depende en gran medida del uso de vehículos privados.



Fuente: Equipo de Expertos JICA

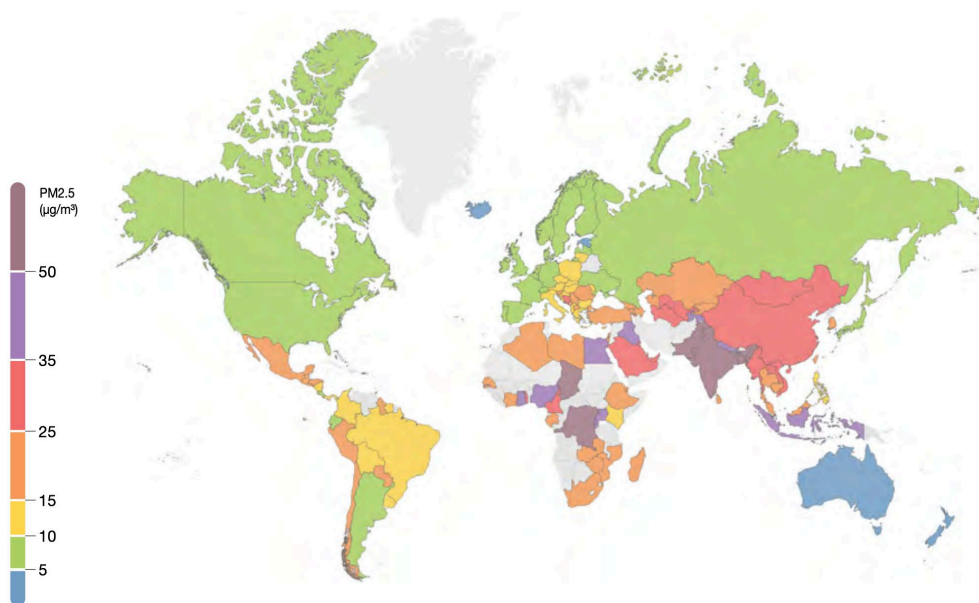
Figura 8.2 Co-beneficios identificados del desarrollo del transporte público en el AMLC

8.2 Selección de co-beneficios en el estudio

El objetivo principal del estudio es reducir las emisiones de GEI mediante el desarrollo del transporte público. Estos esfuerzos de reducción también generan elementos de co-beneficio, siendo uno de ellos la mejora notable de la calidad del aire. Las emisiones de los vehículos en circulación incluyen no solo gases de efecto invernadero, sino también contaminantes atmosféricos. Una reducción considerable puede contribuir significativamente a una mejor calidad del aire.

Lima es una de las ciudades más contaminadas de América en términos de calidad del aire, y dicha contaminación se debe en gran medida a una flota vehicular envejecida en el centro urbano.¹⁶ La Figura 8.3 indica que el Perú presenta una concentración relativamente alta de material particulado fino (PM_{2.5}) en promedio anual dentro del continente americano. La Figura 8.4 muestra que la concentración de PM_{2.5} alcanza niveles muy elevados en ciertos meses, como junio y julio de 2024. En comparación con Bangkok, Tailandia—una de las ciudades más afectadas por la contaminación del aire en el sudeste asiático—Lima registra niveles similares o incluso superiores de concentración de PM_{2.5}.

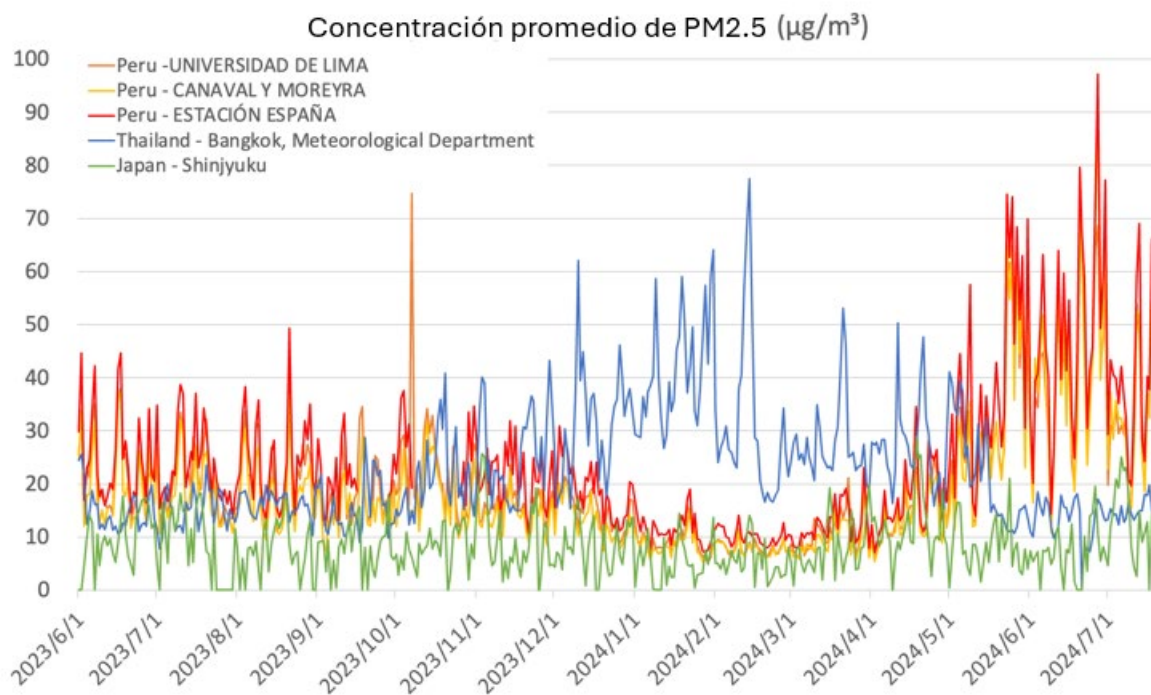
Dado que la contaminación del aire en el Perú, especialmente en Lima y Callao, es severa, este estudio pone énfasis en el efecto de mejora de la calidad del aire como uno de los co-beneficios de los proyectos de transporte público. La Tabla 8.1 presenta las características y los impactos en la salud de los principales contaminantes atmosféricos.



Fuente : Informe mundial sobre la calidad del aire 2024. IQAir.

Figura 8.3 Mapa mundial de la concentración media anual de PM_{2.5} de 2024

¹⁶ Asociación entre las visitas a urgencias por asma y las PM_{2.5} obtenidas por satélite en Lima, Perú. Environmental Research, Volumen 199, 2021.



Fuente: Perú: Datos sobre la calidad del aire proporcionados por la ATU. Tailandia: Sitio web del Departamento de Control de la Contaminación.

Japón: Sitio web del Gobierno Metropolitano de Tokio.

Nota: En el gráfico solo se han seleccionado varios sitios de cada ciudad, por lo que no representan los promedios de las ciudades.

Figura 8.4 Concentración media diaria de PM_{2.5} en estaciones de monitoreo de calidad del aire seleccionadas en Perú, Tailandia y Japón para comparación

Tabla 8.1 Características e impactos en la salud de los principales contaminantes del aire

Contaminantes	Características	Impactos en la salud	Directrices de la OMS sobre la calidad del aire ¹⁷
PM	Compuesto por sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, carbono negro, polvo mineral o agua. Las PM pueden tener diferentes tamaños y generalmente se definen por su diámetro aerodinámico, siendo las PM_{2.5} y las PM₁₀ las más comunes en el marco normativo y las más relevantes para la salud. Las partículas más finas (es decir, las PM_{2.5}) pueden proceder de fuentes primarias (por ejemplo, la combustión de combustibles en instalaciones de generación de energía, industrias o vehículos) y de fuentes secundarias (por ejemplo, reacciones químicas entre gases).	Capaz de penetrar profundamente en los pulmones y entrar en el torrente sanguíneo, causando efectos cardiovasculares (cardiopatía isquémica), cerebrovasculares (accidente cerebrovascular) y respiratorios. Tanto la exposición a largo plazo como a corto plazo a las partículas en suspensión se asocia con morbilidad y mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias. La exposición a largo plazo se ha relacionado además con resultados perinatales adversos y cáncer de pulmón.	PM_{2.5} Anual: 5 µg/m³ 24-horas: 15 µg/m³ PM₁₀ Anual: 15 µg/m³ 24-horas: 45 µg/m³
NO ₂	Las fuentes ambientales de NO ₂ son el resultado de la combustión a altas temperaturas de combustibles en procesos como los utilizados para la calefacción, el transporte, la industria y la generación de energía.	Estrechamente relacionado con el asma y otras afecciones respiratorias.	Anual: 10 µg/m³ 24-horas: 25 µg/m³
SO ₂	Derivado de la combustión de combustibles fósiles para calefacción doméstica, industrias y generación de energía (así como transporte).	La exposición al SO ₂ esta relacionada con ingresos hospitalarios y visitas a urgencias por asma	24-horas: 40 µg/m ³
CO	Producido por la combustión incompleta de combustibles carbonosos como la madera, la gasolina, el carbón, el gas natural y el queroseno. La fuente predominante en el aire ambiente son los vehículos de motor.	La exposición al CO puede causar dificultades respiratorias, agotamiento, mareos y otros síntomas similares a los de la gripe.	24-horas: 4 mg/m ³

Fuente: OMS sitio web.

¹⁷ Las directrices de la OMS sobre la calidad del aire recomiendan niveles y objetivos provisionales para los contaminantes atmosféricos comunes. Sirven como objetivo global para que los gobiernos nacionales, regionales y municipales trabajen en la mejora de la salud de sus ciudadanos mediante la reducción de la contaminación atmosférica.

8.3 Estado actual de la evaluación de Co-beneficios en el Perú

1) Esfuerzos actuales en la estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos

La Dirección General de Calidad Ambiental (DGCA) del MINAM es responsable de la gestión de la calidad del aire. La DGCA ha elaborado un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en todo el Perú. Los factores de emisión para los contaminantes provenientes de vehículos se basan principalmente en las directrices del EMEP/EEA, como se muestra en la Tabla 4.10.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, la ATU calcula las emisiones anuales de PM_{2.5} provenientes del transporte público (COSAC, Línea 1 del Metro, taxis, entre otros). La Tabla 8.2 presenta las emisiones correspondientes al periodo 2021–2024. Las emisiones de PM_{2.5} del transporte público en 2024 fueron de 390.43 toneladas, lo que representa una disminución de aproximadamente 112.47 toneladas respecto a 2023. Según un análisis de la ATU, una de las razones de la reducción se debe a los cambios en los factores de emisión utilizados. En 2023 se aplicaron factores más altos, que reflejaban tecnologías más antiguas. Para 2024, los factores de emisión fueron actualizados, reduciendo significativamente las emisiones proyectadas sin que ello implique necesariamente una transformación física de la flota vehicular que opera en Lima y Callao. La mayor proporción provino del Transporte Regular (buses), que representó alrededor del 98%. La Línea 1 del Metro utiliza únicamente electricidad y no emplea combustibles, por lo que sus emisiones son nulas, mientras que COSAC registró 0.41 toneladas.

La ATU también calculó la cantidad de emisiones de PM_{2.5} por pasajero (Tabla 8.3). La cantidad de emisiones por pasajero es más alta en el Transporte Regular (0.000132 kg/pasajero) y muy baja en COSAC (0.0000025 kg/pasajero). El factor de emisión para PM_{2.5} proviene del “EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook”.

Tabla 8.2 Emisiones del transporte público en Lima/Callao (t/año)

Tipos de transporte público	2021	2022	2023	2024
Transporte Regular (Autobús)	601.2	523.3	490.95	381.0
Corredores Complementarios (Bus)	3.8	2.9	2.31	1.54
COSAC		0.5	0.46	0.41
Línea 1	0.0	0.0	0.0	0.0
Taxis	23.4	9.1	9.177	7.48
Total	628.5	535.8	502.9	390.43

Fuente: Informe D-000106-2025-ATU-DAAS-SDA, Informe D-000052-2024-ATU-DAAS-SDAA, Informe D-000040-2022-ATU-DAAS-SDAA

Tabla 8.3 Emisiones de PM_{2.5} por pasajero del transporte público en Lima/Callao (kg/pasajero)

Tipos de transporte público	2021	2022	2023	2024
Transporte Regular (Autobús)	0.000158	0.000147	0.000137	0.000132
Corredores Complementarios (Bus)	0.000006	0.000031	0.000026	0.000018
COSAC		0.000005	0.000003	0.0000025
Línea 1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Taxis	0.000070	0.000029	0.000028	0.000030
Total	0.000142	0.000127	0.000116	0.000108

Fuente: Informe D-000052-2024-ATU-DAAS-SDAA, Informe D-000040-2022-ATU-DAAS-SDAA

2) Esfuerzos actuales para evaluar los impactos de la contaminación del aire en la salud

En el Perú, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA), en cooperación con el MINAM, investigó el impacto de la contaminación del aire sobre la mortalidad en Lima y Callao, y elaboró un informe final en marzo de 2021. Este informe presenta un análisis de las muertes prematuras estimadas causadas por la exposición a PM2.5, junto con la contribución de las emisiones vehiculares a los niveles de PM2.5 provenientes del tráfico vial. Además, se examina de manera exhaustiva la carga generada por los vehículos que no cumplen con los estándares actuales de emisiones, y se destacan los beneficios de reforzar el cumplimiento normativo y fortalecer el programa de inspección y mantenimiento vehicular (I&M).

- Paso 1: Desarrollo de escenarios. Especificar las condiciones bajo un escenario de “negocios como siempre” o “escenario de referencia” y bajo un “escenario regulatorio” en el cual se implementa la regulación propuesta. Con base en estas definiciones de escenarios, se desarrollan un escenario regulatorio y superficies de calidad del aire de referencia
- Paso 2: Estimación de emisiones. Elaborar o recopilar inventarios de emisiones del sector transporte. Desarrollar una estimación de la proporción de vehículos que no cumplen con la normativa vigente. Estimar las emisiones excedentes asociadas a los vehículos no conformes dentro del parque automotor de Lima-Callao.
- Paso 3: Modelación de calidad del aire. Obtener y procesar datos de calidad del aire, tales como estimaciones satelitales y registros de estaciones de monitoreo, para describir las condiciones de referencia en Lima-Callao. Aplicar métodos de modelación de calidad del aire para estimar el impacto de las emisiones vehiculares sobre las concentraciones de PM2.5. El estudio emplea un modelo sencillo (una fórmula empírica basada en la relación entre las concentraciones de contaminantes y las emisiones), sin recurrir a modelos físicos basados en química atmosférica o procesos de difusión.
- Paso 4: Estimación del impacto en la salud. Cuantificar las muertes prematuras asociadas a las concentraciones de PM2.5 utilizando el programa “Environmental Benefits Analysis and Mapping Program, Community Edition (BenMAP-CE)” y conjuntos de datos relevantes, que incluyen población, calidad del aire, incidencia de mortalidad basal y relaciones concentración-respuesta derivadas de estudios epidemiológico.
- Paso 5: Evaluación. Aplicar estimaciones de valoración económica sobre los valores de mortalidad cuantificados para describir la carga de mortalidad atribuible al PM2.5 en términos monetarios.

La Tabla 8.4 presenta la carga estimada de mortalidad atribuible a las emisiones de PM2.5 provenientes del sector transporte (vehículos motorizados). El informe estima que más de la mitad de todas las muertes relacionadas con PM2.5 son causadas por el sector transporte, con un total estimado de 10,556 fallecimientos, lo que evidencia el impacto altamente significativo de este sector en la contaminación del aire en la región. El número estimado de muertes causadas por emisiones de PM2.5

provenientes de vehículos que no cumplen con la normativa vigente se sitúa entre 248 y 991, lo que resalta la importancia de implementar medidas correctivas.

El informe señala que el siguiente paso requerirá análisis mediante modelos más avanzados de calidad del aire, como los modelos fotoquímicos, así como evaluaciones de exposición en zonas cercanas a vías congestionadas, entre otros aspectos.

Tabla 8.4 Estimación de la carga de mortalidad por PM2.5 en el sector del transporte

Contribución de las emisiones de los vehículos	Muertes atribuibles anuales	Costo económico anual (\$ de 2015, en millones)
Límite inferior	5,150	6,200
Límite superior	6,200	7,500

Fuente: Evaluación de la carga de mortalidad de la contaminación del aire en Lima-Callao. 31 de marzo de 2021.

8.4 Métodos para evaluaciones de co-beneficios

Esta sección examina los métodos de evaluación para valorar los efectos de reducción de la contaminación del aire (PM, NOx, SO₂, CO, etc.) como uno de los co-beneficios asociados con las operaciones de Tránsito Masivo. Se pueden considerar los siguientes métodos de evaluación para valorar los efectos de reducción de la contaminación del aire.

- **Evaluación de emisiones:** Un método que evalúa la contaminación del aire basándose en la cantidad de emisión de contaminantes atmosféricos de las carreteras a lo largo de las rutas de Tránsito Masivo. Este método evalúa en qué medida aumentan o disminuyen las emisiones de contaminantes atmosféricos antes/después de la construcción del Tránsito Masivo.
- **Evaluación de concentración:** Un método que evalúa la calidad del aire estimando la concentración de contaminantes atmosféricos a lo largo de las rutas de Tránsito Masivo. Este método evalúa el aumento o disminución de la concentración de contaminantes atmosféricos alrededor de la carretera objetivo o en toda la ciudad antes/después de la construcción del Tránsito Masivo. Dado que los contaminantes atmosféricos a menudo se evalúan basándose en la concentración en términos de cumplimiento de las normas ambientales o impactos en la salud, este método es preferible para tales evaluaciones.

Las herramientas y los datos necesarios para cada evaluación y sus ventajas/desventajas se resumen en la Tabla 6.1. En este estudio, se examinará la disponibilidad de cada conjunto de datos en Lima/Callao y se propondrán métodos apropiados después de una mayor consideración.

Tabla 8.5 Herramientas y datos requeridos para cada evaluación y las ventajas/ desventajas de su aplicación

Método		Herramienta	Datos	Ventajas / Desventajas
Nivel de emisión		Hoja de cálculo como Excel.	Volumen de tráfico por tipo de vehículo en las carreteras objetivo del cálculo Factor de emisión de contaminantes del aire por tipo de vehículo Velocidad promedio del vehículo en las carreteras objetivo, si está disponible	Se puede calcular usando Excel u hojas de cálculo similares. No se puede evaluar la calidad del aire, solo los niveles de emisión.
Nivel de concentración	Modelo Simple	Modelos de estado estacionario como AERMOD y CALPUFF.	Emisiones de contaminantes del aire de las carreteras objetivo del cálculo. Datos meteorológicos (datos de estado estacionario). Cobertura del suelo, datos de elevación y otros.	Se pueden usar las herramientas proporcionadas por la US- EPA. No es posible responder a condiciones meteorológicas cambiantes, solo simulaciones bajo condiciones meteorológicas especificadas. Las reacciones fotoquímicas complejas en la atmósfera no están incluidas en el modelo, y los contaminantes del aire simulados son limitados.
	Modelo Sofisticado	Modelos de transporte químico tridimensionales como CMAQ, WRF-Chem.	Datos de emisiones de contaminantes del aire, incluidas fuentes móviles y estacionarias del área objetivo, p. ej., la ciudad en su conjunto. Datos meteorológicos (datos horarios) Cobertura del suelo, datos de elevación y otros.	Alta precisión en la simulación de la calidad del aire debido a la inclusión de procesos físicos y químicos en la atmósfera como reacciones, difusión y transporte. Posibilidad de simular diversas escalas temporales y espaciales. La preparación para ejecutar el modelo y los datos necesarios, así como la operación, requieren recursos significativos.

Fuente: Equipo de trabajo JICA

8.5 Evaluación de co-beneficios (reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos)

1) Método

La evaluación de co-beneficios se realizó mediante la estimación de las reducciones en las emisiones de contaminantes atmosféricos derivadas de la introducción de sistemas de transporte masivo (evaluaciones de emisiones).

Transporte público objetivo: Siguiendo la metodología 2, el análisis se centró en la Línea 2 del Metro y el Metropolitano (incluida su extensión norte).

Contaminantes atmosféricos objetivo: PM2.5, NOx y SO₂. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) publica regularmente los factores de emisión vehicular para estos contaminantes, lo que permite calcular las emisiones con base técnica.

Área de análisis: Toda la región Lima/Callao, en coherencia con el ámbito territorial definido en la metodología 2.

Cálculo de reducciones de emisiones: De forma similar a la evaluación de CO₂ en la metodología 2, se utilizaron los resultados del modelo, como los datos de vehículo-kilómetro, para calcular las emisiones de cada contaminante en los escenarios Con transporte masivo y Sin transporte masivo. La reducción de emisiones se calculó como la diferencia entre ambos resultados.

Fórmula de cálculo de emisiones: Las emisiones de cada contaminante se calcularon utilizando la siguiente fórmula básica:

$$Emisión = \sum_i \sum_j (Volumen\ de\ Tráfico\ (km\ en\ vehiculo)_{i,j} \times factor\ de\ emisión_{i,j})$$

i: tipo de vehículo

j: año de producción

2) Datos

Volumen de tráfico: Los mismos datos (vehículo-km) utilizados en la metodología 2 (Tabla 7.3).

Factores de emisión de vehículos: Los factores de emisión para PM2.5, NOx y SO₂ utilizan los últimos valores publicados por el MTC (Tabla 4.10).

3) Resultados y Análisis

Las reducciones estimadas de emisiones de contaminantes atmosféricos se presentan en la Tabla 8.6 (Línea 2 del Metro) y la Tabla 8.7 (Metropolitano, incluida la extensión norte). La Tabla 8.6 muestra que la operación de la Línea 2 del Metro ha generado reducciones en todos los contaminantes evaluados. Por ejemplo, las emisiones de PM2.5 en toda el área objetivo se estimaron en 193.8 toneladas por año en ausencia de la Línea 2; sin embargo, bajo el escenario con operación de la Línea 2, se estimó una

reducción de 5.4 toneladas por año, equivalente al 2.8%. En este cálculo, la demanda de la Línea 2 se establece en 72,490 pasajeros por día (equivalente a 25.4 millones de pasajeros por año).

Por otro lado, las reducciones de emisiones atribuibles al Metropolitano (incluida la extensión norte) son menores en comparación con las de la Línea 2 del Metro, particularmente en lo que respecta a PM_{2.5} y NO_x. Por ejemplo, las reducciones de PM_{2.5} derivadas de la operación del Metropolitano se estimaron en 2.9 toneladas por año (1.5%), aproximadamente la mitad de lo alcanzado por la Línea 2. En este cálculo, la demanda se establece en 289,790 pasajeros por día (equivalente a 101.4 millones de pasajeros por año).

Diversos estudios han examinado el potencial de los sistemas ferroviarios urbanos y de BRT para mejorar la calidad del aire mediante el cambio modal de pasajeros. Por ejemplo, un estudio reciente sobre el Metro de Mumbai en India (Líneas 2A y 7)¹⁸ encontró que las operaciones del Metro redujeron las emisiones en 133 kg/día (equivalente a 47 toneladas/año) de NO_x y 82 kg/día (equivalente a 29 toneladas/año) de material particulado (PM). Esta evaluación asume una demanda de 1.56 millones de pasajeros/día (equivalente a 546.0 millones de pasajeros/año).

De manera similar, un estudio sobre el Metro de Delhi en India¹⁹ encontró que las reducciones de emisiones derivadas de las operaciones del Metro fueron de 299 toneladas/año de NO_x y 23 toneladas/año de PM₁₀ en 2006 (considerando 3 líneas de metro), y de 1,320 toneladas/año de NO_x y 107 toneladas/año de PM₁₀ en 2011 (considerando 6 líneas). La demanda en 2006 se estableció en 0.451 millones de pasajeros/día (equivalente a 157.9 millones de pasajeros/año).

Un estudio de JICA sobre la Línea 1 del Metro de Ciudad Ho Chi Minh²⁰ indica que las operaciones del Metro reducen las emisiones en 430 toneladas/año de NO_x y 24 toneladas/año de PM_{2.5}. La demanda reportada es de 127,968 pasajeros/día (equivalente a 44.8 millones de pasajeros/año).

Como se menciona, las reducciones de emisiones de contaminantes atmosféricos varían significativamente según el caso. Esto puede atribuirse a diversos factores, incluyendo la demanda, la composición de los tipos de vehículos base y sus edades, los vehículos del proyecto (trenes o autobuses eléctricos), así como los factores de emisión vehicular aplicados.

¹⁸ Evaluating the emission reduction potential of first underground metro rail in Mumbai, India through a modal shift and energy use perspective. Aryan et al. Discover Sustainability, 2025.

¹⁹ Measuring the air pollution benefits of public transport projects. Maureen Cropper and Palak Suri. Regional Science and Urban Economics. 2023.

²⁰ Final Report of Project to Support for Planning and Implementation of the Nationally Determined Contributions in Viet Nam (SPI-NDC). JICA. 2025.

Tabla 8.6 Resultados de la evaluación de emisiones: reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos mediante la operación de la Línea 2

	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂
SIN Línea 2 (toneladas/año)	193.8	9,701	137.9
CON Línea 2 (toneladas/año)	188.4	9,566	136.4
Reducción de emisiones (toneladas/año)	5.4	135	1.5
Tasa de reducción (%)	2.8	1.4	1.1

Fuente: Equipo de trabajo JICA

Tabla 8.7 Resultados de la evaluación de emisiones: reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos mediante la operación del Metropolitano (incluida la extensión norte)

	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂
SIN Metropolitano (toneladas/año)	193.8	9,701	137.9
CON Metropolitano (toneladas/año)	190.9	9,651	136.4
Reducción de emisiones (toneladas/año)	2.9	50	1.5
Tasa de reducción (%)	1.5	0.5	1.1

Fuente: Equipo de trabajo JICA

8.6 Para evaluaciones adicionales

Este estudio realizó evaluaciones de emisiones para dos sistemas de transporte masivo. Evaluar las emisiones de contaminantes atmosféricos es fundamental para comprender la cantidad real de contaminantes emitidos por los sistemas de transporte analizados.

Por otro lado, dado que los contaminantes atmosféricos afectan directamente la salud humana—por ejemplo, al provocar enfermedades respiratorias—es deseable evaluar también sus efectos a nivel de concentración mediante modelos de simulación de calidad del aire. Las evaluaciones de concentración permiten determinar si la implementación de medidas correctivas planificadas puede reducir cuantitativamente la concentración ambiental de contaminantes y verificar si se alcanzan los estándares ambientales establecidos.

Sin embargo, la estimación de concentraciones de contaminantes no es tan directa como la evaluación de emisiones. Requiere una preparación considerable, que incluye la recopilación de una gran cantidad de parámetros y el manejo de modelos de simulación de calidad del aire.

A continuación, se describen los principales pasos para la evaluación de concentraciones:

- **Paso 1: Preparación de modelos de calidad del aire, por ejemplo, un modelo simple como AERMOD²¹ o el modelo sofisticado CMAQ²².**
- **Paso 2: Preparación de los datos necesarios para los modelos, por ejemplo, datos meteorológicos, datos del terreno, datos de emisiones, concentración inicial/límitrofe de contaminantes atmosféricos, datos de procesos químicos.**
- **Paso 3: Calibración de los modelos, por ejemplo, simulaciones de casos típicos en el pasado.**
- **Paso 4: SIN simulación de caso, es decir, simulación en condiciones SIN el sistema de transporte público objetivo.**
- **Paso 5: CON simulación de caso, es decir, simulación en las condiciones CON el sistema de transporte público objetivo.**
- **Paso 6: Análisis de los resultados, por ejemplo, estimación de las reducciones de concentración calculando las diferencias entre el caso SIN y el caso CON.**

Aunque la simulación de la calidad del aire requiere un cierto nivel de experiencia, Perú cuenta con varias empresas consultoras capaces de realizar este tipo de simulaciones (Tabla 8.8). Entre ellas, la experiencia y otros detalles de SGS se muestran en la Tabla 8.9.

²¹ <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models#aermod>

²² <https://www.epa.gov/cmaq>

Tabla 8.8 Ejemplos de empresas consultoras en Perú capaces de realizar simulaciones de calidad del aire

Nombre de la firma consultora	Servicios relacionados con simulaciones de calidad del aire
ASD Consultants	Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos y modelización de la calidad del agua y el ruido.
CENESAM	Modelo de calidad del aire mediante AERMOD.
SGS Peru (ECOTECNOS)	Modelo de calidad del aire mediante AERMOD, CALPUFF y CMAQ.
Xertek Life	Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en entornos urbanos e industriales.

Fuente: Sitio web de cada compañía
ECOTECNOS: Parte del Grupo SGS

Tabla 8.9 Servicios de SGS Perú (ECOTECNOS) en Relación a Simulaciones de Calidad del Aire

Experiencias	Múltiples simulaciones de la calidad del aire tanto para organismos gubernamentales como para empresas privadas en el contexto de evaluaciones de impacto ambiental (EIA) y estudios científicos.
Objetivos	Proyectos destinados normalmente a evaluar los posibles impactos de las operaciones industriales, los proyectos de infraestructura y las actividades de transporte en la calidad del aire a nivel local y regional.
Modelos aplicados	AERMOD (para modelos de dispersión reglamentarios), CALPUFF (para terrenos complejos y transporte de largo alcance) y, en algunos casos, modelos avanzados como CMAQ para análisis regionales.
Contaminantes simulados	Principalmente PM10, PM2.5, NOx, SO ₂ , CO, y, cuando sea necesario, otros contaminantes peligrosos.
Recursos humanos	Cuatro ingenieros y modeladores sénior con experiencia directa en la ejecución e interpretación de los resultados de estos modelos, con el apoyo de personal adicional para la gestión de datos, el monitoreo de campo y la elaboración de informes.
Otras experiencias	Estudios relacionados, como evaluaciones del impacto del ruido, los olores y el clima, integrando herramientas de dispersión y simulación en evaluaciones medioambientales multidisciplinarias.

Fuente: Entrevista a SGS Perú.

9. Conclusiones y Recomendaciones

En general, el Equipo de Expertos de JICA valora los esfuerzos del gobierno del Perú en la implementación de acciones climáticas relacionadas con el sector de transporte urbano, mediante el trabajo conjunto del Ministerio del Ambiente (MINAM), el MTC y la ATU. Para seguir facilitando dichos esfuerzos, se presentan conclusiones y recomendaciones.

1) Conclusiones

El Estudio ha obtenido las siguientes conclusiones:

- En el AMLC, el desarrollo del transporte masivo es una acción climática efectiva. Contribuye significativamente al transporte sostenible dentro de un sistema integrado de transporte urbano, a la eficiencia energética mediante el uso de fuentes de energía menos contaminantes y a la mejora de las condiciones viales, donde se logran menores tiempos de viaje y menor consumo de combustible.
- El Estudio introdujo dos metodologías de estimación para calcular la reducción de emisiones de GEI por un proyecto de transporte masivo. Después de varias sesiones, incluidas sesiones en línea, es evidente que ambas son aplicables para la ATU.
- La Metodología 1 es efectiva para un solo proyecto de transporte masivo y funciona bien para el seguimiento de las NDC con un sistema MRV adecuado durante un periodo de monitoreo determinado.
- La Metodología 2 es adecuada para evaluar uno o varios proyectos de transporte masivo mediante el M-TRES en redes de transporte existentes o futuras. Sin embargo, el Estudio no ha demostrado completamente las características de la Metodología 2 debido a la falta de vinculación con los trabajos de planificación del transporte, como ya se ha informado.
- El desarrollo del transporte masivo en el AMLC puede generar diversos co-beneficios. La combinación de acciones climáticas (desarrollo del transporte masivo) y co-beneficios puede allanar el camino hacia el CRD.
- Entre los co-beneficios identificados en el Estudio, se destacó la reducción de la contaminación del aire. Considerando el volumen de reducción calculado con los resultados de la Metodología 2, el Estudio concluye que el desarrollo del transporte masivo reduce significativamente los contaminantes atmosféricos.

2) Recomendaciones

Se informa que un nuevo estudio del Plan Maestro de Transporte Público se iniciará en la ATU. Para abordar el cambio climático en el próximo estudio del plan maestro, el Estudio formula recomendaciones prácticas:

- Se recomienda que la ATU adopte los productos del Estudio como activos propios. Estos productos incluyen las dos metodologías de cálculo de reducción de emisiones de GEI por proyectos de transporte masivo y el cálculo de reducción de contaminantes atmosféricos

mediante la metodología de evaluación de emisiones. Estas hojas de cálculo se adjuntan al informe como anexos.

- Para la Metodología 1, las entrevistas presenciales con los usuarios del transporte masivo son cruciales para comprender el cambio modal hacia un proyecto de transporte masivo. El Estudio utiliza una encuesta de entrevistas algo antigua, realizada en 2013. Actualmente, la participación del transporte privado ha ido aumentando en el AMLC. Por ello, se recomienda realizar una nueva encuesta de entrevistas.
- La Metodología 2 se aplicó en el Estudio con algunas limitaciones. Se recomienda que la Metodología 2 se implemente como parte del trabajo de planificación del transporte público. En ese caso, algunas rutas de buses duplicadas deberían modificarse y nuevas rutas alimentadoras deberían añadirse a una nueva estación de metro cuando exista una línea de metro propuesta en la red de transporte, como se ilustra en la Figura 7.9.
- Para implementar y avanzar de manera sostenida el MRV para las medidas NDC en el sector transporte lideradas por la ATU, como ECM25, ECM26 y ECM27, se recomiendan específicamente los siguientes tres puntos:
 - Incorporar y aplicar la metodología MRV propuesta y la estructura/procedimiento organizacional en la actualización de las medidas de mitigación del transporte público, en estrecha coordinación con el MTC.
 - Desarrollar un plan de fortalecimiento institucional sobre el MRV para las medidas de mitigación del transporte público y llevar a cabo programas de desarrollo de capacidades.
 - Formular un protocolo interinstitucional entre la ATU, el MTC y el MINAM sobre el MRV para las medidas de mitigación del transporte público.
- El Estudio mostró cómo calcular la reducción de contaminantes atmosféricos mediante la metodología de evaluación de emisiones basada en los resultados de la Metodología 2. Para evaluar la contaminación del aire a nivel local con mayor detalle, se recomienda que la evaluación de concentraciones ²³ se realice mediante trabajos de simulación de calidad del aire, preferiblemente por un instituto de investigación local o una empresa consultora, con el fin de manejar grandes volúmenes de datos locales y cálculos complejos.

²³ Un método que evalúa la calidad del aire estimando la concentración de contaminantes atmosféricos a lo largo de las rutas de transporte masivo. Este método analiza los niveles de concentración de contaminantes alrededor de la vía objetivo o en toda la ciudad antes o después de la construcción del sistema de transporte masivo.

Appendix

Appendix-1 Sample of Questionnaire

Appendix-2 Calculation Sheet for Method 1

2-1: Calculation Sheet for Metro

2-2: Calculation Sheet for Metropolitano

Appendix-3 Calculation Sheet for Method 2

QUESTIONNAIRE

Survey #:

Date:..... Time:..... Survey Location:..... Surveyor:.....

1. What is the purpose of the trip today?			
☐ 1. Commute to or from work	☐ 3. Shopping or other errands	☐ 5. Visiting or entertainment	
☐ 2. Commute to or from school	☐ 4. Go to hospital	☐ 6. Other.....	
2. Origin: Destination: Total travel distance from Origin to Destination (km)			
3. How often do you use BRT?			
☐ 1. Daily	☐ 3. Only weekend	☐ 5. Rarely	
☐ 2. Once/twice a week	☐ 4. Once/twice a month		
4. Station you get on the BRT (A)?.....		Station you get off the BRT (B)?.....	
4.1 How do you get from origin to the BRT station (A)?			
☐ 1. Walking	☐ 2. Bus.....(bus route)	☐ 3. Motorcycle/motor taxi	☐ 4. Other.....
Distance from origin to BRT station.....km		How long does it take?.....(minute)	
4.2 How do you get from the BRT station (B) to final destination?			
☐ 1. Walking	☐ 2. Bus.....(bus route)	☐ 3. Motorcycle/motor taxi	☐ 4. Other.....
Distance from BRT station to destination.....km		How long does it take?.....(minute)	
5. If not using BRT, what mode do you usually use for travel?			
☐ 1. Private car	☐ 2. Motorcycle	☐ 3. Bicycle	
☐ 4. Motor taxi/Grabbike	☐ 5. Taxi/Grab	☐ 6. Bus [Move to No. 6]	
6. If you travel by bus: How many bus routes you have to take? routes. How do you get to station?			
From origin to bus station	☐ 1. On foot	☐ 2. Motorcycle/motor taxi	☐ 3. Others.....
Distance from origin to bus station.....(km)	How long does it take?.....(minute)		
From bus station to destination	☐ 1. On foot	☐ 2. Motorcycle/motor taxi	☐ 3. Others.....
Distance from bus station to destination.....(km)	How long does it take?.....(minute)		
Personal and household info			
Sex	☐ 1. Male	☐ 2. Female	
Age	☐ 1. ≤ 17	☐ 3. 35 - 64	
	☐ 2. 18 - 34	☐ 4. ≥ 65	
Education level	☐ 1. Primary school	☐ 3. College	
	☐ 2. Middle or high school	☐ 4. Graduate or higher	
Occupation	☐ 1. Student	☐ 2. Office staff	
	☐ 3. Business owner	☐ 4. Military	
	☐ 5. Retired	☐ 6. Unemployed	☐ 7. Others

This questionnaire should be applied for passengers who would have made the trip anyway without the BRT currently using.

The Calculation Sheet to Estimate GHG Emission Reductions by Metro Operation in Peru

Version 1.0

October 2025

Objectives	This calculation sheet enables to estimate GHG emission reductions by Metro operation in Peru for the purpose of NDC tracking.
Applicability	The calculation sheet is applicable for estimation of GHG emission reductions of Metro operation in Peru covering both existing and newly constructed Metro.
Explanation of each sheet	Summary This sheet summarize the results of GHG emission reduction calculation, including its objective, applied methodology, analysis period, emission reductions, and supporting graphs. The user input the necessary information in ORANGE cells .
	Calculation This is a sheet for calculating GHG emissions. The user enter the necessary data in ORANGE cells , then emissions/ emission reductions are calculated and displayed automatically.
	Methodology Provides details of the methodology to estimate GHG emission reductions by Metro operation, by showing a set of formulae and necessary parameters.
	Assumption If there are assumptions in the Input values of the Calculation sheet, enter the details in this sheet.

Please do not modify/input any data in other than "ORANGE cells" of each sheet.

Summary

Mitigation measure	*Input data in ONLY "Orange cells"			
	Operation of the Metro Line 1 in Lima/Callao.			
Objectives	The objectives of the mitigation measure is to reduce GHG emissions by the operation of the Metro Line 1. This calculation sheet is used for quantifying the emission reductions.			
Applied methodology	The Methodology to Estimate GHG Emission Reductions by Metro Operation for the NDC Tracking in Peru			
Analysis period	2024	to	2030	
Emission reductions (tCO ₂ /year)	2024 ##### 2025 2026 2027 2028 2029 2030			
Emission reductions (Cumulative) (tCO ₂ /period)	#####			
Graph	100,000 90,000 80,000 70,000 60,000 50,000 40,000 30,000 20,000 10,000 0 Baseline emissions Project emissions Emission reductions Cumulative emission reductions Emission Reductions 400,000 300,000 200,000 100,000 0 Baseline/ Project/ Emission reductions (tCO₂/year) Cumulative emission reductions (tCO₂/period) 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 Year			

Results of Calculation

Table 1: Project Emissions									
Emission Reduction	Unit	Explanation	Year						
			2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Emission Reduction (cumulative)	CO ₂ /year	Annual emission reductions of the target year.	#VALUE!						
Emission Reduction (cumulative)	CO ₂ /period	Cumulative emission reductions of the period (from the first year to the target year).	#VALUE!						
Baseline Emission	CO ₂ /year	Annual emissions under the situation that if the Metro would not have been operated (emissions under the baseline case).							
Project Emission	CO ₂ /year	Annual emissions under actual operation of the Metro of the target year.							

Inputs

***Input data in ONLY "Orange cells"**

Parameter	Unit	Instruction	Year						
			2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Value	Source	Value	Source	Value	Source	Value	Source	Value	Source
Number of annual total passengers traveled by the Metro in the target year (P _a)	passenger/year	Enter the actual annual passenger for the target year in the Value column. Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained. If the value is an estimated value, describe the method in the Source column.							
Average trip distance of the passenger traveled by the Metro in the target year (TD _a)	km/tp	Enter the actual average trip distance of the metro passenger in the target year in the Value column (distance traveled by the Metro per one tp). Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained. If the value is an estimated value, describe the method in the Source column.							
Share of the Metro passengers who would have used baseline transportation in the absence of the Metro (MS _o)	Passenger car	This data is the share of transportation modes which would have been used by the Metro passenger in case the Metro would not exist (without the Metro).							
	Taxi	Enter the values for each transportation mode obtained through an interview survey for the Metro passenger. You can enter types of transportation modes according to the results of the interview survey (column C shows just an example and you can change the transportation modes). Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained. The maximum number of the modes are six (6).							
	Bus								
	Small bus								
	Motor cycle	If there is no corresponding data for specific transportation modes, leave the cell blank.							
	Others	In case if using the results of past studies/surveys, describe the details in the Source column.							
CO ₂ emission factor of baseline transportation in grams per passenger-kilometer traveled (EF _{pass})	Passenger car	Enter CO ₂ emission factors of each transportation mode in the same order as: "Share of the Metro passengers who would have used baseline transportation in the absence of the Metro". The emission factors must be in grams of CO ₂ per passenger kilometer traveled. Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained.							
	Taxi								
	Bus								
	Small bus	If these factors are not able to obtain, calculate it using "CO ₂ emission factors in grams of CO ₂ per kilometer traveled" and "average occupancy rate of the transportation mode". For example, if "CO ₂ emission factors in grams of CO ₂ per kilometer traveled of passenger car" is 200 gCO ₂ /km and the average occupancy rate of passenger car is 1.5, "CO ₂ emission factor of baseline transportation in grams per passenger-kilometer traveled" is 133 gCO ₂ /passenger-km							
	Motor cycle								
	Others								
Electricity consumption associated with the operation of the Metro in the target year (EC _y)	MWh/year	Enter the actual annual electricity consumption used for the operation of the Metro. The consumption involves Metro traction only and not including electricity use in the related facilities such as stations and depots. Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained. If the value is an estimated value, describe the method in the Source column.							
CO ₂ emission factor of the grid electricity (EF _{grid})	tons of CO ₂ /MWh	Enter CO ₂ emission factor of the grid electricity in Peru in the Value column. The latest data for the target year is recommended to use. For example, if the target year is 2024, the emission factor should be 2023 or 2022. The data is published by MINAM. Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained.							

The Methodology to Estimate GHG Emission Reductions by Metro Operation for the NDC Tracking in Peru

Basic principles

The methodology aims to calculate GHG emission reductions by Metro operation for the purpose of NDC tracking.

Methodologies for mass transit projects (such as urban railway and BRT) tend to be complicated. For example, the CDM methodology, aiming to issue carbon credits, ACM0016 for mass transit projects requires considerable labor and time during monitoring and evaluation after the project starts. Taking account the purpose of this methodology (NDC tracking), by simplifying the CDM methodology, a practical and sustainable methodology is developed herewith which requires less burden and cost for monitoring and calculation of emission reductions. In light of the issues with such existing methodologies, the followings are important approaches in this methodology:

- Emission reductions are estimated reasonably and transparently.
- A simpler method and calculation formula considering the availability of data,
- Monitoring data can be obtained from the daily routine operation of the Metro as much as possible, and,
- Use GHG emission factors prepared by public organizations as much as possible.

1) Emission reductions

GHG emission reduction is calculated by subtracting the project emission from the baseline emission (*Formula 1*).

$$ER_y = BE_y - PE_y$$

ER_y : Emission reduction in the target year y (tCO₂/year)

BE_y : Baseline emission in the target year y (tCO₂/year)

PE_y : Project emission in the target year y (tCO₂/year)

Formula 1

2) Baseline emissions

The baseline emission is calculated by Formula 2. The baseline emission indicates emission without the Metro, in other words, the emission under the situation that the Metro would not have been operated and passengers used other existing modes of transportation such as private vehicles and buses.

$$BE_y = \sum_i (P_y \times TD_y \times MS_{i,y} \times EF_{PKM,i} \times 10^{-6})$$

P_y : Number of annual total passengers traveled by the Metro in the target year y (passenger/year)

TD_y : Average trip distance of the passenger traveled by the Metro in the target year y (km/trip)

$MS_{i,y}$: Share of the Metro passengers who would have used baseline transportation in the absence of the Metro

$EF_{PKM,i}$: CO₂ emission factor of baseline transportation in grams per passenger-kilometer traveled (gCO₂/passenger-km)

i : 1; Private car, 2; Bus, 3; Motorcycle, etc.

Formula 2

3) Project emissions

The project emission is calculated by *Formula 3*. The project emission is those generated by the operation of Metro itself. The project emission involves Metro traction only and not including electricity use in the related facilities such as stations and depots.

$$PE_y = EC_y \times EF_{grid}$$

EC_y : Electricity consumption associated with the operation of the Metro in the target year y (MWh/year)

EF_{grid} : CO₂ emission factor of the grid electricity (tCO₂/MWh)

Formula 3

Average trip distance of the passenger traveled by the Metro in the target year

Estimated using following data (frequency of trips by range of traveling distances) provided by ATU.

Middle value km	Frequency	Distance km
2.5	19671	49177.5
7.5	5292	39690
12.5	4717	58962.5
22.5	1142	25695
27.5	625	17187.5
35	578	20230
45	240	10800
50	183	9150
Total	32448	230892.5
		7.1 km

Rangos	Frecuencia
Hasta 5 Km	19671
Entre 5 y 10 km	5292
Entre 10 y 15 km	4717
Entre 20 y 25 km	1142
Entre 25 y 30 km	625
Entre 30 y 40 km	578
Entre 40 y 50 km	240
Más de 50 km	183

The Calculation Sheet to Estimate GHG Emission Reductions by Metropolitan Operation in Peru

Version 1.0
October 2025

Objectives	This calculation sheet enables to estimate GHG emission reductions by Metropolitan operation in Peru for the purpose of NDC tracking.
Applicability	The calculation sheet is applicable for estimation of GHG emission reductions of Metropolitan operation in Peru covering both existing and newly constructed Metropolitan.
Explanation of each sheet	Summary This sheet summarize the results of GHG emission reduction calculation, including its objective, applied methodology, analysis period, emission reductions, and supporting graphs. The user input the necessary information in ORANGE cells .
	Calculation This is a sheet for calculating GHG emissions. The user enter the necessary data in ORANGE cells , then emissions/ emission reductions are calculated and displayed automatically.
	Methodology Provides details of the methodology to estimate GHG emission reductions by Metropolitan operation, by showing a set of formulae and necessary parameters.
	Assumption If there are assumptions in the Input values of the Calculation sheet, enter the details in this sheet.

Please do not modify/input any data in other than "ORANGE cells" of each sheet.

Summary

*Input data in ONLY "Orange cells"				
Mitigation measure	Operation of the Metropolitan in Lima/Callao.			
Objectives	The objectives of the mitigation measure is to reduce GHG emissions by the operation of the Metropolitan. This calculation sheet is used for quantifying the emission reductions.			
Applied methodology	The Methodology to Estimate GHG Emission Reductions by Metropolitan Operation for the NDC Tracking in Peru			
Analysis period	2024	to	2030	
Emission reductions (tCO ₂ /year)	2024 #####	2025	2026	2027
		2028	2029	2030
Emission reductions (Cumulative) (tCO ₂ /period) #####				
Graph	Baseline emissions Project emissions Emission reductions Cumulative emission reductions 100,000 90,000 80,000 70,000 60,000 50,000 40,000 30,000 20,000 10,000 0 Emission Reductions 0 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 Year Cumulative emission reductions (tCO₂/period) 400,000 300,000 200,000 100,000 0			

Results of Calculation

Unit		Year							
		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Emission Reduction	ICO/year	#VALUE!							
Emission Reduction (cumulative)	ICO/period	#VALUE!							
Baseline Emission	ICO/year								
Project Emission	ICO/year								

Inputs

Input data in ONLY "Orange cells"

Parameter	Unit	Instruction	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Number of annual total passengers traveled by the Metropolitan in the target year (P _y)	passenger/year	Enter the actual annual passenger for the target year in the Value column. Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained. If the value is an estimated value, describe the method in the Source column.							
Average trip distance of the passenger traveled by the Metropolitan in the target year (TD _y)	km/trip	Enter the actual average trip distance of the Metropolitan passenger in the target year in the Value column (distance traveled by the Metropolitan per one trip). Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained. If the value is an estimated value, describe the method in the Source column.							
Share of the Metropolitan passengers who would have used baseline transportation in the absence of the Metropolitan (W _{S_y})	Passenger car	This data is the share of transportation modes which would have been used by the Metropolitan passenger in case the Metropolitan would not exist (without the Metropolitan).							
	Taxi	Enter the values for each transportation mode obtained through an interview survey for the Metropolitan passenger. You can enter types of transportation modes according to the results of the interview survey (column C shows just an example and you can change the transportation modes). Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained. The maximum number of the modes are six (6).							
	Bus								
	Small bus	If there is no corresponding data for specific transportation modes, leave the cell blank.							
	Motor cycle	In case if using the results of past studies/surveys, describe the details in the Source column.							
	Others								
CO ₂ emission factor of baseline transportation in grams per passenger-kilometer travelled (EF _{fuel})	Passenger car	Enter CO ₂ emission factors of each transportation mode in the same order as "Share of the Metropolitan passengers who would have used baseline transportation in the absence of the Metropolitan". The emission factors must be in grams of CO ₂ per passenger kilometer travelled. Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained.							
	Taxi								
	Bus	grams of CO ₂ /passenger-km (if these factors are not able to obtain, calculate it using "CO ₂ emission factors in grams of CO ₂ per kilometer traveled of passenger car" and CO ₂ emission factor of passenger car).							
	Small bus	"average occupancy rate of the transportation mode". For example, if "CO ₂ emission factors in grams of CO ₂ per kilometer traveled of passenger car" is 200-gC02/km and the average occupancy rate of passenger car is 1.5, "CO ₂ emission factor of baseline transportation in grams per passenger-kilometer traveled" is 133-gC02/passenger-km.							
	Motor cycle								
	Others								
Fuel consumption associated with the operation of the Metropolitan in the target year (FC _y)	m ³ /year	Enter the actual annual fuel consumption used for the operation of the Metropolitan. Clearly indicate the source of the data in the Source column, e.g. how the data obtained. If the value is an estimated value, describe the method in the Source column.							
CO ₂ emission factor of the fuel (EF _{fuel})	kgCO ₂ /MJ	Enter CO ₂ emission factor of the fuel used for the Metropolitan. The data used in the National Inventory Document is recommended to apply. Clearly indicate the source of the data in the Source column.							
Net calorific value of the fuel (NCV _{fuel})	MJ/m ³	Enter net calorific value of the fuel used for the Metropolitan. The data used in the National Inventory Document is recommended to apply. Clearly indicate the source of the data in the Source column.							

The Methodology to Estimate GHG Emission Reductions by Metropolitano Operation for the NDC Tracking in Peru

Basic principles

The methodology aims to calculate GHG emission reductions by Metropolitano operation for the purpose of NDC tracking. Methodologies for mass transit projects (such as urban railway and BRT) tend to be complicated. For example, the CDM methodology, aiming to issue carbon credits, ACM0016 for mass transit projects requires considerable labor and time during monitoring and evaluation after the project starts. Taking account the purpose of this methodology (NDC tracking), by simplifying the CDM methodology, a practical and sustainable methodology is developed herewith which requires less burden and cost for monitoring and calculation of emission reductions. In light of the issues with such existing methodologies, the followings are important approaches in this methodology:

- Emission reductions are estimated reasonably and transparently.
- A simpler method and calculation formula considering the availability of data.
- Monitoring data can be obtained from the daily routine operation of the Metropolitano as much as possible, and,
- Use GHG emission factors prepared by public organizations as much as possible.

1) Emission reductions

GHG emission reduction is calculated by subtracting the project emission from the baseline emission (*Formula 1*).

$$ER_y = BE_y - PE_y$$

ER_y : Emission reduction in the target year y (tCO₂/year)

BE_y : Baseline emission in the target year y (tCO₂/year)

PE_y : Project emission in the target year y (tCO₂/year)

Formula 1

2) Baseline emissions

The baseline emission is calculated by Formula 2. The baseline emission indicates emission without the Metropolitano, in other words, the emission under the situation that the Metropolitano would not have been operated and passengers used other existing modes of transportation such as private vehicles and buses.

$$BE_y = \sum_i (P_y \times TD_y \times MS_{i,y} \times EF_{PKM,i} \times 10^{-6})$$

P_y : Number of annual total passengers traveled by the Metropolitano in the target year y (passenger/year)

TD_y : Average trip distance of the passenger traveled by the Metropolitano in the target year y (km/trip)

$MS_{i,y}$: Share of the Metropolitano passengers who would have used baseline transportation in the absence of the Metro

$EF_{PKM,i}$: CO₂ emission factor of baseline transportation in grams per passenger-kilometer traveled (gCO₂/passenger-km)

i : 1; Private car, 2; Bus, 3; Motorcycle, etc.

Formula 2

3) Project emissions

The project emission is calculated by Formula 3. The project emission is those generated by the operation of Metropolitano itself. The project emission involves Metropolitano traction only and not including electricity use in the related facilities such as stations and depots.

$$PE_y = FC_y \times NCV_{fuel} \times EF_{fuel}$$

FC_y : Fuel (e.g. natural gas) consumption of mass transit in year y (m³/year)

NCV_{fuel} : Net calorific value of the fuel (e.g. natural gas) (MJ/m³)

EF_{fuel} : CO₂ emission factor of the fuel (e.g. natural gas) (tCO₂/MJ)

Formula 3

Average trip distance of the passenger traveled by the Metropolitano in the target year

Estimated using following data (frequency of trips by range of traveling distances) provided by ATU.

Middle value km	Frequency	Distance km
2.5	70	175
7.5	121	907.5
12.5	258	3225
22.5	64	1440
27.5	39	1072.5
35	29	1015
45	19	855
50	2	100
Total	602	8790
		14.6 km

Rangos	Frecuencia
Hasta 5 Km	70
Entre 5 y 10 km	121
Entre 10 y 15 km	258
Entre 20 y 25 km	64
Entre 25 y 30 km	39
Entre 30 y 40 km	29
Entre 40 y 50 km	19
Más de 50 km	2

Output of the Traffic Assignment
Provided by JICA Public Transport System Study Team

Date 2025/7/22
Year 2025
Period Morning Peak Hour (1 hour)

Case 1 Baseline as of 2025, without Line-2 and Metropolitan North Extension

Transit Assignment

Type	Veh-km	Pax-km	Pax-Hour	Boarding
BRT	5,544	700,453	23,897	91,966
BRT Feeder	4,391	112,164	7,079	33,410
Line-1	1,325	837,290	26,084	66,438
Line-2				
Large Bus	16,990	250,880	16,397	40,433
Regular Bus	318,935	6,974,983	483,644	1,647,293
Total	347,185	8,875,770	557,102	1,879,541

Traffic Assignment

Type	Veh-km	Veh-Hour
Private cars	4,372,361	243,654
Van-type light truck	63,839	2,987
2-axle truck	80,403	3,377
Heavy truck	58,774	2,194
Total	4,575,377	252,211

Case 2 Case 1 + the full opening of Line 2 to Case 1

Transit Assignment

Type	Veh-km	Pax-km	Pax-Hour	Boarding
BRT	5,544	706,548	24,117	90,957
BRT Feeder	4,391	113,355	7,185	33,935
Line-1	1,325	842,951	26,260	67,662
Line-2	2,162	232,686	7,249	19,371
Large Bus	16,990	240,683	15,962	39,345
Regular Bus	318,935	6,607,728	458,334	1,567,837
Total	349,347	8,743,952	539,107	1,819,107

Traffic Assignment

Type	Veh-km	Veh-Hour
Private cars	4,377,633	242,969
Van-type light truck	63,771	2,996
2-axle truck	80,308	3,367
Heavy truck	58,743	2,201
Total	4,580,455	251,533

Case 3 Case 1 + the northern extension of the Metropolitan (including future plan).

Transit Assignment

Type	Veh-km	Pax-km	Pax-Hour	Boarding
BRT	10,925	897,489	28,979	105,411
BRT Feeder	4,391	125,946	7,491	36,670
Line-1	1,325	823,915	25,667	65,408
Line-2				
Large Bus	16,990	238,930	15,455	38,775
Regular Bus	318,935	6,806,418	470,193	1,620,048
Total	352,566	8,892,699	547,786	1,866,313

Traffic Assignment

Type	Veh-km	Veh-Hour
Private cars	4,340,131	240,842
Van-type light truck	63,812	2,967
2-axle truck	80,331	3,354
Heavy truck	58,748	2,185
Total	4,543,022	249,349

Vehicle category		Definition	Vehicle type (SUNARP and MTC)
M	M1	Motor vehicles with four or more wheels designed and manufactured for the transportation of passengers.	Sedan, Coupe, Hatchback, Station Wagon, Limo, SUV,
	M2		Microbus, Minibus, etc.
	M3		Urban omnibus, intercity omnibus, articulated bus, etc.
N	N1	Motor vehicles with four or more wheels designed and manufactured for the transportation of goods.	Pick up and Panel (L1, L2), Tug, Platform,
	N2		Railings, Van, Truck Crane (L2, L3), Tanker, Dumper, Crane, etc.
	N3		
L	L	Minor motor vehicles with up to three wheels and quadricycles.	Motorcycles, Tri-motorcycles, Quad-bikes, etc.

[illegible]

GHG Emission Factors for Motor Vehicles in Peru (g/km)

Vehicle category	Fuel	Year of manufacture	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	SO ₂	PM _{2.5}
M1	Gasoline	Before 2000	234	0.1112	0.0108	2.32	0.0077	0.0022
M1	Gasoline	2000 - 2002	200	0.0954	0.0092	0.485	0.0066	0.0022
M1	Gasoline	2003 - 2006	200	0.0954	0.0092	0.255	0.0066	0.0022
M1	Gasoline	2007 - 2017	200	0.0954	0.0092	0.097	0.0066	0.0011
M1	Gasoline	2018 or later	200	0.0954	0.0092	0.061	0.0066	0.0011
M1	Diesel	Before 2000	199	0.0105	0.0105	1.832	0.0063	0.2209
M1	Diesel	2000 - 2002	174	0.0092	0.0092	1.479	0.0055	0.0842
M1	Diesel	2003 - 2006	174	0.0092	0.0092	1.126	0.0055	0.0548
M1	Diesel	2007 - 2017	174	0.0092	0.0092	0.773	0.0055	0.0391
M1	Diesel	2018 or later	174	0.0092	0.0092	0.42	0.0055	0.0076
M1	LPG	Before 2000	174	0.1705	0.0006	2.36	0.0165	0.0022
M1	LPG	2000 - 2002	167	0.1643	0.0005	0.414	0.016	0.0022
M1	LPG	2003 - 2006	167	0.1643	0.0005	0.18	0.016	0.0022
M1	LPG	2007 - 2017	167	0.1643	0.0005	0.09	0.016	0.0011
M1	LPG	2018 or later	167	0.1643	0.0005	0.056	0.016	0.0011
M1	NGV	Before 2000	194	0.3187	0.0104	2.8895	0.0004	0.0029
M1	NGV	2000 - 2002	194	0.3187	0.0104	2.0957	0.0004	0.0025
M1	NGV	2003 - 2006	194	0.3187	0.0104	1.9052	0.0004	0.0013
M1	NGV	2007 - 2017	194	0.3187	0.0104	1.2701	0.0004	0.0013
M1	NGV	2018 or later	170	0.2778	0.0091	0.056	0.0003	0.0011
M2	Gasoline	Before 2000	374	0.1781	0.0173	0.1787	0.0123	0.0002
M2	Gasoline	2000 - 2002	326	0.1551	0.015	0.0368	0.0107	0.0002
M2	Gasoline	2003 - 2006	326	0.1551	0.015	0.0193	0.0107	0.0002
M2	Gasoline	2007 - 2017	326	0.1551	0.015	0.0074	0.0107	0.0001
M2	Gasoline	2018 or later	326	0.1551	0.015	0.0046	0.0107	0.0001
M2	Diesel	Before 2000	346	0.0182	0.0182	4.7173	0.0274	0.24
M2	Diesel	2000 - 2002	302	0.0159	0.0159	3.1681	0.0274	0.1464
M2	Diesel	2003 - 2006	302	0.0159	0.0159	2.9212	0.0274	0.067
M2	Diesel	2007 - 2017	302	0.0159	0.0159	1.8061	0.0274	0.067
M2	Diesel	2018 or later	302	0.0159	0.0159	0.8594	0.0274	0.0084
M2	NGV	Before 2000	255	0.4173	0.0136	3.7839	0.0016	0.0038
M2	NGV	2000 - 2002	222	0.3636	0.0119	2.7444	0.0016	0.0033
M2	NGV	2003 - 2006	222	0.3636	0.0119	2.4949	0.0016	0.0017
M2	NGV	2007 - 2017	222	0.3636	0.0119	1.6632	0.0016	0.0017
M2	NGV	2018 or later	222	0.3636	0.0119	0.4158	0.0016	0.0008
M3	Gasoline	Before 2000	1065	0.507	0.0492	0.5089	0.0351	0.0005
M3	Gasoline	2000 - 2002	928	0.4417	0.0428	0.1047	0.0306	0.0005
M3	Gasoline	2003 - 2006	928	0.4417	0.0428	0.055	0.0285	0.0005
M3	Gasoline	2007 - 2017	928	0.4417	0.0428	0.0209	0.0285	0.0002
M3	Gasoline	2018 or later	928	0.4417	0.0428	0.0132	0.0285	0.0002
M3	Diesel	Before 2000	995	0.0524	0.0524	13.55	0.0315	0.6895
M3	Diesel	2000 - 2002	867	0.0456	0.0456	9.1	0.0274	0.4205
M3	Diesel	2003 - 2006	867	0.0456	0.0456	8.3906	0.0274	0.1925
M3	Diesel	2007 - 2017	867	0.0456	0.0456	5.1875	0.0274	0.1925
M3	Diesel	2018 or later	867	0.0456	0.0456	2.4686	0.0274	0.0242
M3	NGV	Before 2000	973.79	1.5962	0.0521	22.75	0.0099	0.0225
M3	NGV	2000 - 2002	848.63	1.391	0.0454	16.5	0.0099	0.02
M3	NGV	2003 - 2006	848.63	1.391	0.0454	15	0.0099	0.01
M3	NGV	2007 - 2017	848.63	1.391	0.0454	10	0.0099	0.01
M3	NGV	2018 or later	848.63	1.391	0.0454	2.5	0.0099	0.005
N1	Gasoline	Before 2000	258	0.1228	0.0119	3.09	0.0085	0.0023
N1	Gasoline	2000 - 2002	212	0.101	0.0098	0.563	0.007	0.0023
N1	Gasoline	2003 - 2006	212	0.101	0.0098	0.23	0.007	0.0023
N1	Gasoline	2007 - 2017	212	0.101	0.0098	0.129	0.007	0.0011
N1	Gasoline	2018 or later	212	0.101	0.0098	0.064	0.007	0.0011
N1	Diesel	Before 2000	263	0.1254	0.0122	1.66	0.0089	0.356
N1	Diesel	2000 - 2002	237	0.1129	0.0109	1.22	0.008	0.117
N1	Diesel	2003 - 2006	237	0.1129	0.0109	1.22	0.008	0.117
N1	Diesel	2007 - 2017	237	0.1129	0.0109	1.03	0.008	0.0783
N1	Diesel	2018 or later	237	0.1129	0.0109	0.737	0.008	0.0089
N1	NGV	Before 2000	132	0.0628	0.0061	1.5014	0.0007	0.0015

N1	NGV	2000 - 2002	109	0.0517	0.005	1.0889	0.0007	0.0013
N1	NGV	2003 - 2006	109	0.0517	0.005	0.9899	0.0007	0.0007
N1	NGV	2007 - 2017	109	0.0517	0.005	0.6599	0.0007	0.0007
N1	NGV	2018 or later	109	0.0517	0.005	0.165	0.0007	0.0003
N2	Gasoline	Before 2000	540	0.2574	0.025	6.477	0.0178	0.0066
N2	Gasoline	2000 - 2002	451	0.2146	0.0208	1.1949	0.0149	0.0049
N2	Gasoline	2003 - 2006	451	0.2146	0.0208	0.4882	0.0149	0.0049
N2	Gasoline	2007 - 2017	451	0.2146	0.0208	0.2738	0.0149	0.0023
N2	Gasoline	2018 or later	451	0.2146	0.0208	0.1358	0.0149	0.0014
N2	Diesel	Before 2000	454	0.2163	0.021	6.81	0.0154	0.3337
N2	Diesel	2000 - 2002	379	0.1803	0.0175	5.6707	0.0128	0.165
N2	Diesel	2003 - 2006	379	0.1803	0.0175	4.495	0.0128	0.0825
N2	Diesel	2007 - 2017	379	0.1803	0.0175	3.465	0.0128	0.0724
N2	Diesel	2018 or later	379	0.1803	0.0175	0.9594	0.0128	0.007
N2	NGV	Before 2000	426	0.2026	0.0196	4.9024	0.0021	0.0049
N2	NGV	2000 - 2002	355	0.169	0.0164	3.5556	0.0021	0.0043
N2	NGV	2003 - 2006	355	0.169	0.0164	3.2323	0.0021	0.0022
N2	NGV	2007 - 2017	355	0.169	0.0164	2.1549	0.0021	0.0022
N2	NGV	2018 or later	355	0.169	0.0164	0.5387	0.0021	0.0011
N3	Gasoline	Before 2000	857	0.408	0.0396	10.268	0.0282	0.0105
N3	Gasoline	2000 - 2002	723	0.3443	0.0334	1.9169	0.0238	0.0078
N3	Gasoline	2003 - 2006	723	0.3443	0.0334	0.7831	0.0238	0.0078
N3	Gasoline	2007 - 2017	723	0.3443	0.0334	0.4392	0.0238	0.0037
N3	Gasoline	2018 or later	723	0.3443	0.0334	0.2179	0.0238	0.0023
N3	Diesel	Before 2000	720	0.3429	0.0332	10.807	0.0243	0.4145
N3	Diesel	2000 - 2002	608	0.2894	0.0281	9.2008	0.0205	0.2853
N3	Diesel	2003 - 2006	608	0.2894	0.0281	7.59	0.0205	0.151
N3	Diesel	2007 - 2017	608	0.2894	0.0281	6	0.0205	0.123
N3	Diesel	2018 or later	608	0.2894	0.0281	1.6542	0.0205	0.0117
N3	NGV	Before 2000	675	0.3212	0.0311	7.8642	0.0034	0.0078
N3	NGV	2000 - 2002	569	0.042	0.0263	5.7037	0.0034	0.0069
N3	NGV	2003 - 2006	569	0.042	0.0263	5.1852	0.0034	0.0035
N3	NGV	2007 - 2017	569	0.042	0.0263	3.4568	0.0034	0.0035
N3	NGV	2018 or later	569	0.042	0.0263	0.8642	0.0034	0.0017
L	Gasoline	Antes del 2022	122.9	2.3091	0.0592	0.0663	0.0001	0.0853
L	Gasoline	2022 o posterior	121.62	2.3319	0.0592	0.28	0.0001	0.0096

Case
As of
Year
Period

1: Baseline as of 2025, without Line-2 and Metropolitan North Extension
2025/7/22
2025
Morning Peak Hour (1 hour)

Type			Transit							Highway					Total	Total
			BRT	BRT Feeder	Line-1	Line-2	Large Bus	Regular Bus	Total	Private cars	Van-type light truck	2-axle truck	Heavy truck	Total		
General Performance Indicators		Veh-km	5,544	4,391	1,325	0	16,990	318,935	347,185	4,372,361	63,839	80,403	58,774	4,575,377	4,922,562	
		Pax-km	700,453	112,164	837,290	0	250,880	6,974,983	8,875,770					0		
Category for Emission			M3	M2	-	-	M3	M2	-	M1	N1	N2	N3	-	-	
Composition of the Vehicle by Fuel Type and Manufacturing Year	Gasoline	Before 2000	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-	
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	8%	10%	0%	0%	8%	-	
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	12%	1%	0%	0%	12%	-	
		2007 - 2017	0%	0%	-	-	0%	1%	1%	69%	37%	0%	0%	66%	-	
		2018 or later	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-	
	Diesel	Before 2000	0%	0%	-	-	9%	16%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	-	
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	2%	2%	2%	0%	31%	16%	16%	1%	-	
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	2%	0%	1%	0%	1%	5%	5%	0%	-	
		2007 - 2017	0%	23%	-	-	49%	81%	59%	0%	19%	78%	79%	3%	-	
		2018 or later	0%	2%	-	-	16%	16%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	-	
	LPG	Before 2000	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-	
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	-	
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-	
		2007 - 2017	0%	0%	-	-	0%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	1%	-	
		2018 or later	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-	
	NGV	Before 2000	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-	
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	2%	-	
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	-	
		2007 - 2017	100%	50%	-	-	19%	1%	4%	5%	0%	0%	0%	5%	-	
		2018 or later	0%	24%	-	-	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	-	
EV		0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-		
CO ₂ Emission																
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	1.065	374	n.a	n.a	1.065	374	-	234	258	540	857	-	-	
		2000 - 2002	928	326	n.a	n.a	928	326	-	200	212	451	723	-	-	
		2003 - 2006	928	326	n.a	n.a	928	326	-	200	212	451	723	-	-	
		2007 - 2017	928	326	n.a	n.a	928	326	-	200	212	451	723	-	-	
		2018 or later	928	326	n.a	n.a	928	326	-	200	212	451	723	-	-	
	Diesel	Before 2000	995	346	n.a	n.a	995	346	-	199	263	454	720	-	-	
		2000 - 2002	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-	
		2003 - 2006	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-	
		2007 - 2017	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-	
		2018 or later	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-	
	LPG	Before 2000	0	0	n.a	n.a	0	0	-	174	0	0	0	0	-	-
		2000 - 2002	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	0	-	-
		2003 - 2006	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	0	-	-
		2007 - 2017	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	0	-	-
		2018 or later	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	0	-	-
	NGV	Before 2000	974	255	n.a	n.a	974	255	-	194	132	426	675	-	-	
		2000 - 2002	849	222	n.a	n.a	849	222	-	194	109	355	569	-	-	
		2003 - 2006	849	222	n.a	n.a	849	222	-	194	109	355	569	-	-	
		2007 - 2017	849	222	n.a	n.a	849	222	-	194	109	355	569	-	-	
		2018 or later	849	222	n.a	n.a	849	222	-	170	109	355	569	-	-	
EV		n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	-	n.a	n.a	n.a	n.a	-	-		
Metro		-	-	3.634	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Estimated Emission (t / Peak-hour)			4.70	1.06	4.81	0.00	14.86	96.50	122	868.11	14.22	30.50	35.73	949	1,071	
NO _x Emission																
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	1	0	n.a	n.a	1	0	-	2	3	6	10	-	-	
		2000 - 2002	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	1	1	2	-	-	
		2003 - 2006	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	1	-	-	
		2007 - 2017	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	-	-	
		2018 or later	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	-	-	
	Diesel	Before 2000	14	5	n.a	n.a	14	5	-	2	2	7	11	-	-	
		2000 - 2002	9	3	n.a	n.a	9	3	-	1	1	6	9	-	-	
		2003 - 2006	8	3	n.a	n.a	8	3	-	1	1	4	8	-	-	
		2007 - 2017	2	1	n.a	n.a	2	1	-	1	1	3	6	-	-	
		2018 or later	2	1	n.a	n.a	2	1	-	1	1	3	6	-	-	
	LPG	Before 2000	0	0	n.a	n.a	0	0	-	2	0	0	0	0	-	-
		2000 - 2002	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	0	-	-
		2003 - 2006	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	0	-	-
		2007 - 2017	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	0	-	-
		2018 or later	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	0	-	-
	NGV	Before 2000	23	4	n.a	n.a	23	4	-	3	2	5	8	-	-	
		2000 - 2002	17	3	n.a	n.a	17	3	-	2	1	4	6	-	-	
		2003 - 2006	15	2	n.a	n.a	15	2	-	2	1	3	5	-	-	
		2007 - 2017	10	2	n.a	n.a	10	2	-	1	1	2	3	-	-	
		2018 or later	3	0	n.a	n.a	3	0	-	0	0	1	1	-	-	
EV		n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	-	n.a	n.a	n.a	n.a	-	-		
Metro		-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Estimated Emission (t / Peak-hour)			0.06	0.01	0.00	0.00	0.11	0.67	1	1.19	0.04	0.31	0.39	1.93	2.77	
SO ₂ Emission																
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	0.03510	0.01230	n.a	n.a	0.03510	0.01230	-	0.00770	0.00850	0.01780	0.02820	-	-	
		2000 - 2002	0.03080	0.01070	n.a	n.a	0.03080	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-	
		2003 - 2006	0.02850	0.01070	n.a	n.a	0.02850	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-	
		2007 - 2017	0.02850	0.01070	n.a	n.a	0.02850	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-	
		2018 or later	0.02850	0.01070	n.a	n.a	0.02850	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-	
	Diesel	Before 2000	0.03195	0.02740	n.a	n.a	0.03195	0.02740	-	0.00630	0.00890	0.01540	0.02430	-	-	
		2000 - 2002	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-	
		2003 - 2006	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-	
		2007 - 2017	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-	
		2018 or later	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-	
	LPG	Before 2000	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.01650	0.00000	0.00000	0.00000	-	-	
		2000 - 2002	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.01600	0.00000	0.00000	0.00000	-	-	
		2003 - 2006	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.01600	0.00000	0.00000	0.00000	-	-	
		2007 - 2017	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.01600	0.00000	0.00000	0.00000	-	-	
		2018 or later	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.01600	0.00000	0.00000	0.00000	-	-	
	NGV	Before 2000	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-	
		2000 - 2002	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-	
		2003 - 2006	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-	
		2007 - 2017	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-	
		2018 or later	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00030	0.00070	0.00210	0.00340	-	-	
EV		n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	-	n.a	n.a	n.a	n.a	-	-		
Metro		-	-	0.00000	0.00000	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Estimated Emission (t / Peak-hour)			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0	0.03	0.00	0.00	0.00	0	0	
PM2.5 Emission																
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	0.00050	0.00020	n.a	n.a	0.00050	0.00020	-	0.00220	0.00230	0.00660	0.01050	-	-	
		2000 - 2002	0.00050	0.00020	n.a	n.a	0.00050	0.00020	-	0.00220	0.00230	0.00490	0.00780	-	-	
		2003 - 2006	0.00050	0.00020	n.a	n.a	0.00050	0.00020	-	0.00220	0.00230	0.00490	0.00780	-	-	
		2007 - 2017	0.00020	0.00010	n.a	n.a	0.00020	0.00010	-	0.00110	0.00110	0.00230	0.00370	-	-	
		2018 or later	0.00020	0.00010	n.a	n.a	0.00020	0.00010	-	0.00110	0.00110	0.00340	0.00230	-	-	
	Diesel	Before 2000	0.68950	0.24000	n.a	n.a	0.68950	0.24000	-	0.22990	0.35600	0.33770	0.41450	-	-	
		2000 - 2002	0.42050	0.14640	n.a	n.a	0.42050									

Case As of Year Periodo		2: Case 1 + the full opening of Line 2 to Case 1 2025/7/22 2025 Morning Peak Hour (1 hour)													
Type		Transit							Highway						Total
		BRT	BRT Feeder	Line-1	Line-2	Large Bus	Regular Bus	Total	Private cars	Van-type light truck	2-axis truck	Heavy truck	Total		
General Performance Indicators	Veh-km	5,544	4,391	1,325	2,162	16,990	318,935	349,347	4,377,633	63,771	80,308	58,743	4,580,455	4,910,924	
	Veh-km2	5,544	4,438	1,325	721	16,300	302,142	330,469	4,377,633	63,771	80,308	58,743	4,580,455		
	Pax-km	706,548	113,355	842,951	232,686	240,683	6,607,728	8,743,952	-	-	-	-	0		
Category for Emission		M3	M2	-	-	M3	M2	-	M1	N1	N2	N3	-	-	
Composition of the Vehicle by Fuel Type and Manufacturing Year	Gasoline	Before 2000	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	8%	10%	0%	0%	8%	-
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	12%	1%	0%	0%	12%	-
		2007 - 2017	0%	0%	-	-	0%	1%	1%	69%	37%	0%	0%	66%	-
	Diesel	2018 or later	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
		Before 2000	0%	0%	-	-	9%	16%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	-
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	2%	2%	2%	0%	31%	16%	16%	1%	-
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	2%	0%	1%	0%	1%	5%	5%	0%	-
	LPG	2007 - 2017	0%	23%	-	-	49%	61%	59%	0%	19%	78%	79%	3%	-
		2018 or later	0%	2%	-	-	16%	16%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	-
		Before 2000	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	-
	NGV	2003 - 2006	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
		2007 - 2017	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
		2018 or later	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
		Before 2000	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
	EV	2000 - 2002	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	2%	-
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	-
		2007 - 2017	100%	50%	-	-	19%	1%	5%	5%	0%	0%	0%	5%	-
		2018 or later	0%	24%	-	-	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	-
EV		0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-	
CO ₂ Emission															
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	1.065	374	n.a	n.a	1.065	374	-	234	258	540	857	-	-
		2000 - 2002	923	326	n.a	n.a	923	326	-	200	212	451	723	-	-
		2003 - 2006	923	326	n.a	n.a	923	326	-	200	212	451	723	-	-
		2007 - 2017	923	326	n.a	n.a	923	326	-	200	212	451	723	-	-
	Diesel	2018 or later	923	326	n.a	n.a	923	326	-	200	212	451	723	-	-
		Before 2000	995	346	n.a	n.a	995	346	-	199	263	454	720	-	-
		2000 - 2002	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-
		2003 - 2006	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-
	LPG	2007 - 2017	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-
		2018 or later	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-
	NGV	Before 2000	0	0	n.a	n.a	0	0	-	174	0	0	0	-	-
		2000 - 2002	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	-	-
		2003 - 2006	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	-	-
		2007 - 2017	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	-	-
	EV	2018 or later	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	-	-
		Before 2000	924	255	n.a	n.a	924	255	-	194	132	426	675	-	-
		2000 - 2002	849	222	n.a	n.a	849	222	-	194	109	355	569	-	-
		2003 - 2006	849	222	n.a	n.a	849	222	-	194	109	355	569	-	-
	Metro	2007 - 2017	849	222	n.a	n.a	849	222	-	194	109	355	569	-	-
		2018 or later	849	222	n.a	n.a	849	222	-	170	109	355	569	-	-
		EV	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	-	n.a	n.a	n.a	n.a	-	-
		Metro	-	-	3.634	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estimated Emission (t / Peak-hour)		4.70	1.08	4.81	0.00	14.26	91.42	116	869.16	14.20	30.46	35.72	950	1,066	
NO _x Emission															
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	1	0	n.a	n.a	1	0	-	2	3	6	10	-	-
		2000 - 2002	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	1	1	2	-	-
		2003 - 2006	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	1	-	-
		2007 - 2017	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	-	-
	Diesel	2018 or later	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	-	-
		Before 2000	14	5	n.a	n.a	14	5	-	2	2	7	11	-	-
		2000 - 2002	9	3	n.a	n.a	9	3	-	1	1	6	9	-	-
		2003 - 2006	8	3	n.a	n.a	8	3	-	1	1	4	8	-	-
	LPG	2007 - 2017	5	2	n.a	n.a	5	2	-	1	1	3	6	-	-
		2018 or later	2	1	n.a	n.a	2	1	-	1	1	2	2	-	-
	NGV	Before 2000	0	0	n.a	n.a	0	0	-	2	0	0	0	-	-
		2000 - 2002	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	-	-
		2003 - 2006	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	-	-
		2007 - 2017	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	-	-
	EV	2018 or later	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	-	-
		Before 2000	23	4	n.a	n.a	23	4	-	3	2	5	8	-	-
		2000 - 2002	17	3	n.a	n.a	17	3	-	2	1	4	6	-	-
		2003 - 2006	15	2	n.a	n.a	15	2	-	2	1	3	5	-	-
	Metro	2007 - 2017	10	2	n.a	n.a	10	2	-	1	1	2	3	-	-
		2018 or later	3	0	n.a	n.a	3	0	-	0	0	1	1	-	-
		EV	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	-	n.a	n.a	n.a	n.a	-	-
		Metro	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estimated Emission (t / Peak-hour)		0.06	0.01	0.00	0.00	0.11	0.63	1	1.19	0.04	0.31	0.39	1.93	2.73	
SO ₂ Emission															
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	0.03510	0.01230	n.a	n.a	0.03510	0.01230	-	0.00770	0.00850	0.01780	0.02820	-	-
		2000 - 2002	0.03080	0.01070	n.a	n.a	0.03080	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-
		2003 - 2006	0.02850	0.01070	n.a	n.a	0.02850	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-
		2007 - 2017	0.02850	0.01070	n.a	n.a	0.02850	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-
	Diesel	2018 or later	0.02850	0.01070	n.a	n.a	0.02850	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-
		Before 2000	0.03150	0.02740	n.a	n.a	0.03150	0.02740	-	0.00630	0.00890	0.01540	0.02430	-	-
		2000 - 2002	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-
		2003 - 2006	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-
	LPG	2007 - 2017	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-
		2018 or later	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-
	NGV	Before 2000	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	-	-
		2000 - 2002	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	-	-
		2003 - 2006	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	-	-
		2007 - 2017	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	-	-
	EV	2018 or later	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	-	-
		Before 2000	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-
		2000 - 2002	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-
		2003 - 2006	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-
	Metro	2007 - 2017	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-
		2018 or later	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00030	0.00070	0.00210	0.00340	-	-
		EV	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	-	n.a	n.a	n.a	n.a	-	-
		Metro	-	-	0.00000	0.00000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estimated Emission (t / Peak-hour)		0.000055	0.000036	0.000000	0.000000	0.0000390	0.007927	0.008409	0.027849	0.000474	0.001028	0.001204	0	0	
PM2.5 Emission															
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	0.000050	0.000020	n.a	n.a	0.000050	0.000020	-	0.00220	0.00230	0.00660	0.01050	-	-
		2000 - 2002	0.000050	0.000020	n.a	n.a	0.000050	0.000020	-	0.00220	0.00230	0.00490	0.00780	-	-
		2003 - 2006	0.000050	0.000020	n.a	n.a	0.000050	0.000020	-	0.00220	0.00230	0.00490	0.00780	-	-
		2007 - 2017	0.000020	0.000010	n.a	n.a	0.000020	0.000010	-	0.00110	0.00110	0.00230	0.00370	-	-
	Diesel	2018 or later	0.000020	0.000010	n.a	n.a	0.000020	0.000010	-	0.00110	0.0				

Case
As of
Year
Periodo

3: Case 1 + the northern extension of the Metropolitano (including future plan).

2025/7/22

2025

Morning Peak Hour (1 hour)

Type			Transit							Highway					
			BRT	BRT Feeder	Line-1	Line-2	Large Bus	Regular Bus	Total	Private cars	Van-type light truck	2-axis truck	Heavy truck	Total	Total
General Performance Indicators	Veh-km		10,925	4,391	1,325	0	16,990	318,935	352,566	4,340,131	63,812	80,331	58,748	4,543,022	4,895,588
	Veh-km2		7,103	4,931	1,325	0	16,181	311,227	340,767	4,340,131	63,812	80,331	58,748	4,543,022	4,883,789
	Pax-km		897,448	125,946	823,915	0	238,930	6,806,418	8,892,699					0	
Category for Emission			M3	M2	-	-	M3	M2	-	M1	N1	N2	N3	-	-
Composition of the Vehicle by Fuel Type and Manufacturing Year	Gasoline	Before 2000	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	8%	10%	0%	0%	8%	-
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	12%	1%	0%	0%	12%	-
		2007 - 2017	0%	0%	-	-	0%	1%	1%	69%	37%	0%	0%	68%	-
		2018 or later	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
	Diesel	Before 2000	0%	0%	-	-	9%	16%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	2%	2%	2%	0%	31%	16%	16%	1%	1%
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	2%	0%	1%	0%	1%	5%	5%	0%	0%
		2007 - 2017	0%	23%	-	-	49%	61%	59%	0%	19%	78%	79%	3%	3%
		2018 or later	0%	2%	-	-	16%	16%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	LPG	Before 2000	0%	0%	-	-	0%	0%	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	0%	0%	-	1%	0%	0%	0%	0%	0%
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	0%	0%	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		2007 - 2017	0%	0%	-	-	0%	1%	-	1%	1%	0%	0%	1%	1%
		2018 or later	0%	0%	-	-	0%	0%	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	NGV	Before 2000	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		2000 - 2002	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	2%
		2003 - 2006	0%	0%	-	-	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%
		2007 - 2017	100%	50%	-	-	19%	1%	5%	5%	0%	0%	0%	0%	5%
		2018 or later	0%	24%	-	-	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	EV		0%	0%	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
CO ₂ Emission															
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	1.065	374	n.a	n.a	1.065	374	-	234	258	540	857	-	-
		2000 - 2002	923	326	n.a	n.a	923	326	-	200	212	451	723	-	-
		2003 - 2006	923	326	n.a	n.a	923	326	-	200	212	451	723	-	-
		2007 - 2017	923	326	n.a	n.a	923	326	-	200	212	451	723	-	-
		2018 or later	923	326	n.a	n.a	923	326	-	200	212	451	723	-	-
	Diesel	Before 2000	995	346	n.a	n.a	995	346	-	199	263	454	720	-	-
		2000 - 2002	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-
		2003 - 2006	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-
		2007 - 2017	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-
		2018 or later	867	302	n.a	n.a	867	302	-	174	237	379	608	-	-
	LPG	Before 2000	0	0	n.a	n.a	0	0	-	174	0	0	0	0	-
		2000 - 2002	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	0	-
		2003 - 2006	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	0	-
		2007 - 2017	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	0	-
		2018 or later	0	0	n.a	n.a	0	0	-	167	0	0	0	0	-
	NGV	Before 2000	974	255	n.a	n.a	974	255	-	194	132	426	675	-	-
		2000 - 2002	849	222	n.a	n.a	849	222	-	194	109	355	569	-	-
		2003 - 2006	849	222	n.a	n.a	849	222	-	194	109	355	569	-	-
		2007 - 2017	849	222	n.a	n.a	849	222	-	194	109	355	569	-	-
		2018 or later	849	222	n.a	n.a	849	222	-	170	109	355	569	-	-
	Metro		n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	-	n.a	n.a	n.a	n.a	-	-
	Estimated Emission (t / Peak-hour)		6.03	1.19	4.81	0.00	14.15	94.17	120	861.71	14.21	30.47	35.72	942	1,062
NO _x Emission															
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	1	0	n.a	n.a	1	0	-	2	3	6	10	-	-
		2000 - 2002	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	1	1	2	-	-
		2003 - 2006	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	1	-
		2007 - 2017	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	0	-
		2018 or later	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	0	-
	Diesel	Before 2000	14	5	n.a	n.a	14	5	-	2	2	7	11	-	-
		2000 - 2002	9	3	n.a	n.a	9	3	-	1	1	6	9	-	-
		2003 - 2006	8	3	n.a	n.a	8	3	-	1	1	4	8	-	-
		2007 - 2017	5	2	n.a	n.a	5	2	-	1	1	3	6	-	-
		2018 or later	2	1	n.a	n.a	2	1	-	0	1	1	2	-	-
	LPG	Before 2000	0	0	n.a	n.a	0	0	-	2	0	0	0	0	-
		2000 - 2002	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	0	-
		2003 - 2006	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	0	-
		2007 - 2017	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	0	-
		2018 or later	0	0	n.a	n.a	0	0	-	0	0	0	0	0	-
	NGV	Before 2000	28	4	n.a	n.a	28	4	-	3	3	2	5	-	-
		2000 - 2002	17	3	n.a	n.a	17	3	-	3	2	1	6	-	-
		2003 - 2006	15	2	n.a	n.a	15	2	-	2	1	3	5	-	-
		2007 - 2017	10	2	n.a	n.a	10	2	-	1	1	2	3	-	-
		2018 or later	3	0	n.a	n.a	3	0	-	0	0	1	1	-	-
	EV		n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	-	n.a	n.a	n.a	n.a	-	-
	Metro		-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estimated Emission (t / Peak-hour)		0.07	0.01	0.00	0.00	0.11	0.65	1	1.18	0.04	0.31	0.39	1.92	2.76	
SO ₂ Emission															
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	0.03510	0.01230	n.a	n.a	0.03510	0.01230	-	0.00770	0.00850	0.01780	0.02820	-	-
		2000 - 2002	0.03080	0.01070	n.a	n.a	0.03080	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-
		2003 - 2006	0.02850	0.01070	n.a	n.a	0.02850	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-
		2007 - 2017	0.02850	0.01070	n.a	n.a	0.02850	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-
		2018 or later	0.02850	0.01070	n.a	n.a	0.02850	0.01070	-	0.00660	0.00700	0.01490	0.02380	-	-
	Diesel	Before 2000	0.03150	0.02740	n.a	n.a	0.03150	0.02740	-	0.00630	0.00890	0.01540	0.02430	-	-
		2000 - 2002	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-
		2003 - 2006	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-
		2007 - 2017	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-
		2018 or later	0.02740	0.02740	n.a	n.a	0.02740	0.02740	-	0.00550	0.00800	0.01280	0.02050	-	-
	LPG	Before 2000	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	-	-
		2000 - 2002	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	-	-
		2003 - 2006	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	-	-
		2007 - 2017	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	-	-
		2018 or later	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.00000	-	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	-	-
	NGV	Before 2000	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-
		2000 - 2002	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-
		2003 - 2006	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-
		2007 - 2017	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00040	0.00070	0.00210	0.00340	-	-
		2018 or later	0.00990	0.00160	n.a	n.a	0.00990	0.00160	-	0.00030	0.00070	0.00210	0.00340	-	-
	EV		n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	-	n.a	n.a	n.a	n.a	-	-
	Metro		-	-	0.00000	0.00000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estimated Emission (t / Peak-hour)		0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0082	0.0087	0.0276	0.0005	0.0010	0.0012	0.0303	0.0390	
PM2.5 Emission															
Emission Factor by Fuel Type and Manufacturing Year (g/veh-km)	Gasoline	Before 2000	0.00050	0.00020	n.a	n.a	0.00050	0.00020	-	0.00220	0.00230	0.00660	0.01050	-	-
		2000 - 2002	0.00050	0.00020	n.a	n.a	0.00050	0.00020	-	0.00220	0.00230	0.00490	0.00780	-	-
		2003 - 2006	0.00050	0.00020	n.a	n.a	0.00050	0.00020	-	0.00220	0.00230	0.00490	0.00780	-	-
		2007 - 2017	0.00020	0.00010	n.a	n.a	0.00020	0.00010	-	0.00110	0.00110	0.00230	0.00370	-	-
		2018 or later	0.00020	0.00010	n.a	n.a	0.00020	0.00010	-	0.00110	0.00110	0.00140	0.00230	-	-
	Diesel	Before 2000	0.08950	0.24000	n.a	n.a	0.08950	0.24000	-	0.22090	0.35600	0.33370	0.41450	-	-
		2000 - 2002	0.42050	0.14640	n.a	n.a	0.42050	0.14640	-	0.08420	0.11700	0.16500	0.28530	-	-
		2003 - 2006	0.19250	0.06700	n.a	n.a	0.19250	0.06700	-	0.05480	0.11700	0.08250	0.15100	-	-
		2007 - 2017	0.19250	0.06700	n.a	n.a	0.19250	0.06700	-	0.03910	0.07630	0.07240	0.12280	-	-
		2018 or later	0.02420	0.00840	n.a	n.a	0.02420	0.00840	-	0.00760	0.00890	0.00700	0.01170	-	-
	LPG	Before 2000	0.00000	0.00000	n.a	n.a	0.00000	0.							

			Case 1	Case 2	Case 3
CO ₂ (unit: ton)	Public	BRT	4.70	4.70	6.03
		BRT Feeder	1.06	1.08	1.19
		Metro	4.81	4.81	4.81
		Large Bus	14.9	14.3	14.2
		Regular Bus	96.5	91.4	94.2
	Private	Private cars	868	869	862
	Freight	Van-type light truck	14.2	14.2	14.2
		2-axle truck	30.5	30.5	30.5
		Heavy truck	35.7	35.7	35.7
	Public		122	116	120
	Private		868	869	862
	Freight		80.4	80.4	80.4
	Total		1,071	1,066	1,062
	Daily Emission: Peak-hour / 13 %		8,235	8,199	8,173
	Annual Emission: Peak-hour * 350		2,882,138	2,869,491	2,860,507
Emission reductions (ton/year)		-	12,646	21,631	
Emission reductions (%)		-	0.4	0.8	
NOx (unit: kg)	Public	BRT	55.4	55.4	71.0
		BRT Feeder	6.0	6.1	6.8
		Metro	0	0	0
		Large Bus	111	106	106
		Regular Bus	666	631	650
	Private	Private cars	1,191	1,192	1,182
	Freight	Van-type light truck	44	44	44
		2-axle truck	310	310	310
		Heavy truck	388	388	388
	Public		838.689	799.162	833.638
	Private		1,190.793	1,192.229	1,182.016
	Freight		742.216	741.599	741.748
	Total		2,771.699	2,732.991	2,757.402
	Daily Emission: Peak-hour / 13 %		21,321	21,023	21,211
	Annual Emission: Peak-hour * 350		7,462,265	7,358,051	7,423,774
Emission reductions (ton/year)		-	104,214	38,491	
Emission reductions (%)		-	1.4	0.5	
SO ₂ (unit: kg)	Public	BRT	0.055	0.055	0.070
		BRT Feeder	0.036	0.036	0.040
		Metro	0.000	0.000	0.000
		Large Bus	0.407	0.390	0.388
		Regular Bus	8.368	7.927	8.166
	Private	Private cars	27.815	27.849	27.610
	Freight	Van-type light truck	0.475	0.474	0.475
		2-axle truck	1.029	1.028	1.028
		Heavy truck	1.205	1.204	1.204
	Public		8.865	8.409	8.663
	Private		27.815	27.849	27.610
	Freight		2.708	2.706	2.707
	Total		39.389	38.963	38.980
	Daily Emission: Peak-hour / 13 %		303	300	300
	Annual Emission: Peak-hour * 350		106,047	104,901	104,947
Emission reductions (ton/year)		-	1,146	1,100	
Emission reductions (%)		-	1.1	1.0	
PM2.5 (unit: kg)	Public	BRT	0.06	0.055	0.071
		BRT Feeder	0.07	0.074	0.082
		Metro	0.00	0.000	0.000
		Large Bus	2.97	2.849	2.828
		Regular Bus	26.55	25.151	25.907
	Private	Private cars	6.46	6.471	6.416
	Freight	Van-type light truck	3.37	3.369	3.371
		2-axle truck	7.03	7.019	7.021
		Heavy truck	8.86	8.854	8.855
	Public		29.65	28.129	28.888
	Private		6.46	6.471	6.416
	Freight		19.26	19.242	19.247
	Total		55.37	53.842	54.551
	Daily Emission: Peak-hour / 13 %		425.91	414	420
	Annual Emission: Peak-hour * 350		149,069	144,959	146,867
Emission reductions (ton/year)		-	4,110	2,202	
Emission reductions (%)		-	2.8	1.0	

