

Programa CALAC+

# ACTUALIZACIÓN - Análisis del Impacto económico y ambiental de la de la migración a las normas de emisiones EURO 6/VI en el Perú

Informe Final

Consultor: Paulina Schulz Antipa  
08 de octubre de 2020

## Presentación

El presente informe corresponde a la actualización del informe “Análisis del Impacto económico y ambiental de la migración a las normas de emisiones EURO 6/VI en el Perú” entregado originalmente en enero de 2020.

El principal cambio respecto a la versión anterior del informe es la incorporación de una nueva relación entre emisiones y concentraciones, la que se detalla en la sección 4.1.3, bajo la Opción 3. Dicho cambio implica modificaciones a los beneficios en salud estimados anteriormente, y consecuentemente en la razón beneficio-costo.

La justificación de la inclusión de una opción metodológica adicional para relacionar emisiones y concentración es que la nueva metodología propuesta permite incorporar factores de emisión-concentración desarrollados para una zona geográfica costera y con un perfil de emisiones urbanas similar a la zona de Lima y Callao.

El presente informe también presenta algunas pequeñas modificaciones adicionales, las que no afectan los resultados del análisis costo-beneficio.

## Índice de contenidos

1	Lista de acrónimos y abreviaciones .....	5
2	Resumen ejecutivo.....	7
3	Antecedentes .....	9
3.1	Parque vehicular en Lima y Callao .....	9
3.2	Emisiones en Lima y Callao .....	11
3.3	Datos de calidad del aire.....	12
4	Metodología y alcance.....	13
4.1	Metodología emisiones y concentraciones .....	14
4.1.1	Emisiones del sector transporte .....	14
4.1.2	Proyección y caracterización del parque vehicular.....	17
4.1.3	Relación entre emisiones y concentraciones.....	19
4.2	Metodología cuantificación impactos en salud .....	23
4.2.1	Funciones concentración-respuesta .....	25
4.2.2	Transferencia de VSL para Perú .....	27
4.3	Metodología para costos y ahorros .....	29
4.3.1	Costos de inversión y mantención mejoras tecnológicas .....	30
4.3.2	Costos de remoción de azufre .....	31
4.3.3	Costos AUS 32 .....	33
4.3.4	Ahorros en consumo de combustible .....	33
4.3.5	Costos evitados por reducción de CO <sub>2</sub> .....	34
4.3.6	Otros posibles costos .....	34
4.4	Análisis costo-beneficio .....	35
5	Resultados.....	36
5.1	Emisiones y comparación de escenario Euro VI y Línea base .....	36
5.2	Impactos en salud .....	37
5.3	Análisis costo beneficio.....	39
5.3.1	Distribución costos y beneficios según agente .....	42
5.4	Análisis de sensibilidad .....	43
6	Referencias.....	45
7	Anexos.....	48
7.1	Información provista por la contraparte técnica .....	48

7.2	Parámetros para el cálculo de emisiones .....	50
7.3	Ejemplo variación factores de emisión en base a velocidad de circulación .....	51
7.4	Detalle del parque proyectado .....	52
7.5	Parámetros utilizados en la transferencia de VSL.....	57
7.6	Valoración de la mortalidad evitada, enfoque de capital humano, Perú .....	57
7.7	Datos de mortalidad 2016 para Lima y Callao .....	58
7.8	Factores de consumo de combustible .....	59
7.9	Costos de certificación .....	60
7.10	Evolución de la población en Perú.....	61
7.11	Detalle de costos y beneficios.....	62
7.12	Efectos en Salud AirQ+, comparación con planilla adjunta .....	64

# 1 Lista de acrónimos y abreviaciones

## Instituciones

ACB	Análisis Costo Beneficio
CALAC+	Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
EEA	Agencia Ambiental Europea ( <i>European Environment Agency</i> )
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ( <i>Environmental Protection Agency</i> )
FMI	Fondo Monetario internacional (IMF por sus siglas en inglés)
IHME	<i>Institute for Health Metrics and Evaluation</i>
ICCT	<i>International Council on Clean Transportation</i>
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas del Perú
MINAM	Ministerio del Ambiente del Perú
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD por sus siglas en inglés)
OMS	Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés)
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

## Contaminantes

BC	Carbono negro (por sus siglas en inglés)
HC	Hidrocarburos
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COVNM	Compuestos orgánicos volátiles no metánicos
GEI	Gases de efecto invernadero
H <sub>2</sub> S	Hidrógeno de sulfuro
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
PM	Material particulado (por sus siglas en inglés)

PM <sub>2,5</sub>	Material particulado de diámetro aerodinámico inferior a 2,5 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>10-2,5</sub>	Material particulado de diámetro aerodinámico inferior a 10 y superior a 2,5 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre

### Unidades

Bar	Unidad de presión, aproximadamente igual a una atmósfera
Bpd	Barriles por día
Ppm	Partes por millón
µg/m <sup>3</sup>	Microgramos por metro cúbico

### Otras abreviaciones

ACB	Análisis costo-beneficio
ALRI	Infecciones respiratorias bajas agudas (en inglés <i>Acute lower respiratory infections</i> )
BAU	Línea base (en inglés <i>Business as usual</i> )
COPD	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (en inglés <i>Chronic Obstructive Pulmonary Disease</i> )
DALYs	Años de vida ajustados por discapacidad (en inglés <i>Disability-Adjusted Life Years</i> )
DPF	Filtro de partículas diésel (en inglés <i>Diesel Particulate Filter</i> )
FE	Factor de emisión
GBD	Carga global de enfermedades (en inglés <i>Global Burden of Disease</i> )
GNV	Gas Natural Vehicular
GLP	Gas Licuado de Petróleo
OBD	Sistema de diagnóstico a bordo (en inglés <i>Onboard diagnostic systems</i> )
PAF	Fracción atribuible poblacional (en inglés <i>Population Attributable Fraction</i> )
PIB	Producto Interno Bruto
SCR	Reducción catalítica selectiva ( <i>Selective Catalytic Reduction</i> )
YLD	Años vividos con discapacidad (en inglés <i>Years Lived with Disability</i> )
YLL	Años de vida perdida (en inglés <i>Years of Life Lost</i> )
VSL	Valor de la vida estadística (en inglés <i>Value of the statistical life</i> )

## 2 Resumen ejecutivo

De acuerdo con el inventario de emisiones del año 2016, el sector de fuentes móviles corresponde al mayor emisor de material particulado y sus precursores. Además, el sector transporte se ha multiplicado por un factor de 2,58 entre los años 2000 y 2018. El crecimiento sostenido de este sector hace necesario evaluar los mecanismos que permitan reducir las emisiones de los vehículos, para garantizar que los niveles de calidad del aire en Lima y Callao mejoren en el tiempo.

El presente informe evalúa la introducción del estándar de emisión Euro 6 para vehículos livianos y Euro VI para vehículos pesados, en adelante referido genéricamente como estándar Euro 6/VI. El análisis costo-beneficio realizado considera entre los costos de implementación de la nueva normativa los costos de inversión y mantenimiento asociados a las mejoras tecnológicas para dar cumplimiento al estándar Euro 6/VI, costos de remoción de azufre, y costos asociados al uso de urea automotriz AUS 32 (solución acuosa de urea, cuyo nombre comercial más conocido es AdBlue). Entre los beneficios cuantificados, se considera la mortalidad prematura evitada, ahorros en consumo de combustible debido a una mayor eficiencia de vehículos Euro 6/VI y costos evitados de emisiones de CO<sub>2</sub>. Adicionalmente se reportan otras métricas de salud: años de vida ajustados por discapacidad (DALYs), años de vida perdidos (YLL) y años vividos con discapacidad (YLD).

Como anexo digital al informe se incluye una planilla de cálculo en formato Excel con los cálculos realizados para el análisis y con parámetros modificables por el usuario, que permiten la evaluación de escenarios adicionales a los presentados en este informe. Dicha planilla será referida en adelante como “planilla adjunta”.

Los supuestos de evaluación se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 2-1: Supuestos de evaluación**

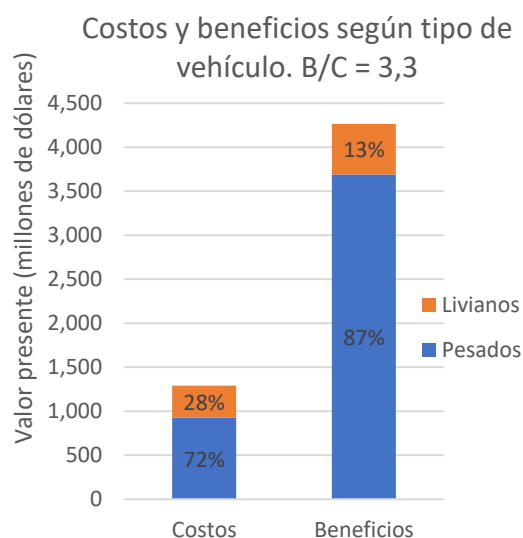
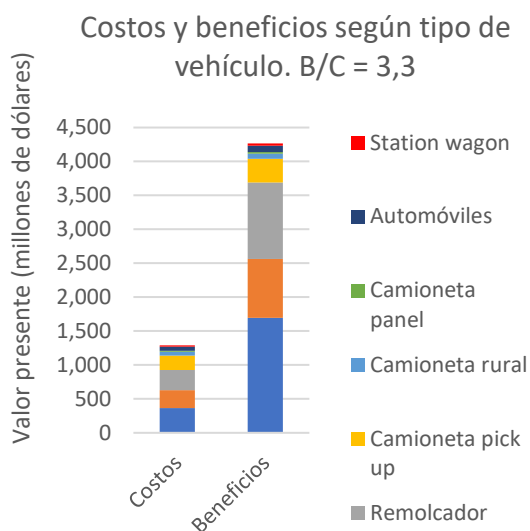
Parámetros	Valor/supuesto	Sección del informe
Estándar normativo (Límite Máximo Permissible – LMP)	EURO 6/VI	
Vigencia nueva normativa	2021	
Factores de emisión	Tier 2	4.1.1
Tasa de entrada vehículos livianos	7,7%	
Tasa de entrada vehículos pesados	6,8%	
Tasa de salida vehículos livianos	0%	
Tasa de salida vehículos pesados	0%	
Ahorro combustible vs Euro 4/IV, vehículos diésel pesados	7%	4.3.4
Crecimiento per cápita PIB	2,7%	4.2.2
Tasa de descuento	8%	4.4
Tipo de cambio (soles por dólar)	3,37	
VSL (millones de dólares)	0,684	4.2.2
Consumo AUS 32	4%	4.3.3
Costo AUS 32	Medio	
Costo azufre	Escenario ICCT	4.3.2
Precio Social CO <sub>2</sub> (dólares)	7,17	4.3.5
Mortalidad	Causas naturales	4.2.1

Parámetros	Valor/supuesto	Sección del informe
Relación emisión concentración	FEC transferido Chile	4.1.3
Vida útil inversión livianos (kilómetros)	262.754	4.3.1
Vida útil inversión pesados (kilómetros)	1.424.254	

Fuente: Elaboración propia. Para el detalle de las referencias seleccionadas, referirse a las secciones del informe indicadas en la columna final de la tabla.

Los resultados de la evaluación indican que:

- La concentración ambiental de PM<sub>2,5</sub> se reduciría 4,97µg/m<sup>3</sup> al año 2030
- En el periodo 2021-2030 se evitaría un total de 7.387 muertes prematuras (causas naturales)
- Los beneficios totales de la nueva normativa alcanzarían los \$4.236 millones de dólares en valor presente, equivalentes a \$14.368 millones de soles. Los principales beneficios corresponden a mortalidad evitada, correspondiente al 82,8%, seguido de beneficios debido a un menor consumo de combustible (16,7%) y a emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> (0,4%).
- Los costos totales alcanzarían \$1.291 millones de dólares, equivalentes a \$4.439 millones de soles en valor presente. El 41% de los costos derivaría del consumo de AUS 32, seguido por los costos de inversión tecnológica (30%), costo de remoción de azufre (30%) y costo de mantención de filtros de partículas (1%).
- La normativa tendría un beneficio neto de \$2.973 millones de dólares, equivalentes a \$10.019 millones de soles y una razón beneficio-costos de 3,3.
- Tanto los costos como los beneficios de la normativa recaen mayoritariamente sobre los vehículos diésel (93% en el caso de los costos y 97% de los beneficios).
- Los emisores absorberían el 91% de los costos, obteniendo un 17% de los beneficios debido a un menor consumo de combustible. Por otro lado, la población residente en Lima y Callao recibiría el 83% de los beneficios, al estar expuestos a un menor nivel de contaminación y por lo tanto reducir su probabilidad de mortalidad prematura (ver sección 5.3.1).





### 3 Antecedentes

La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), a través de su Programa Global de Cambio Climático, está impulsando la implementación del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina (CALAC+), que busca fomentar la reducción de contaminantes del aire perjudiciales para la salud humana y mitigar el cambio climático. El programa busca también facilitar la creación de capacidades y transferencia de conocimientos.

En Perú, el proceso de control de las emisiones a la atmósfera del transporte en ruta comenzó en 1998, con el retiro del plomo de la gasolina, seguido por la implementación gradual de estándares de emisión. Actualmente se encuentra vigente el estándar de emisión Euro 4/IV, establecido en noviembre de 2017 y vigente desde abril de 2018<sup>1</sup>.

La migración hacia los estándares Euro 6/VI implicaría reducciones de contaminantes climáticos (como CO<sub>2</sub> y BC), y de contaminantes locales (PM, SO<sub>2</sub>, NOx, entre otros), responsables de la contaminación atmosférica (Ver secciones 4.1.1y 5.1). Cabe mencionar que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) a nivel mundial, la contaminación atmosférica contribuyó con un 7,6% de la mortalidad total en 2016<sup>2</sup>. En el Perú, se estima que para el mismo año la mortalidad asociada a material particulado y ozono habría ascendido a alrededor de 7 mil muertes<sup>3</sup>, equivalentes al 5,5% de la mortalidad total estimada en el país para ese año<sup>4</sup>. Cabe mencionar que el presente análisis sólo considera la mortalidad asociada al material particulado.

El presente estudio se enmarca en el desarrollo de las actividades de CALAC+ en el Perú y consiste en el análisis del impacto económico y ambiental de la migración a las normas de emisiones Euro 6/VI en el área Metropolitana de Lima y Callao.

Los objetivos del estudio son:

- Evaluar el impacto económico y ambiental de la migración en el Perú a las normas de emisiones Euro 6/VI para vehículos de cuatro o más ruedas (livianos y pesados).
- Transferir capacidades al personal de Swisscontact y el Ministerio del Ambiente del Perú, para realizar el Análisis Costo Beneficio (ACB) del cambio normativo.

#### 3.1 Parque vehicular en Lima y Callao

El parque de Lima y Callao representa un 69% del parque vehicular total del Perú (año 2018), ascendiendo a un total de cerca de 2 millones de vehículos, excluyendo las motocicletas, las que ascienden a 594 mil unidades, de acuerdo a datos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones provistos por la contraparte técnica.

---

<sup>1</sup> Decreto supremo N° 10 de 2017, MINAM, disponible en <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/establecen-limites-maximos-permisibles-de-emisiones-atmosfer-decreto-supremo-n-010-2017-minam-1592399-2/>.

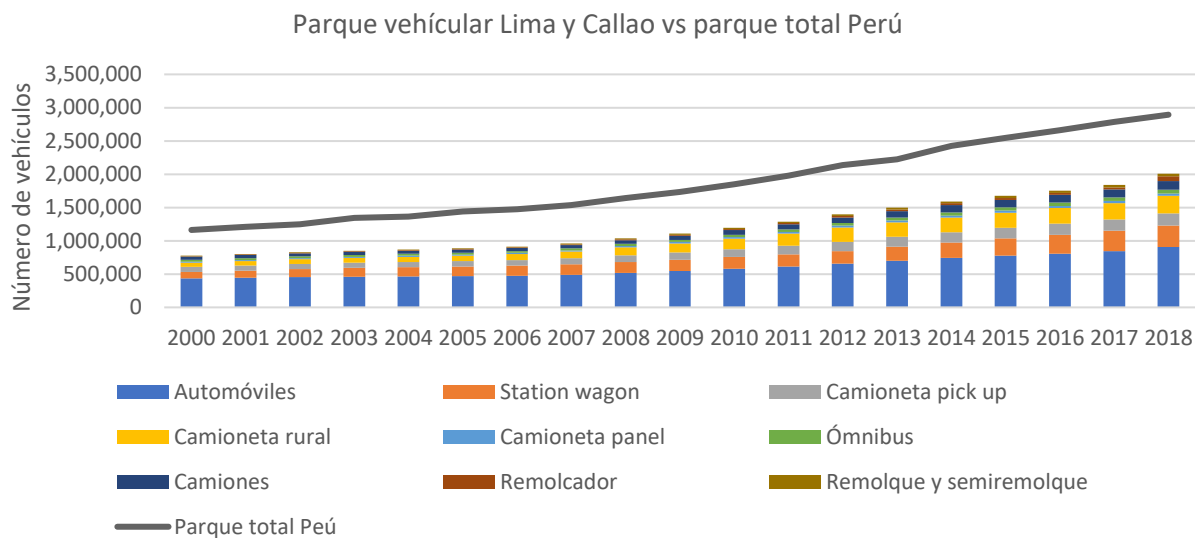
<sup>2</sup> Dato disponible en [https://www.who.int/gho/phe/outdoor\\_air\\_pollution/burden/en/](https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/)

<sup>3</sup> Cifra de acuerdo a <https://ourworldindata.org/air-pollution>

<sup>4</sup> Utilizando un valor de mortalidad total en 2016 para el Perú de 138,194 de acuerdo a IHME (2018)

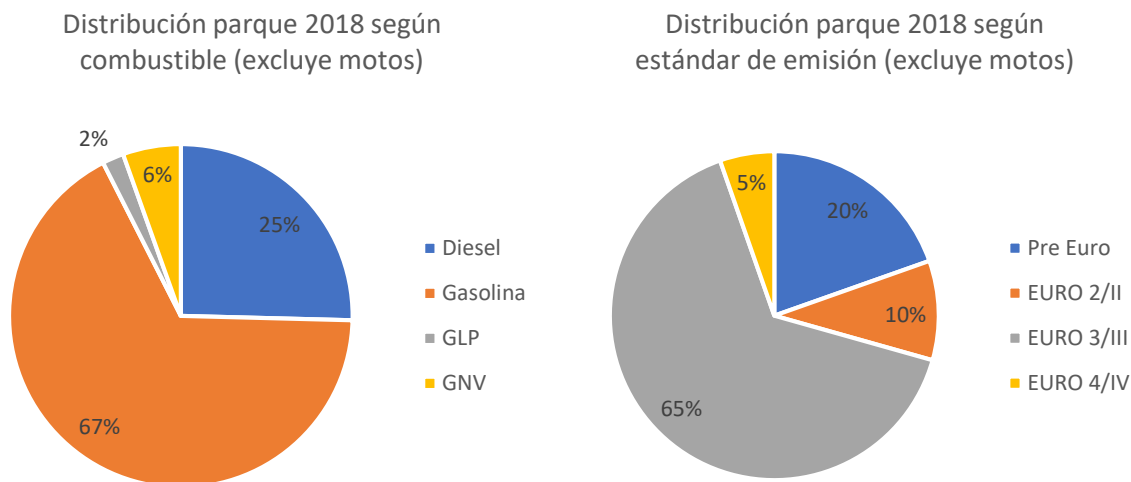
En la Figura 3-1, se observa también que el parque ha crecido considerablemente desde el año 2000 en adelante, habiéndose multiplicado por un factor de 2,46 en el periodo 2000 a 2018.

**Figura 3-1: Parque vehicular en Lima y Callao (barras apiladas) según tipo de vehículo vs parque total Perú (línea).**



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

**Figura 3-2: Distribución del parque según combustible (izquierda) y estándar de emisión (derecha)**



Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por MINAM.

La Figura 3-2 presenta la distribución del parque en términos de combustible utilizado (izquierda) y de estándar de emisión (derecha) para el año 2018. Se observa que el 67% del parque utiliza gasolina como combustible, seguido de diésel, GNV y GLP con participación del 25%, 6% y 2% respectivamente.

Se observa también en la Figura 3-2 que el estándar de emisión Euro 4/IV representa sólo un 5% de la flota, mientras que el estándar predominante es el Euro 3/III, con un 65% de la flota.

La Tabla 3-1 presenta la composición del parque según tipo de vehículo y combustible. La categoría vehicular predominante corresponde a automóviles, seguidos por station wagons y camionetas rurales. Mayor detalle de la composición del parque se presenta en la Tabla 7-4 de Anexos.

**Tabla 3-1: Distribución de vehículos año 2018, según tipo de vehículo y combustible utilizado.**

Tipo de vehículo	Diesel	GLP	GNV	Gasolina	Total	% (excluyendo motos)
Automóviles	544	22.593	53.805	830.397	<b>907.340</b>	46,1%
Station wagon	1.246	12.999	47.013	258.126	<b>319.384</b>	16,2%
Camioneta pick up	165.965	865	92	17.116	<b>184.038</b>	9,3%
Camioneta rural	68.108	2.206	505	194.916	<b>265.734</b>	13,5%
Camioneta panel	12.838	1.003	495	20.502	<b>34.838</b>	1,8%
Ómnibus	50.951	62	5.520	142	<b>56.676</b>	2,9%
Camiones	130.227	0	183	603	<b>131.013</b>	6,7%
Remolcador	70.558	0	0	0	<b>70.558</b>	3,6%
Motos	0	0	0	594.235	<b>594.235</b>	
Total (con motos)	500.437	39.728	107.613	1.916.036	2.563.815	
<b>Total (excluye motos)</b>	<b>500.437</b>	<b>39.728</b>	<b>107.613</b>	<b>1.321.802</b>	<b>1.969.581</b>	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por MINAM.

### 3.2 Emisiones en Lima y Callao

De acuerdo al inventario de emisiones del año 2016, las fuentes móviles contribuyen la mayor cantidad de emisiones de carbono negro, material particulado, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, entre otros contaminantes, como se muestra en la Tabla 3-2 y Figura 3-3. Dichos contaminantes contribuyen a la formación de PM<sub>2,5</sub> en la atmósfera y por lo tanto es necesario su control para prevenir efectos nocivos en la salud humana.

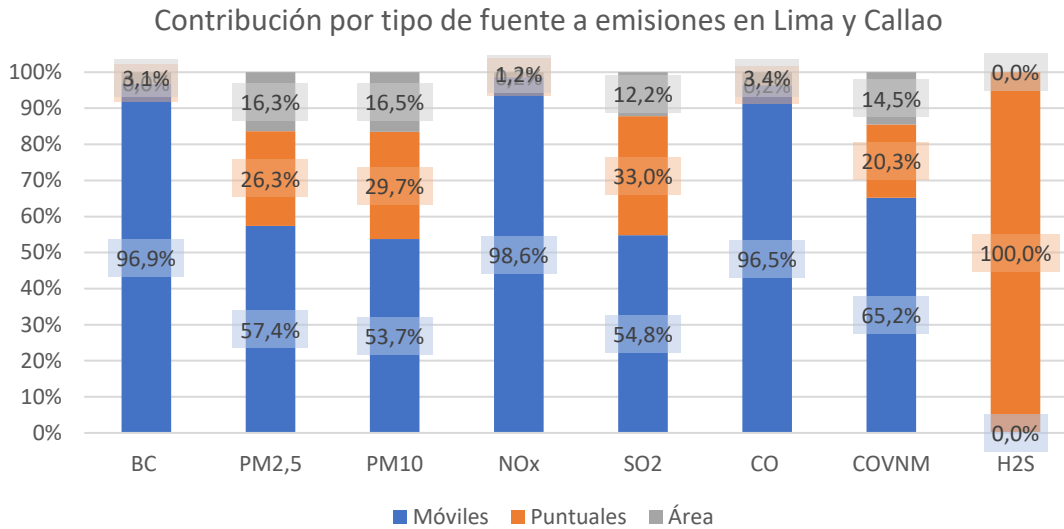
**Tabla 3-2: Inventario de emisiones en Lima y Callao, 2016**

	BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NOx	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM	H <sub>2</sub> S
<b>Móviles</b>	2.228	3.898	3.898	152.106	38.765	272.905	24.582	0
<b>Puntuales</b>	0	1.784	2.156	307	23.363	461	7.636	6
<b>Área</b>	71	1.108	1.200	1.774	8.615	9.549	5.476	0
<b>TOTALES</b>	2.299	6.789	7.254	154.188	70.743	282.915	37.695	6

Fuente: Información provista por MINAM.

El sector transporte constituye más del 50% de las emisiones de PM y SO<sub>2</sub> y más del 98% de las emisiones de NOx (Ver Figura 3-3). La emisión de estos contaminantes se reduciría con la introducción de la nueva normativa de emisión para fuentes móviles, con un efecto particularmente relevante en el caso de vehículos pesados que utilizan diésel.

**Figura 3-3: Contribución a las emisiones según tipo de fuente en Lima y Callao, año 2016.**



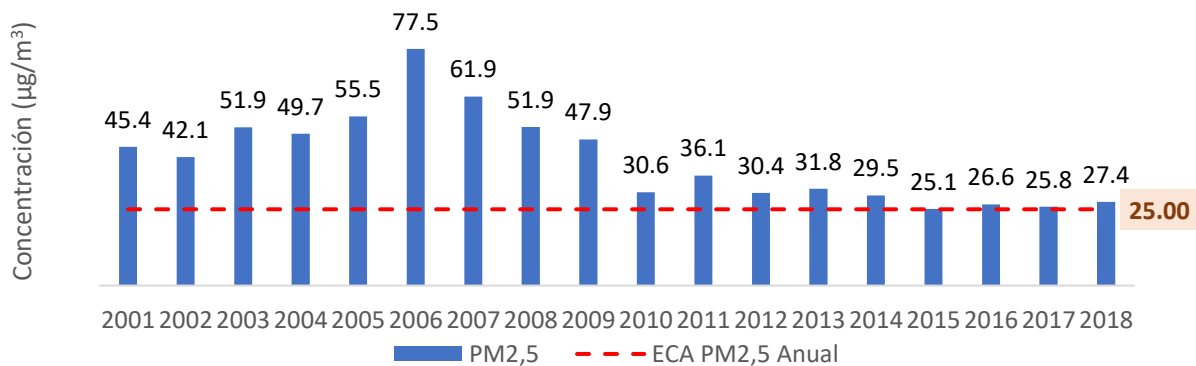
Fuente: En base a información provista por MINAM.

### 3.3 Datos de calidad del aire

La Figura 3-4 presenta la evolución de los datos de calidad del aire para el material particulado fino entre los años 2001 y 2018 en Lima y Callao. Se observa que los valores anuales se encuentran por sobre el estándar de calidad ambiental de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , aunque los valores presentan una tendencia decreciente a partir del año 2006. Sin embargo, los niveles de  $\text{PM}_{2,5}$  exceden significativamente el nivel recomendado de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por la OMS para la concentración anual de  $\text{PM}_{2,5}$  (Organización Mundial de la Salud 2005).

En el presente análisis, la concentración de línea base será la correspondiente al año 2018, de  $27,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Figura 3-4: Concentración promedio anual de  $\text{PM}_{2,5}$  en Lima y Callao ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )**

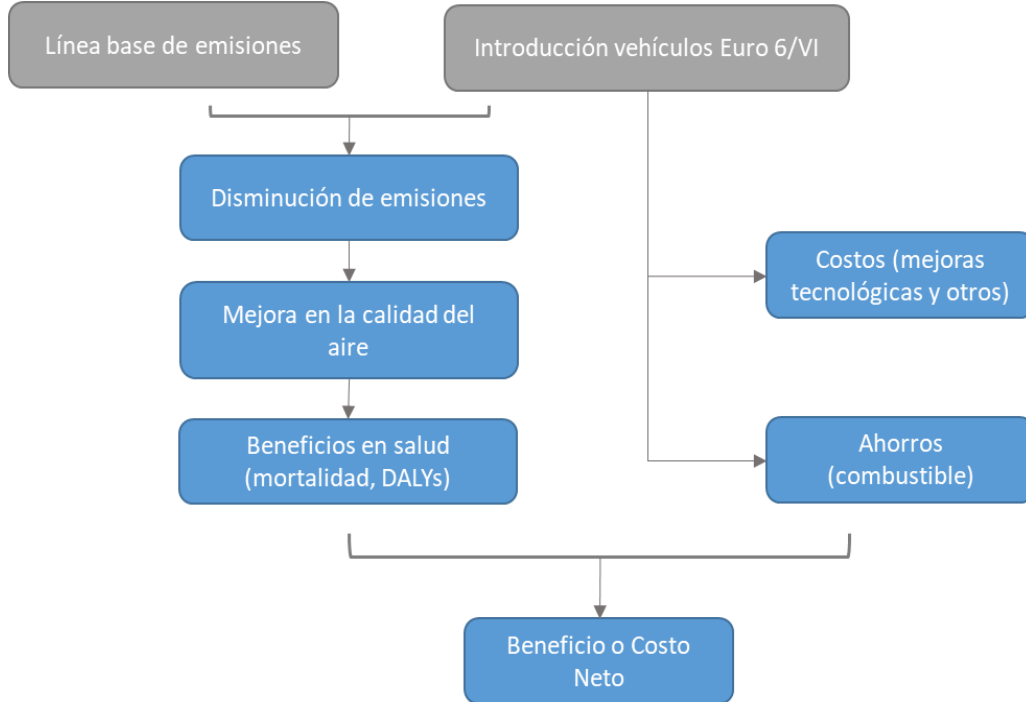


Fuente: Datos provistos por MINAM

## 4 Metodología y alcance

La metodología para la evaluación del impacto económico y ambiental de la de la migración hacia las normas de emisiones Euro 6/VI se presenta en la Figura 4-1.

**Figura 4-1: Esquema metodológico para la evaluación normativa**



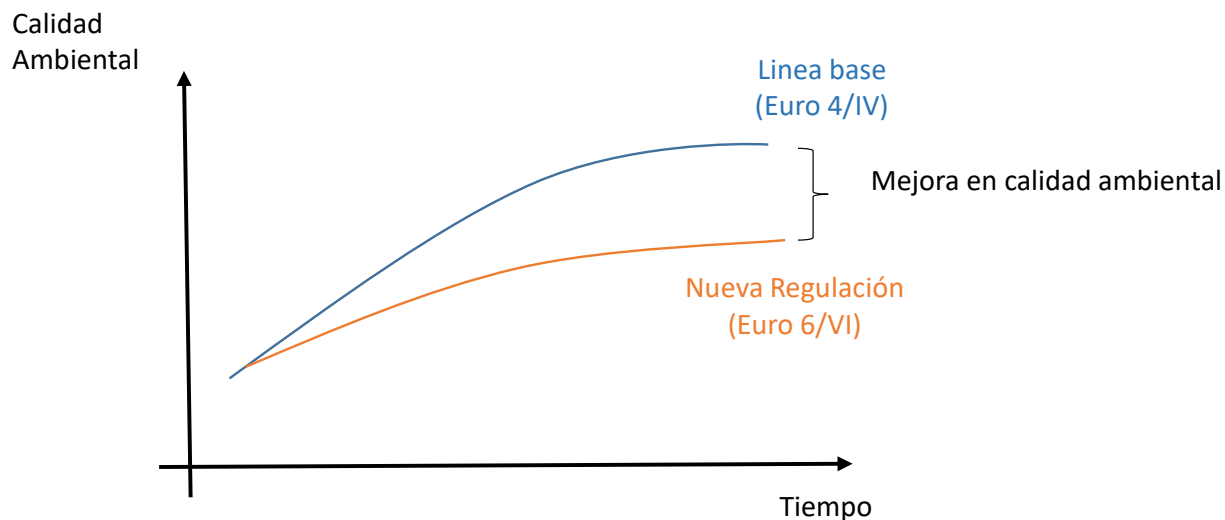
Fuente: Elaboración propia

El análisis contempla la estimación de la línea base de emisiones, bajo la normativa actual vigente (estándar Euro 4/IV) y las reducciones de emisiones que se lograrían al introducir un estándar de emisión (Euro 6/VI). La reducción de emisiones implicaría una mejora en la calidad del aire (ver Figura 4-2) y esta menor concentración de  $PM_{2.5}$  implicaría beneficios en salud debido a casos de mortalidad y morbilidad evitados.

Por otro lado, la introducción de una nueva normativa implica también costos para su cumplimiento, asociados a mejoras tecnológicas y a la gestión necesaria para el cumplimiento normativo. A su vez, nuevos estándares de vehículos pueden implicar mayor eficiencia en el uso de combustible, implicando un ahorro para los usuarios de los vehículos.

El análisis normativo considerará tanto los beneficios como los costos de la implementación normativa para estimar el beneficio neto de la regulación e indicadores como la razón costo/beneficio.

**Figura 4-2: Ilustración de la calidad ambiental en el escenario de línea base y con nueva regulación**



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia, el alcance de la presente consultoría se presenta en la Tabla 4-1.

**Tabla 4-1: Alcance del estudio**

Tipo	Alcance
Normativo	Norma Euro 6/VI
Geográfico	Área Metropolitana de Lima y Callao
Temporal	Hasta 2030
Contaminantes	NOx, PM <sub>2,5</sub> , carbono negro, SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
Fuentes emisoras	Fuentes móviles, de cuatro ruedas o más, livianos y pesados
Receptores	Población del Área Metropolitana de Lima y Callao
Efectos	Calidad del aire del Área Metropolitana de Lima y Callao y contribuciones al cambio climático
Escenarios	- Línea base (BAU) Euro 4/IV (BAU) - Euro 6/VI a partir de 2021

## 4.1 Metodología emisiones y concentraciones

### 4.1.1 Emisiones del sector transporte

La metodología propuesta para el cálculo de emisiones se basa en la guía de inventarios de contaminantes atmosféricos de la Agencia Ambiental Europea (European Environment Agency 2016), de su capítulo “1.A.3.b.i-iv Road transport hot EFs Annex 2018”. La guía presenta tres niveles de factores de emisión, dependiendo de la disponibilidad de información: Tier 1, Tier 2 y Tier 3. La metodología Tier 1 es la que

requiere menor información para su aplicación, presentando factores de emisión por defecto para países de Europa, según tipo de vehículo y combustible utilizado. La metodología Tier 2 requiere más información que la metodología Tier 1, requiriéndose para su uso conocer la desagregación del parque según estándar de emisión, tipo de vehículo y combustible utilizados. Los factores de emisión Tier 3 requieren conocer además las velocidades de circulación de los vehículos. Los factores Tier 2 son calculados a partir de factores Tier 3, asumiendo valores típicos de velocidad de circulación, entre otros parámetros de operación, correspondientes a condiciones promedio de operación de los vehículos en Europa. En la planilla Excel asociado a este informe se incorporan los factores de emisión Tier 2 y Tier 3

En términos generales, las emisiones vehiculares se calcularán utilizando factores de emisión y niveles de actividades locales (kilómetros recorridos según categoría vehicular, presentados en la Tabla 7-2 de Anexos), como se presenta en la siguiente ecuación ( 4-1).

$$E_i = \sum_s \sum_f FE_{ifs}(v) * NA_i \quad (4-1)$$

Dónde:

$E_i$ : Emisión vehículos tipo i

$FE_{ifs}$ : Factor de emisión (depende de la velocidad) vehículo tipo i, combustible tipo f, estándar de emisión tipo s (gr/Km)

$NA_i$ : Nivel de actividad vehículo tipo i (km/año)

Las emisiones a incluir en el análisis a partir de factores de emisión serán el material particulado, carbono negro y óxidos de nitrógeno (NOx). Posteriormente, a partir del consumo de combustible es posible calcular las emisiones de óxidos de azufre (SOx) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Las emisiones de SO<sub>2</sub> dependen del consumo de combustible y del contenido de azufre de los mismos, de acuerdo a la expresión ( 4-2).

$$E_{SO2,m} = 2 * K_{S,m} * FC_m \quad (4-2)$$

Donde:

$E_{SO2,m}$ : Emisiones de SO<sub>2</sub> en combustible m [g]

$K_{S,m}$ : Contenido de azufre en el combustible m [g/g combustible]

$FC_m$ : Consumo de combustible m [g]

Las emisiones de dióxido de carbono, además de depender del consumo de combustible, dependen del tipo de combustible y de las emisiones de monóxido de carbono, de hidrocarburos y de material particulado. Para el presente análisis, se considerarán los kilogramos de CO<sub>2</sub> liberados por kg de combustible presentados en la Tabla 4-2, correspondientes a la metodología Tier 1. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se obtienen de la multiplicación del consumo de combustible por los valores indicados en la tabla.

**Tabla 4-2: Kilogramos de CO<sub>2</sub> por kg de combustible, TIER 1**

Combustible original	Combustible Local	kg CO <sub>2</sub> per kg of fuel
Petrol	Gasolina	3,169
Diesel	Diesel	3,169

CNG	GNV	3,024
LPG	GLP	2,743

Fuente: Tabla 3-12, EEA (2016).

La planilla adjunta implementa las metodologías Tier 2 y Tier 3. En Perú, los inventarios de emisión han utilizado la metodología Tier 2, esto es, los FE no dependen de la velocidad de circulación. La velocidad de circulación promedio en Lima y Callao no es un dato conocido con certeza, pero tiene un impacto en las emisiones. La Figura 7-1 de Anexos presenta un ejemplo del impacto de la velocidad de circulación en las emisiones. Debido a la importancia de este parámetro, se recomienda analizar el perfil de velocidad típico en la zona de Lima y Callao para su posterior incorporación en futuras estimaciones de las emisiones.

Respecto a las emisiones de carbono negro, estas se pueden estimar como una fracción de las emisiones de material particulado, según el tipo de vehículo, combustible utilizado y estándar de emisión. La Tabla 4-3 presenta los valores utilizados para el cálculo de emisiones de carbono negro.

**Tabla 4-3: Fracción de carbono negro respecto al material particulado.**

Combustible	Categoría FE	Estándar 2	BC/PM <sub>10</sub> -PM <sub>2.5</sub>
Gasolina	Autos y station wagon	Pre Euro	0,3
		EURO 2/II	0,25
		EURO 3/III	0,15
		EURO 4/IV	0,15
		EURO 5/V	0,15
		EURO 6/VI	0,15
	Pick-up, Panel, Rural	Pre Euro	0,3
		EURO 2/II	0,25
		EURO 3/III	0,15
	Autos y station wagon	EURO 4/IV	0,15
		EURO 5/V	0,15
		EURO 6/VI	0,15
Diésel	Autos y station wagon*	Pre Euro	0,55
		EURO 2/II	0,8
		EURO 3/III	0,85
		EURO 4/IV	0,87
		EURO 5/V	0,1
		EURO 6/VI	0,2
	Pick-up, Panel, Rural *	Pre Euro	0,55
		EURO 2/II	0,8
		EURO 3/III	0,85
		EURO 4/IV	0,87
		EURO 5/V	0,1
		EURO 6/VI	0,2
	Omnibus**	Pre Euro	0,5
		EURO 2/II	0,65
		EURO 3/III	0,7
		EURO 4/IV	0,75
		EURO 5/V	0,75
		EURO 6/VI	0,15



Combustible	Categoría FE	Estándar 2	BC/PM <sub>10</sub> -PM <sub>2.5</sub>
	Camión y remolcador**	Pre Euro	0,5
		EURO 2/II	0,65
		EURO 3/III	0,7
		EURO 4/IV	0,75
		EURO 5/V	0,75
		EURO 6/VI	0,15
Gasolina	Motos	EURO 2/II	0,11
		Promedio	0,11

Fuente: Elaborado en base a tabla 3-91, EEA (2016). Se considera la misma fracción de vehículos Euro 5/V para vehículos Euro 6/VI. \*vehículos comerciales ligero < 3,5 toneladas, \*\*vehículos pesados > 3,5 toneladas.

Las emisiones de NOx (vehículos gasolineros y diésel) y PM (en el caso de vehículos diésel) se pueden ajustar también de acuerdo al contenido de azufre en los combustibles, de acuerdo a los factores indicados en la Tabla 7-3 de Anexos, basados en (Liu et al. 2008). La planilla adjunta permite al usuario seleccionar si desea aplicar o no este ajuste.

Por último, el consumo de combustible es convertido desde unidades másicas a volumétricas utilizando las densidades presentadas en la Tabla 4-4

**Tabla 4-4: Densidades de los combustibles**

Combustible	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Gasolina	750
Diésel	840
GLP	520
GNV	175

Fuente: Tabla 3-28, EEA (2016).

Las emisiones del sector transporte deben ser proyectadas en el tiempo, considerando el crecimiento del parque, evolución tecnológica de los vehículos (i.e. estándares de emisión), los combustibles utilizados y el nivel de actividad de los vehículos (Kilómetros recorridos). La sección 4.1.2 presenta la metodología de proyección en el tiempo del parque vehicular.

Cabe mencionar que las emisiones consideradas en el análisis incluirán solamente las emitidas por el tubo de escape de los vehículos, ya que las emisiones de polvo re suspendido en calles, desgaste de frenos y neumáticos, se considerará iguales en el escenario de línea base y en el escenario con normativa Euro 6/VI.

#### 4.1.2 Proyección y caracterización del parque vehicular

Como se mencionó anteriormente, el parque vehicular debe proyectarse desde el año base (2018) hasta el año final de la evaluación (2030), dando cuenta de la evolución tecnológica del parque, tanto para la línea base como para el escenario de nueva normativa.

El número de vehículos en el periodo t se determina de acuerdo a los vehículos existentes en el parque el año anterior, t-1, los vehículos que ingresan al parque en el año t y los vehículos que se retiran del parque, de acuerdo a la expresión ( 4-3).

$$Vehiculos_t = Vehiculos_{t-1} + VehiculosEntran_t - VehiculosSalen_t \quad (4-3)$$

El supuesto de evaluación es que los vehículos que entran al parque cumplirán el estándar de emisión vigente en el año de ingreso. El estándar de los vehículos de entrada será Euro 4/IV para la línea base y Euro 6/VI desde el año 2021 para el escenario normativo. El número de vehículos que ingresa cada año se calcula como un porcentaje respecto al total de vehículos en el parque existente en el año anterior, como se muestra en la expresión (4-4).

$$VehiculosEntran_t(\text{año vehiculo} = t) = TasaEntra * Vehiculos_{t-1} \quad (4-4)$$

Del mismo modo, los vehículos que se retiran del parque cada año se calculan como un porcentaje respecto al parque existente en el periodo anterior, de acuerdo a la expresión (4-5).

$$VehiculosSalen_t = TasaRetiro * Vehiculos_{t-1} \quad (4-5)$$

En la presente evaluación, se consideran tasas de entrada y salida diferenciadas para vehículos livianos (incluye automóviles, station wagon, camionetas pick up, camionetas rurales y camionetas a panel) y pesados (ómnibuses, camiones y remolcadores), las que pueden ser modificadas por el usuario en la planilla adjunta.

Para la proyección del parque, se asumió una tasa de entrada de vehículos livianos de 7,7%, correspondiente al porcentaje promedio de vehículos livianos importados respecto al parque total de Perú entre los años 2009 y 2018. En el caso de vehículos pesados, se asumió una tasa de entrada de 6,8%, correspondiente también al promedio de vehículos pesados importados entre los años 2009 y 2018.

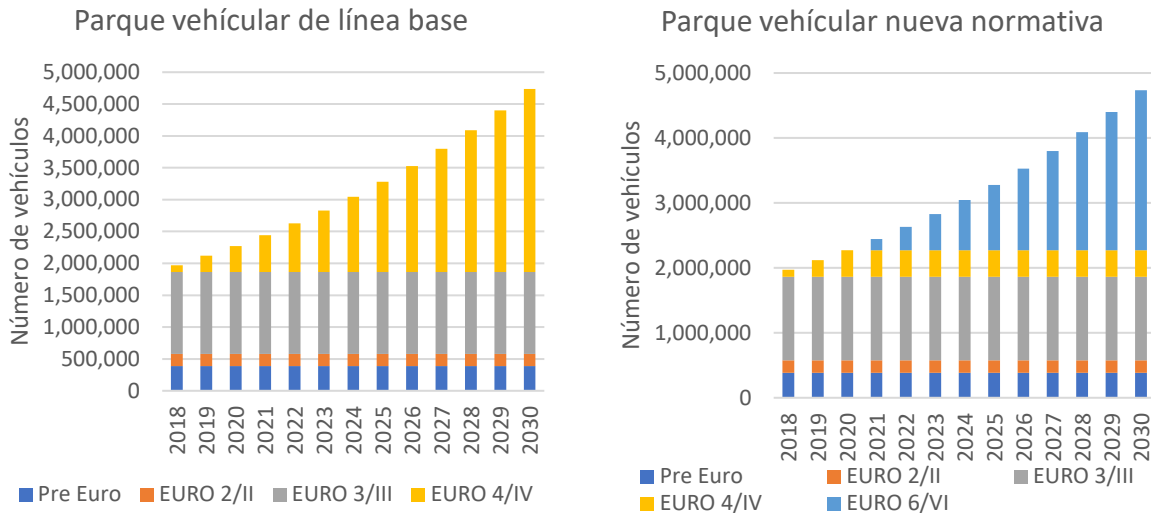
Respecto a la tasa de retiro, esta es incierta en el caso de Lima y Callao. Una alternativa considerada fue considerar una tasa de retiro plana de 2% para todas las categorías vehicular (PLANCC and Libélula 2013), pero debido a la falta de información y evidencia empírica de escaso retiro de vehículos del parque se asumió una tasa de retiro de 0%.

La Figura 4-3 presenta los parámetros utilizados en la proyección del parque, los que pueden ser modificados en la planilla de cálculo adjunta.

**Figura 4-3: Parámetros seleccionados para la proyección del parque**

Parámetros Parque		
Estándar normativo	EURO 6/VI	
Vigencia nueva normativa	2021	
Factores de emisión	Tier 2	
Ajuste Azufre	Sí	
	Livianos	Pesados
Tasa de entrada vehículos	7,7%	6,8%
Tasa de salida vehículos	0%	0%

**Figura 4-4: Proyección del parque de línea base (izquierda) y nueva normativa (derecha)**



Fuente: Elaboración propia

Mayor detalle del parque proyectado para la línea base y escenario normativo se presenta en la Tabla 7-4 y Tabla 7-5 de Anexos respectivamente.

#### 4.1.3 Relación entre emisiones y concentraciones

La estimación de los impactos en salud de la nueva normativa necesariamente requiere vincular la reducción de emisiones con su impacto en la calidad del aire. Para determinar dicha relación se utiliza fracciones de consumo (o *intake fractions*) de la literatura internacional.

Las fracciones de consumo relacionan la masa de contaminante inhalado por la población expuesta, los cambios en concentración ambiental de PM<sub>2.5</sub>, la tasa de respiración promedio y la tasa de emisiones, como se muestra en la expresión ( 4-6).

$$iF = \frac{\sum_{i=1}^N P_i * \Delta C_i * BR}{E} \quad (4-6)$$

Donde:

*iF*: “Intake Fraction” o fracción de consumo, expresada en masa de PM<sub>2.5</sub> inhalados por tonelada de emisiones.

*P<sub>i</sub>*: Población residente en la zona, donde *i* es la distancia a la Fuente emisora

$\Delta C_i$ : Cambio en concentración ambiental de PM<sub>2.5</sub>

*E*: Tasa de emisión del contaminante

*BR*: Tasa de respiración promedio

La revisión bibliográfica de la literatura de fracciones de consumo detectó dos estudios que incluían fracciones de consumo para fuentes urbanas a nivel de suelo para Lima: Apte et al. (2012) y Fantke et al.

(2017). Ambos estudios analizan fracciones de consumo para el PM<sub>2,5</sub> para más de 3.000 ciudades, representando todas las regiones del mundo.

La planilla adjunta implementa dos opciones para relacionar emisiones y concentraciones: i) En base a Apte et al. (2012) y en base a Fantke et al. (2017), las que son descritas a continuación.

**Opción 1.**

Apte et al. (2012) permite estimar cambios en la concentración de PM<sub>2,5</sub> por cada tonelada emitida, reordenando los términos de la expresión ( 4-6), a partir de la fracción de consumo *iF* reportada para Lima, como se presenta en la expresión ( 4-7).

$$\Delta C_{por\ ton} = \frac{iF}{Pob * BR} \tag{ 4-7}$$

Apte et al. (2012) permite cuantificar cambios en la concentración de PM<sub>2,5</sub> derivados de las emisiones directas de PM<sub>2,5</sub>. Para incluir en el análisis el impacto de los principales precursores del PM<sub>2,5</sub> se sigue la recomendación del documento del Banco Mundial “*Local Environmental Externalities due to Energy Price Subsidies: A Focus on Air Pollution and Health*” (World Bank Group and ESMAP 2017). Dicho documento propone utilizar el estudio Humbert et al. (2011) en combinación con Apte et al. (2012).

Humbert et al. (2011) analiza la literatura de fracciones de consumo desarrollada hasta la fecha y recomienda valores para emisiones directas de material particulado (PM<sub>10-2,5</sub>, PM<sub>2,5</sub>) y para los precursores SO<sub>2</sub>, NOx y NH<sub>3</sub>. El estudio recomienda fracciones de consumo para fuentes urbanas, rurales y remotas, emitidas a nivel de suelo, chimeneas bajas y chimeneas altas. En el caso de las emisiones del transporte en Lima, se consideran los valores para fuentes urbanas a nivel de suelo. La fracciones de consumo recomendadas en Humbert et al. (2011) se presentan en la Tabla 4-5.

**Tabla 4-5: Fracciones de consumo urbanas a nivel de suelo, Humbert et al. (2011)**

Tipo emisión	Contaminante	iF (ppm)
PM <sub>2,5</sub> directo	PM <sub>2,5</sub>	44
Precursores PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>2</sub>	0,99
	NOx	0,2

Fuente: Tabla 3, Humbert et al. (2011)

Siguiendo a World Bank Group y ESMAP (2017), es posible obtener las fracciones de consumo para los contaminantes secundarios NOx y SO<sub>2</sub>, utilizando la expresión ( 4-8).

$$iF_{precursor\ Lima} = iF_{precursor\ Humbert\ et\ al.2011} * \frac{iF_{PM2,5\ Lima\ Apte\ et\ al.2012}}{iF_{PM2,5\ Humbert\ et\ al.2011}} \tag{ 4-8}$$

Los resultados obtenidos para Lima se presentan en la Tabla 4-6.

**Tabla 4-6: Fracciones de consumo (iF) y cambios en concentración de PM<sub>2,5</sub> por tonelada para Lima**

	<i>iF</i> (ppm)	$\Delta C_{por\ ton}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por ton/año]
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	56,30	1,29E-03
<b>SO<sub>2</sub></b>	1,27	2,91E-05
<b>NOx</b>	0,26	5,88E-06

Fuente: Elaboración propia en base a (Apte et al. 2012) y (Humbert et al. 2011).

### **Opción 2.**

Fantke et al. (2017) presenta fracciones de consumo para zonas urbanas y rurales, considerando exposición ambiental (outdoors) a PM<sub>2,5</sub>, exposición en ambientes cerrados (indoors) y una combinación de exposición ambiental y en ambientes cerrados. Este estudio presenta además un anexo digital, que contiene un resultado intermedio para el cálculo de las fracciones de consumo, llamado “matrices de concentración” *CM*, que relacionan directamente las emisiones del PM<sub>2,5</sub> con las concentraciones del mismo contaminante. Este resultado intermedio es equivalente al valor  $\Delta C_{por\ ton}$  calculado utilizando Apte et al. (2012).

Fantke et al. (2017) sólo incluye el impacto de las emisiones de PM<sub>2,5</sub>, sin considerar los precursores del material particulado. Siguiendo la misma lógica recomendada en World Bank Group y ESMAP (2017), nuevamente es posible utilizar las fracciones de consumo de Humbert et al. (2011) presentadas en la Tabla 4-5 para obtener los coeficientes *CM* para los precursores NOx y SO<sub>2</sub>, de acuerdo a lo indicado en la expresión ( 4-9). El coeficiente utilizado de la matriz *CM* corresponde a zonas urbanas y a concentración ambiental del PM<sub>2,5</sub>.

$$CM_{precursor\ Lima} = CM_{precursor\ Humbert\ et\ al.2011} * \frac{CM_{PM2,5\ Lima\ Fantke\ et\ al.2017}}{iF_{PM2,5\ Humbert\ et\ al.2011}} \quad (4-9)$$

Los resultados obtenidos para se presentan en la Tabla 4-7.

**Tabla 4-7: Coeficientes que relacionan emisión y concentración para Lima**

	<b>CM [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> por ton/año]</b>
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	1,43E-03
<b>SO<sub>2</sub></b>	3,22E-05
<b>NOx</b>	6,51E-06

Fuente: Elaboración propia en base a Fantke et al. (2017) y Humbert et al. (2011)

### **Opción 3.**

La tercera opción propuesta corresponde a una transferencia del Factor emisión-concentración (FEC) calculado para el sector transporte en Valparaíso, Chile. El análisis se basa en el estudio (GreenLabUC 2011), en que se propone una metodología para determinar factores que relacionen emisiones y concentraciones para diferentes sectores emisores y zonas geográficas de Chile. A partir de factores emisión-concentración para 7 ciudades (ver Tabla 4-8), se propone una metodología de “transferencia” de acuerdo con el volumen (o superficie) de la zona del FEC original a la región de destino.

**Tabla 4-8: FEC zonas de estudio originales ton/año por µg/m3**

Ciudad	MP25	NOX	PRS	SOX
Calama	2160	866	71700	86100
Gran Concepción	1082	2250	6250	7170
Gran Santiago	228	6344	21536	4291
Gran Temuco	125		10100	
Gran Valparaíso	98	1610	59100	1300
Región V	892	2950	50200	46200
Región VI	919	2700	48000	57500
Tocopilla	32	3530		11000
Ventanas	35	824	840	16800

Fuente: (GreenLabUC 2011)

La idea es ajustar el FEC de acuerdo con el volumen de dispersión de los contaminantes en el área original y en área de transferencia. Se asume que la altura de mezcla es la misma en el área original de estudio y en Lima y Callao, con lo que el ajuste de FEC considera la razón entre las superficies en dichas áreas, de acuerdo con la expresión ( 4-10).

$$FEC_{jc} = FEC_{i\text{ transporte}} * \frac{Superficie_j}{Superficie_i} \quad (4-10)$$

Donde:

$FEC_{jc}$ : Factor emisión-concentración ajustado para la región  $j$  y área tipo  $c$  (ton/µg/m3)

$FEC_{i\text{ transporte}}$ : Factor emisión-concentración de la ciudad  $i$  representante del sector transporte

$Superficie_j$ : Superficie urbana de la región  $j$

$Superficie_i$ : Superficie urbana de la ciudad  $i$

$c$ : tipo de área costera o no-costera.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4-9.

**Tabla 4-9: Relación entre emisiones y concentraciones utilizando FEC [µg/m3 por ton/año]**

Ciudad	Área urbana (km2)	FEC de transporte a transferir	PM2,5	NOx	SO2
Lima y Callao	147+2672	Gran Valparaíso	8,71E-04	5,30E-05	6,57E-05

Fuente: Elaboración propia

### Opción seleccionada

La relación entre emisiones y concentraciones seleccionada por defecto en la planilla adjunta corresponde a la opción de transferencia desde Chile, debido a que se trata de una metodología desarrollada para

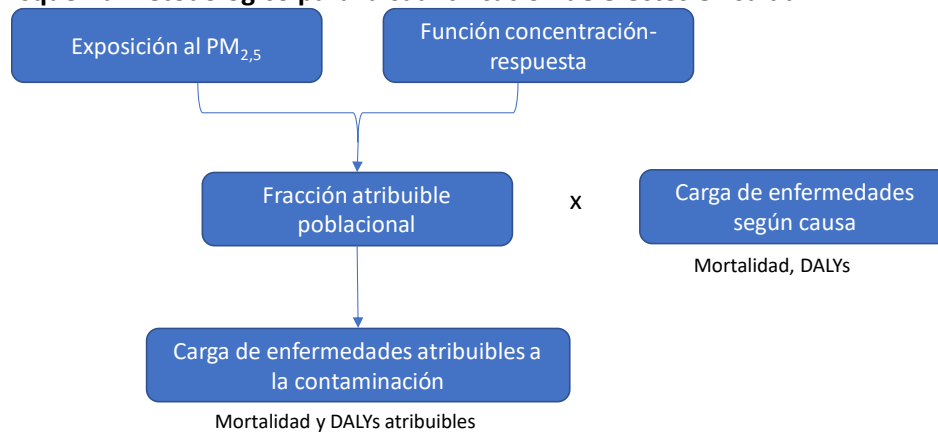
aplicar en análisis costo-beneficios asociadas a medidas en el sector transporte en una zona geográfica de similares características (costera) con una composición de sectores emisores similar.

## 4.2 Metodología cuantificación impactos en salud

La reducción en concentración ambiental de  $PM_{2,5}$  implica reducción de la carga de enfermedades, la que pueden ser cuantificada y valorizada utilizando funciones concentración-respuesta (ver sección 4.2.1) y un valor unitario asociado a la mortalidad evitada (ver sección 4.2.2). En el presente análisis el enfoque será la mortalidad evitada, mientras que la métrica de DALYs es reportada pero no valorizada.

La Figura 4-5 presenta un esquema de la metodología a utilizar para la cuantificación de impactos en salud.

**Figura 4-5: Esquema metodológico para la cuantificación de efectos en salud**



Fuente: Elaboración propia en base a (World Health Organization 2018a)

El nivel de concentración de  $PM_{2,5}$  y la función concentración-respuesta determinan el riesgo relativo (RR) para las distintas enfermedades asociadas a la contaminación. El RR es una medida del cambio en el riesgo de un efecto en salud adverso asociado con un cambio al factor de riesgo (en este caso la exposición al  $PM_{2,5}$ ). El RR indica la probabilidad de desarrollar un efecto adverso, respecto a un grupo que no se encuentra expuesto al factor de riesgo, en este caso a la contaminación atmosférica.

Una vez determinado el RR, es posible calcular la fracción atribuible poblacional (PAF), utilizando la expresión ( 4-11), donde  $c$  indica la causa y  $a$  el grupo etario al que aplica el RR.

$$PAF_{c,a} = 1 - 1/RR_{c,a} \quad (4-11)$$

La carga de enfermedades atribuibles a la contaminación,  $AB$ , corresponde a la multiplicación de la PAF y la carga de enfermedad (mortalidad y DALYs) total de línea base, para cada causa  $c$  y grupo etario  $a$ , como se indica en la expresión ( 4-12).

$$AB_{c,a} = PAF_{c,a} * Carga\ Enfermedades\ total_{c,a} \quad (4-12)$$

Cabe mencionar que la carga de mortalidad según causa y grupo etario fue proporcionada por el Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades del Ministerio de Salud y corresponde a los casos registrados en Lima y Callao el año 2016. La Tabla 7-8 de anexos presenta el detalle de los casos de mortalidad utilizados en el análisis. La Tabla 7-9 presenta la mortalidad desagregada en mayor detalle para el grupo etario de mayores a 35 años y los nombres de las enfermedades utilizados en la literatura internacional.

Para la desagregación de casos en el grupo mayor de 35 se utiliza la distribución de mortalidad para estos grupos y causas de mortalidad para Perú obtenidas de la herramienta de resultados el estudio de carga global de enfermedades GBD 2017 (Institute for Health Metrics and Evaluation 2018).

El presente análisis reporta, además de la mortalidad, los DALYs, correspondientes a los años de vida ajustados por discapacidad (en inglés Disability-Adjusted Life Years). Los valores de DALYs, YLL y YLD de línea base para el año 2016 no fueron calculados en el presente estudio, si no que corresponden a los resultados del estudio de carga global de enfermedades GBD 2017 (Institute for Health Metrics and Evaluation 2018) para Perú, ajustados por la fracción de la población de Lima y Callao respecto a la población total nacional.

Los DALYs combinan los años de vida perdidos debido a mortalidad prematura (YLL) y los años vividos en un estado de salud no óptimo (YLD). Los DALYs para cada causa  $c$  y grupo etario  $a$ , corresponde a la suma de los YLL y de los YLD, como se indica en la expresión ( 4-13).

$$DALY_{c,a} = YLL_{c,a} + YLD_{c,a} \quad (4-13)$$

Los años de vida perdidos, YLL, se calculan multiplicando el número de muertes prematuras por una función de pérdida  $L_{s,a}$ , que da cuenta de los años restantes de vida perdidos, de acuerdo a la expresión ( 4-14).

$$YLL_{c,a} = \text{Numero de muertes}_{c,a} * L_a \quad (4-14)$$

Los años vividos con discapacidad (YLD) corresponden a la multiplicación de la prevalencia  $P_{c,a}$  de cada condición asociada a cada causa y un peso por la discapacidad  $DW_{c,a}$  que implica cada condición, en un escala de 0 (salud perfecta) a 1 (muerte), como se presenta en la expresión ( 4-15).

$$YLD_{c,a} = P_{c,a} * DW_{c,a} \quad (4-15)$$

Debido a que la evaluación de la nueva normativa considera el periodo 2018 a 2030, es necesario proyectar la carga de enfermedades (mortalidad y DALYs) en el tiempo. Para esto, se utilizaron las proyecciones de mortalidad de la OMS (World Health Organization 2018b), debido a que proyectan mortalidad de acuerdo a la causa de muerte y grupo etario. Esta proyección distingue según el nivel de ingreso de los países, ya que, a menores ingresos, mayor es el potencial de reducir la mortalidad, en especial para causas prevenibles con mejor acceso a la salud. Se consideraron las proyecciones para países de ingreso medio alto, categoría de ingresos para Perú de acuerdo a la clasificación del Banco Mundial.



Se estimó la tasa anual de cambio en la mortalidad entre los años 2016 y 2030, de acuerdo con la expresión ( 4-16). Luego se estimó la mortalidad para cada año utilizando la expresión ( 4-17).

$$r_{mortalidad} = \left( \frac{Mortalidad\ total_{2030}}{Mortalidad\ total_{2016}} \right)^{1/(2030-2016)} - 1 \quad (4-16)$$

$$Mortalidad_t = (r_{mortalidad} + 1)^{(t-2016)} * Mortalidad_{2016} \quad (4-17)$$

Finalmente, el beneficio económico de la mortalidad evitada se obtendrá multiplicando el número de casos de evitados por el valor de la vida estadística (ver sección 4.2.2), tal como se señala la expresión ( 4-18).

$$Beneficio = \sum_c \Delta Mortalidad_c \cdot VSL \quad (4-18)$$

Dónde:

Beneficio: Beneficio asociado a la mortalidad prematura evitada [\\$]

VSL: Valor de la vida estadística (VSL por sus siglas en inglés) [\$/caso]

#### 4.2.1 Funciones concentración-respuesta

Como fue mencionado anteriormente, la función concentración-respuesta utilizada y el nivel de concentración de PM<sub>2,5</sub> determinarán el riesgo relativo asociado a la exposición a la contaminación atmosférica en Lima y Callao, para cada causa de enfermedad y grupo etario.

Los efectos en salud considerados en este análisis corresponden a los incorporados en el software AirQ+, desarrollado por la OMS<sup>5</sup>. La Tabla 4-10 presenta las causas de mortalidad, el grupo etario al que aplican y la fuente de los valores utilizados.

**Tabla 4-10: Tipos de mortalidad considerados en AirQ+**

Tipo de mortalidad	Rango etario al que aplica	Fuente
Todas las causas naturales	Mayores de 30 años	Log-lineal, RR=1,062, RR <sub>bajo</sub> =1,04, RR <sub>alto</sub> =1,083 (Hoek et al. 2013) $RR(x) = e^{\beta(x-x_0)}$
Infecciones respiratorias bajas (ALRI por sus siglas en ingles)	Menores de 5 años	
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD por sus siglas en ingles)	Mayores de 30 años	
Cáncer al pulmón (LC por sus siglas en ingles)	Mayores de 30 años	

<sup>5</sup> Documentación y descarga de AirQ+ se encuentran disponibles en <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/airq-software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>, consultado en Octubre de 2019.

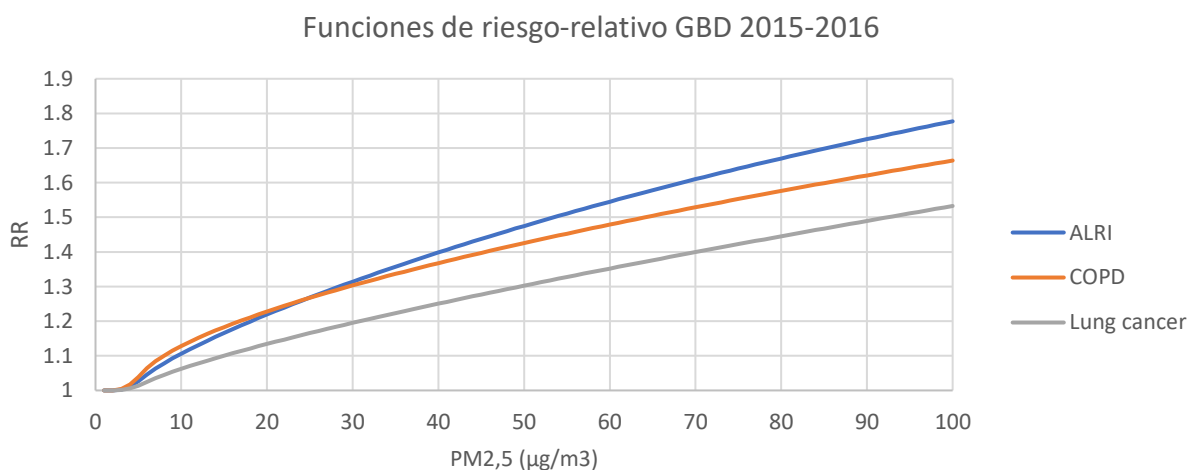
Enfermedad coronaria (IHD por sus siglas en inglés)	Mayores de 25 años, diferenciada según grupo etario	GBD 2015-2016 (función integrada 2016) <sup>6</sup>
Derrame cerebral (En inglés, Stroke)	Mayores de 25 años, diferenciada según grupo etario	

Fuente: Elaboración propia.

Las funciones concentración respuesta utilizadas por AirQ+ corresponden (Hoek et al. 2013) para mortalidad natural y al estudio *Global Burden of Disease 2016* (GBD 2016 Risk Factors Collaborators 2017) para las demás causas específicas de mortalidad. Las funciones utilizadas en el estudio GBD corresponden a funciones integradas que como su nombre indica, integran RR obtenidas por exposición a contaminación ambiental por PM<sub>2,5</sub>, exposición de fumadores pasivos, exposición a contaminación debido al uso para cocinar de combustibles sólidos y exposición de fumadores activos. Este tipo de funciones han sido utilizadas ampliamente, debido a que permiten caracterizar la exposición a altos niveles de PM<sub>2,5</sub>, incluyendo rangos para los que no existen estudios de cohorte aplicados a contaminación ambiental.

El año 2018 fue publicado un nuevo estudio que relaciona la mortalidad con la contaminación atmosférica utilizado solo estudios de contaminación ambiental por PM<sub>2,5</sub> (Burnett et al. 2018), desarrollando una función concentración respuesta que no es del tipo integrada. El estudio construye una función de riesgo (Hazard-ratio) incluyendo un nuevo estudio de cohorte desarrollado en China, que permite capturar el impacto de la contaminación a niveles de exposición relativamente altos. Los resultados del estudio indican que la mortalidad asociada a la contaminación podría ser más alta de lo que se ha considerado previamente.

**Figura 4-6: Ejemplo de Riesgo Relativo, GBD 2016**



Fuente: Elaboración propia en base a (WHO Regional Office for Europe 2016), archivo IER2016\_GBD2015-2016.csv

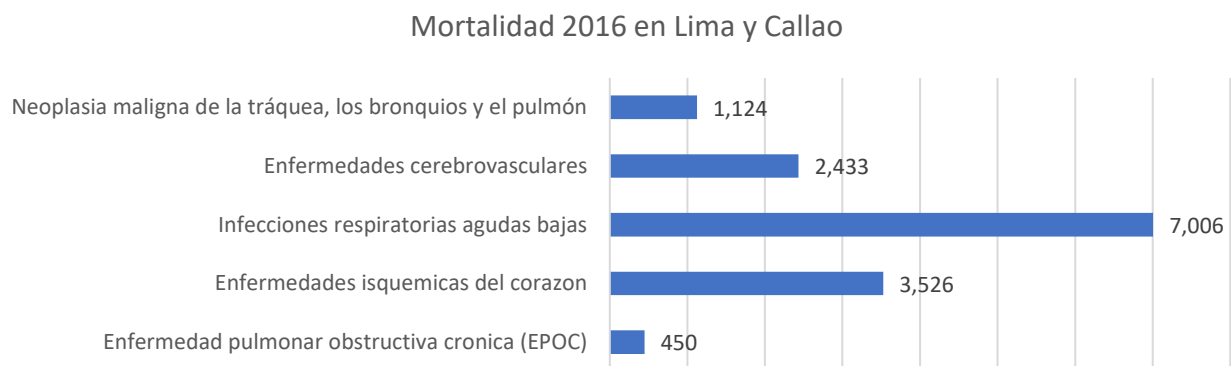
<sup>6</sup> Además de las funciones GBD 2015-2016, AirQ+ también incluye también la “función integrada 2016 vs WHO AQG” y otras opciones metodológicas más antiguas.

La planilla adjunta implementa la mortalidad por 5 causas considerando estudio GBD 2016 y el estudio Burnett et al. (2018). La opción seleccionada por defecto corresponde al segundo estudio, ya que este considera solo estudios de cohorte para PM<sub>2,5</sub> ambiental (outdoors).

A modo de ejemplo, la Figura 4-6 presenta un ejemplo de la forma funcional del riesgo relativo para ALRI, COPD y cáncer al pulmón. Se observa que el RR aumenta conforme aumenta el nivel de concentración de PM<sub>2,5</sub>.

La mortalidad total en Lima y Callao alcanzó los 51.171 casos, mientras que la mortalidad natural (no accidental) registrada fue de 48.710 casos. Las demás causas asociadas a la contaminación se presentan en la Figura 4-7 y en mayor detalle en la Tabla 7-8 de anexos.

**Figura 4-7: Mortalidad causas específicas Lima y Callao 2016**



Fuente: Elaboración en base a datos provistos por el Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades

#### 4.2.2 Transferencia de VSL para Perú

Dado que el VSL para Perú representa sólo la productividad perdida que implicaría una muerte prematura, se propone también considerar un VSL transferido en base a los estudios de Narain y Sall (2016), OECD (2012) y Robinson et al. (2019). La transferencia de VSL es una práctica habitual en el análisis costo-beneficio de políticas públicas (Robinson et al. 2019) y en particular en políticas con impacto en la calidad del aire (Narain and Sall 2016; OECD 2012). A modo de ejemplo, la Tabla 4-11 presenta los VSL utilizados (transferidos) por el ICCT en un estudio de diagnóstico global de los impactos en salud del sector transporte. Se observa que para Argentina, Brasil y México los VSL utilizados superan el millón de dólares, llegando a utilizarse valores superiores a 2 millones de dólares.

**Tabla 4-11: Valores de VSL utilizados para la valoración de mortalidad evitadas en países de la región**

País	VSL (millones de dólares 2015), elasticidad unitaria, tipo de cambio de mercado	VSL (millones dólares PPP 2011), elasticidad diferencia de acuerdo a nivel de ingresos
Argentina	2,1	2,2
Brasil	1,7	1,3
México	1,7	1,5

Fuente: En base a Tabla 2, ICCT (2019)

La guía metodológica para el análisis beneficio-coste elaborada por Robinson et al. (2019) presenta también técnicas de transferencia de VSL, de acuerdo al PIB per cápita del país (multiplicado por 160 y por 100), además de transferir el VSL extrapolado desde Estados Unidos con elasticidad de 1,5. Los valores obtenidos para Perú se presentan en la tabla siguiente.

**Tabla 4-12: VSL promedio estimado para Perú, Reference Case Guidelines for Benefit-Cost Analysis in Global Health and Development**

	VSL Perú (dólares internacionales 2015)
PIB per cápita	12.100
PIB per cápita *160	1.936.000
PIB per cápita*100	1.210.000
Transferido desde USA, elasticidad de 1,5	898.024

Fuente: Apéndice B, Robinson et al. (2019)

Por otro lado, el documento del Banco Mundial elaborado por Narain y Sall (2016) propone una metodología de transferencia de VSL que se basa que en los resultados del estudio OECD (2012). El estudio OECD (2012) propone valores para la valoración económica de mortalidad para ser utilizados en políticas públicas medioambientales, de salud y de transporte. Narain y Sall (2016) proporciona recomendaciones específicas para el caso de efectos en salud derivados de la contaminación atmosférica.

Se propone implementar la transferencia de VSL propuesta en Narain y Sall (2016), ya que esta recomendación es específica para el caso de la contaminación atmosférica. La transferencia se implementa en dos pasos. Primero se actualiza el VSL de la OCDE de acuerdo al crecimiento del PIB per cápita e inflación, de acuerdo a la expresión ( 4-19) y luego transfiriendo el valor OCDE para Perú, ajustando de acuerdo a la relación entre los PIB per cápita entre Perú y países OCDE, utilizando la expresión ( 4-6).

$$VSL_{OECD\ 2017} = VSL_{OCDE\ 2005} * \left( \frac{PIB_{OCDE\ 2017}}{PIB_{OECD\ 2005}} \right)^\eta * (1 + inflacion_{2017-2005}) \quad (4-19)$$

$$VSL_{Peru\ 2017} = VSL_{OECD\ 2017} * \left( \frac{PIB_{Peru\ 2017}}{PIB_{OECD\ 2017}} \right)^\eta \quad (4-20)$$

El valor  $VSL_{OCDE\ 2005}$  corresponde a 3 MMUSD para el año 2005 (OECD 2012) y  $\eta$  corresponde a la elasticidad el ingreso. El mejor estimador de la elasticidad del ingreso es de 0,8, sin embargo se utiliza también una elasticidad de 1,2 para obtener un valor de VSL más conservador y creíble (Narain and Sall 2016). Las tablas en la sección 7.5 de Anexos presentan los demás parámetros utilizados para la transferencia de VSL.

El resultado de la transferencia de beneficios para Perú es un VSL de **1,61 millones de dólares para una elasticidad de 0,8 y un valor de 1,05 millones de dólares para una elasticidad de 1,2.**

El VSL transferido para Perú contrasta fuertemente con el valor calculado en el estudio “Estimación del costo por fallecimiento prematuro” (Seminario de Marzi 2017), presentado en la Tabla 4-13, que estima mediante el método del capital humano un valor para la mortalidad evitada de 138 mil dólares en promedio para Perú. Sin embargo, debido a que el enfoque de capital humano no logra capturar

preferencias y bienestar de los individuos, se propone la utilización de un valor intermedio, correspondiente en al promedio entre el valor estimado por Seminario de Marzi (2017) y el transferido utilizando una elasticidad de 1,2. La Tabla 4-13 presenta la comparación de VSL estimados para Perú, en que el valor propuesto para esta evaluación corresponde a 684 mil dólares.

**Tabla 4-13: Comparación valores de mortalidad evitada para Perú**

Valor	Fuente
0,138	Seminario de Marzi (2017)
1,61	VSL Transferido ( $\eta=0,8$ )
1,2	VSL Transferido ( $\eta=1,2$ )
<b>0,684</b>	<b>Intermedio (Promedio Seminario de Marzi 2017 y transferido <math>\eta=1,2</math>)</b>

Fuente: Elaboración propia

Por último, el VSL se proyectará en el tiempo de acuerdo al crecimiento esperado del PIB per cápita de Perú, utilizando las proyecciones del *World Economic Outlook* del Fondo Monetario Internacional, (International Monetary Fund 2019) presentadas en la Tabla 4- y la formula indicada en la expresión (4-21).

$$VSL_t = VSL_{2017} * ((1 + Crecimiento\ PIB\ per\ cápita)^{t-2017})^\eta \quad (4-21)$$

**Tabla 4-14: Proyecciones de crecimiento PIB per cápita para Perú, FMI**

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Promedio
PIB real, cambio	2,48%	3,99%	3,93%	3,98%	3,96%	3,90%	3,81%	3,76%	3,7%
Población (millones)	31,83	32,16	32,50	32,82	33,15	33,47	33,79	34,10	
Crecimiento población		1,06%	1,04%	1,01%	0,99%	0,97%	0,95%	0,93%	1,0%
<b>Crecimiento PIB per cápita promedio estimado</b>									<b>2,7%</b>

Fuente: Elaboración propia en base a (International Monetary Fund 2019).

### 4.3 Metodología para costos y ahorros

Los costos de mejoras tecnológicas se basarán en los costos incrementales de pasar de una normativa Euro 4/IV a una normativa Euro 6/VI. Estos costos incrementales serán recopilados a partir de reportes de agencias como el Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT por sus siglas en inglés), la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o la Agencia Ambiental Europea.

Además, como parte de los costos asociados a la normativa se analizarán posibles costos administrativos adicionales derivado del nuevo estándar de emisión, como posibles costos adicionales de aduanas y/o de la certificación local de vehículos, mas no se incluirán en la valorización.

La implementación normativa también podrá implicar mayores eficiencias en el uso de los combustibles. Estas se cuantificarán en términos de volumen de combustible ahorrado y se valorizarán de acuerdo a los precios de los combustibles en Perú.

#### 4.3.1 Costos de inversión y mantenimiento mejoras tecnológicas

Los costos de inversión fueron recolectados de la literatura internacional, como se detalla a continuación, y luego fueron convertidos desde el año del valor original  $t_0$  a dólares del año 2017, como se muestra en la expresión (4-22), de acuerdo a lo indicado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA 2010).

$$\text{Costo (\$ 2017)} = \frac{\text{Costo}_{t_0} * \text{PIB Encadenado USA}_{2017}}{\text{PIB Encadenado USA}_{t_0}} \quad (4-22)$$

El PIB para Estados Unidos fue obtenido de la *Bureau of Economic Analysis* de Estados Unidos y se presenta en la Tabla 4-15.

**Tabla 4-15: PIB encadenado de Estados Unidos, en billones de dólares, encadenados a dólares 2009**

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PIB (billones de dólares 2009)	14.783,8	15.020,6	15.354,6	15.612,2	16.013,3	16.471,5	16.716,2	17.096,2

Fuente: Bureau of Economic Analysis, Estados Unidos<sup>7</sup>

Los costos incrementales de inversión para vehículos livianos fueron obtenidos del documento *Estimated Cost of Emission Reduction Technologies for Light-Duty Vehicles*, ICCT (2012a). Estos costos se encuentran desagregados según cilindrada del motor, pero al no contar con esta información para Lima y Callao se consideró el costo promedio para las cilindradas reportadas. Para los vehículos livianos que utilizan GLP o GNV se asumió el mismo costo que para vehículos a gasolina.

**Tabla 4-16: Costos incrementales de cumplimiento de estándares europeos para vehículos livianos**

Combustible	Cilindrada	USD 2010			USD 2017	
		Euro 4 a Euro 5	Euro 5 a Euro 6	Euro 4 a Euro 6	Euro 4 a Euro 5	Euro 4 a Euro 6
Gasolina	Vd=1.5L	10		10	12	12
	Vd=2.5 L	30		30	35	35
Diesel	Vd=1.5L	306	471	777	354	899
	Vd=2.5 L	508	626	1.134	587	1.311

Fuente: Tabla ES-1, ICCT (2012a). Mayor desagregación de los costos de inversión, ver tablas 4-8 y 4-9 para vehículos a gasolina y tablas 4-16 y 4-17 para vehículos diésel.

Para los vehículos pesados, los costos incrementales de inversión fueron obtenidos del documento *Costs of emission reduction technologies for heavy-duty diesel vehicles*, ICCT (2016). Los costos reportados corresponden sólo a vehículos diésel. Para los vehículos pesados que utilizan otros combustibles se asume un costo incremental de cero, debido a que no existen factores de emisión para ellos y por lo tanto no es posible cuantificar beneficios ni costos asociados a implementar un estándar Euro VI. Nótese que los vehículos pesados que no utilizan diésel corresponden a una fracción menor del parque. El año 2018, un 10,1% de omnibuses y 0,6% de los camiones del parque utilizaban un combustible distinto a diésel<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Datos disponibles en <https://www.bea.gov/national/xls/gdplev.xls>

<sup>8</sup> Según datos provistos por MINAM, planilla Fuente móviles.xlsx

**Tabla 4-17: Costo incremental de tecnologías de control de emisiones para un motor diésel de 12L (USD 2015)**

Combustible	USD 2015			USD 2017	
	Euro IV a Euro V	Euro V a Euro VI	Euro IV a Euro VI	Euro IV a Euro V	Euro IV a Euro VI
<b>Diesel</b>	460	2.280	2.740	477	2.844

Fuente: Tabla ES-1, ICCT (2016). Mayor detalle de la desagregación de costos se encuentra disponible en la tabla 13 de ICCT (2016)

La vida útil de la inversión utilizada para la evaluación corresponde a 262.754 kilómetros para vehículos livianos y a 1.424.254 kilómetros para vehículos pesados, de acuerdo a información provista por MINAM en base a la antigüedad promedio del parque automotor circundante en Lima y Callao correspondiente al Informe de Observancia del transporte urbano en Lima y Callao 2018 (Fundación Transitemos 2018).

Otro costo relevante a tener en cuenta corresponde al de la mantención de los filtros de partículas DPF en vehículos pesados Euro VI que utilizan diésel. Para el presente análisis se consideró un costo de 62 dólares cada 75.000 kilómetros recorridos, en base a Miller y Façanha (2016) y señalado también en CALAC+ (2018).

#### 4.3.2 Costos de remoción de azufre

La implementación de la normativa Euro 6/VI requerirá de combustibles con un menor contenido de azufre. La reducción de azufre implicará menores emisiones de SO<sub>2</sub>, precursor del material particulado. El presente análisis considerará el uso de combustibles de ultra bajo azufre para los vehículos Euro 6/VI, con un contenido estimado de 10 ppm.

Respecto a los costos de remoción de azufre, se consideran tres posibles fuentes de información. La primera fuente corresponde un estudio realizado para Chile, por una consultora de Estados Unidos, por encargo de la EPA de Estados Unidos (Industrial Economics 2018), presentados en la

Tabla 4-18. Los costos de remoción de azufre en este caso representarían un 0,4% del precio promedio de la gasolina y un 1,2% del precio del diésel, utilizando los precios de venta del año 2018.

**Tabla 4-18: Costos de remoción de azufre utilizados para Santiago de Chile**

	Dólares por galón, 2016		Dólares por m <sup>3</sup> , 2017	
	Gasolina	Diésel	Gasolina	Diésel
<b>Reducir hasta 15 ppm</b>	0,0167	0,043	4,5	11,5
<b>% Precio</b>			0,4%	1,2%

Fuente: (Industrial Economics 2018)

La segunda opción de costos considerados corresponde a un estudio de costos de remoción de azufre realizado por ICCT en el año 2012, que considera costos para México y Brasil. El costo promedio del costo de ambos países correspondería a un 1,3% del precio promedio de la gasolina y un 1,8% del precio del diésel, respecto a los precios de venta del año 2018. Los costos se presentan en la Tabla 4-19.

**Tabla 4-19: Costos de remoción de azufre hasta 10 ppm para México y Brasil, de ICCT (2012b)**

	México (cent/L)		Brasil (cent/L)		Promedio cent/L		Dólares 2017/m <sup>3</sup>	
	Gasolina	Diésel	Gasolina	Diésel	Gasolina	Diésel	Gasolina	Diésel
<b>Refinería tipo 1</b>	1,1	2,5	2	2	1,2	1,6	13,4	17,8
<b>Refinería tipo 2</b>			0,5	0,3				
<b>% Precio</b>							1,3%	1,8%

Fuente: ICCT (2012b), Tabla 6.1b. y Tabla 2.

La tercera opción de costos de remoción de azufre fue calculada utilizando datos de inversión para la planta de refinamiento de PetroPerú. Para la estimación de costo se considera una vida útil de la inversión de 40 años y una capacidad de refinación de gasolina y diésel de cerca de 60 mil barriles al día. Se obtiene un valor de 2,4 dólares por metro cúbico de combustible refinado, el que asume que considera sólo las inversiones requeridas para la remoción de azufre. Este valor representa un 0,236% del precio de la gasolina y un 0,249% respecto al precio del diésel. Cabe mencionar que los costos de inversión de PetroPerú son parte de la línea base, ya que se encuentran planificados y ejecutados con anterioridad al establecimiento del nuevo estándar de emisión. Sin embargo, se considera como parte de los costos del análisis un mayor costo de los combustibles asociado a un menor contenido de azufre. Los parámetros utilizados en este cálculo se presentan en la Tabla 4-20.

**Tabla 4-20: Costos a partir de información de PetroPerú, utilizando vida útil de la inversión y capacidad de refinación**

Ítem	Monto	Unidad
<b>Inversión asociada a norma Euro 6/VI</b>	\$ 335.157	miles de soles
	\$ 99	millones de dólares
<b>Vida útil</b>	40	años
<b>Inversión anualizada</b>	\$8	millones dólares/año
<b>Capacidad Diesel y Gasolina</b>	59.171	barriles/día
	9.407	m <sup>3</sup> /día
	3.433.611	m <sup>3</sup> /año
<b>Costo por m<sup>3</sup></b>	2,4	dólares/m <sup>3</sup>
<b>% precio</b>	0,236% del precio de la gasolina y 0,249% del precio del diésel	

Fuente: Datos provistos por MINAM en base a datos de PetroPeru<sup>9</sup>

La planilla de cálculo adjunta implementa estas tres opciones de costos para la remoción de azufre, la que puede ser seleccionada por el usuario. Para los resultados presentados se seleccionó la segunda opción, por considerar un valor intermedio de costos.

El costo total se calcula multiplicando el consumo de combustible de vehículos Euro 6/VI que utilizan diésel o gasolina por el valor de remoción de azufre.

<sup>9</sup> Detalle disponible en <https://www.petroperu.com.pe/proyectos-y-unidades-operativas/proyectos/nueva-refineria-talara/>, consultado en Octubre de 2019



### 4.3.3 Costos AUS 32

El AUS 32 es un aditivo indispensable para el control de gases en vehículos diésel y por lo tanto deben considerarse en análisis. Los precios de venta del aditivo en sus diferentes presentaciones varían entre 2,3 y 3,5 soles por litro (Tabla 4-21). Su tasa de consumo varía entre el 2% y 6% del consumo de combustible<sup>10</sup>, dependiendo del sistema específico de tratamiento de gases.

En la planilla adjunta es posible seleccionar tres posibles niveles de precio del AUS 32 o Adblue e ingresar la tasa de consumo que se estime relevante. Los valores seleccionados por defecto corresponden a los valores medios: un precio de 2,9 soles por litro y una tasa de consumo de 4%.

**Tabla 4-21: Rango de precios de AUS 32**

	Bajo	Alto	Promedio
Precio en Soles/litro	2,3	3,5	2,9

Fuente: Datos proporcionados por MINAM, en base a datos de Cofel (Comercio Federal del Pacífico)

### 4.3.4 Ahorros en consumo de combustible

La migración hacia el estándar de emisión Euro 6/VI para vehículos pesados implicaría ahorros en el consumo de combustible de alrededor de 7%, según el estudio “Análisis comparativo de la normativa de emisiones vehiculares Euro 5/V y Euro 6/VI, requerimientos y beneficios de su implementación en el Perú” (CALAC+ 2018), basado a su vez en Blumberg (2010). Estos ahorros fueron cuantificados utilizando los factores de consumo de combustible Tier 2 de EEA (2016) (Tabla 7-10 de Anexos), sobre los que se aplicó una reducción de 7% para vehículos diésel pesados Euro VI.

Los ahorros fueron cuantificados utilizando los precios de combustibles para el año 2018, provistos por el MINAM en base a información de SCOP-OSINERGMIN. Dichos precios fueron ajustados utilizando el Factor de Corrección Precio Social Combustible, de acuerdo a MEF (2018).

**Tabla 4-22: Precios combustibles y factor de corrección del precio social**

	FCC	Precio	Unidad
Diésel	0,735	12,4	Soles/galón
Gasolina 97	0,622	14,8	Soles/galón
Gasolina 95	0,626	13,9	Soles/galón
Gasolina 90	0,672	12,1	Soles/galón
Gasolina 84	0,672	11,7	Soles/galón
GLP	0,485	6,0	Soles/galón
GNV	0,649	256,6*	Soles/m3

Fuente: Elaboración propia en base a MEF (2018) y en datos proporcionados por MINAM. \*Precio ajustado desde volumen de gas en condiciones normales a volumen comprimido a 200 Bar.

<sup>10</sup> En base a [https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel\\_exhaust\\_fluid](https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_exhaust_fluid), consultado en octubre de 2019

#### 4.3.5 Costos evitados por reducción de CO<sub>2</sub>

El Ministerio de Economía y Finanzas reporta un precio social para el dióxido de carbono de 7,17 dólares por tonelada (Ministerio de Economía y Finanzas Perú 2018). Este valor da cuenta del daño que representa el CO<sub>2</sub> al mantenerse en la atmósfera, evaluado en un horizonte de 100 años.

Este valor podría aplicarse a otros gases de efecto invernadero, no solo al CO<sub>2</sub>. Sin embargo, en el presente análisis sólo se valorizan las reducciones de CO<sub>2</sub>, a partir de la reducción del consumo de combustible generado por la introducción de la nueva normativa. Su valorización corresponde simplemente a la multiplicación del precio social y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> ocurridas en cada año t, como se muestra en la expresión ( 4-23).

$$\text{Costo evitado}_{CO_2,t} = \text{Precio social}_{CO_2} * \text{Reducción}_{CO_2,t} \quad (4-23)$$

Al tratarse de un costo social evitado, los flujos serán considerados como un beneficio de la nueva normativa.

#### 4.3.6 Otros posibles costos

La nueva normativa podría implicar costos administrativos adicionales asociados a su cumplimiento. En el caso de la certificación y homologación de vehículos, no se trata de un costo adicional para el nuevo estándar de emisión, ya que dicha homologación también debe realizarse para el estándar actualmente vigente. Sin embargo, a modo de referencia, las tablas Tabla 7-11 (Anexos) y la Tabla 4-23 presentan los costos de certificación para Chile.

En caso de que se consideren válidas las homologaciones extranjeras, sin requerirse pruebas locales, los costos cobrados son los presentados en la Tabla 4-23. En Perú, el año 2016 fueron ingresados 653 modelos, correspondientes a 84 marcas de automóviles, mientras que en 2017 se registraron 647 modelos, correspondientes a 80 marcas<sup>11</sup>. Con un costo total de homologación de \$525 dólares por modelo y 650 modelos ingresados anualmente, los costos de homologación alcanzarían \$341.250 dólares anuales, muy por debajo de los \$207 millones de dólares anuales de otros costos asociados al cumplimiento normativo.

**Tabla 4-23: Costos de homologación vehicular (Tabla II) a partir de certificación extranjera.**

ITEM	SERVICIO	Pesos Chilenos	Soles	Dólares
a)	Prueba homologación aspectos constructivos y seguridad de vehículo liviano, mediano o motocicleta	\$202,703	\$953	\$284
b)	Revisión de antecedentes técnicos descriptivos de la configuración a homologar vehículo liviano, mediano o motocicleta	\$171,817	\$808	\$241

Fuente: Valores servicios laboratorio 3CV 2019, Chile<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Datos de la Asociación Automotriz del Perú. Planilla ModeloMarcaLivianos\_2016\_2017, provista por la contraparte técnica.

<sup>12</sup> Valores disponibles en <https://www.mtt.gob.cl/wp-content/uploads/2014/01/TABLA-VALORES-SERVICIOS-2019.pdf>, consultado en Septiembre de 2019

#### 4.4 Análisis costo-beneficio

Luego de la estimación de los costos beneficios, de acuerdo con lo indicado en las secciones anteriores, se procederá al análisis de los siguientes indicadores económicos: beneficios, costos, valor actual neto y la razón beneficio costo.

Todos los flujos de la evaluación serán llevados a términos anuales, para poder comparar costos con diferentes vidas útiles. Los costos de inversión serán anualizados de acuerdo con la fórmula ( 4-24).

$$I_a = \frac{I_0 * r * (1 + r)^{VU}}{(1 + r)^{VU} - 1} \quad (4-24)$$

Donde:

$I_a$ : Inversión anualizada \$/año

$I_0$ : Inversión realizada en año 0

$r$ : Tasa de descuento

$VU$ : Vida útil (años)

Una vez calculados los flujos anuales, se calculará el valor presente neto de costos y beneficios desagregados. El valor presente de una serie de flujos en el tiempo,  $t$ , están dado por la sumatoria de los flujos descontados, como se indica en la expresión ( 4-25).

$$Valor\ presente_{2019} = \sum_{t=2019}^{2030} \frac{F_t}{(1 + r)^{t-2019}} \quad (4-25)$$

Una vez calculado el valor presente de los diferentes flujos de la evaluación (costos de inversión, de operación, beneficios, entre otros) se procederá al cálculo del valor actual neto, VAN, de la nueva normativa. El valor actual neto corresponderá a los beneficios menos los costos asociados a la regulación, como se indica en la expresión ( 4-26). Un VAN positivo indica una rentabilidad social positiva del proyecto, mientras que un VAN de cero indica indiferencia frente a la inversión y un VAN negativo implicaría un costo social.

$$Valor\ Actual\ Neto = Valor\ presente\ Beneficios - Valor\ presente\ Costos \quad (4-26)$$

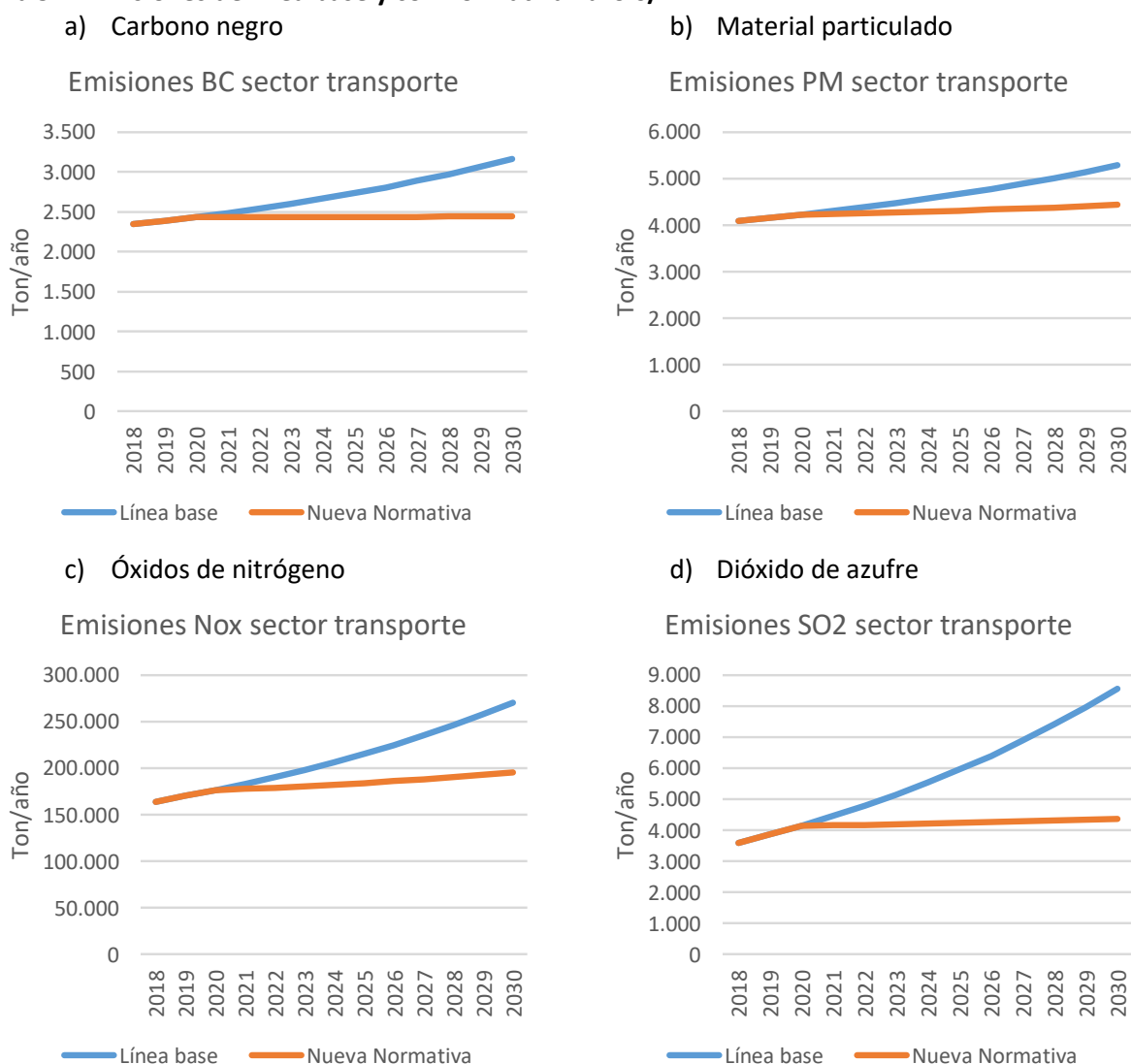
La tasa de descuento utilizada es la recomendada en MEF (2018) de 8%.

## 5 Resultados

### 5.1 Emisiones y comparación de escenario Euro VI y Línea base

La Figura 5-1 presenta de manera gráfica la comparación de emisiones en el escenario línea base y en el escenario con la implementación de la normativa Euro 6/VI a partir del año 2021.

**Figura 5-1: Emisiones de línea base y con normativa Euro 6/VI**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5-1: Reducción de emisiones según contaminante y combustibles entre 2021 y 2030**

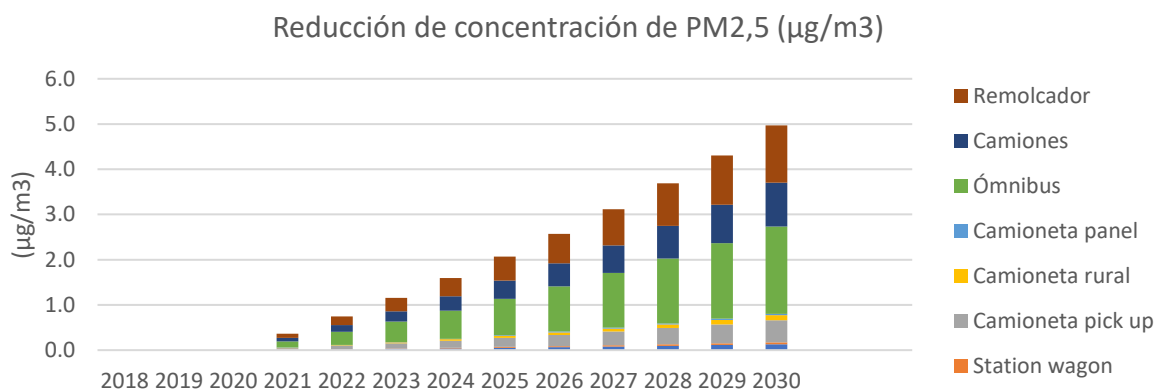
Cont.	Comb.	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PM	Gasolina*	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-8	-9	-11	-13
	Diesel	62	129	200	276	358	446	540	641	749	865
	GLP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GNV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<b>Reducción total PM</b>		<b>61,16</b>	61	127	197	272	353	440	532	632	738
<b>SO<sub>2</sub></b>	Gasolina	224	464	724	1.003	1.304	1.629	1.978	2.355	2.761	3.198
	Diesel	30	63	98	135	175	218	263	312	364	420
	GLP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	GNV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Reducción total SO<sub>2</sub></b>		<b>254</b>	254	527	822	1.139	1.480	1.847	2.242	2.668	3.126
<b>Nox</b>	Gasolina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Diesel	5.456	11.289	17.523	24.188	31.312	38.928	47.068	55.771	65.074	75.018
	GLP	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	GNV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Reducción total Nox</b>		<b>5.456</b>	5.456	11.289	17.524	24.188	31.313	38.928	47.069	55.772	65.074

Fuente: Elaboración propia. \*Las emisiones de PM para vehículos a gasolina podría incrementarse, de acuerdo a los factores de emisión EEA (2016)

La reducción de emisiones asociada a la normativa (ver Tabla 5-1) implicaría una reducción del material particulado fino de 4,97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  al año 2030, como se muestra en la Figura 5-2.

**Figura 5-2: Reducción de concentración de PM<sub>2,5</sub> en el tiempo, según tipo de vehículo.**



Fuente: Elaboración propia. Supuestos de evaluación en Tabla 2-1.

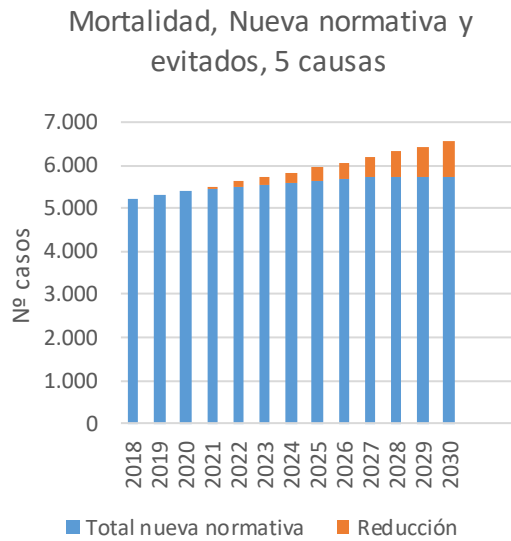
## 5.2 Impactos en salud

La Figura 5-3 presenta la mortalidad asociada a la contaminación de línea base y la reducción asociada a la nueva normativa. Se presenta la mortalidad debido a causas específicas (izquierda) y la mortalidad natural en general (derecha), en ambos casos solo la fracción asociada a la contaminación.

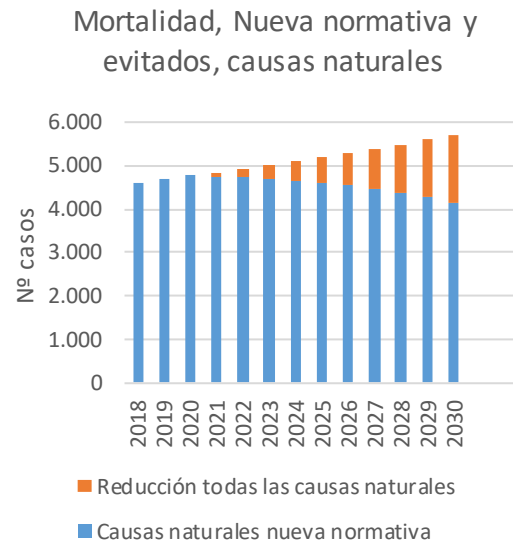
El total de casos evitados de mortalidad prematura, en el periodo 2021-2030, sería de 3.862 casos al considerar solo infecciones respiratorias bajas, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, cáncer al pulmón, derrames cerebrales y enfermedad isquémica del corazón. Al considerar toda la mortalidad natural (no accidental), el número de casos evitados en el periodo de evaluación sería 7.387 casos.

**Figura 5-3: Mortalidad de línea base y evitada en escenario nueva normativa**

a) 5 causas



b) Todas las causas naturales

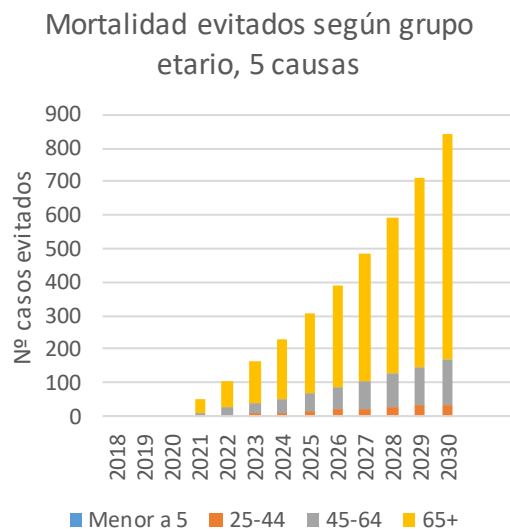


Fuente: Elaboración propia

La **Figura 5-4** presenta la distribución de mortalidad evitada según rango etario. Se observa que en ambos casos la mayor proporción de mortalidad prematura evitada se genera el grupo de mayores de 65 años.

**Figura 5-4: Distribución de mortalidad evitada según grupo etario**

a) 5 causas



b) Todas las causas naturales



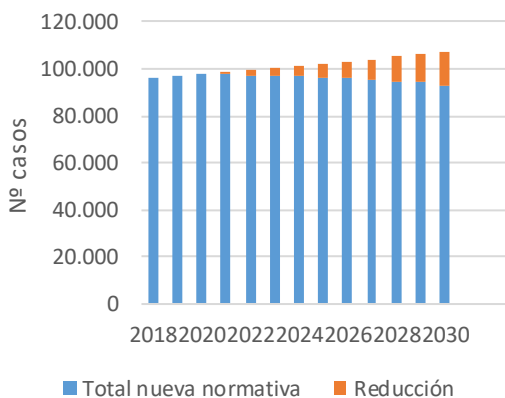
Fuente: Elaboración propia

La **Figura 5-5** presenta años de vida con discapacidad evitados, considerando solamente las 5 causas específicas (Figura a) y considerando todas las causas de discapacidad no accidentales (Figura b).

**Figura 5-5: DALYs de línea base y evitada en escenario nueva normativa**

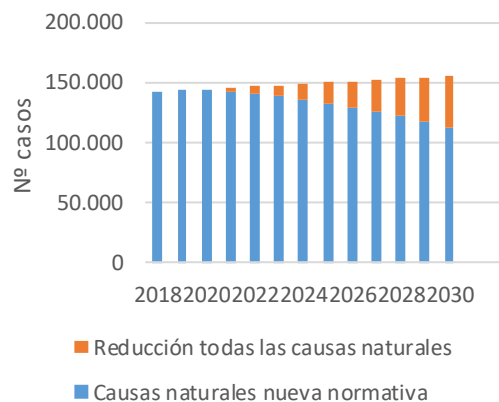
a) 5 causas

DALYs (Años de vida ajustados por discapacidad), Nueva normativa y evitados, 5 causas



b) Todas las causas naturales

DALYs (Años de vida ajustados por discapacidad), Nueva normativa y evitados, causas naturales



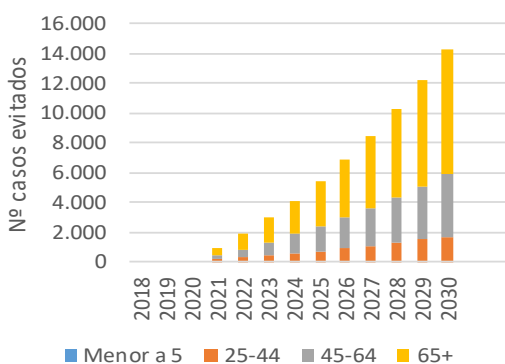
Fuente: Elaboración propia

La Figura 5-6 presenta la distribución de años de vida ajustados por discapacidad evitados según rango etario. A diferencia de la mortalidad, se observa que para esta métrica de salud la distribución entre grupos etarios es distribuida de forma más pareja, con lo que todos los grupos etarios disfrutarían de mejoras en su salud y calidad de vida asociados a la nueva normativa Euro 6/VI.

**Figura 5-6: Distribución de DALYs evitados según grupo etario**

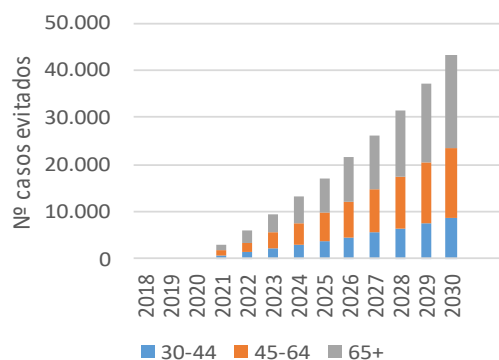
a) 5 causas

DALYs (Años de vida ajustados por discapacidad) evitados según grupo etario, 5 causas



b) Todas las causas naturales

DALYs (Años de vida ajustados por discapacidad) evitados según grupo etario, causas naturales



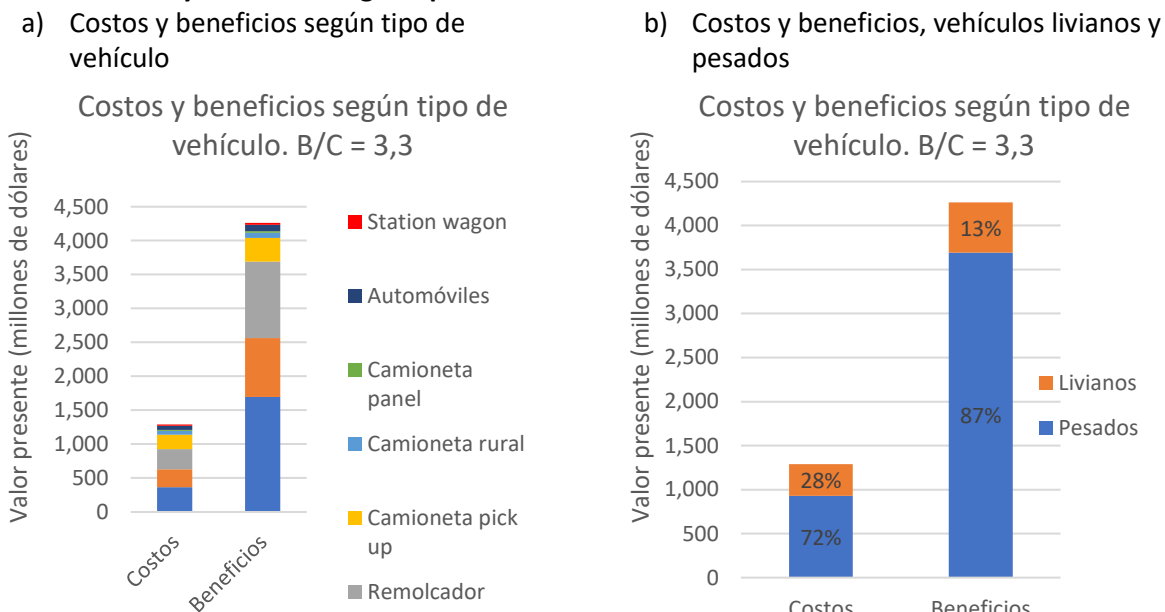
Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Análisis costo beneficio

Los beneficios de la introducción de la normativa Euro 6/VI alcanzarían los \$4.263 millones de dólares en valor presente, mientras que los costos llegarían a \$1.291 millones de dólares. El VAN de la normativa

sería de \$2.973 millones de dólares, con una relación beneficio-costo 3,3. La Figura 5-7 a) presenta la distribución de costos y beneficios según tipo de vehículo, mientras que la Figura 5-7 b) presenta la desagregación para vehículos livianos y medianos. Se observa que serían los omnibuses los que contribuirán la mayor parte de los beneficios, debido a que utilizan mayoritariamente diésel como combustible y presentan una gran cantidad de kilómetros recorridos al año (120.000 km/año). Los vehículos pesados en general sobre los que la normativa tendría un mayor impacto, en términos de costos y de reducción de emisiones, nuevamente debido a que utilizan en su mayoría diésel como combustible.

**Figura 5-7: Costos y beneficios según tipo de vehículo**



Fuente: Elaboración propia

La Figura 5-8 a) presenta la distribución de costos según tipo de costos. De los \$1.291 millones de dólares en valor presente de costos, el 41% de los correspondería a consumo de AUS 32, seguido por los costos de inversión tecnológicos (30%), costo de remoción de azufre (30%) y costo de mantención de filtros de partículas (1%).

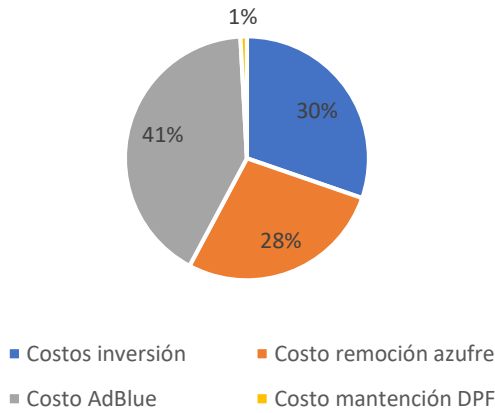
La Figura 5-8 b) presenta la distribución de los \$4.263 millones de dólares de beneficios. Los principales beneficios corresponden a mortalidad evitada, correspondiente al 82,8%, seguido de beneficios debido a un menos consumo de combustible (16,7%) y a emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas (0,4%).

**Figura 5-8: Costos y beneficios según tipo de costo y de beneficio**

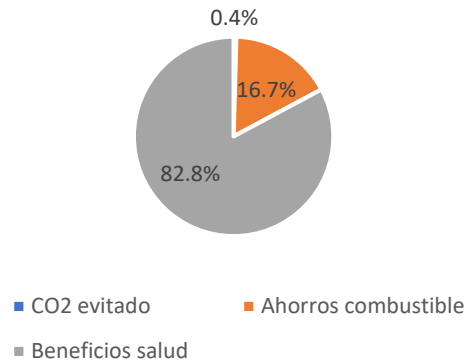
- a) Costos según tipo
- b) Beneficios según tipo



Distribución de costos según tipo. VP costo = 1291



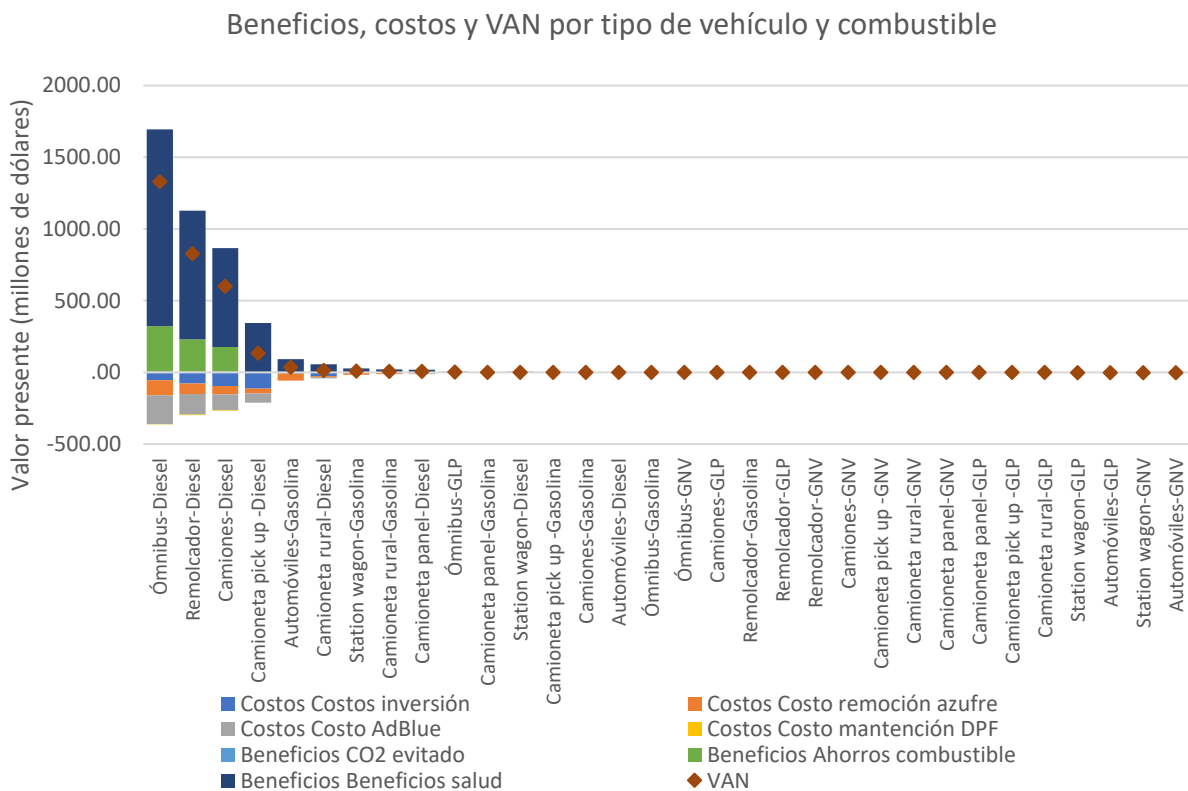
Distribución de beneficios según tipo. VP beneficios = 4263 millones de dólares



Fuente: Elaboración propia

Por último, la Figura 5-9 presenta el detalle de los costos y beneficios para cada combinación de tipo de vehículo y combustible. Se observa que los mayores VAN corresponden a las categorías ómnibus diésel, remolcador diésel, camiones diésel, camionetas pick up diésel y camionetas rural diésel. La Tabla 7-12 de Anexos presenta la tabla con los valores utilizados en la Figura 5-9.

Figura 5-9: Detalle de costos, beneficios y VAN según tipo de vehículo y combustible.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5-10: Costos y beneficios según tipo de vehículo**

Tipo de vehículo	Costos				Beneficios		
	Costos inversión	Costo remoción azufre	Costo AdBlue	Costo mantenimiento SCR	CO2 evitado	Ahorros combustible	Beneficios salud
Ómnibus	55,39	103,90	200,69	3,21	8,48	316,48	1371,52
Camiones	95,57	57,17	110,22	3,43	4,60	172,63	690,21
Remolcador	76,81	74,17	143,32	4,45	5,98	224,48	897,18
Camioneta pick up	113,08	34,31	64,33	0,00	0,00	0,00	346,20
Camioneta rural	28,29	17,01	10,58	0,00	0,00	0,00	78,26
Camioneta panel	7,17	4,01	3,56	0,00	0,00	0,00	23,13
Automóviles	9,27	49,71	0,06	0,00	0,00	0,00	93,25
Station wagon	5,32	14,80	0,74	0,00	0,00	0,00	31,10
<b>Total</b>	<b>390,91</b>	<b>355,08</b>	<b>533,50</b>	<b>11,09</b>	<b>19,06</b>	<b>713,59</b>	<b>3530,84</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.1 Distribución costos y beneficios según agente

La distribución de costos y beneficios corresponde al paso final del análisis. Muchas veces esta etapa no se lleva a cabo, dada la dificultad que puede representar y considerando que no afecta los resultados de la evaluación en términos de costos, beneficios o razón beneficio-costos. A continuación se explicitan los agentes identificados y los supuestos realizados para distribución de costos y beneficios.

**Privados:** Importadores de vehículos podrían absorber parcialmente el costo adicional de nuevos vehículos que deben cumplir con el nuevo estándar, mientras que las estaciones de servicio de venta de combustible podrían absorber parte del incremento en el precio de los combustibles debido a la remoción de azufre.

**Emisores:** Corresponde a los usuarios de los vehículos livianos y pesados sujetos a la regulación. Estos usuarios asumirán costos de inversión asociados al mayor costo de vehículos Euro 6/VI, costos variables de remoción de azufre debido a un mayor precio de combustibles con menor contenido de azufre, costos variables del consumo de AUS 32 y los costos de mantención de DPFs.

**Gobierno:** El gobierno podría asumir parcialmente costos de remoción de azufre, en caso de apoyar el financiamiento de inversiones necesarias en plantas de refinamiento de los combustibles. El gobierno también se verá beneficiado con reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>, las que podrían contribuir parcialmente al compromiso adquirido por el país en el contexto del Acuerdo de París.

**Ciudadanía:** Todos los habitantes de Lima y Callao se verán beneficiados con la reducción de la contaminación. La mortalidad y morbilidad evitada debido a un aire más limpio influirá directamente en su bienestar, calidad de vida y gastos médicos asociados a enfermedades empeoradas por la contaminación.

La Tabla 5-2 presenta los supuestos de distribución de los costos y beneficios según los agentes identificados.

**Tabla 5-2: Distribución de costos y beneficios según agente identificado.**

Agente	Costos				Beneficios		
	inversión	remoción azufre	AUS 32	mantención DPF	CO <sub>2</sub> evitado	Ahorros combustible	Beneficios salud
Privados	0,1	0,1					
Emisores	0,9	0,8	1	1		1	
Gobierno		0,1			0,5		
Ciudadanía					0,5		1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

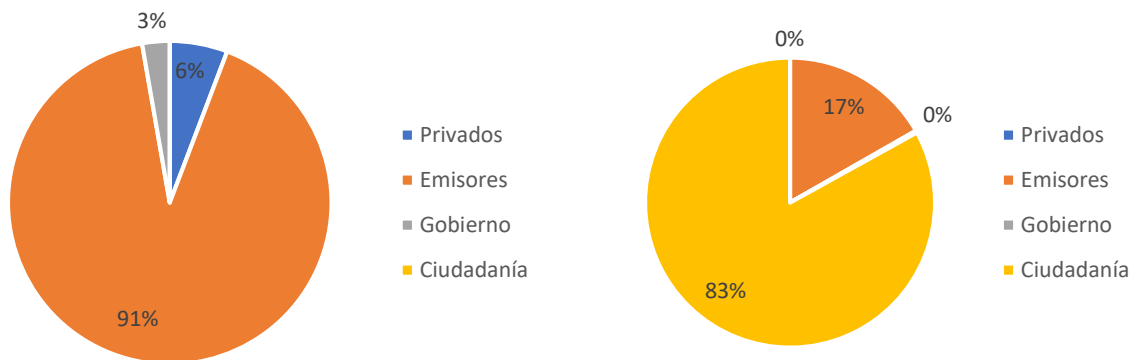
Fuente: Elaboración propia

La Figura 5-11 presenta la distribución porcentual de los costos según agente. Se observa que los emisores son los que absorben la gran mayoría de los costos (91%), mientras que reciben solo el 17% de los beneficios. En contraste, la población en general no absorbe los costos pero recibe el 83% de los beneficios, en gran parte debido a la mortalidad prematura evitada.

**Figura 5-11: Distribución porcentual de costos y beneficios según agente**

a) Distribución de costos por agente

b) Distribución de beneficios por agente



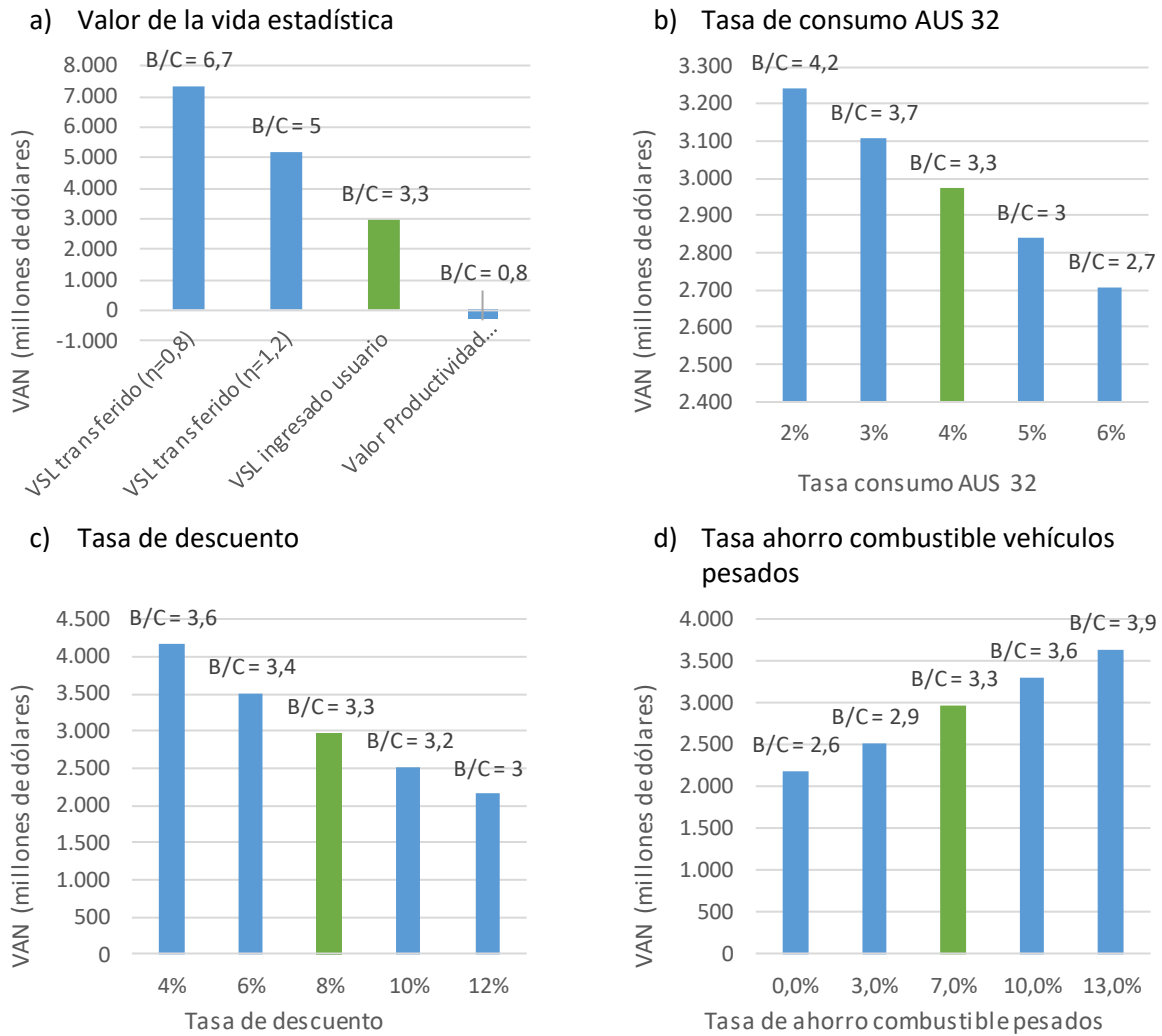
Fuente: Elaboración propia

#### 5.4 Análisis de sensibilidad

La Figura 5-12 presenta un análisis de sensibilidad para el valor de la vida estadística, tasa de consumo de AUS 32 respecto a consumo de combustible, tasa de descuento y tasa de ahorro de combustible para vehículos pesados diésel Euro VI. Las barras resaltadas en verde representan el valor original utilizado en la evaluación. Todos los supuestos de evaluación seleccionados como escenario central se detallan en la Tabla 2-1 del Resumen Ejecutivo, y en el análisis de sensibilidad se modifica sólo el parámetro seleccionado, manteniéndose todos los demás parámetros constantes e iguales al escenario central.

Se observa que el parámetro más sensible corresponde al valor de la vida estadística, que podría hacer variar la razón beneficio costo hasta un valor máximo de 6,7 y un valor mínimo de 0,8 al utilizar el VSL obtenido utilizando el enfoque de capital humano para Perú. Cabe mencionar nuevamente que este enfoque de cálculo de VSL considera sólo la productividad perdida asociada a una mortalidad prematura, con lo que constituye más bien la cota inferior para asignar un valor a la mortalidad evitada.

**Figura 5-12: Análisis de sensibilidad para parámetros de evaluación seleccionados**



Fuente: Elaboración propia

## 6 Referencias

- Apte, Joshua, Emilie Bombrun, Julian Marshall, and William Nazaroff. 2012. "Global Intraurban Intake Fractions for Primary Air Pollutants from Vehicles and Other Distributed Sources." *Environmental Science and Technology* 46 (6): 3415–23. <https://doi.org/10.1021/es204021h>.
- Blumberg, Kate. 2010. "Euro VI / EPA 2010 Para Transportación Limpio."
- Burnett, Richard, Hong Chen, Mieczysław Szyszkowicz, Neal Fann, Bryan Hubbell, Arden Pope, Joshua Apte, et al. 2018. "Global Estimates of Mortality Associated with Long-Term Exposure to Outdoor Fine Particulate Matter." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (38): 9592–97. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>.
- CALAC+. 2018. "Análisis Comparativo de La Normativa de Emisiones Vehiculares Euro 5/V y Euro 6/VI, Requerimientos y Beneficios de Su Implementación En El Perú."
- European Environment Agency. 2016. "EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016." <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>.
- Fantke, Peter, Olivier Jolliet, Joshua Apte, Natasha Hodas, John Evans, Charles Weschler, Katerina Stylianou, Matti Jantunen, and Thomas McKone. 2017. "Characterizing Aggregated Exposure to Primary Particulate Matter: Recommended Intake Fractions for Indoor and Outdoor Sources." *Environmental Science & Technology* 51 (16): 9089–9100. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02589>.
- Fundación Transitemos. 2018. "Transporte Urbano Lima y Callao 2018, Informe de Observancia Situación Del Transporte Urbano En Lima y Callao." <https://transitemos.org/propuestas/situacion-del-transporte-urbano-en-lima-y-callao/>.
- GBD 2016 Risk Factors Collaborators. 2017. "Global, Regional, and National Comparative Risk Assessment of 84 Behavioural, Environmental and Occupational, and Metabolic Risks or Clusters of Risks, 1990-2016: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2016." *The Lancet* 390 (10100): 1345–1422. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32366-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32366-8).
- GreenLabUC. 2011. "Co-Beneficios de La Mitigacion de GEI." Sanitago.
- Hoek, Gerard, Ranjini M Krishnan, Rob Beelen, Annette Peters, Bart Ostro, Bert Brunekreef, and Joel D Kaufman. 2013. "Long-Term Air Pollution Exposure and Cardio- Respiratory Mortality: A Review." *Environmental Health* 12 (1): 43. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43>.
- Humbert, Sebastien, Julian Marshall, Shanna Shaked, Joseph Spadaro, Yurika Nishioka, Philipp Preiss, Thomas McKone, Arpad Horvath, and Olivier Jolliet. 2011. "Intake Fraction for Particulate Matter: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment." *Environmental Science & Technology* TA - TT - 45 (11): 4808.
- Industrial Economics. 2018. "Santiago Megacities Partnership: Assessment of Air Quality Management in the Santiago Metropolitan Region."
- INEI, UNFPA, and CEPAL. 2019. "Perú: Estimaciones y Proyecciones de La Población Nacional, 1950-2070." [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1665/index.html](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1665/index.html).

- Institute for Health Metrics and Evaluation. 2018. "GBD 2017 Results Tool."  
<http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.
- International Council on Clean Transportation. 2012a. "Estimated Cost of Emission Reduction Technologies for Light-Duty Vehicles." [www.theicct.org](http://www.theicct.org).
- . 2012b. "Technical and Economic Analysis of the Transition to Ultra-Low Sulfur Fuels in Brazil, China, India and Mexico."  
[https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_ULSF\\_refining\\_Oct2012.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_ULSF_refining_Oct2012.pdf).
- . 2016. "Costs of Emission Reduction Technologies for Heavy-Duty Diesel Vehicles."  
[www.theicct.org](http://www.theicct.org).
- . 2019. "A Global Snapshot of the Air Pollution-Related Health Impacts of Transportation Sector Emissions in 2010 and 2015." [www.theicct.org](http://www.theicct.org).
- International Monetary Fund. 2019. "World Economic Outlook Database."  
[https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2019/01/weodata/weorept.aspx?sy=2017&ey=2024&scsm=1&ssd=1&sort=country&ds=%2C&br=1&pr1.x=78&pr1.y=9&c=293&s=NGDP\\_RPCH%2CPPPGDP%2CLP&grp=0&a=.](https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2019/01/weodata/weorept.aspx?sy=2017&ey=2024&scsm=1&ssd=1&sort=country&ds=%2C&br=1&pr1.x=78&pr1.y=9&c=293&s=NGDP_RPCH%2CPPPGDP%2CLP&grp=0&a=)
- Liu, Huan, Kebin He, Dongquan He, Lixin Fu, Yu Zhou, Michael P. Walsh, and Katherine O. Blumberg. 2008. "Analysis of the Impacts of Fuel Sulfur on Vehicle Emissions in China." *Fuel* 87 (13–14): 3147–54. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2008.03.019>.
- Miller, Joshua, and Cristiano Façanha. 2016. "COST-BENEFIT ANALYSIS OF BRAZIL'S HEAVY-DUTY EMISSION STANDARDS (P-8)." [www.theicct.org](http://www.theicct.org).
- Ministerio de Economía y Finanzas Perú. 2018. "Anexo N° 11: Parámetros de Evaluación Social."  
[https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/anexos/anexo11\\_directiva001\\_2019EF6301.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva001_2019EF6301.pdf).
- Narain, Urvashi, and Christopher Sall. 2016. "Methodology for Valuing the Health Impacts of Air Pollution: Discussion of Challenges and Proposed Solutions." *World Bank*, 1–69.  
<https://doi.org/10.1596/K8849>.
- OECD. 2012. "Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies."  
[https://www.oecd.org/environment/mortalityriskvaluationinenvironmenthealthandtransportpolicies.htm#How\\_to\\_obtain\\_this\\_publication](https://www.oecd.org/environment/mortalityriskvaluationinenvironmenthealthandtransportpolicies.htm#How_to_obtain_this_publication).
- Organización Mundial de la Salud. 2005. "Guías de Calidad Del Aire de La OMS Relativas Al Material Particulado, El Ozono, El Dióxido de Nitrógeno y El Dióxido de Azufre."
- PLANCC, and Libélula. 2013. "Anexo 4.3 Escenario 'Todo Sigue Igual'; (BAU) Sector Transporte."  
<http://www.keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Ecosistemas/189.pdf>.
- Robinson, Lisa, James Hammitt, Michele Cecchini, Kalipso Chalkidou, Karl Claxton, Maureen Cropper, Patrick Hoang-Vu Eozenou, et al. 2019. "Reference Case Guidelines for Benefit-Cost Analysis in Global Health and Development." <https://sites.sph.harvard.edu/bcguidelines/methods-and-cases/>.
- Seminario de Marzi, Luis Bruno. 2017. "Estimación Del Costo Por Fallecimiento Prematuro."  
[https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/parametros\\_evaluacion\\_social/Valor\\_Estadistico\\_Vida.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/parametros_evaluacion_social/Valor_Estadistico_Vida.pdf).

US EPA. 2010. "CONTROL STRATEGY TOOL (COST) CONTROL MEASURES DATABASE (CMDDB) DOCUMENTATION."

WHO Regional Office for Europe. 2016. "Health Risk Assessment of Air Pollution. General Principles." Copenhagen. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf?ua=1).

World Bank Group, and ESMAP. 2017. "The Energy Subsidy Reform Assessment Framework (ESRAF). Good Practice Note 8, Local Environmental Externalities Due to Energy Price Subsidies: A Focus on Air Pollution and Health." <http://documents.worldbank.org/curated/en/677081531112268818/pdf/ESRAF-note-8-Local-Environmental-Externalities-due-to-Energy-Price-Subsidies-A-Focus-on-Air-Pollution-and-Health.pdf>.

World Health Organization. 2018a. "Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2016 Description of Method." [http://www.who.int/airpollution/data/AAP\\_BoD\\_methods\\_Apr2018\\_final.pdf?ua=1](http://www.who.int/airpollution/data/AAP_BoD_methods_Apr2018_final.pdf?ua=1).

———. 2018b. "Projections of Mortality and Causes of Death, 2016 to 2060." Health statistics and information systems. [https://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/projections/en/](https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/projections/en/).

## 7 Anexos

### 7.1 Información provista por la contraparte técnica

Los documentos recibidos hasta la fecha por parte de la contraparte técnica se presentan en la Tabla 7-1.

**Tabla 7-1: Documentos provistos por la contraparte técnica**

Tema	Documento	Descripción
1_Poblacion	Pob_LimaCallao.xlsx	Población total Lima y Callao años 2007 y 2017. Proyecciones entre 2008 y 2016. Población no está desagregada por tramo etario.
	EsperanzaVida.xlsx	Esperanza de vida al nacer
	PobEdad_LimaCallao.xlsx	Población en tramos de 5 años para 2007 y 2017
2_Epidemiologia	1_Morb_LimaCallao.xlsx	Número de atenciones de Infección respiratoria aguda, Infección respiratoria aguda baja, Enfermedad pulmonar obstructiva crónica, Neoplasia maligna de bronquios y pulmón, Enfermedad isquémica del corazón y Enfermedad cerebrovascular
	2_Mort_LimaCallao.xlsx	Mortalidad total y según seis causas, desde 1997 a 2016.
	2_Mort_LimaCallao_v2	Se actualizó las muertes totales considerando solo las causas naturales
	3_Mort_DistGen_LimaCallao.xlsx	Mortalidad Distribuida según género y departamento, provincia y distrito, desde 1986 a 2016
	3_Mort_DistGen_LimaCallao (1)	Excel que reemplaza los registros de mortalidad por distrito, género y sexo
	4_Mort_DistEdad_LimaCallao.xlsx	Mortalidad Distribuida según edad y departamento, provincia y distrito, desde 1986 a 2016
5_ValorEstad_Vida	1_Parametros_EvSocial.pdf	Parámetros como tasa de descuento, precio social carbono, factores ajuste precios combustibles.
	2_Metodologia_ValorEstVida.pdf	Metodología VSL Perú
	ValorEstadVida_Peru	VSL según edad
3_CalidadAire	CalidadAire_v2.xlsx	Promedios anuales estaciones
	Reseña.doc	Incluye la ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo
	PM2,5_PromDiario.xlsx	En base a DIGESA y SENAMHI
	PM2,5_PromDiario2018	Datos horarios de PM <sub>2,5</sub> correspondientes al 2018
4_Emisiones	Resultados_Totales_2016.xlsx	Emisiones 2016 según sector.
	Fuente móviles.xlsx	Contiene el detalle de los cálculos. Información muy relevante.
	(2018) BA-AO.Inventario de emisiones por fuente móviles - Lima y Callao.xlsx	Inventario sector transporte para año 2018
5_ParqueAutomotor	InscripcionVehiculos_Nacional.xlsx	Años 2017 y 2018. Tiene desagregación según tipo de vehículo.



<b>Tema</b>	<b>Documento</b>	<b>Descripción</b>
	Importacionvehiculos_Nacional_v2.xlsx	Unidades importadas desde 1991 a 2018.
	KmRecorridos_DptoLimaCallao2016.xlsx	Kilómetros recorridos según tipo de vehículo, estándar de emisión para gasolina y GNV.
	ModeloMarcaLivianos_2016-2017.xlsx	Características de modelos y marcas de vehículos 2016 y 2017.
	ParqueAutomotor_DptoLimaCallao.xlsx	Información desde 2000 a 2018.
	TecnVehicular_DptoLimaCallao2016.xlsx	Distribución parque vehicular según estándar de emisión 2016.
	ParqueAutomotor_DptoLimaCallao	Parque desde 2000 a 2018 según tipo de vehículo.
	NormativaEuro.doc	Fechas de implementación normas de emisión en Perú.
	PaqueAutomotor_nacional	Parque automotor total en Perú, años 2000 a 2018
	VidaUtil.xlsx	Vida útil vehículos en términos de sus kilómetros recorridos
6_Combustibles	Demanda_LimaCallao	Ventas desde 2006 a 2011 por tipo de combustible.
	Precios_LimaCallao.xlsx	Precios combustibles
	Precios_LimaCallao_v2.xlsx	Precios combustibles. Incluye precios 2018
7_Otros	1_InformeMovilidad2015.pdf	Habla de transporte público, y velocidades promedio, viajes, accidentes, etc.
	2_EstimacionPoblacional_1950-2070.pdf	Reporte año 2019. Proyección mortalidad y Población. Cuadro 01: Proyección población total por sexo 1950-2070 Cuadro 02: Proyección población total por sexo y grupo de edad 2020-2070 Cuadro 04: Proyección de la esperanza de vida al naces, 2020-2070.
	3_EstimPoblacion1995-2025.pdf	
	4_CALAC+ Euro 5 Vs Euro 6 20190619 v3 sincontroldecambios.doc	Análisis comparativo de la normativa de emisiones vehiculares Euro 5/V y Euro 6/VI, requerimientos y beneficios de su implementación en el Perú.
	5_Tablas1950-2070	Tablas del documento 2_EstimacionPoblacional_1950-2070.pdf
	6_Liu2008_Emisiones.pdf	Documento que contiene factores de correcciones para las emisiones de NOx, CO y HC y PM10 (para vehículos diésel solamente) de acuerdo al contenido de azufre de los combustibles, de acuerdo al estándar de emisión del vehículo.
8_Costos	Datos_PMRT.docx	Datos del proyecto de modernización de la Refinería de Talara
	Datos.docx	Precios de AUS 32 en diferentes presentaciones varía entre 2,3 y 3,5 soles por litro
	CostosReferenciales.docx	Costos manteniendo DPF, corresponde a vehículos fuera de ruta

## 7.2 Parámetros para el cálculo de emisiones

**Tabla 7-2: Kilómetros recorridos según tipo de vehículo**

Recorridos promedios por vehículo (km/año)									
Tipo de combustible	Automovil*	Station wagon	Camionetas			Omnibus**	Camión***	Remolcador	Motos
			Pick up	Rural	Panel				
Diesel	15000	78000	35000	14000	25000	120000	50000	120000	0
GLP	78000	78000	35000	14000	25000	60000	0	0	0
GNV	78000	78000	35000	14000	25000	60000	50000	0	0
Gasolina	15000	14000	14000	14000	25000	60000	50000	0	14400

Fuente: Proyecto Planificación ante el Cambio Climático (PlanCC, 2014), Escenarios de Mitigación del Cambio Climático en el Perú al 2050: Construyendo un Desarrollo Bajo en Emisiones. Anexo 4.3

\*Para Diésel y Gasolina, en la categoría Automóvil, se ha utilizado la siguiente fuente: SWISSCONTACT, (Mayo 2014).

Elaboración de propuesta para el uso de etiquetado energético en vehículos livianos en el Perú. Informe Final.

\*\*Para GLP y Gasolina, en la categoría Omnibus, se ha asumido el mismo recorrido promedio de GNV (chispa).

\*\*\*Para GNV y Gasolina, en la categoría Camión, se ha asumido el mismo recorrido promedio de Diésel.

**Tabla 7-3: Factores de ajuste a las emisiones de acuerdo al contenido de azufre de combustibles**

Combustible	Contaminante	Estándar 2	2000 ppm	800 ppm	500 ppm	350 ppm	50 ppm	10 ppm
Diesel	NOx	Pre Euro	1		0,869	0,856	0,83	0,827
	NOx	EURO 2/II	1,15		1	0,985	0,955	0,951
	NOx	EURO 3/III	1,081		1,007	1	0,985	0,983
	NOx	EURO 4/IV	2,261		1,291	1,194	1	0,974
	NOx	EURO 5/V	2,261		1,291	1,194	1	0,974
	NOx	EURO 6/VI	2,261		1,291	1,194	1	0,974
	CO	Pre Euro	1		0,365	0,301	0,174	0,157
	CO	EURO 2/II	2,74		1	0,826	0,478	0,432
	CO	EURO 3/III	2,069		1,097	1	0,806	0,78
	CO	EURO 4/IV	2,569		1,362	1,241	1	0,968
	CO	EURO 5/V	2,569		1,362	1,241	1	0,968
	CO	EURO 6/VI	2,569		1,362	1,241	1	0,968
	HC	Pre Euro	1		0,443	0,388	0,276	0,261
	HC	EURO 2/II	2,256		1	0,874	0,623	0,59
	HC	EURO 3/III	2,147		1,104	1	0,791	0,764
	HC	EURO 4/IV	2,713		1,395	1,264	1	0,965
	HC	EURO 5/V	2,713		1,395	1,264	1	0,965
	HC	EURO 6/VI	2,713		1,395	1,264	1	0,965
	PM10	Pre Euro	1		0,652	0,617	0,549	0,54
	PM10	EURO 2/II	1,535		1	0,947	0,842	0,828
PM10	EURO 3/III	2,22		1,111	1	0,778	0,749	
PM10	EURO 4/IV	5,855		2,12	1,747	1	0,75	
PM10	EURO 5/V	5,855		2,12	1,747	1	0,75	
PM10	EURO 6/VI	5,855		2,12	1,747	1	0,75	
Gasolina	NOx	Pre Euro		1	0,986	0,95	0,917	0,868
	NOx	EURO 2/II		1,084	1	0,896	0,86	0,633

Combustible	Contaminante	Estándar 2	2000 ppm	800 ppm	500 ppm	350 ppm	50 ppm	10 ppm
	NOx	EURO 3/III		1,291	1,225	1	0,937	0,886
	NOx	EURO 4/IV		2,572	2,079	1,364	1	0,883
	NOx	EURO 5/V		2,572	2,079	1,364	1	0,883
	NOx	EURO 6/VI		2,572	2,079	1,364	1	0,883
	CO	Pre Euro		1	0,967	0,883	0,806	0,694
	CO	EURO 2/II		1,11	1	0,844	0,769	0,69
	CO	EURO 3/III		1,396	1,285	1	0,813	0,811
	CO	EURO 4/IV		2,209	1,799	1,245	1	0,77
	CO	EURO 5/V		2,209	1,799	1,245	1	0,77
	CO	EURO 6/VI		2,209	1,799	1,245	1	0,77
	HC	Pre Euro		1	0,973	0,904	0,841	0,749
	HC	EURO 2/II		1,125	1	0,827	0,745	0,663
	HC	EURO 3/III		1,247	1,15	1	0,897	0,815
	HC	EURO 4/IV		1,601	1,407	1,133	1	0,864
	HC	EURO 5/V		1,601	1,407	1,133	1	0,864
	HC	EURO 6/VI		1,601	1,407	1,133	1	0,864

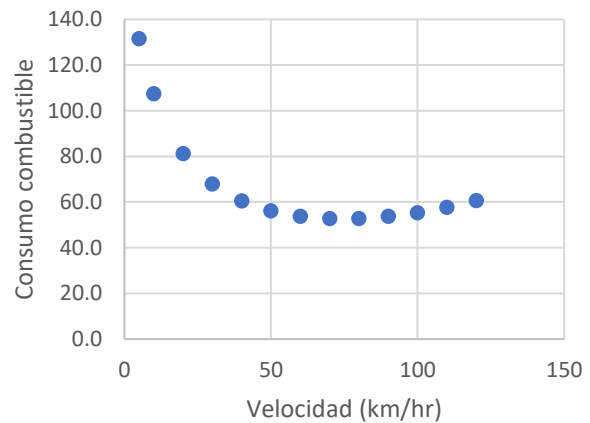
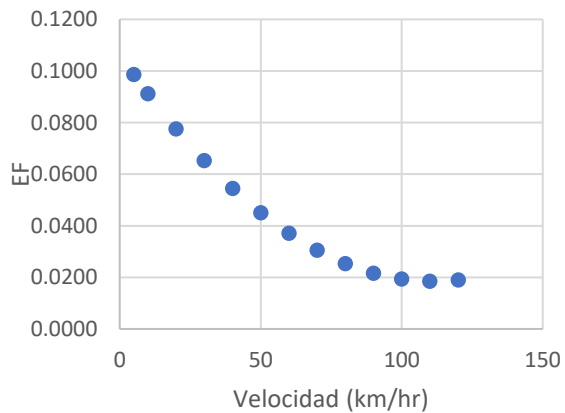
Fuente: (Liu et al. 2008)

### 7.3 Ejemplo variación factores de emisión en base a velocidad de circulación

**Figura 7-1: Ejemplo de variación de FE de acuerdo a la velocidad de circulación**

a) Factor de emisión NOx [g/km], vehículo pasajeros a gasolina Euro 4

b) Consumo de combustible [gr/km], vehículo pasajeros a gasolina Euro 4



Fuente: Elaboración propia en base a (European Environment Agency 2016)

## 7.4 Detalle del parque proyectado

**Tabla 7-4: Proyección del parque de línea base, años 2018, 2025 y 2030 (excluye motos)**

Línea Base	Automóviles	Station wagon	Camioneta pick up	Camioneta rural	Camioneta panel	Ómnibus	Camiones	Remolcador	Total
<b>2018</b>	907.340	319.384	184.038	265.734	34.838	56.676	131.013	70.558	1.969.580
<b>Diesel</b>	544	1.246	165.965	68.108	12.838	50.951	130.227	70.558	500.436
<b>Pre Euro</b>	383	876	116.664	27.170	5.121	20.326	21.156	11.462	203.158
<b>EURO 2/II</b>	13	29	3.856	1.165	220	872	6.718	3.640	16.513
<b>EURO 3/III</b>	120	274	36.554	36.123	6.809	27.024	95.376	51.675	253.956
<b>EURO 4/IV</b>	29	67	8.891	3.649	688	2.730	6.976	3.780	26.809
<b>GLP</b>	22.593	12.999	865	2.206	1.003	62	0	0	39.728
<b>Pre Euro</b>	7.304	4.202	280	237	108	7	0	0	12.137
<b>EURO 2/II</b>	3.649	2.100	140	73	33	2	0	0	5.997
<b>EURO 3/III</b>	10.429	6.001	399	1.777	809	50	0	0	19.465
<b>EURO 4/IV</b>	1.210	696	46	118	54	3	0	0	2.128
<b>GNV</b>	53.805	47.013	92	505	495	5.520	183	0	107.614
<b>Pre Euro</b>	12.714	11.109	22	13	13	144	5	0	24.020
<b>EURO 2/II</b>	8.120	7.095	14	4	4	39	5	0	15.280
<b>EURO 3/III</b>	30.089	26.291	51	461	452	5.041	163	0	62.548
<b>EURO 4/IV</b>	2.882	2.519	5	27	27	296	10	0	5.765
<b>Gasolina</b>	830.397	258.126	17.116	194.916	20.502	142	603	0	1.321.802
<b>Pre Euro</b>	75.031	23.323	1.546	42.152	4.434	31	51	0	146.567
<b>EURO 2/II</b>	113.643	35.326	2.342	3.130	329	2	4	0	154.776
<b>EURO 3/III</b>	597.238	185.650	12.310	139.192	14.641	101	516	0	949.647
<b>EURO 4/IV</b>	44.486	13.828	917	10.442	1.098	8	32	0	70.811
<b>2025</b>	1.522.228	532.849	308.765	446.929	58.542	89.326	207.866	111.956	3.278.461
<b>Diesel</b>	913	2.089	278.343	114.457	21.575	80.731	206.634	111.956	816.698
<b>Pre Euro</b>	383	876	116.664	27.170	5.121	20.326	21.156	11.462	203.158
<b>EURO 2/II</b>	13	29	3.856	1.165	220	872	6.718	3.640	16.513
<b>EURO 3/III</b>	120	274	36.554	36.123	6.809	27.024	95.376	51.675	253.956
<b>EURO 4/IV</b>	398	910	121.269	49.998	9.424	32.509	83.384	45.178	343.070
<b>GLP</b>	37.987	21.856	1.454	3.714	1.689	99	0	0	66.800

<b>Pre Euro</b>	7.304	4.202	280	237	108	7	0	0	12.137
<b>EURO 2/II</b>	3.649	2.100	140	73	33	2	0	0	5.997
<b>EURO 3/III</b>	10.429	6.001	399	1.777	809	50	0	0	19.465
<b>EURO 4/IV</b>	16.605	9.554	636	1.626	740	40	0	0	29.200
<b>GNV</b>	84.942	74.220	145	797	781	8.271	275	0	169.430
<b>Pre Euro</b>	12.714	11.109	22	13	13	144	5	0	24.020
<b>EURO 2/II</b>	8.120	7.095	14	4	4	39	5	0	15.280
<b>EURO 3/III</b>	30.089	26.291	51	461	452	5.041	163	0	62.548
<b>EURO 4/IV</b>	34.019	29.725	58	319	313	3.046	101	0	67.582
<b>Gasolina</b>	1.398.386	434.684	28.822	327.962	34.497	225	957	0	2.225.533
<b>Pre Euro</b>	75.031	23.323	1.546	42.152	4.434	31	51	0	146.567
<b>EURO 2/II</b>	113.643	35.326	2.342	3.130	329	2	4	0	154.776
<b>EURO 3/III</b>	597.238	185.650	12.310	139.192	14.641	101	516	0	949.647
<b>EURO 4/IV</b>	612.475	190.386	12.624	143.488	15.093	91	386	0	974.542
<b>2030</b>	<b>2.209.729</b>	<b>773.505</b>	<b>448.216</b>	<b>648.781</b>	<b>84.982</b>	<b>124.307</b>	<b>289.269</b>	<b>155.799</b>	<b>4.734.587</b>
<b>Diesel</b>	1.325	3.032	404.054	166.150	31.318	112.346	287.555	155.799	1.161.580
<b>Pre Euro</b>	383	876	116.664	27.170	5.121	20.326	21.156	11.462	203.158
<b>EURO 2/II</b>	13	29	3.856	1.165	220	872	6.718	3.640	16.513
<b>EURO 3/III</b>	120	274	36.554	36.123	6.809	27.024	95.376	51.675	253.956
<b>EURO 4/IV</b>	810	1.854	246.980	101.691	19.168	64.125	164.304	89.021	687.953
<b>GLP</b>	55.144	31.727	2.111	5.391	2.452	138	0	0	96.963
<b>Pre Euro</b>	7.304	4.202	280	237	108	7	0	0	12.137
<b>EURO 2/II</b>	3.649	2.100	140	73	33	2	0	0	5.997
<b>EURO 3/III</b>	10.429	6.001	399	1.777	809	50	0	0	19.465
<b>EURO 4/IV</b>	33.761	19.425	1.293	3.304	1.503	79	0	0	59.364
<b>GNV</b>	123.305	107.740	211	1.157	1.134	11.510	382	0	245.439
<b>Pre Euro</b>	12.714	11.109	22	13	13	144	5	0	24.020
<b>EURO 2/II</b>	8.120	7.095	14	4	4	39	5	0	15.280
<b>EURO 3/III</b>	30.089	26.291	51	461	452	5.041	163	0	62.548
<b>EURO 4/IV</b>	72.382	63.245	124	679	666	6.285	209	0	143.590
<b>Gasolina</b>	2.029.955	631.005	41.840	476.083	50.077	313	1.331	0	3.230.604

<b>Pre Euro</b>	75.031	23.323	1.546	42.152	4.434	31	51	0	146.567
<b>EURO 2/II</b>	113.643	35.326	2.342	3.130	329	2	4	0	154.776
<b>EURO 3/III</b>	597.238	185.650	12.310	139.192	14.641	101	516	0	949.647
<b>EURO 4/IV</b>	1.244.043	386.707	25.641	291.609	30.673	179	761	0	1.979.613

**Tabla 7-5: Proyección del parque escenario normativo, años 2018, 2025 y 2030 (excluye motos)**

Escenario Normativo	Automóviles	Station wagon	Camioneta pick up	Camioneta rural	Camioneta panel	Ómnibus	Camiones	Remolcador	Total
<b>2018</b>	907.340	319.384	184.038	265.734	34.838	56.676	131.013	70.558	1.969.580
<b>Diesel</b>	544	1.246	165.965	68.108	12.838	50.951	130.227	70.558	500.436
<b>Pre Euro</b>	383	876	116.664	27.170	5.121	20.326	21.156	11.462	203.158
<b>EURO 2/II</b>	13	29	3.856	1.165	220	872	6.718	3.640	16.513
<b>EURO 3/III</b>	120	274	36.554	36.123	6.809	27.024	95.376	51.675	253.956
<b>EURO 4/IV</b>	29	67	8.891	3.649	688	2.730	6.976	3.780	26.809
<b>GLP</b>	22.593	12.999	865	2.206	1.003	62	0	0	39.728
<b>Pre Euro</b>	7.304	4.202	280	237	108	7	0	0	12.137
<b>EURO 2/II</b>	3.649	2.100	140	73	33	2	0	0	5.997
<b>EURO 3/III</b>	10.429	6.001	399	1.777	809	50	0	0	19.465
<b>EURO 4/IV</b>	1.210	696	46	118	54	3	0	0	2.128
<b>GNV</b>	53.805	47.013	92	505	495	5.520	183	0	107.614
<b>Pre Euro</b>	12.714	11.109	22	13	13	144	5	0	24.020
<b>EURO 2/II</b>	8.120	7.095	14	4	4	39	5	0	15.280
<b>EURO 3/III</b>	30.089	26.291	51	461	452	5.041	163	0	62.548
<b>EURO 4/IV</b>	2.882	2.519	5	27	27	296	10	0	5.765
<b>Gasolina</b>	830.397	258.126	17.116	194.916	20.502	142	603	0	1.321.802
<b>Pre Euro</b>	75.031	23.323	1.546	42.152	4.434	31	51	0	146.567
<b>EURO 2/II</b>	113.643	35.326	2.342	3.130	329	2	4	0	154.776
<b>EURO 3/III</b>	597.238	185.650	12.310	139.192	14.641	101	516	0	949.647
<b>EURO 4/IV</b>	44.486	13.828	917	10.442	1.098	8	32	0	70.811
<b>2025</b>	1.522.228	532.849	308.765	446.929	58.542	89.326	207.866	111.956	3.278.461
<b>Diesel</b>	913	2.089	278.343	114.457	21.575	80.731	206.634	111.956	816.698

Escenario Normativo	Automóviles	Station wagon	Camioneta pick up	Camioneta rural	Camioneta panel	Ómnibus	Camiones	Remolcador	Total
<b>Pre Euro</b>	383	876	116.664	27.170	5.121	20.326	21.156	11.462	203.158
<b>EURO 2/II</b>	13	29	3.856	1.165	220	872	6.718	3.640	16.513
<b>EURO 3/III</b>	120	274	36.554	36.123	6.809	27.024	95.376	51.675	253.956
<b>EURO 4/IV</b>	114	260	34.669	14.388	2.712	9.791	25.235	13.673	100.842
<b>EURO 6/VI</b>	284	650	86.599	35.610	6.712	22.718	58.149	31.505	242.228
<b>GLP</b>	37.987	21.856	1.454	3.714	1.689	99	0	0	66.800
<b>Pre Euro</b>	7.304	4.202	280	237	108	7	0	0	12.137
<b>EURO 2/II</b>	3.649	2.100	140	73	33	2	0	0	5.997
<b>EURO 3/III</b>	10.429	6.001	399	1.777	809	50	0	0	19.465
<b>EURO 4/IV</b>	4.786	2.754	183	471	214	12	0	0	8.420
<b>EURO 6/VI</b>	11.819	6.800	452	1.155	526	28	0	0	20.780
<b>GNV</b>	84.942	74.220	145	797	781	8.271	275	0	169.430
<b>Pre Euro</b>	12.714	11.109	22	13	13	144	5	0	24.020
<b>EURO 2/II</b>	8.120	7.095	14	4	4	39	5	0	15.280
<b>EURO 3/III</b>	30.089	26.291	51	461	452	5.041	163	0	62.548
<b>EURO 4/IV</b>	7.592	6.633	13	71	70	719	24	0	15.122
<b>EURO 6/VI</b>	26.427	23.092	45	248	243	2.327	77	0	52.460
<b>Gasolina</b>	1.398.386	434.684	28.822	327.962	34.497	225	957	0	2.225.533
<b>Pre Euro</b>	75.031	23.323	1.546	42.152	4.434	31	51	0	146.567
<b>EURO 2/II</b>	113.643	35.326	2.342	3.130	329	2	4	0	154.776
<b>EURO 3/III</b>	597.238	185.650	12.310	139.192	14.641	101	516	0	949.647
<b>EURO 4/IV</b>	177.402	55.145	3.656	41.451	4.360	27	117	0	282.159
<b>EURO 6/VI</b>	435.072	135.241	8.967	102.037	10.733	63	269	0	692.383
<b>2030</b>	<b>2.209.729</b>	<b>773.505</b>	<b>448.216</b>	<b>648.781</b>	<b>84.982</b>	<b>124.307</b>	<b>289.269</b>	<b>155.799</b>	<b>4.734.587</b>
<b>Diesel</b>	1.325	3.032	404.054	166.150	31.318	112.346	287.555	155.799	1.161.580
<b>Pre Euro</b>	383	876	116.664	27.170	5.121	20.326	21.156	11.462	203.158
<b>EURO 2/II</b>	13	29	3.856	1.165	220	872	6.718	3.640	16.513
<b>EURO 3/III</b>	120	274	36.554	36.123	6.809	27.024	95.376	51.675	253.956
<b>EURO 4/IV</b>	114	260	34.669	14.388	2.712	9.791	25.235	13.673	100.842
<b>EURO 6/VI</b>	696	1.593	212.310	87.304	16.456	54.334	139.069	75.348	587.111

Escenario Normativo	Automóviles	Station wagon	Camioneta pick up	Camioneta rural	Camioneta panel	Ómnibus	Camiones	Remolcador	Total
<b>GLP</b>	55.144	31.727	2.111	5.391	2.452	138	0	0	96.963
<b>Pre Euro</b>	7.304	4.202	280	237	108	7	0	0	12.137
<b>EURO 2/II</b>	3.649	2.100	140	73	33	2	0	0	5.997
<b>EURO 3/III</b>	10.429	6.001	399	1.777	809	50	0	0	19.465
<b>EURO 4/IV</b>	4.786	2.754	183	471	214	12	0	0	8.420
<b>EURO 6/VI</b>	28.975	16.671	1.109	2.833	1.289	67	0	0	50.944
<b>GNV</b>	123.305	107.740	211	1.157	1.134	11.510	382	0	245.439
<b>Pre Euro</b>	12.714	11.109	22	13	13	144	5	0	24.020
<b>EURO 2/II</b>	8.120	7.095	14	4	4	39	5	0	15.280
<b>EURO 3/III</b>	30.089	26.291	51	461	452	5.041	163	0	62.548
<b>EURO 4/IV</b>	7.592	6.633	13	71	70	719	24	0	15.122
<b>EURO 6/VI</b>	64.791	56.612	111	608	596	5.566	185	0	128.469
<b>Gasolina</b>	2.029.955	631.005	41.840	476.083	50.077	313	1.331	0	3.230.604
<b>Pre Euro</b>	75.031	23.323	1.546	42.152	4.434	31	51	0	146.567
<b>EURO 2/II</b>	113.643	35.326	2.342	3.130	329	2	4	0	154.776
<b>EURO 3/III</b>	597.238	185.650	12.310	139.192	14.641	101	516	0	949.647
<b>EURO 4/IV</b>	177.402	55.145	3.656	41.451	4.360	27	117	0	282.159
<b>EURO 6/VI</b>	1.066.641	331.562	21.985	250.158	26.313	151	644	0	1.697.454



## 7.5 Parámetros utilizados en la transferencia de VSL

**Tabla 7-6: PIB per cápita, ajustado por poder de paridad de compra, precios constantes 2011**

Año	OECD members	Perú
2017	39.589,21	12.236,8
2010	36.012	9.957
2005	35.408	7.595

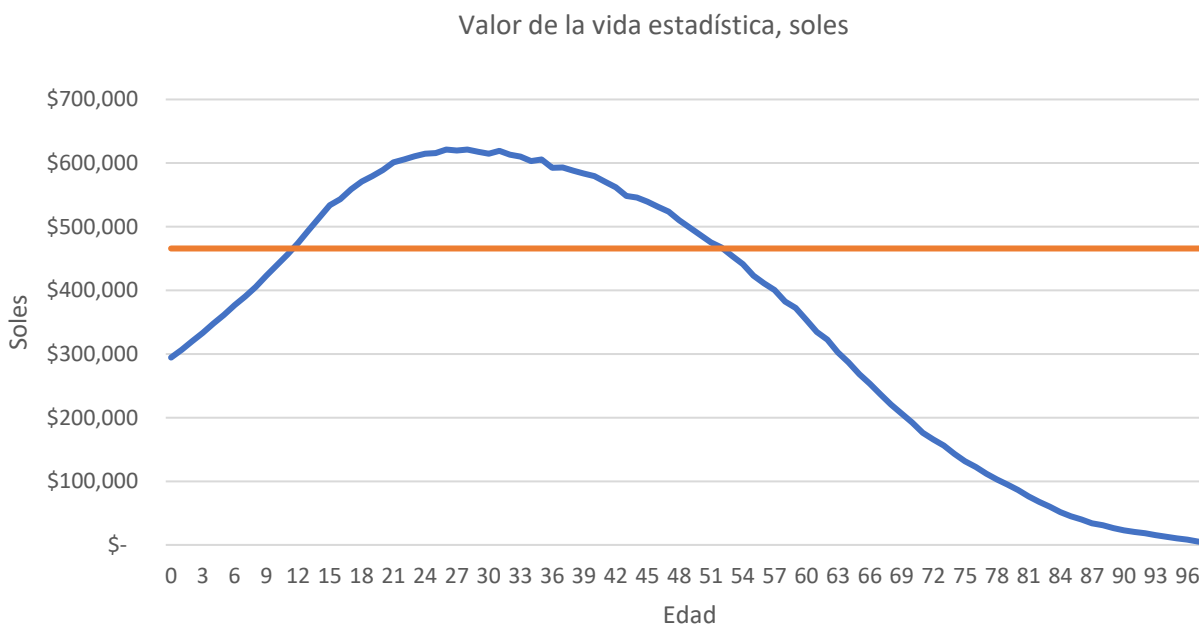
Fuente: Banco Mundial, base de datos del Programa de Comparación Internacional<sup>13</sup>.

**Tabla 7-7: Índice de Precios al consumidor OECD**

	2005	2015	2017
Índice de Precios al Consumidor	82,2	100,0	103,4

Fuente: OECD

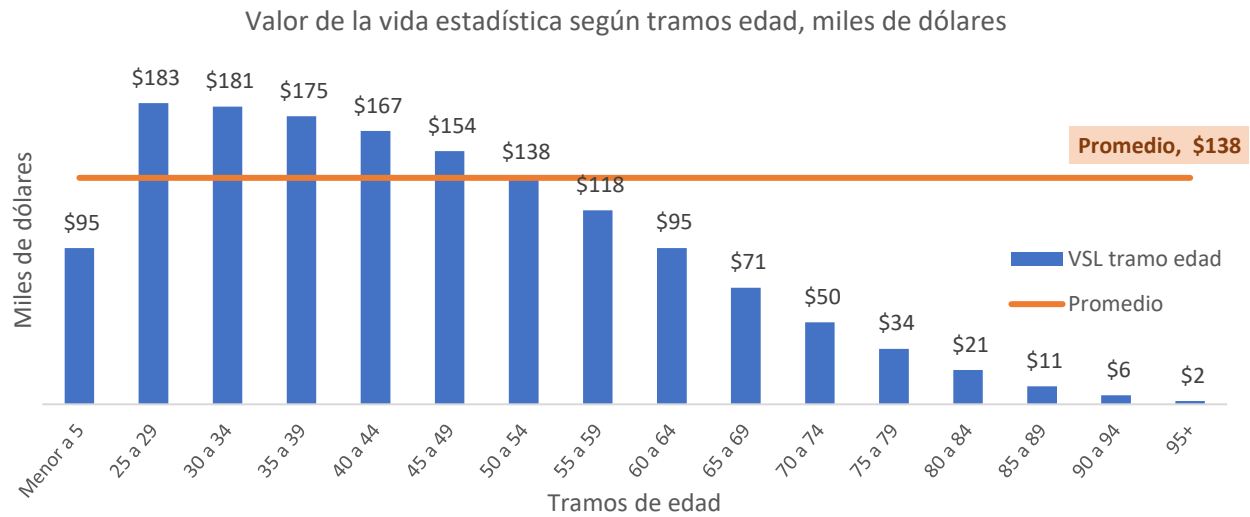
## 7.6 Valoración de la mortalidad evitada, enfoque de capital humano, Perú



Fuente: Elaboración propia en base a (Seminario de Marzi 2017)

<sup>13</sup> Datos disponibles en <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.PP.KD>, consultado en octubre de 2019

**Figura 7-2: Valor de la vida estadística según tramos de edad de efectos en salud, miles de dólares**



Fuente: Elaboración propia en base a (Seminario de Marzi 2017)

## 7.7 Datos de mortalidad 2016 para Lima y Callao

**Tabla 7-8: Datos de mortalidad año 2016 para Lima y Callao, según causa y grupo etareo**

Tramo edad	Todas las muertes	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)	Enfermedades isquémicas del corazón	Infecciones respiratorias agudas bajas	Enfermedades cerebrovasculares	Neoplasia maligna de la tráquea, los bronquios y el pulmón	Mortalidad Natural
0-4	2.048	6	11	149	14		1.950
5-9	222		5	10	1	1	211
10-14	159			11	4	1	151
15-19	343		3	20	16		327
20-24	589		11	22	17	5	561
25-29	654		27	23	20	5	623
30-34	759		28	39	15	6	722
35+	46.397	444	3.441	6.732	2.346	1.106	44.166
<b>Total</b>	<b>51.171</b>	<b>450</b>	<b>3.526</b>	<b>7.006</b>	<b>2.433</b>	<b>1.124</b>	<b>48.710</b>

Fuente: Datos provistos por el Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades

**Tabla 7-9: Datos de mortalidad año 2016 para Lima y Callao, según causa relevante para efectos en salud, con mayor desagregación para grupo etario 35+**

	COPD	IHD	ALRI	Stroke	Lung cancer	Causas naturales	
Menor a 5		6	11	149	14	0	1.950
5 a 9		0	5	10	1	1	211
10 a 14		0	0	11	4	1	151

15 a 19	0	3	20	16	0	327
20 a 24	0	11	22	17	5	561
25 a 29	0	27	23	20	5	623
30 a 34	0	28	39	15	6	722
35 a 39	5	43	111	28	135	880
40 a 44	7	57	154	50	129	1.142
45 a 49	10	73	193	87	127	1.467
50 a 54	14	109	252	130	117	1.930
55 a 59	19	139	312	184	105	2.437
60 a 64	25	188	380	252	91	3.038
65 a 69	33	243	471	322	86	3.762
70 a 74	40	337	575	371	78	4.538
75 a 79	55	463	764	364	77	5.705
80 a 84	70	589	919	281	69	6.491
85 a 89	74	621	1.155	185	52	6.411
90 a 94	57	374	939	70	26	4.154
95+	35	205	509	22	12	2.210
<b>TOTAL</b>	<b>450</b>	<b>3.526</b>	<b>7.006</b>	<b>2.433</b>	<b>1.124</b>	<b>48.710</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por el Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades y (Institute for Health Metrics and Evaluation 2018) para Perú.

## 7.8 Factores de consumo de combustible

Tabla 7-10: Factores de consumo de combustibles (FC)

Tipo de vehículo	Combustible	Categoría	tecnología	FC (g/km)
<b>Vehículos de pasajeros</b>	Petrol	Petrol Medium	PRE-ECE to open loop	77
	Petrol	Petrol Medium	Euro 1 and later	66
	Diesel	Diesel Medium	Conventional	63
	Diesel	Diesel Medium	Euro 1 and later	55
	LPG	LPG	Conventional	59
	LPG	LPG	Euro 1 and later	57
	CNG	CNG	Euro 4 and later	63
<b>Vehículos comerciales livianos</b>	Petrol	Petrol	Conventional	85
	Petrol	Petrol	Euro 1 and later	70
	Diesel	Diesel	Conventional	89
	Diesel	Diesel	Euro 1 and later	80
<b>Camiones pesados</b>	Petrol		Conventional	85
	Diesel	7.5-16 t	Conventional	182
	Diesel	7.5-16 t	Euro I and later	155
<b>Buses</b>	CNG	Urban CNG buses	HD Euro I	555
	CNG	Urban CNG buses	HD Euro II	515
	CNG	Urban CNG buses	HD Euro III	455

Tipo de vehículo	Combustible	Categoría	tecnología	FC (g/km)
	CNG	Urban CNG buses	EEV	455
	Diesel	Urban buses, standard	Conventional	366
	Diesel	Urban buses, standard	Euro I and later	301
<b>Motos</b>	Petrol	Mopeds 4-stroke < 50 cm <sup>3</sup>	Conventional	25
	Petrol	Mopeds 4-stroke < 50 cm <sup>3</sup>	Euro 1	20
	Petrol	Mopeds 4-stroke < 50 cm <sup>3</sup>	Euro 2	20
	Petrol	Mopeds 4-stroke < 50 cm <sup>3</sup>	Euro 3 and on	20

Fuente: Tabla 3-27 European Environment Agency (2016), capítulo “1.A.3.b.i-iv Road transport hot EFs Annex 2018”.

## 7.9 Costos de certificación

**Tabla 7-11: Costos del proceso de homologación vehicular (Tabla I), laboratorio 3CV Chile**

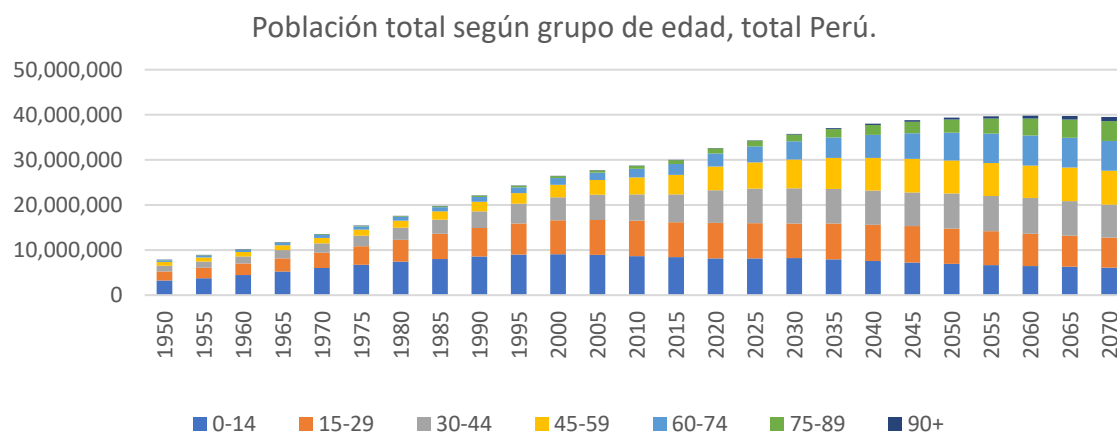
ITEM	SERVICIO	Pesos Chilenos	Soles	Dólares
1	Homologación de vehículos livianos, medianos y motocicletas con motor de gasolina	\$2,037,262	\$9,575	\$2,852
2	Homologación de vehículos livianos y medianos con motor de gasolina y con análisis de cromatografía	\$2,627,551	\$12,349	\$3,679
3	Homologación de vehículos livianos y medianos con motor de diésel	\$3,140,045	\$14,758	\$4,396
4	Homologación de vehículos livianos y medianos con motor de diésel y con análisis de cromatografía	\$4,136,350	\$19,441	\$5,791
5	Homologación individual de emisiones y aspectos constructivos de vehículos livianos, medianos y motocicletas	\$807,626	\$3,796	\$1,131
6	Homologación individual de emisiones y aspectos constructivos de vehículos livianos y medianos, y con análisis de cromatografía	\$1,004,391	\$4,721	\$1,406
7	Certificación individual emisiones vehículos usados livianos, medianos.	\$500,729	\$2,353	\$701
8	Certificación de emisiones vehículos pesados	\$294,846	\$1,386	\$413
9	Certificación emisiones motor de vehículo pesado	\$120,023	\$564	\$168
10	Certificación de aplicación de motor ya certificado en vehículo pesado (D.S. 55/94, D.S. 130/2001 MTT)	\$120,023	\$564	\$168
11	Certificación de emisiones de ruido de buses de locomoción colectiva urbana o rural	\$151,407	\$712	\$212
12	Acreditación de requisitos dimensionales y funcionales del artículo 7º del D.S. Nº 122/91 del MTT	\$923,576	\$4,341	\$1,293
13	Certificación de sistemas de post tratamiento de emisiones, D.S. Nº 65/2004 del MTT	\$2,784,327	\$13,086	\$3,898
14	Certificación de emisiones de camiones o tractocamiones, D.S. Nº 55/94 del MTT	\$294,846	\$1,386	\$413
15	Certificación de aplicación de motor ya certificado en un camión o tractocamión, D.S. Nº 55/94 del MTT	\$294,846	\$1,386	\$413
16	Certificación de Convertidores Catalíticos de Reposición. D.S. Nº15/2000 del MTT	\$162,033	\$762	\$227

17	Certificación de condiciones de seguridad y criterios de construcción de carrocerías para buses interurbanos. D.S. N°175/2006 del MTT	\$340,083	\$1,598	\$476
18	Certificación de dispositivos electrónicos de Registro para vehículos de transporte interurbano de pasajeros. Res. N°100/2005 del MTT	\$302,408	\$1,421	\$423

Fuente: Valores servicios laboratorio 3CV 2019, Chile<sup>14</sup>

## 7.10 Evolución de la población en Perú

**Figura 7-3: Estimaciones y Proyecciones de la Población Nacional, 1950-2070**



Fuente: Elaboración propia en base a (INEI, UNFPA, and CEPAL 2019)

<sup>14</sup> Valores disponibles en <https://www.mtt.gob.cl/wp-content/uploads/2014/01/TABLA-VALORES-SERVICIOS-2019.pdf>, consultado en Septiembre de 2019

## 7.11 Detalle de costos y beneficios

**Tabla 7-12: Detalle de costos y beneficios**

Tipo vehículo	Combustible	% Contribución reducción concentración	Costos				Beneficios			VAN	B/C
			inversión	remoción azufre	AUS 32	mantención DPF	CO <sub>2</sub> evitado	Ahorros combustible	salud		
Ómnibus	Diesel	38,7%	55,4	103,9	200,7	3,2	8,4	314,3	999,09	958,6	3,6
Remolcador	Diesel	24,1%	76,8	74,2	143,3	4,5	6,0	224,5	623,39	555,1	2,9
Camiones	Diesel	18,5%	95,6	57,0	110,2	3,4	4,6	172,6	479,41	390,4	2,5
Camioneta pick up	Diesel	15,1%	112,9	33,3	64,3	0,0	0,0	0,0	389,37	178,8	1,8
Camioneta rural	Diesel	2,5%	26,7	5,5	10,6	0,0	0,0	0,0	64,04	21,3	1,5
Camioneta panel	Diesel	0,8%	6,9	1,8	3,6	0,0	0,0	0,0	21,56	9,2	1,7
Ómnibus	GLP	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,1	0,04	2,3	
Station wagon	Diesel	0,2%	1,6	0,4	0,7	0,0	0,0	0,0	4,74	2,0	1,7
Automóviles	Diesel	0,0%	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,40	0,1	1,3
Ómnibus	GNV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Camiones	GLP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Remolcador	Gasolina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Remolcador	GLP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Remolcador	GNV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Camiones	GNV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Camioneta pick up	GNV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Camioneta rural	GNV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Camioneta panel	GNV	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,0
Camioneta panel	GLP	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,0
Camioneta pick up	GLP	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,0
Camioneta rural	GLP	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,0
Ómnibus	Gasolina	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,1
Camiones	Gasolina	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,12	0,1
Station wagon	GLP	0,0%	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	-0,4	0,0
Automóviles	GLP	0,0%	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	-0,6	0,0

<b>Camioneta pick up</b>	Gasolina	0,0%	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04	-1,1	0,0
<b>Station wagon</b>	GNV	0,0%	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	-1,2	0,0
<b>Automóviles</b>	GNV	0,0%	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	-1,4	0,0
<b>Camioneta panel</b>	Gasolina	0,0%	0,2	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,09	-2,3	0,0
<b>Camioneta rural</b>	Gasolina	0,0%	1,6	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,47	-12,7	0,0
<b>Station wagon</b>	Gasolina	0,0%	2,1	14,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,45	-16,1	0,0
<b>Automóviles</b>	Gasolina	0,1%	7,0	49,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,54	-55,2	0,0
<b>TOTAL</b>			<b>390,9</b>	<b>355,1</b>	<b>533,5</b>	<b>11,1</b>	<b>19,1</b>	<b>713,6</b>	<b>2.584,6</b>	<b>2.026,7</b>	<b>2,6</b>

Fuente: Elaboración propia

## 7.12 Efectos en Salud AirQ+, comparación con planilla adjunta

### Causas naturales

Datos de entrada para AirQ+:

- Tabla de vida como archivo .CSV

**Figura 7-4: Ejemplo de archivo de entrada para AirQ+, tabla de vida**

Edad_0;Edad_f;poblacion;n_muertes_nat
0;4;758069;1874.21147901473
5;9;774611;206.434331327665
10;14;751994;147.851615680625
15;19;792442;319.569612651139
20;24;945956;548.76531152047
25;29;914333;609.32515065261
30;34;850668;714.635220308423
35;39;796215;870.667331595012
40;44;732127;1129.44798370433
45;49;625904;1450.87553037264
50;54;544872;1939.58988400174
55;59;461786;2448.76348330997
60;64;385183;3052.21218325623
65;69;297390;3780.20951003436
70;74;219025;4653.65928668761
75;79;153846;5850.91945691834
80;84;106607;6656.24696271358
85;89;63703;6575.08525973688
90;94;26259;4260.47762466293
95;119;8281;2266.1022007851

Fuente: Elaboración propia

**Figura 7-5: Ejemplo de archivo de entrada para AirQ+, datos de promedios diarios de PM<sub>2,5</sub>**



Fecha;Promedio diario
1/1/2018;86.9059523809524
2/1/2018;19.8446428571429
3/1/2018;21.6150602409638
4/1/2018;14.9451388888889
5/1/2018;14.9055555555555
6/1/2018;16.9458333333333
7/1/2018;13.5748201438849
1/2/2018;19.7408333333333
2/2/2018;15.6
3/2/2018;18.0822916666667
4/2/2018;14.0916666666667
5/2/2018;12.9944444444444
6/2/2018;17.1395833333333
7/2/2018;22.0444444444444
8/2/2018;23.8958333333333
9/2/2018;23.8364583333333
10/2/2018;20.5739583333333
11/2/2018;14.2947916666667
12/2/2018;18.6902173913043
13/2/2018;18.9158333333333

Air Q+ entrega los impactos totales de la contaminación asociados a los datos de calidad del aire ingresados. En este caso, uno de los resultados es la “Attributable Porportion” o PAF, que corresponde a la proporción de casos de mortalidad atribuibles a la contaminación atmosférica. En el caso de Lima y Callao, para causas de mortalidad naturales, se estima que entre 6,1% y 12% de los casos son atribuibles a la contaminación, con un valor central de 9,2%.

**Figura 7-6: Resultados AirQ+ para Causas Naturales**

POLLUTION CONCENTRATION					
Mean Concetration;	27.4				
EVALUATION RESULTS					
Result Table:					
Central;Lower;Upper					
Estimated Attributable Proportion;	9.94%;6.6%;12.95%;				
Estimated	092;2	716;5	334;		
Estimated number of Attributable Cases per 100 000 Population at Risk;	78;52;101;				

DETAILED EVALUATION RESULTS			
Detailed Result Table:			
Concentra	000 population at risk;	estimated number of cases attrib. to exposure	
27.4;	365;	1091.81;	
Detailed Result Table Lower:			
Concentra	000 population at risk;	estimated number of cases attrib. to exposure	
27.4;	365;	1716.20;	
Detailed Result Table Upper:			
Concentra	000 population at risk;	estimated number of cases attrib. to exposure	
27.4;	365;	1333.98;	

El número total de muertes asociado a la contaminación, utilizando causas naturales, es 4092 muertes para el escenario central.

Cabe mencionar que la planilla Excel adjunta, en su hoja "Salud" implementa la metodología obteniendo el valor central de PAF, de 9,2%. Ambas fuentes de análisis entregan el mismo resultado en términos de PAF.

De la misma forma, para casos de COPD, AirQ+ estima una fracción atribuible a la contaminación de 21,56% como valor central. El resultado coincide con el obtenido en la planilla de cálculo.

**Figura 7-7: Resultados AirQ+ para COPD**

EVALUATION RESULTS			
Result Table:			
Central	Lower	Upper	
Estimated	21.56%	11.50%	33.01%
Estimated	3,337	1,779	5,109
Estimated	63	34	97
DETAILED EVALUATION RESULTS			
Detailed Result Table:			
Concentra	number of	%Person*ERR	RR*p
26.03	365	100%	1.274912
			(RR-1)*p
			0.274912
			Number of estimated number of cases attrib. to exposure
			63.3 3,336.91

**Tabla 7-13: Fracción de casos atribuibles a la contaminación estimados en planilla Adjunta, hoja Salud (desde fila 232). Para causas específicas, se consideran resultados utilizando Burnett et al (2018)**

Enfermedad	Edad	Código	PAF
LRI	25+	LRI-25+	47,5%
COPD	30+	COPD-30+	23,4%
Lung cancer	30+	Lung cancer-30+	25,9%

<b>Causas naturales</b>	<b>30+</b>	<b>Causas naturales-30+</b>	<b>9,9%</b>
<b>Stroke</b>	<b>25 a 29</b>	<b>Stroke-25 a 29</b>	<b>34,6%</b>
<b>Stroke</b>	<b>30 a 34</b>	<b>Stroke-30 a 34</b>	<b>32,9%</b>
<b>Stroke</b>	<b>35 a 39</b>	<b>Stroke-35 a 39</b>	<b>31,2%</b>
<b>Stroke</b>	<b>40 a 44</b>	<b>Stroke-40 a 44</b>	<b>29,4%</b>
<b>Stroke</b>	<b>45 a 49</b>	<b>Stroke-45 a 49</b>	<b>27,6%</b>
<b>Stroke</b>	<b>50 a 54</b>	<b>Stroke-50 a 54</b>	<b>25,7%</b>
<b>Stroke</b>	<b>55 a 59</b>	<b>Stroke-55 a 59</b>	<b>23,8%</b>
<b>Stroke</b>	<b>60 a 64</b>	<b>Stroke-60 a 64</b>	<b>21,8%</b>
<b>Stroke</b>	<b>65 a 69</b>	<b>Stroke-65 a 69</b>	<b>19,7%</b>
<b>Stroke</b>	<b>70 a 74</b>	<b>Stroke-70 a 74</b>	<b>17,7%</b>
<b>Stroke</b>	<b>75 a 79</b>	<b>Stroke-75 a 79</b>	<b>15,5%</b>
<b>Stroke</b>	<b>80 a 84</b>	<b>Stroke-80 a 84</b>	<b>12,2%</b>
<b>Stroke</b>	<b>85 a 89</b>	<b>Stroke-85 a 89</b>	<b>12,2%</b>
<b>Stroke</b>	<b>90 a 94</b>	<b>Stroke-90 a 94</b>	<b>12,2%</b>
<b>Stroke</b>	<b>95+</b>	<b>Stroke-95+</b>	<b>12,2%</b>
<b>IHD</b>	<b>25 a 29</b>	<b>IHD-25 a 29</b>	<b>54,3%</b>
<b>IHD</b>	<b>30 a 34</b>	<b>IHD-30 a 34</b>	<b>52,1%</b>
<b>IHD</b>	<b>35 a 39</b>	<b>IHD-35 a 39</b>	<b>49,8%</b>
<b>IHD</b>	<b>40 a 44</b>	<b>IHD-40 a 44</b>	<b>47,4%</b>
<b>IHD</b>	<b>45 a 49</b>	<b>IHD-45 a 49</b>	<b>44,9%</b>
<b>IHD</b>	<b>50 a 54</b>	<b>IHD-50 a 54</b>	<b>42,2%</b>
<b>IHD</b>	<b>55 a 59</b>	<b>IHD-55 a 59</b>	<b>39,4%</b>
<b>IHD</b>	<b>60 a 64</b>	<b>IHD-60 a 64</b>	<b>36,5%</b>
<b>IHD</b>	<b>65 a 69</b>	<b>IHD-65 a 69</b>	<b>33,4%</b>
<b>IHD</b>	<b>70 a 74</b>	<b>IHD-70 a 74</b>	<b>30,2%</b>
<b>IHD</b>	<b>75 a 79</b>	<b>IHD-75 a 79</b>	<b>26,8%</b>
<b>IHD</b>	<b>80 a 84</b>	<b>IHD-80 a 84</b>	<b>21,3%</b>
<b>IHD</b>	<b>85 a 89</b>	<b>IHD-85 a 89</b>	<b>21,3%</b>
<b>IHD</b>	<b>90 a 94</b>	<b>IHD-90 a 94</b>	<b>21,3%</b>
<b>IHD</b>	<b>95+</b>	<b>IHD-95+</b>	<b>21,3%</b>

Fuente: Elaboración propia