

## ANEXO

### METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES EVITADAS Y VALORACIÓN DE EXTERNALIDADES AMBIENTALES MITIGADAS, CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CHATARREO

#### 1. CÁLCULO DE EMISIONES EVITADAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CHATARREO (PCH)

Para el desarrollo del siguiente apartado, se emplearon las Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) de 2006 para el inventario de gases de efecto invernadero (GEI), así como los Lineamientos Metodológicos y Valores de la Guía de Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos del Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación de la Agencia Ambiental Europea (EMEP/EEA).

Respecto a la clasificación vehicular, la misma se encuentra regulada en la Directiva N° 002-2006-MTC/15, "Clasificación Vehicular y Estandarización de Características Registrables Vehiculares", aprobada por Resolución Directoral N° 4848-2006-MTC/15. El siguiente cuadro muestra las categorías vehiculares usadas para el presente documento:

Categoría vehicular de fuente de emisión		Definición	Carrocería vehicular (SUNARP y MTC)
M	M1	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de pasajeros.	Sedan, Coupe, Hatchback, Station Wagon, Limosina, Suv, Multiproposito
	M2		Microbus, minibus
	M3		Omnibus Urbano, Omnibus interurbano articulado
N	N1	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de mercancía.	Pick Up y Panel (N1, N2), remolcador, Plataforma, Baranda, Furgon, Camion Grua (N2, N3), cisterna, Volquete, Grua, etc.
	N2		
	N3		

Las variables necesarias para determinar el nivel de emisiones son:

**Nivel de actividad:** Depende de diferentes variables, como la actividad (medida por los kilómetros-vehículo recorridos) y el rendimiento del transporte (pasajeros-kilómetro o tonelada-kilómetro).

**Factor de emisión:** De acuerdo al tipo de vehículo y de combustible, se generan emisiones directas por el uso del vehículo.

#### 1.1 PASO 1: DATOS NECESARIOS PARA REALIZAR LOS CÁLCULOS

##### a) Nivel de Actividad

- **Kilómetros recorridos por categoría vehicular**

Se utilizan los siguientes recorridos promedios anuales por categoría vehicular:

**Tabla N° 1: Recorridos promedio por categoría vehicular**

Categoría vehicular por fuente de emisión	Unidad	Recorridos promedio
M1	Kilómetros/año	78 000
M2 y M3	Kilómetros/año	120 000
N1, N2 y N3	Kilómetros/año	120 000

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

- **Rendimiento promedio**

Se utiliza el siguiente rendimiento por categoría vehicular, tipo de combustible y antigüedad:

**Tabla N° 2: Rendimiento promedio por categoría vehicular, tipo de combustible y antigüedad**

Categoría vehicular	Combustible	Año de fabricación	Rendimiento promedio (g/km)	Rendimiento promedio (MJ/km)
M1	Gasolina	2002 o anterior	77	3,37
		2003 o posterior	66	2,89
	Diésel	2002 o anterior	63	2,69
		2003 o posterior	55	2,35
	GLP	2002 o anterior	59	2,75
		2003 o posterior	57	2,65
GNV	Indistinto	63	3,02	
M2 y M3	Diésel	2002 o anterior	366	15,63
		2003 o posterior	301	12,85
	GNV	2002 o anterior	555	26,64
		2003 o posterior	455	21,84
	Gasolina	2002 o anterior	85	3,72
		2003 o posterior	70	3,06
N1, N2 y N3	Diésel	2002 o anterior	182	7,77
		2003 o posterior	155	6,62
	Gasolina	Indistinto	177	7,75

Fuente: Tabla 3-27 European Environment Agency (2019), capítulo "1.A.3.b.i-iv Road transport hot EFs Annex 2018"

Los datos de las Tablas 1 y 2 son referenciales, en cuanto corresponda, pudiendo las respectivas entidades utilizar información que las mismas generen o de fuentes actualizadas y confiables.

**b) Factor de emisión (FE)**

Se dividen en dos tipos de factores de emisión:

- **Gases de efecto invernadero (GEI):** Factores de emisión por defecto para los parámetros basados en consumo de combustible, Dióxido de Carbono-CO<sub>2</sub>, Metano-CH<sub>4</sub> y Óxido Nitroso-N<sub>2</sub>O.

**Tabla N° 3: FE en kg/TJ para GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O)**

Combustible	FE (kg/TJ de combustible)		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Gasolina	69 300	33	3,2
Diésel	74 100	3,9	3,9
GLP	63 100	62	0,2
GNV	56 126	92	3

Fuente: GL2006, Vol. 2, p. 3.16, cuadro 3.2.1

\* MINEM 2016. Cálculo del FE del GN 2014. Lima, Perú.

- **Contaminantes locales:** Factores de emisión para el material particulado de un diámetro aerodinámico de 2,5-PM<sub>2,5</sub>, Carbono Negro-CN, Óxidos de Nitrógeno-NO<sub>x</sub>, Monóxido de Carbono-CO, Dióxido de Azufre- SO<sub>2</sub> y Contaminantes Orgánicos Volátiles No Metano-COVNM.

**Tabla N° 4: FE en g/km para contaminantes locales (CN, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y COVNM)**

Categoría vehicular	Combustible	Año de fabricación	Factores de Emisión (g/km)					
			CN	PM <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COVNM	SO <sub>2</sub>
M1	Gasolina	2002 o anterior	0,00066	0,0022	1,9100	37,3000	2,7700	0,308
		2003 al 2006	0,00055	0,0022	0,2482	2,6862	0,2318	0,264
		2007 al 2017	0,00017	0,0011	0,1162	2,8897	0,1110	0,264
		2018 o posterior	0,00017	0,0011	0,056	0,690	0,048	0,007
	Diésel	2002 o anterior	0,064	0,117	0,456	0,115	0,041	0,006
		2003 al 2006	0,036	0,045	0,688	0,136	0,021	0,006
		2007 al 2017	0,025	0,029	0,767	0,069	0,015	0,006
		2018 o posterior	0,026	0,030	0,584	0,088	0,013	0,006
	GLP	2002 o anterior	-	0,002	2,36	6,83	1,05	0,017
		2003 al 2006	-	0,002	0,18	2,48	0,34	0,016
		2007 al 2017	-	0,001	0,09	1,79	0,12	0,016
		2018 o posterior	-	0,001	0,06	0,62	0,10	0,016
GNV	Indistinto	-	0,001	0,056	0,616	0,035	0,001	
M2 y M3	Gasolina	2002 o anterior	0,00069	0,0023	3,0900	25,5000	3,4400	0,340
		2003 al 2006	0,00058	0,0023	0,2493	6,5379	0,3420	0,280
		2007 al 2017	0,00017	0,0011	0,1665	7,0498	0,2357	0,280

	Diésel	2018 o posterior	0,00017	0,0011	0,1646	4,4401	0,2049	0,007	
		2002 o anterior	0,240	0,481	13,787	0,955	0,517	0,037	
		2003 al 2006	0,116	0,178	10,287	1,121	0,271	0,030	
		2007 al 2017	0,109	0,155	9,301	2,068	0,304	0,030	
		2018 o posterior	0,033	0,044	5,456	0,214	0,021	0,030	
	GNV	2002 o anterior	-	0,02	16,500	8,400	0,371	0,013	
		2003 al 2006	-	0,01	15,000	2,700	0,313	0,010	
		2007 al 2017	-	0,01	10,000	1,000	0,052	0,010	
		2018 o posterior	-	0,005	2,500	1,000	0,045	0,010	
	GLP	2002 o anterior	-	0,009	9,44	27,33	4,20		
		2003 al 2006	-	0,009	0,72	9,92	1,37		
		2007 al 2017	-	0,004	0,36	7,16	0,48		
		2018 o posterior	-	0,004	0,22	2,48	0,40		
	N1, N2 y N3	Gasolina	2002 o anterior	0,00069	0,0023	3,0900	25,5000	3,4400	0,708
			2003 al 2006	0,00058	0,0023	0,2493	6,5379	0,3420	0,708
			2007 al 2017	0,00017	0,0011	0,1665	7,0498	0,2357	0,708
2018 o posterior			0,00017	0,0011	0,1646	4,4401	0,2049	0,018	
Diésel		2002 o anterior	0,088	0,17679	7,453	0,356	0,201	0,018	
		2003 al 2006	0,055	0,08433	5,288	0,414	0,121	0,016	
		2007 al 2017	0,046	0,06601	4,264	0,753	0,141	0,016	
		2018 o posterior	0,012	0,01550	2,668	0,068	0,008	0,016	
GNV		2002 o anterior	-	0,02	16,500	8,400	0,371		
		2003 al 2006	-	0,01	15,000	2,700	0,313		
		2007 al 2017	-	0,01	10,000	1,000	0,052		
		2018 o posterior	-	0,005	2,500	1,000	0,045		

Fuente: Comisión multisectorial para la gestión de la iniciativa del aire limpio para Lima y Callao (2019) "Diagnóstico de la Gestión de la Calidad Ambiental del Aire de Lima y Callao".

## 1.2 PASO 2: CÁLCULOS DE EMISIONES EVITADAS

### a) Cálculo de las toneladas emitidas de GEI

Para expresar el FE de GEI en g/km, se multiplica los valores de la Tabla N° 2 (Rendimiento promedio expresado en MJ/km) por cada valor del FE de la Tabla N° 3 (expresada en kg/TJ) y posteriormente se divide entre 1,000 para obtener los resultados en g/km. Producto de esta operación se obtiene el siguiente cuadro:

**Tabla N° 5: FE en g/km para GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O )**

Categoría vehicular	Combustible	Año de fabricación	(g/km)		
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
M1	Gasolina	2002 o anterior	233,5	0,111	0,011
		2003 o posterior	200,3	0,095	0,009

	Diésel	2002 o anterior	199,3	0,010	0,010
		2003 o posterior	174,1	0,009	0,009
	GLP	2002 o anterior	173,5	0,171	0,001
		2003 o posterior	167,2	0,164	0,001
	GNV	Indistinto	169,5	0,278	0,009
	M2 y M3	Diésel	2002 o anterior	1158,2	0,061
2003 o posterior			952,2	0,050	0,050
GNV		2002 o anterior	1495,2	2,451	0,080
		2003 o posterior	1225,8	2,009	0,066
Gasolina		2002 o anterior	257,8	0,123	0,012
		2003 o posterior	212,1	0,101	0,010
N1, N2 y N3	Diésel	2002 o anterior	575,8	0,030	0,030
		2003 o posterior	490,5	0,026	0,026
	Gasolina	Indistinto	537,1	0,256	0,025

Se multiplica el FE de la Tabla N° 5 por los recorridos promedios anuales de la Tabla N° 1, y con ello, se calculan las toneladas (ton) de GEI emitidas por año, unidad vehicular a chatarrar **para cada categoría, tipo de combustible y antigüedad vehicular.**

Cabe precisar que las emisiones de GEI se expresan en CO<sub>2eq</sub> por lo que luego de conocer las emisiones se debe multiplicar por el potencial de calentamiento global (PCG) de conformidad con lo establecido por las guías del IPCC 2006.

$$EE_{CO_2}(\text{ton/año/vehículo}) = [FE_{CO_2} (\text{g/km})] \times [RP (\text{km/año})]$$

$$EE_{CH_4}(\text{ton/año/vehículo}) = [FE_{CH_4} (\text{g/km})] \times [RP (\text{km/año})]$$

$$EE_{N_2O}(\text{ton/año/vehículo}) = [FE_{N_2O} (\text{g/km})] \times [RP (\text{km/año})]$$

Ecuación 1:

$$EE_{CO_2eq}(\text{ton/año/vehículo}) = [ [EE_{CO_2} \times PCG_{CO_2}] + [EE_{CH_4} \times PCG_{CH_4}] + [EE_{N_2O} \times PCG_{N_2O}] ] \times [10^{-6} (\text{ton/g})]$$

Donde:

- EE: Emisión estimada por parámetro, categoría vehicular, combustible y antigüedad, para cada unidad vehicular a chatarrar.
- FE: Factor de emisión, dato de Tabla N° 5, según parámetro, categoría vehicular, combustible y antigüedad.
- RP: Recorridos promedios, dato de Tabla N° 1, según categoría vehicular.
- PCG: Potencial de calentamiento global (PCG-CO<sub>2</sub> = 1; PCG-CH<sub>4</sub> = 21; PCG-N<sub>2</sub>O = 310).

## b) Cálculo de las toneladas emitidas de contaminantes locales

Multiplicando los FE de la Tabla N° 4 por los recorridos promedios anuales de la Tabla N° 1, se procede a calcular las toneladas (ton) emitidas por año, de cada contaminante local, por unidad vehicular a chatarrar **para cada categoría, tipo de combustible y antigüedad vehicular.**

Ecuación 2:

$$EE_{CL} (\text{ton/año/vehículo}) = [FE (\text{g/km})] \times [RP (\text{km/año})] \times [10^{-6} (\text{ton/g})]$$

Donde:

- EE: Emisión estimada por parámetro, categoría vehicular, combustible y antigüedad, para cada unidad vehicular a chatarrar.
- FE: Factor de emisión, dato de Tabla N° 4, según parámetro, categoría vehicular, combustible y antigüedad.
- RP: Recorridos promedios, dato de Tabla N° 1, según categoría vehicular.

**c) Cálculo de emisiones estimadas para el periodo de evaluación del impacto del Programa de Chatarreo**

En función del parque vehicular, categorías, tipo de combustible, características y antigüedad, se calculan las toneladas que se estima lograr evitar para un periodo determinado de años con la implementación del Programa de Chatarreo que se propone.

Ecuación 3:

$$EE_c \text{ (ton)} = [EE \text{ (ton/año/vehículo)}] \times [\#VCH \text{ (vehículos)}] \times [A \text{ (años)}]$$

Donde:

- $EE_c$ : Emisión estimada para el total de unidades vehiculares a chatarrar por cada categoría vehicular, combustible y antigüedad, para un determinado parámetro.
- EE: Emisión estimada por parámetro, categoría vehicular, combustible y antigüedad, para cada unidad vehicular a chatarrar.
- #VCH: Total de unidades vehiculares a chatarrar por categoría vehicular, combustible y antigüedad.
- A : Período evaluado (expresado en años).

Posteriormente, se debe calcular la emisión estimada total por parámetro, sumando todas las emisiones estimadas por categoría vehicular, combustible y antigüedad, para el mismo parámetro.

Ecuación 4:

$$EE_{total} \text{ (ton)} = \sum EE_c \text{ (ton)}$$

Donde:

- $EE_{total}$ : Emisión estimada total para un determinado parámetro (por ejemplo  $PM_{2,5}$ ), que se evitará con el universo de unidades vehiculares que se proyecta chatarrar en el período de evaluación.
- $EE_c$ : Emisión estimada para el total de unidades vehiculares a chatarrar para un determinado parámetro.

**d) Cálculo de emisiones evitadas netas de GEI logradas con la implementación de los Programas de Chatarreo, considerando casos de sustitución de vehículos chatarrizados por vehículos nuevos**

De ser aplicable, de acuerdo a la naturaleza del Programa de Chatarreo, las emisiones evitadas netas son calculadas considerando la sustitución

de vehículos chatarrizados por vehículos nuevos. Para este fin, se deben realizar los siguientes pasos:

- Determinar las características técnicas probables de los vehículos que sustituirían a los vehículos chatarrizados, de acuerdo a lo indicado en la Tabla N° 2 del presente documento: categoría vehicular, combustible empleado y año de fabricación.
- Calcular las emisiones totales de GEI para el total de vehículos nuevos que sustituirán los vehículos chatarrizados, empleando los FE indicados en la Tabla N° 5, según corresponda, y las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.
- Determinar la diferencia en los niveles de emisiones de GEI producidas por los vehículos chatarrizados y las producidas por los vehículos nuevos que los sustituirán.

Ecuación 5:

$$EEN_{GEI} \text{ (ton de CO}_2\text{eq)} = EE_{GEI, \text{total vch}} \text{ (ton de CO}_2\text{eq)} - EE_{GEI, \text{total vn}} \text{ (ton de CO}_2\text{eq)}$$

Donde:

- $EEN_{GEI}$ : Emisiones estimadas netas de GEI (en ton de CO<sub>2</sub>eq) que serán evitadas con el universo de unidades vehiculares que se proyecta chatarrar y sustituir en el período de evaluación.
- $EE_{GEI, \text{total vch}}$ : Emisión estimada de GEI (en ton de CO<sub>2</sub>eq) para el total de unidades vehiculares a chatarrar.
- $EE_{GEI, \text{total vn}}$ : Emisión estimada de GEI (en ton de CO<sub>2</sub>eq) para el total de unidades vehiculares nuevas.

## 2. VALORACIÓN DE EXTERNALIDADES NEGATIVAS MITIGADAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CHATARREO (PCH)

Para este caso, se realiza el siguiente procedimiento.

### 2.1 PASO 1: DATOS NECESARIOS PARA REALIZAR LOS CÁLCULOS

#### a) Factores de costo social asociado por tonelada de contaminante local y GEI

Se utilizan los siguientes factores establecidos para Perú:

**Tabla N° 6: Factores de costo social asociado por tonelada de contaminante local y GEI**

Parámetro	Unidad	Valor estimado de la externalidad negativa a mitigar	Fuente bibliográfica
PM <sub>2,5</sub>	US\$/tonelada evitada	64 499,00	International Monetary Fund (2014). "Getting energy prices right: from principle to practice"

NOx	US\$/tonelada evitada	498,00	International Monetary Fund (2014). "Getting energy prices right: from principle to practice"
SO <sub>2</sub>	US\$/tonelada evitada	2 435,00	International Monetary Fund (2014). "Getting energy prices right: from principle to practice"
CO <sub>2</sub> eq	US\$/tonelada evitada	7,17	Ministerio de Economía y Finanzas Perú. 2018. "Anexo N° 11: Parámetros de Evaluación Social."

Nota: Cabe señalar, que otros parámetros distintos a los mostrados en la Tabla previa, no registran (a la fecha) referencias respecto a una valoración de la potencial externalidad negativa asociada.

## 2.2 PASO 2: CÁLCULOS DE EXTERNALIDADES NEGATIVAS MITIGADAS

### a) Cálculo de la externalidad negativa a mitigar, por parámetro, con el Programa de Chatarreo propuesto

Multiplicando las **emisiones que se estiman evitar para un periodo de tiempo** con la implementación del Programa de Chatarreo que se propone, por el **factor de costo social asociado por tonelada de determinado parámetro** (Tabla N° 6):

$$VE_p \text{ (US\$)} = [EE_{total} \text{ (ton)}] \times [FCS_p \text{ (US\$/ton)}]$$

Donde:

- $VE_p$ : Valor de la externalidad negativa a mitigar con la implementación del Programa de Chatarreo propuesto, relacionado a determinado parámetro (por ejemplo  $PM_{2,5}$ ).
- $EE_{total}$ <sup>1</sup>: Emisión estimada total para un determinado parámetro, que se evitará con el universo de unidades vehiculares que se proyecta chatarrear en el período de evaluación (x años).
- $FCS_p$ : Factor de costo social asociado por tonelada de determinado parámetro.

### b) Cálculo de la externalidad negativa total a mitigar con el Programa de Chatarreo propuesto

Se debe calcular la externalidad negativa total que se estima mitigar, sumando los valores de todas las externalidades negativas que se estima mitigar, relacionado a cada parámetro.

$$VE_{total} \text{ (US\$)} = \sum VE_p \text{ (US\$)}$$

Donde:

<sup>1</sup> Para el parámetro GEI, y en caso el PCH considere la sustitución de vehículos chatarrizados por vehículos nuevos, se deberá aplicar la variable "Emisiones estimadas netas de GEI que serán evitadas ( $EEN_{GEI}$ )", calculada a través de la ecuación 5.

- $VE_{total}$ : Valor de la externalidad negativa total que se estima mitigar con la implementación del Programa de Chatarreo propuesto.
- $VE_p$ : Valor de la externalidad negativa a mitigar con la implementación del Programa de Chatarreo propuesto, relacionado a determinado parámetro.

**3.** Los datos de las Tablas son referenciales, en cuanto corresponda, pudiendo las respectivas entidades utilizar información que las mismas generen o de fuentes confiables.