



Centro Mario Molina • Chile

DESARROLLO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES DEL TRANSPORTE PÚBLICO: EL CASO DEL ÁREA METROPOLITANA LIMA-CALLAO

Febrero 2017



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



COALICIÓN
CLIMA Y
AIRE LIMPIO
PARA REDUCIR
CONTAMINANTES
DE VIDA CORTA

Agradecimientos:

Los fondos para el presente estudio fueron proporcionados por la Coalición del Clima y Aire Limpio para Reducir los Contaminantes del Clima de Vida Corta (CCAC)¹, sus actividades fueron financiadas como parte la iniciativa de “Reducción de las Emisiones de *Black Carbon* de Vehículos Pesados Diésel y Motores”, las cuales son coordinadas y ejecutadas por el Centro Mario Molina de Chile.

¹ www.ccacoalition.org

1 CONTENIDO

2	ANTECEDENTES	4
3	DESARROLLO INVENTARIO EN AIRVIRO.....	5
3.1	Tecnología de la flota.....	6
3.1.1	Estándar de emisión.....	6
3.1.2	Tipo de vehículo	6
3.2	Geolocalización.....	7
3.3	factores de emisión	7
3.4	Nivel de actividad.....	8
4	ESCENARIOS TECNOLÓGICOS.....	8
4.1	Escenario base 2017	8
4.2	Supuestos para el desarrollo de escenarios tecnológicos	9
4.3	Transformación de la flota.....	9
5	ESTIMACIÓN DE EMISIONES	10
6	DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES	14
7	REFERENCIAS.....	14

2 ANTECEDENTES

La experiencia internacional muestra que la incorporación de combustibles limpios tiene un efecto positivo que repercute directamente en las emisiones de MP, SO₂ y otros gases contaminantes, tanto en vehículos nuevos, como en uso. Éste efecto se obtiene desde el momento en que mejora la calidad ambiental de los combustibles. Sin embargo, un efecto adicional y de largo plazo se obtiene al introducir vehículos con nuevas tecnologías, los cuales reducen significativamente estos contaminantes.

Por ello, es necesario estimar los beneficios de la introducción de combustibles y tecnologías más limpias, para los cuales el desarrollo de un inventario de emisiones vehiculares es una de las herramientas utilizadas. En general, existen dos metodologías para el desarrollo de inventarios de emisión, los cuales varían según el tipo de información base y el propósito de éste:

- *Top-down*: basado en datos de calidad del aire o en el consumo de combustible, en este caso se estima un total de emisiones, para ello se utilizan datos agregados y con factores de emisión disponibles para las principales fuentes de emisión.
- *Bottom-up*: basado en emisiones medidas o estimadas, para este enfoque el cálculo de emisiones debe ser detallado, generalmente con visualización GIS (tipo/lugar de emisión) este tipo de inventario puede ser utilizado para posteriores modelaciones de calidad del aire.

En el presente estudio se desarrolló un inventario de emisiones *Bottom-up* con información georeferenciada del transporte público de Lima Metropolitana. La intención es estimar en cuáles sectores de la ciudad se emiten más contaminantes y con ello, realizar diferentes escenarios tecnológicos para visualizar cambios en las emisiones contaminantes. Así mismo, otro objetivo estratégico es la estimación -en un futuro- de modelaciones de calidad del aire.

Es importante resaltar la aprobación de la Autoridad de Transporte Urbano para Lima Metropolitana, un ente autónomo que coordina el transporte en las provincias de Lima y Callao, y cuya principal función es “dar el mejor servicio a los ciudadanos, en un marco de sostenibilidad económica, ambiental y de seguridad vial” (Congreso de la República, Perú, 2018). Por lo tanto, los resultados de este reporte podrían ser un importante insumo para esta nueva autoridad metropolitana.

3 DESARROLLO INVENTARIO EN AIRVIRO

Para el análisis del área metropolitana Lima-Callao se utilizó el enfoque *Bottom-up* con el sistema Airviro. Este es un sistema integrado de manejo de calidad del aire desarrollado por el *Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)* y *Apetum*. Se basa en herramientas de información geográfica; y permite administrar, almacenar y gestionar información meteorológica y de calidad del aire, además de datos de emisiones.

El inventario se desarrolla en el módulo EDB de Airviro. "Este módulo facilita la compilación de inventarios de emisiones y proporciona una base de datos de alto rendimiento para las diferentes fuentes de emisión que pueden utilizarse para modelos de emisiones, modelado de dispersión, presentación, etc." (Airviro, 2017).

El inventario del TPU fue elaborado considerando el esquema presentado en Figura 1 en el sistema Airviro.

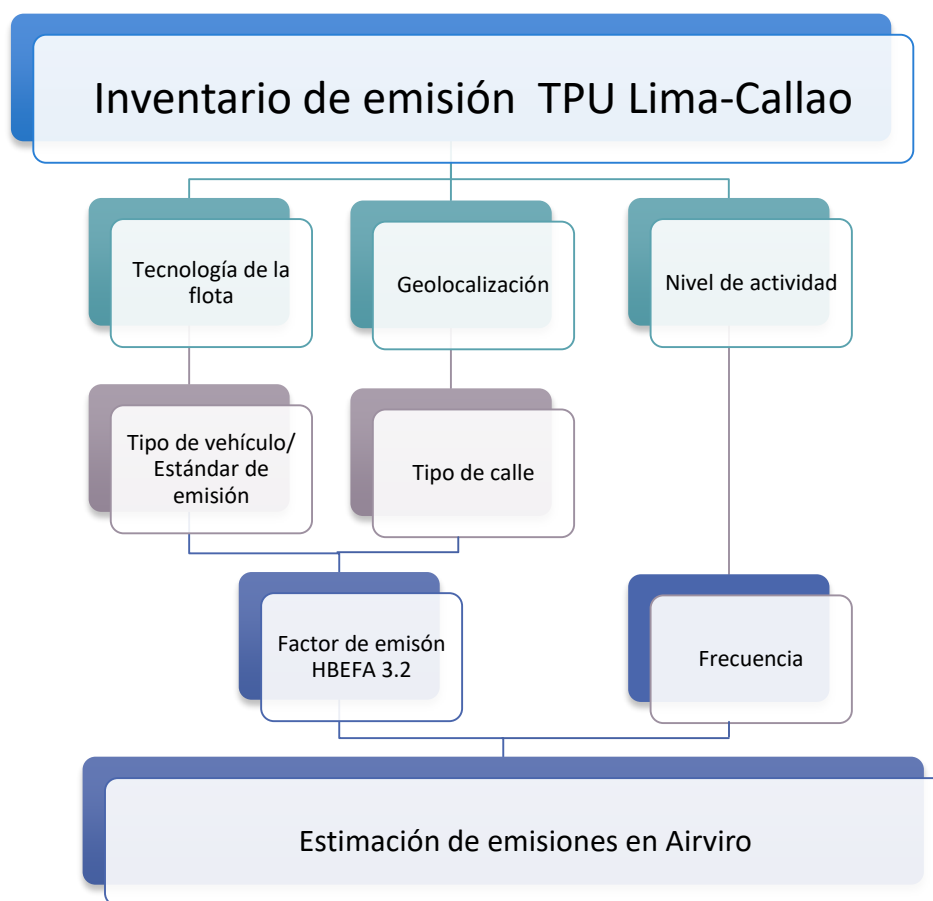


Figura 1: Esquema inventario en Airviro

A continuación se presentan las fuentes de información utilizadas, además de las estimaciones que se tuvieron que realizar debido a que el modelo *Airviro* requiere como *inputs* para el desarrollo del inventario de emisión.

3.1 TECNOLOGÍA DE LA FLOTA

La tecnología de la flota de transporte público se estimó con base en la información facilitada por las autoridades del Perú. Fue suministrada una planilla en formato Excel específicamente con los datos de los vehículos habilitados al 20 de noviembre del 2017 (aproximadamente 15.500) el archivo que contiene la información de la ruta en la que circula cada uno de los ellos, la clase de vehículo (clases GTU) el año de fabricación, el tipo de combustible, entre otras características. Además, se consideró la información de la distribución tecnológica de los buses del Metropolitano, los cuales no estaban incluidos en la base descrita anteriormente y que fue facilitada por la contraparte del Ministerio del Ambiente del Perú.

Para asignar los factores de emisión a la información vehicular de la base de datos proporcionada, fue necesario homologar con base en el año de fabricación y tipo de vehículo, para ello se tomaron las siguientes consideraciones:

3.1.1 Estándar de emisión

Tabla 1: Homologación de años de fabricación de vehículos del transporte público en el Perú con estándares de emisión,

Año de fabricación (Base GTU)	Estándar de emisión
<2002	Pre Euro
<2006	Euro II
<2017	Euro III

Buses del Metropolitano	Estándar de emisión
Articulados y estándar	Euro III

3.1.2 Tipo de vehículo

Tabla 2: Clases de vehículos en el transporte público de Lima y Callao.

Clase de vehículo GTU	Clase de vehículo inventario
Omnibus	Urban Bus Standard >15-18t
Microbus	Midi ≤15t
Camioneta Rural	Light Comercial Vehicle N1-II

Metropolitano	Clase de vehículo inventario
Articulado	Urban Bus Articulate >18t
Estándar	Urban Bus Standard >15-18t

3.2 GEOLOCALIZACIÓN

La geolocalización de las rutas fueron facilitadas en archivos formato *Shape*, cuya información vendría organizada en dos paquetes: *RTS_Transporte_publico* (GTU) y *Ruta_Metropolitano*. Del primer archivo se dejaron fuera del análisis las rutas que no contenían la información suficiente para poder exportarlas al sistema Airviro, considerándose finalmente 348 rutas del transporte general, una ruta troncal y 22 rutas alimentadoras del sistema Metropolitano. Con respecto al tipo de calle, se consideró que toda la malla de calles de Lima es “distribuidora”, exceptuando las rutas del metropolitano donde se supuso que son calles “troncales”.

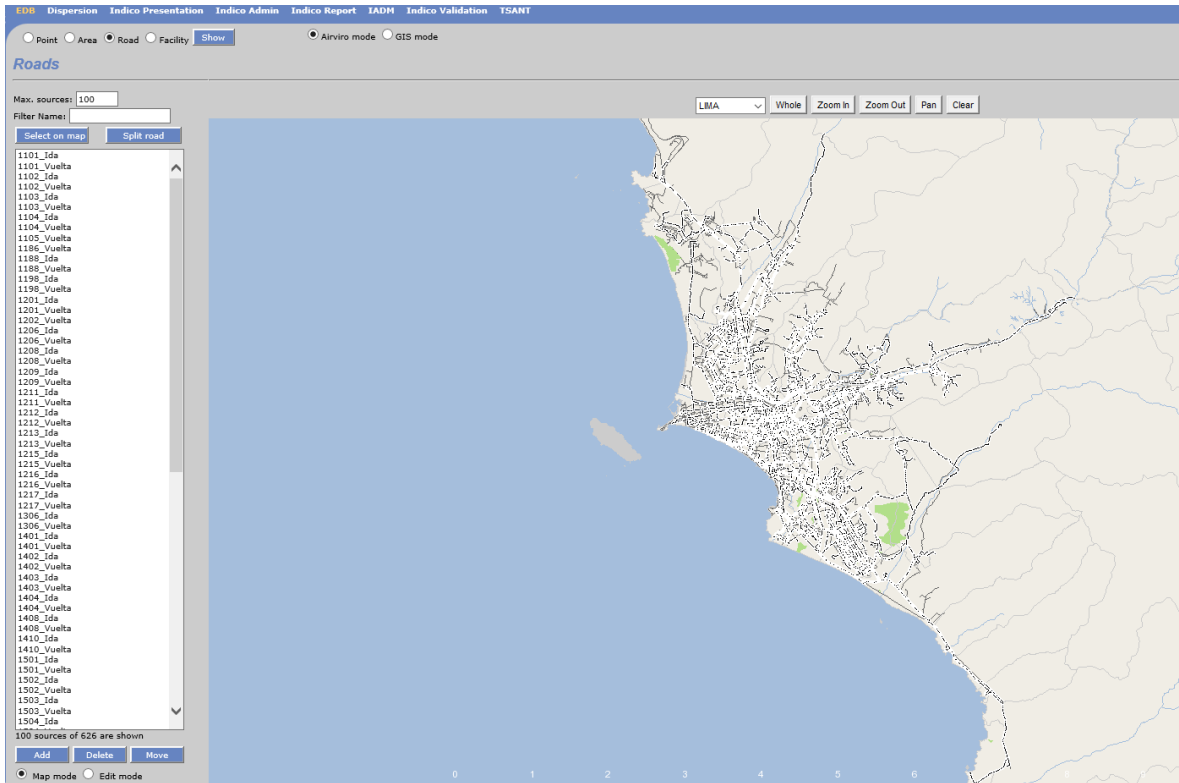


Figura 2: georeferenciación de rutas en Airviro

3.3 FACTORES DE EMISIÓN

Para el presente estudio utilizaron los Factores de emisión “*The Handbook of Emission factors for Road Transport*” (HBEFA 3.2) para buses. Debido a que los factores de emisión dependen de la situación de tráfico y del tipo de calle, además de la tecnología y tipo de vehículo. Se han fijaron los siguientes parámetros:

- Area: Urbana
- Situación de tráfico: Congestionado
- Calle: Distribuidora/Troncal
- Promedio de velocidad: 50 km/h

3.4 NIVEL DE ACTIVIDAD

Debido a que no fue posible obtener la información del nivel de actividad o frecuencia de cada ruta, estas fueron estimadas con base en las características descriptivas de la información vehicular proporcionada, tal como la longitud de la ruta, número de buses y supuestos de operación diaria, como un tiempo de operación aproximado de 18 horas, una velocidad promedio de 20 km/hr y una espera en terminal (cada extremo de la ruta) de 30 minutos. Con las anteriores consideraciones fue calculado el **número de vehículos al día que circulan por cada una de las rutas**, información necesaria para la estimación de emisiones en el modelo Airviro.

4 ESCENARIOS TECNOLÓGICOS

4.1 ESCENARIO BASE 2017

El escenario base se construyó considerando los aspectos mencionados **en el Capítulo 3**. Como resultado se muestra a continuación la composición de flota:

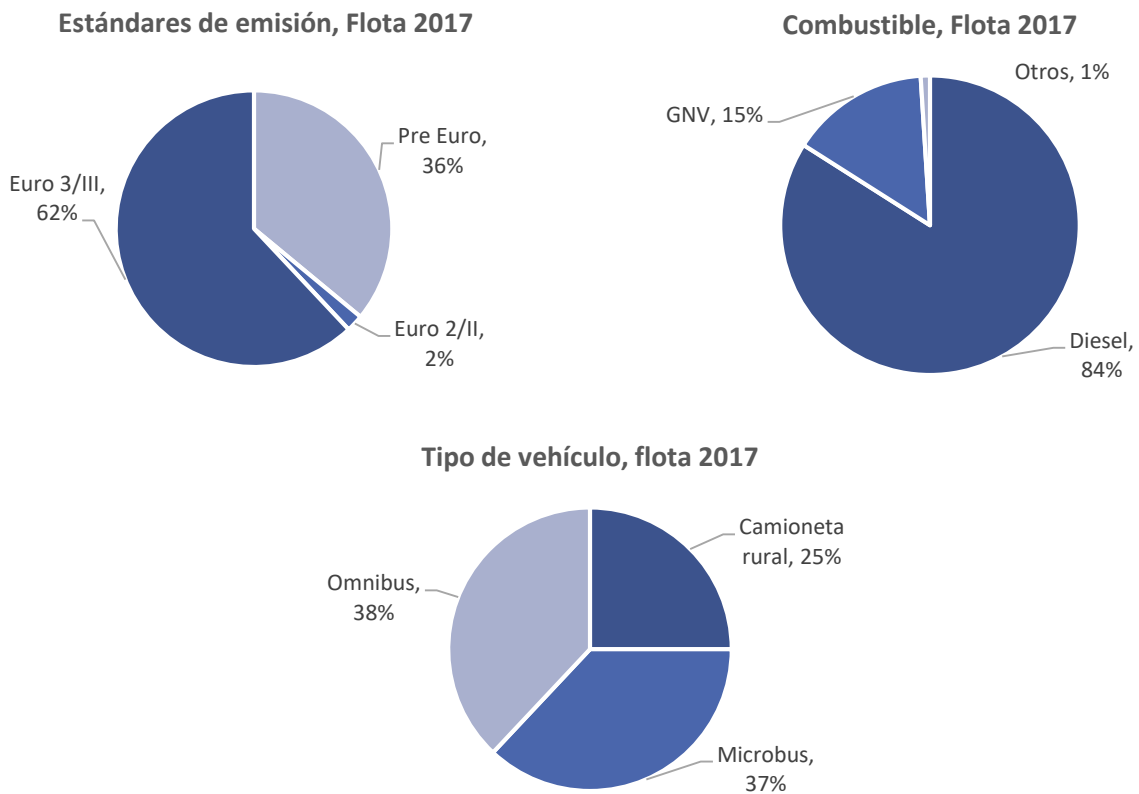


Figura 3: Distribución tecnológica de la flota del transporte público de Lima Callao

4.2 SUPUESTOS PARA EL DESARROLLO DE ESCENARIOS TECNOLÓGICOS

Para la evaluación de introducción de tecnologías de buses libres de hollín en el transporte público, se desarrollaron dos escenarios:

1. Escenario 2025 *Business us Usual (BAU)*, donde se incluyen los cambios de tecnologías esperadas según la normativa actual.

Se consideró la entrada en vigencia de la normativa Euro IV desde el 2018 para los buses/camionetas que tuvieran una antigüedad sobre los 20 años, tal como lo indica la normativa actual. Además, debido a que el ingreso de vehículos a Gas Natural ha experimentado un considerable aumento (de un 3% de la flota en el año 2012 hasta un 15% en el año 2017) se consideró que las renovaciones se realizarían por diésel y GNV en la misma proporción. Finalmente, se supuso un recambio de las camionetas rurales por microbuses. En el caso de los buses del Metropolitano, se supuso el reemplazo el año 2020 a buses a GN con estándar Euro IV.


























2. Escenario 2025 *“Soot Free”* o con mejores tecnologías, donde se construyó una flota con una mayor renovación e introducción de tecnologías Euro VI y GNV.

Con el objetivo de acelerar la renovación de la flota y mostrar sus beneficios, se supuso la renovación de todos los vehículos mayores de 15 años desde el año 2022, además de la entrada en vigencia desde ese mismo año del estándar Euro VI para buses diésel y Euro Energy Efficient Vehicles (EEV) para los buses que son a GN. Esto se debe a que desde la entrada en vigencia de la normativa Euro IV en este año hasta el 2022, existe tiempo suficiente para preparar otro avance tecnológico a Euro VI. Las renovaciones de las camionetas rurales consideradas fueron iguales a las del escenario anterior. En el caso de los buses del Metropolitano, se supuso el reemplazo el año 2022 a buses a GN con estándar Euro EEV.

4.3 TRANSFORMACIÓN DE LA FLOTA

Los supuestos considerados en el apartado anterior dan como resultado las transformaciones de flota presentadas en la Tabla 3, donde el cambio fundamental entre el escenario *BAU* y *Soot Free* o Tec es la introducción de tecnología Euro6/VI en un 12% de la flota del transporte, lo que significa cerca de 1.800 vehículos y el aumento de cerca de 1.000 buses a GNV, la importancia del cambio radica principalmente en el cambio de la edad máxima vehicular.

Tabla 3: Composición tecnológica de la flota bajo escenarios.

		2017 Base	2025 BAU	2025 "Soot Free"
Estándar de emisión	Pre Euro	 36%	0%	0%
	Euro 2/II	 2%	0%	0%
	Euro 3/III	 62%	 63%	 49%
	Euro 4/IV	0%	 37%	 34%
	Euro 6/VI	0%	0%	 12%
	EVV	0%	0%	 5%
Combustible	Diesel	 84%	 68%	 61%
	GNV	 15%	 32%	 39%
	Otros	 1%	1%	0%
Categoría Vehicular	Camioneta rural	 25%	 14%	 12%
	Microbus	 37%	 48%	 50%
	Omnibus	 38%	 38%	 38%

5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES

A continuación se presentan las estimaciones de las emisiones para los 3 escenarios desarrollados, incluido el base. En los mapas se puede observar la cantidad estimada de emisiones de NOx y MP en ton/año, como también la distribución de las mismas en Lima Metropolitana (ton/año/km²). Para los tres escenarios se mantiene la escala de colores para que visualmente sean notorias las disminuciones de emisiones y dónde se observa también el nivel de exposición en Lima. Se señala que al limpiar los datos fueron eliminadas rutas que transitan por la provincia del Callao por falta de información, por lo tanto el inventario solo estaría considerando el transporte público de la ciudad de Lima.

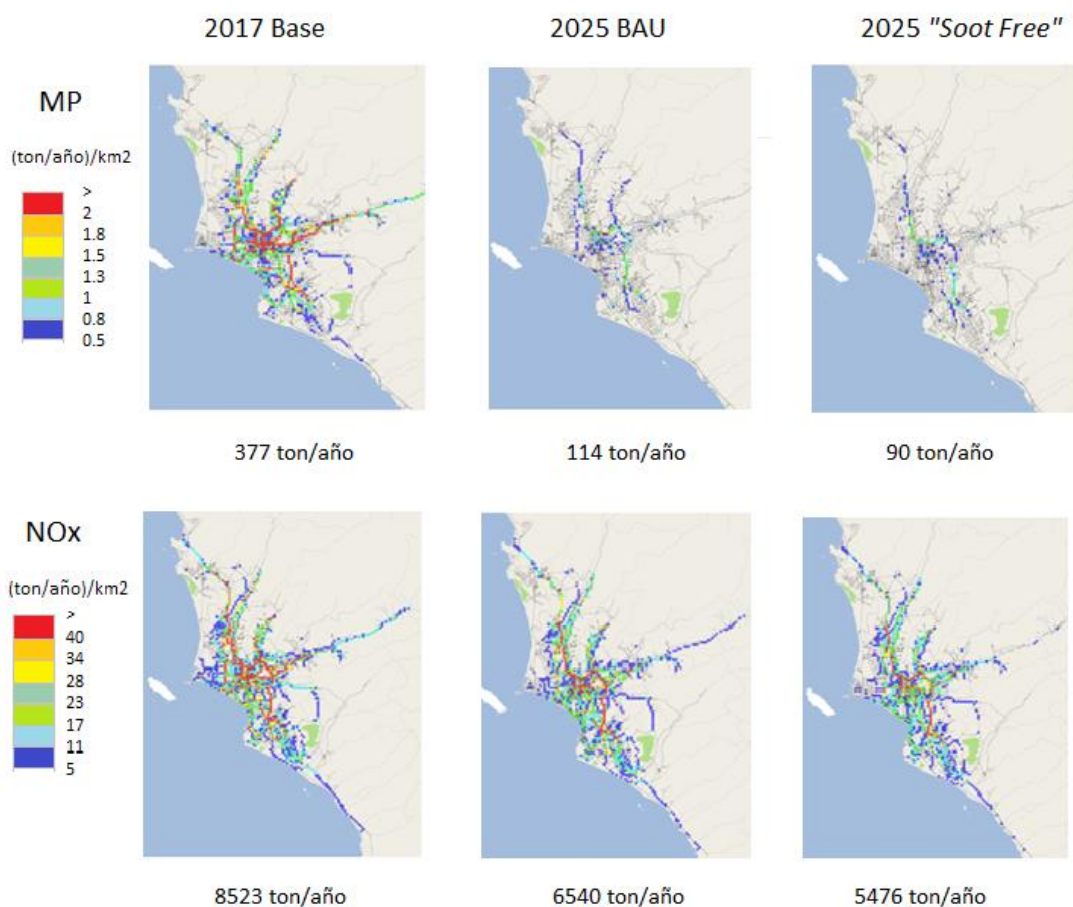


Figura 6: Emisión de MP y NOx del transporte público de Lima bajo distintos escenarios tecnológicos.

En las imágenes se observa una mayor densidad de emisión en el sector de la Panamericana Norte, vía utilizada por habitantes de la zona Lima Norte y Sur para llegar al centro de la ciudad. Además en el sector céntrico de la ciudad existe duplicidad y alta competencia de rutas del transporte público (Figura).



Figura 7: Tráfico en la Panamericana Norte en horario punta.

En relación a las emisiones de MP, BC y NOx, se observan en las siguiente gráficas las reducciones de las emisiones en los escenarios desarrollados, para MP la reducción entre el escenario base y el escenario “Soot Free” es cercana al 75% y para NOx es de un 36%. Para la emisiones de BC, se consideró el perfil de emisión de MP para vehículos pesados diésel de la EPA que los estima en un 75% del MP (U.S. EPA, 2012).

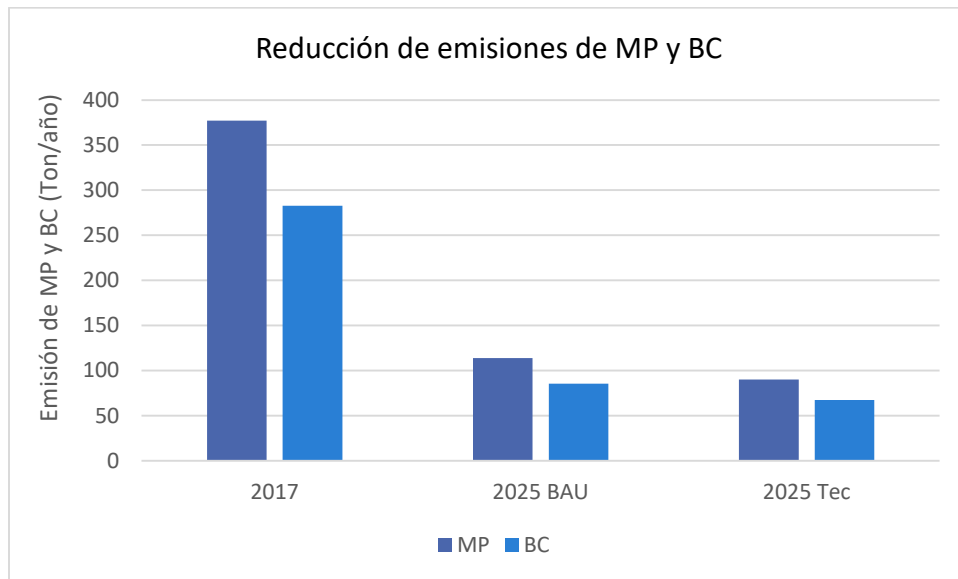


Figura 8: Emisión de MP y BC del Transporte Público en Lima bajo diferentes escenarios tecnológicos

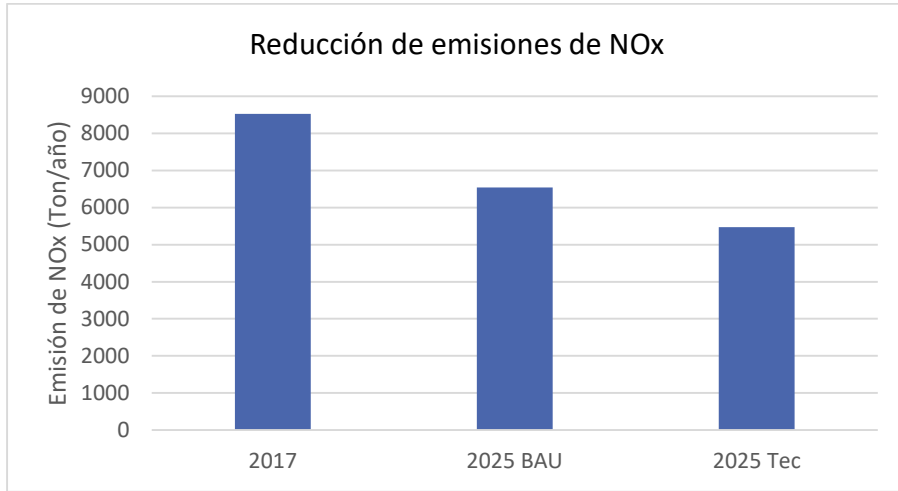


Figura 9: Emisión de NOx del Transporte Público de Lima bajo diferentes escenarios tecnológicos.

6 DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los resultados del presente informe, tanto como las emisiones estimadas para los escenarios BAU y “Soot free”, podrían materializarse solo si existiera verdadero recambio de flota y la entrada en la práctica de tecnología Euro IV, tal como acaba de estipular el Decreto Supremo N° 010-2017-MINAM. Ya que como se mencionó en el taller de presentación de resultados, el hecho de que este haya sido promulgado, no significa que la renovación sea un hecho, si no que las autoridades deben incentivarla. De ser esto posible, en este escenario podría llegarse a reducir hasta un 23% de emisiones de NOX y 69% de MP. Con respecto a la propuesta de transitar a Euro VI, el periodo de 2018 - 2020 es suficiente para hacer viables las condiciones para la introducción de buses con esta tecnología y que esta entre en vigor el 2020 o como mínimo en 2022 como se modeló en el inventario; esto daría una reducción de 75% de emisiones de partículas y 36% de NOx aproximadamente.

De la información de inventarios anteriores, se concluye que es necesaria la inclusión de las rutas de la provincia del Callao, puesto que las reducción de emisiones serían todavía más grandes, además de que se espera en el presente año la entrada en funcionamiento la Autoridad de Transporte Urbano para Lima Metropolitana, entidad que busca coordinar el transporte de las provincias de Lima y el Callao, pudiendo ser este reporte un insumo para estimar geográficamente los impactos del transporte público. Así mismo, la municipalidad de Lima tiene proyectos en puerto, acerca de la extensión del sistema de transporte público Metropolitano hacia el norte, más otras ramificaciones complementarias, para los que las modelaciones podrían ser de utilidad al momento de evaluar los beneficios/impactos del proyecto.

Finalmente, con el inventario de emisión desarrollado y con buena información de calidad de calidad del aire, se podrían realizar en un futuro modelaciones de calidad del aire y así estimar los cambios tecnológicos vehiculares en la calidad del aire, además de poder evaluar beneficios en salud asociados a estos cambios.

7 REFERENCIAS

Airviro. (2017). *Airviro*. Obtenido de <http://www.smhi.se/airviro/modules>

BID. (2013). *Low carbon technologies can transform LatinAmerican's fleet*.

Congreso de la República, Perú. (Febrero de 2018). *Congreso de la República*. Obtenido de http://www.congreso.gob.pe/Storage/tbl_notas_de_prensa/fld_121_PDF_file/637-