

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

**PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CARBONO NEGRO EN COSTA RICA,
2016: SECTOR TRANSPORTE**

**Trabajo de graduación, modalidad de artículo científico, sometido a consideración del Tribunal
Examinador de la
Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en
Ingeniería en Gestión Ambiental.**

DANIELA ALVARADO JIMÉNEZ

Heredia, Costa Rica

Febrero, 2021

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

.....
M.sc. Fabio Chaverri Fonseca
Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

.....
...M.Sc. Jesús Ugalde Gómez
Representación de la Dirección Escuela de
Ciencias Ambientales

.....
M.Sc. José Félix Rojas Marín
Lector

.....
Dr. Jorge Herrera Murillo
Tutor

.....
...
M.Sc. Manuel Gonzáles Rodríguez
Lector

.....
Daniela Alvarado Jiménez
Postulante

Propuesta de reducción de emisiones de carbono negro en Costa Rica, 2016: sector transporte

Proposal for the Reduction of Black Carbon Emissions in Costa Rica, 2016: Transportation sector

Daniela Alvarado-Jiménez

Resumen

El carbono negro tiene un gran impacto en el clima debido a su papel como forzador radiativo de vida corta: presenta un potencial de calentamiento global de entre 460 y 1500.

Dado que el sector transporte es crítico, tanto a nivel mundial como en Costa Rica, en materia de reducción del cambio climático y en la emisión de gases de efecto, por su acelerada tasa de crecimiento, se debe cuantificar su aporte de emisiones de carbono negro y buscar propuestas para mitigarlas. Tal es el fin de esta investigación. Para determinarlo, se modelaron las emisiones generadas por las fuentes móviles para el año 2016 utilizando el *software* Copert 5.2. Posteriormente, se realizó una búsqueda bibliográfica y se establecieron oportunidades de reducción, las cuales se evaluaron tomando en cuenta la aceptación social, la concordancia con las políticas públicas y el costo de la tecnología.

Los resultados indican que la flota vehicular costarricense emitió 471.9 toneladas de carbono negro a la atmósfera durante el 2016, lo que equivale a 217 031.7 y 707 712.2 toneladas de CO_{2e} (tomando como escenarios de potencial de calentamiento global 460 y 1500, respectivamente). Dentro de las medidas de reducción de este contaminante se destacan: uso de combustibles bajos en emisiones, vehículos eléctricos y mejoras tecnológicas en el sistema del motor para reducir las emisiones de escape. De estas, las que poseen mayor factibilidad son las relacionadas con la incorporación de combustibles bajos en emisiones, como el biodiésel y el diésel bajo en azufre, por cuanto tienen un mayor potencial de reducción y porque podrían ser medidas mucho más aceptadas por la población.

Del análisis realizado se concluye que es de gran importancia incluir este contaminante dentro de la métrica nacional de emisiones, así como generar acciones de mitigación, pues la reducción de estas emisiones tiene impactos positivos a corto plazo.

Palabras claves: inventario de emisiones; cambio climático; contaminantes climáticos de corta vida.

Abstract

Black carbon has a big impact on climate, because of its role as a short-lived radiative forcer, since it has a global warming potential within 460 and 1500 in comparison with carbon dioxide.

Given that transportation sector is a critical, both worldwide and in Costa Rica, point in terms of reducing climate change and greenhouse gases emissions due to its accelerated growth rate, its contribution of black carbon emissions must be quantified and proposals must be found to mitigate emissions. For this, emissions generated by mobile sources for 2016 were modeled through Copert 5.2 software. Later, through bibliographic search, reduction opportunities were proposed, which were evaluated taking into consideration social acceptance, public policies concordance and cost of technology.

The results indicate that 471.9 tons of black carbon were emitted into the atmosphere by the Costa Rican vehicle fleet during 2016, which is equivalent to 217 031.7 and 707 712.2 tons of CO_{2e}, taking 460 and 1500 as global warming potential scenarios, respectively. On the other hand, within the studied reduction measures of this pollutant the following are observed: the use of low-emission fuels, electric vehicles and the use of technological improvements in the engine system to reduce exhaust emissions; Of these, the measures that turned out to have the greatest feasibility are those related to the incorporation of low-emission fuels, such as biodiesel and low-sulfur diesel, especially because they have a greater reduction potential and because measures could be much more accepted by the population.

It is evident the importance of including this pollutant into the national emissions metric, as well as generating mitigation actions, especially considering the positive impacts that a reduction of these emissions may have in the short term.

Keywords: emissions inventory; climate change; short-lived climate pollutants.

1. Introducción

El crecimiento exponencial de la población mundial, los modelos hegemónicos de consumo y la falta de conciencia a nivel ambiental han impulsado una fuerte demanda de los recursos naturales y, a su vez, la emisión de contaminantes al ambiente, lo que ha provocado cambios en el entorno, con repercusiones a escala regional y global (Badii et al., 2015).

Una de las problemáticas más grandes que se presentan a nivel mundial, producto de la coyuntura económica, social y ambiental en la que se ha desenvuelto la humanidad en las últimas décadas, es el cambio climático. Este tiene como origen el calentamiento global provocado por los llamados gases de efecto invernadero (GEI), caracterizados por sus propiedades fotoabsorbentes (Badii et al., 2015).

La emisión de GEI ha experimentado un constante aumento desde 1970; sin embargo, en la última década se ha producido el mayor incremento decenal, de acuerdo con lo señalado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2014). Sus estudios muestran que se registró un promedio anual de 1.0 giga toneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO_{2e}) entre 2000 y 2010, mientras que entre 1970 y el 2000 solo se emitían 0.4 GtCO_{2e} por año.

Asimismo, de continuar con dicho escenario, para el 2100 se alcanzaría un incremento de temperaturas en un rango de 3.7°C a 4.8°C en comparación con los niveles preindustriales.

Dicha situación ha despertado, a nivel global, el interés por reducir estas cifras y minimizar el aumento de la temperatura media global. Las acciones están orientadas al control de emisiones de los GEI. Según lo indicado en el Protocolo de Kioto por la ONU (1998), los Gases de Efecto Invernadero son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Algunos de estos (como el CO₂) son químicamente estables y persistentes en la atmósfera (de décadas a siglos), por lo que sus emisiones influyen en el clima a largo plazo (IPCC, 2014). Además, existen otros agentes forzadores del calentamiento global, llamados contaminantes climáticos de corta vida (CCVC), por sus periodos menores de permanencia en el aire; entre ellos se encuentran el metano, el N₂O, el ozono, los hidrofluorocarbonos y el carbono negro (CN). Estos agentes son responsables de entre un 40 % y 45 % del calentamiento global (Ortúzar y Tornel, 2016), por lo que una reducción en sus emisiones implicaría beneficios importantes a corto plazo en la temperatura mundial (se podría reducir hasta un 0,5°C del aumento previsto para el 2050) (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP] y Organización Meteorológica Mundial [WMO], 2011).

Por su parte, el carbono negro (CN) es un componente del material particulado. Se encuentra principalmente en aquellas partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 µm, conocidas como PM_{2.5} (Gallego et al., 2012). Según indica Cruz-Núñez (2014), el carbono negro es el mayor absorbente de radiación en estas partículas y se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Si se produjera con una reacción ideal, la combustión sería completa, utilizando el total de carbono para la producción exclusiva de CO₂. Sin embargo, el proceso de combustión normalmente no se da bajo estas condiciones, por lo que, además del CO₂, se produce monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas de carbono orgánico (OC) y partículas de carbono negro (UNEP y WMO, 2011).

Debido a lo anterior, el carbono negro tiene un gran impacto en el clima: posee un potencial de calentamiento global entre 460 y 1 500 veces mayor que el del CO₂ (Ortúzar y Tornel, 2016), lo que lo convierte en un fuerte agente de calentamiento en el sistema climático.

El carbono negro no es un gas de efecto invernadero y no está regulado en el protocolo de Kioto; sin embargo, al igual que los GEI, tiene propiedades como forzador radiativo: las partículas de carbono negro absorben la luz visible, perturbando el balance de la radiación planetaria y, como consecuencia, aumentan la temperatura de la Tierra. Adicionalmente, la presencia del carbono negro en la atmósfera sobre superficies altamente reflectantes (nieve, hielo o nubes) puede causar un forzamiento radiativo positivo, principalmente para aquellos aerosoles con una fracción considerable de este contaminante (Ramaswamy et al., 2001, citado por IPCC, 2007).

Otra característica importante del carbono negro es su tiempo de residencia en la atmósfera, el cual va de días a semanas (UNEP y WMO, 2011). Según Cruz-Núñez (2014), estaría presente en un lapso de 4 a 7 días, dependiendo de las condiciones climáticas. Algunas de las características que regulan los tiempos de residencia de este aerosol en la atmósfera y su distribución son: las cualidades microfísicas, como afinidad al agua (hidrófilo a hidrófobo); el envejecimiento de los aerosoles y la deposición húmeda; y los aspectos meteorológicos, que regulan los patrones de distribución horizontal y vertical (Fuggles Tvedt et al., 2010).

Adicional a su papel en el calentamiento global, el carbono negro también se relaciona con efectos nocivos en la salud, principalmente debido a su capacidad de penetración en el sistema respiratorio e incluso en el sistema circulatorio, lo que provoca morbilidad y mortalidad prematura (Organización Mundial de la Salud OMS, 2016); sin embargo, aún no se ha logrado probar con certeza su toxicidad (Sims et al., 2015). Existen estudios como el de Janssen et al. (2011, citado por Sims et al., 2015), en los cuales se indica que, por unidad de concentración, el CN puede ser más dañino que otros componentes de PM_{2.5}. Otras investigaciones, como las señaladas por Gladstein, Neandross & Associates (2014), mencionan que este podría no ser un componente tóxico importante de las partículas finas, pero funcionaría como un portador de una amplia variedad de productos químicos de diversa toxicidad a los pulmones, las principales células de defensa del cuerpo y al sistema circulatorio.

En cuanto a la generación de este contaminante, de acuerdo con lo mencionado por UN Environment Programme (2020), durante el año 2015, a nivel mundial, se emitieron aproximadamente 6.6 millones de toneladas de CN. Además, las principales regiones emisoras son Asia, África y América Latina. Cruz-Núñez (2014) y Sims et al. (2015) señalan que los principales emisores en los países en desarrollo son la quema de biomasa y la quema de sólidos residenciales, mientras que fuentes como el transporte y la industria dominan en los países desarrollados.

Ahora bien, en Costa Rica, en temas de cambio climático, se han propuesto metas ambiciosas: durante la Vigésima primera Conferencia de las Partes (COP21), el país se comprometió a una reducción de emisiones de GEI de 44 %, comparado con un escenario Business As Usual (BAU), lo que representa una reducción de emisiones de GEI de 25 %, contrapuesto con las emisiones de 2012. No obstante, solo se tomó en cuenta los GEI convencionales como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆) (Gobierno de Costa Rica y Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], 2015). Así pues, el CN quedó excluido de las políticas ante el cambio climático y, por ende, no hay iniciativas gubernamentales para su control.

En lo que respecta a las fuentes de emisión de CN en Costa Rica, se destaca la dependencia de combustibles fósiles para el sector transporte, dado que no se ha generalizado el uso de opciones alternativas que conlleven a una reducción de las emisiones. Prueba de ello es que los estudios indican que un 42.2 % de la emisión total las partículas finas PM_{2,5} –asociadas con el CN– son producidas por los vehículos de carga liviana (Programa Estado de la Nación, 2016). Esto sumado a las experiencias previas con GEI, en las que el sector es el responsable del 54% de las emisiones netas de CO₂ a nivel nacional (DSE-MINAE, 2016, citado por Programa Estado de la Nación, 2016).

Además, el vigésimo segundo informe del Estado de la Nación (Programa Estado de la Nación, 2016) indica que la flota vehicular del país creció un 6.5 % entre el 2014 y el 2015, lo que se traduce en un total de 1 489 699 unidades para este periodo, donde los vehículos particulares y los de carga liviana representan el rubro más alto. Estos datos son significativos, si se toma en cuenta que en 1994 Costa Rica tenía 125.4 automóviles por cada mil habitantes, mientras que para el 2014 la proporción fue de 293.1 unidades; es decir, la tasa se duplicó en un período en el que la población creció un 43.1%. Pese al crecimiento del parque automotor, aún no se da una modernización de este; de hecho, el 48.8 % de los vehículos particulares posee una antigüedad promedio mayor o igual a 15 años (Sánchez Hernández, 2018).

Para estimar las emisiones de la flota vehicular de un país, algunos organismos como la EPA y la Comisión Europea han desarrollado modelos de emisión vehicular que analizan aspectos como la exposición en intersecciones o caminos y las tasas de emisión en una región particular. Algunos de los modelos existentes son MOBILE, MOVES, IVE, COPERT.

El modelo COPERT es una aplicación de Microsoft Windows® utilizada ampliamente para calcular las emisiones del sector transporte por carretera. Permite calcular las emisiones de diferentes contaminantes (GEI, contaminantes atmosféricos y contaminantes criterio, incluyendo el CN) a diferentes escalas espaciales (nacional, regional o local) y temporales (Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), s.f.).

El objetivo principal de la presente investigación es diseñar una propuesta de reducción de emisiones de carbono negro para el sector transporte de Costa Rica, mediante el desarrollo de un inventario utilizando la modelación en el software Copert 5.2, que sirva como herramienta de apoyo a la mitigación del cambio climático.

2. Metodología

2.2 Elaboración del inventario de emisiones de carbono negro

2.2.1 Recolección y tratamiento de información

En el **Cuadro 1**, se muestra cada una de las fuentes de la data necesaria para realizar la modelación de las emisiones de carbono negro, así como las limitaciones presentadas.

Cuadro 1. Fuente, limitaciones e incertidumbre de la data necesaria para la modelación en el software Copert 5.2.

Ítem	Descripción	Fuente	Descripción de la fuente y/o limitaciones	Incertidumbre
Stock Category	Población de vehículos y categoría	Base de datos del Instituto Nacional de Seguros, 2016	Existen registros de vehículos hasta con 29 marchamos adeudados; no obstante, para los efectos de esta investigación, se tomó como límite máximo 3 marchamos adeudados. Además, se reclasificaron más de mil datos, según marca, modelo y carrocería, debido a que no poseían una categoría específica.	0-2 %

Stock Segment	Población de vehículos por sub-categoría	Base de datos del Instituto Nacional de Seguros, 2016 Datos de pesos y medidas Datos del Consejo de Transporte Público	Se presentaron las siguientes limitaciones para la segregación de vehículos por categorías: -Se encontraron vehículos con cilindraje incorrecto: en total, 54 670 motocicletas, 129 478 automóviles, 29 taxis, 22 cuadraciclos y 56 040 vehículos de carga liviana. A estos datos se les asignó la moda del cilindraje de la categoría. -Se observaron incoherencias en el peso bruto y neto de vehículos pesados y autobuses.	0-2 %
Stock Euro Standard	Población de vehículos por tecnología	Base de datos del Instituto Nacional de Seguros, 2016	Se establece que la tecnología de los vehículos está normada según el año de fabricación.	0-2 %
Mean activity (km)	Kilometraje anual	Encuesta de Consumo Energético Nacional en el Sector Transporte (MOPT, 2013).	Se toma el dato teórico del recorrido promedio semanal.	0-2 %
Share: urban peak, urban off peak, rural, highway	Rural share, highway share y urban share.	Copert 5.2	No se obtienen datos del kilometraje de cada tecnología por modo de conducción. Se utilizan las entradas por defecto del software.	30-100 %
Speed: Urban peak, off peak	Velocidad urbana	Datos obtenidos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes-Waze	Se contemplan dentro de esta categoría las rutas de tipo 2 (rutas secundarias que comunican cabeceras de provincia). El dato de velocidad promedio se toma de 51 de estas rutas.	0-2 %
Speed: highway	Velocidad autopista	Datos obtenidos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes-Waze	Se contemplan dentro de esta categoría las rutas de tipo 1 (rutas primarias que comunican la capital con las otras provincias o con las fronteras. El dato de velocidad promedio se toma de nueve de estas rutas (rutas: 1, 2, 3, 5, 10, 22, 27, 32 y 39).	0-2 %
Speed: rural	Velocidad rural	Dato obtenido del Plan de Transporte 2011-2035	No se encontraron datos de las velocidades en carreteras rurales, por lo que se utilizó un valor teórico.	0-2 %
Min temperature	Promedio de temperatura mínima mensual	Data del Instituto Meteorológico Nacional	El dato utilizado se obtuvo a partir de la temperatura mínima promedio de 46 estaciones meteorológicas ubicadas en todo el país.	0-2 %
Max temperature	Promedio de la temperatura máxima mensual	Data del Instituto Meteorológico Nacional	El dato utilizado se obtuvo a partir de la temperatura máxima promedio de 46 estaciones meteorológicas ubicadas en todo el país.	0-2 %

Humidity (%)	Humedad relativa (%)	Data del Instituto Meteorológico Nacional	El dato utilizado se obtuvo a partir del porcentaje de humedad promedio de 30 estaciones meteorológicas ubicadas en todo el país.	0-2 %
Lifetime acumulative activity	Kilometraje de la flota vehicular	Copert 5.2	No se contó con datos referentes al kilometraje de los vehículos.	30-100 %
Fuel specifications: (energy content, density)	Especificaciones de combustible (capacidad calorífica y densidad)	Datos de Refinadora Costarricense de Petróleo	N.A.	0-2 %
Fuel specifications: (H:C Ratio, O:C Ratio)	Especificaciones de combustible (H:C relación, O:C relación).	Copert 5.2	No se contó con datos relacionados a las especificaciones de relación H:C y O:C. Se utilizan datos del Copert 5.2	30-100 %
Content in species (Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Se, Zn, Hg, As, S)	Especificaciones de las especies contenidas en el combustible.	Datos de Refinadora Costarricense de Petróleo y Copert 5.2.	Con excepción de la concentración de azufre en los combustibles, para este estudio no se contó con datos relacionados a las demás especies, por lo que se utilizaron las concentraciones asignadas por el software.	30-100 %
Lubricant specifications	Contenido de lubricante y especificaciones.	Copert 5.2	No se contó con datos relacionados a las especificaciones de los lubricantes utilizados. Se utilizan parámetros del Copert 5.2.	30-100 %
Total fuel sales (TJ)	Venta total de combustibles	Balance de Energía 2016, MINAE, Dirección de Energía.	Únicamente se tomó en cuenta el consumo de gasolina y diésel, pues la población de vehículos híbridos o que utilicen otra fuente de combustible como GLP rondan el 0.1% de la flota vehicular.	0-2 %
Factores de emisión	Factores de emisión por tipo de vehículo.	Copert 5.2	Factores de emisión internacionales suministrados por el software Copert 5.2.	30-100 %

2.2.2 Procesamiento de información mediante el modelo computacional Copert 5.2 y cálculo de emisiones del sector transporte

En el **Cuadro 2** y **Cuadro 3**, se detallan los datos de entrada para la modelación del Copert 5.2.

Cuadro 2. Temperaturas máximas, mínimas y humedad relativa registradas en Costa Rica durante el 2016.

	Temperatura Mín (°C)	Temperatura Máx (°C)	Humedad (%)
Enero	18.63	28.79	79.5 %
Febrero	18.68	28.56	77.6 %
Marzo	19.58	30.38	76.8 %
Abril	20.08	30.49	77.3 %
Mayo	22.06	29.46	82.8 %
Junio	19.27	27.74	86.9 %
Julio	19.54	27.63	87.2 %
Agosto	19.62	32.25	86.1 %
Septiembre	19.59	28.50	86.5 %
Octubre	19.14	27.96	87.6 %
Noviembre	18.47	25.21	88.2 %
Diciembre	18.87	26.96	87.1 %

Fuente: IMN, 2016

Cuadro 3. Datos de actividad para el 2016.

Datos de actividad	
Consumo de diésel (TJ)^a	35 871
Consumo de gasolina regular (TJ)^a	20 131
Consumo de gasolina súper (TJ)^a	20 173
Velocidad media en autopista (km/h)^b	51.6
Velocidad media en zona urbana (km/h)^b	35.3
Velocidad media en zona rural (km/h)^c	35

^a Dato tomado del Balance Energético de Costa Rica, 2016

^b Promedio de las rutas de las cuales tiene registro el MOPT

^c Dato tomado del Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035

En el **Anexo 1** se muestran los datos de la flotilla vehicular utilizada: en total se clasificaron 1 459 555 vehículos, de acuerdo con el tipo de placa (particular o de pasajeros, carga liviana, carga pesada, cuadraciclos y motocicletas), el peso bruto o el cilindraje y el estándar de emisiones por año del modelo.

Una vez que se ingresan los datos de entrada al *software*, este calcula las emisiones mediante un enfoque de tipología “top-down”. El software estima el total de emisiones combinando información técnica específica (ej. factores de emisión) y los datos de actividad de la flota de transporte (ej. total de kilómetros recorridos). Asimismo, toma en cuenta (Marcillo, 2016):

- Tipo de combustible (diésel, gas natural comprimido, biodiésel)
- Forma estructural (categoría y subcategoría)
- Tipo de tecnología de control de emisiones (convencional, Euro I, II, III, IV, V, VI)
- Formulación de patrones de conducción dependiente de la velocidad: conducción urbana, conducción rural y conducción en autopista.

Una vez introducidas esas variables, el Copert 5.2 realiza el cálculo final mediante la suma de tres fuentes distintas de emisiones: aquellas obtenidas cuando el motor se encuentra en una fase térmica estabilizada (*hot emissions*), las recabadas durante la fase de calentamiento del sistema (*cold emissions*) y, finalmente, las obtenidas por evaporación del combustible (*fuel evaporative emissions*), según se indica en la **Ecuación (1)**:

$$E_{TOTAL} = E_{HOT} + E_{COLD} + E_{EVA}, \quad (1)$$

donde E_{TOTAL} se refiere a las emisiones totales de CN; E_{HOT} y E_{COLD} son las emisiones en caliente y en frío, y E_{EVA} son las emisiones evaporativas. En el caso del CN, únicamente se incluyen las emisiones en caliente, pues, por su naturaleza, las emisiones se producen durante el proceso de combustión, por lo que no se registran las E_{EVA} . En cuanto a las E_{COLD} , el *software* no contabiliza por *default* este contaminante. (Marcillo, 2016).

Sumado a lo anterior, se desarrolló un ejercicio de racionalidad para validar que los resultados obtenidos fueran acordes con los reportados en otras investigaciones.

Con los resultados obtenidos de las emisiones de carbono negro, se procedió a calcular las emisiones de CO_{2e} con un PCG. Para esta actividad, se utilizó la **Ecuación (2)**:

$$ECO_{2e} = E_{CN} \times GPW, \quad (2)$$

donde ECO_{2e} se refiere a las emisiones de CO_{2e} registradas; E_{CB} es la emisión de carbono negro para determinado periodo de tiempo, y GPW aduce al potencial de calentamiento global del carbono negro.

Para este estudio se utilizaron dos potenciales de calentamiento global: 460 y 150 (UN Environment Programme, 2020), debido a que aún las investigaciones científicas no han llegado a un consenso de un valor puntual.

2.2.3 Cálculo de incertidumbre

Para el cálculo de la incertidumbre, se utilizó la metodología de la Guía de Inventarios de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de la Agencia Europea de Medio Ambiente (2019). En esta se realiza una descripción cualitativa de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores del inventario de emisiones. Dicha evaluación se muestra en el **Cuadro 1**.

2.3 Establecimiento de medidas de reducción del sector

2.3.1 Identificación, evaluación y divulgación de medidas de reducción

Mediante la revisión bibliográfica, se identificaron posibles medidas de reducción de emisiones de carbono negro para la flota vehicular costarricense. Adicionalmente, se realizó una evaluación de estas para asegurar su factibilidad y pertinencia. Para ello, primeramente, se elaboró una matriz que contempló aspectos como: estimación de potencial de reducción (toneladas de carbono negro)

para dos escenarios 2025 y 2030, concordancia con políticas públicas, costo de la tecnología y posible aceptación social (para lo cual se entrevistaron actores relevantes del sector). Finalmente, cada medida fue evaluada de acuerdo con los criterios establecidos en el **Cuadro 2**, con el objetivo de hacer propuestas acordes con el contexto costarricense.

Cuadro 4. Criterios de evaluación para las medidas de reducción de carbono negro

Escala	Concordancia con políticas públicas	Puntuación	Costo de la tecnología	Puntuación	Aceptación social	Puntuación	Potencial de reducción	Puntuación
Alto	Existen políticas públicas o legislación que respalden directamente la medida de reducción.	3	Costo de la tecnología implica un incremento en el precio del servicio; vehículo de un 5 % o más comparado con tecnologías utilizadas actualmente.	1	Entrevistados, con base en su experiencia en el sector, visualizan factible su implementación en el país y que sea acogido por la población.	3	Reducción mayor a un 10 %	3
Medio	Existen políticas públicas o legislación vinculada con la medida de reducción; sin embargo, esta no se plantea explícitamente.	2	Costo de la tecnología implica un incremento en el precio del servicio; vehículo entre un 0.1 %-5 % comparado con tecnologías utilizadas actualmente.	2	Entrevistados, con base en su experiencia en el sector, visualizan factible, pero con limitaciones, su implementación en el país y que sea acogido por la población.	2	Reducción de un 5 a un 10 %	2
Bajo	No existen políticas públicas o legislación vinculada con la medida de reducción.	1	Costo de la tecnología no implica un incremento en el precio del servicio.	3	Entrevistados, con base en su experiencia en el sector, no visualizan factible su implementación en el país y que sea acogido por la población.	1	Reducción menor a un 5 %	1

Por último, se realizaron dos talleres participativos/informativos con actores involucrados en el sector transporte, donde se presentaron los datos obtenidos del estudio y la importancia de aplicar las diferentes propuestas de reducción. Los talleres consistieron en la exposición de los resultados por parte del experto técnico y, posteriormente, un conversatorio con los participantes.

3. Resultados y discusión

3.2 Emisiones del sector transporte

En total se contabilizan 471.9 toneladas de carbono negro emitidas a la atmósfera por la flotilla vehicular durante el 2016. Dicho resultado es un valor intermedio respecto de los obtenidos en investigaciones similares reportadas en los inventarios de carbono negro de México y los Estados Unidos: en Costa Rica se produce un 48% menos de emisiones por vehículo (ton/vehículo) con respecto a México, pero un 25% más que en los Estados Unidos (**Cuadro 6**). Estas diferencias pueden deberse a factores como la edad de la flotilla vehicular, mayor presencia de vehículos en las categorías con altos factores de emisión y las características del combustible.

Cuadro 5. Ejercicio de racionalidad para inventarios de carbono negro

Inventario	Metodología	Cantidad de vehículos	Emisiones BC (Mg)	Año	Emisiones (ton/vehículo)	Fuente
México	<i>top-down</i>	22 138 478	13 870	2005	0.00062651	Cruz-Núñez, 2014
USA	<i>top-down</i>	247 421 120	63 600	2005	0.00025705	Chow <i>et al.</i> , 2011
Costa Rica	<i>top-down</i>	1 459 555	471.9	2016	0.00032325	--

Además, en la **Figura 1** se muestran las emisiones de carbono negro por categoría de vehículo: el 86.6 % de estas emisiones se producen por tres categorías: vehículos de carga pesada (con un aporte porcentual del 53.5 %), vehículos de carga liviana con motor diésel, (con un peso del 20.2 %) y, en menor proporción, los autobuses (con un 12.9 % de participación).

Estos resultados son similares a los obtenidos en las emisiones por tipo de combustible: el 96.9 % proviene de vehículos de encendido por compresión (vehículos diésel); y únicamente un 3.1 % es producido por vehículos con motor a base de gasolina. Al respecto, Cruz-Núñez (2014) señala que el 83 % de las emisiones de carbono negro provienen de buses y vehículos de carga, tanto liviana como pesada. Asimismo, Chow et al. (2011) señalan que las emisiones en los motores diésel pueden ser de 20 a 40 % mayores que las de un motor gasolina, debido a la ineficiencia en la combustión y la mayor generación de subproductos como el material particulado y el carbono negro.

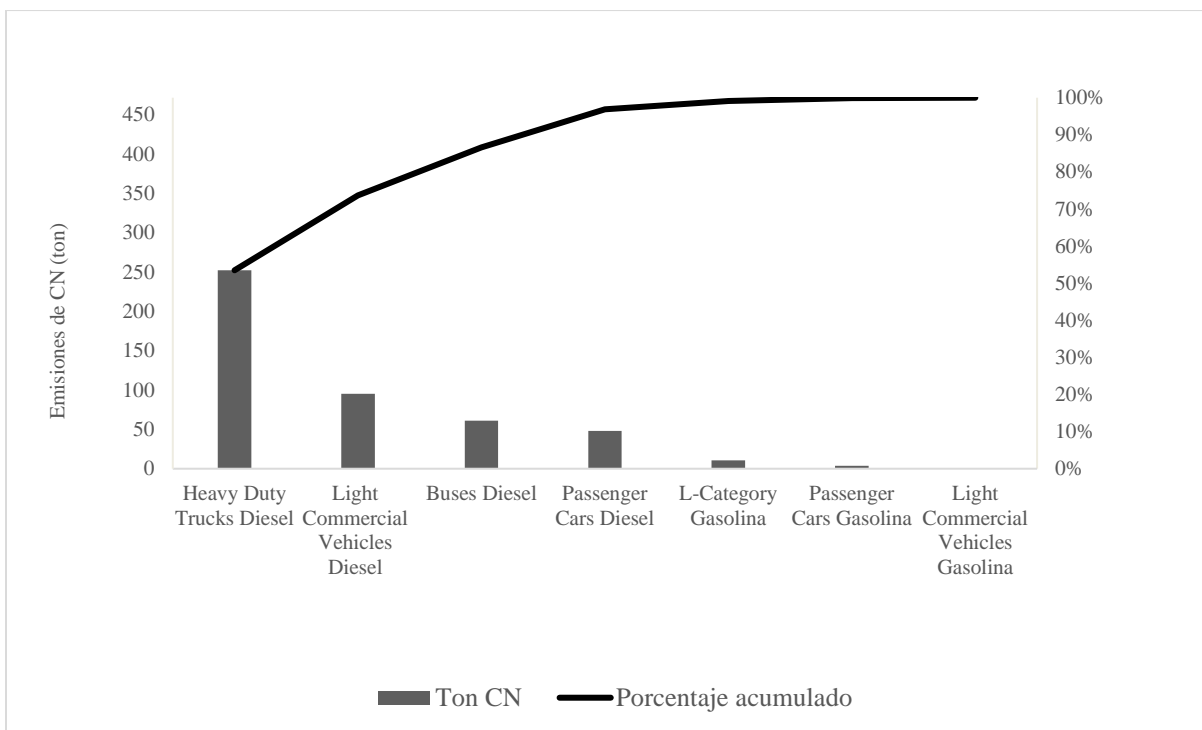


Figura 1. Emisiones de carbono negro flota vehicular de Costa Rica en 2016.

La **Figura 2** presenta las emisiones por tipo de estándar de vehículo (se incluyen únicamente automotores diésel). Los resultados revelan que un 89.5 % de las emisiones totales de carbono negro de la flota vehicular costarricense fue generado por vehículos anteriores al 2005 (previo a Euro 4), los cuales apenas representan el 10.4 % de la flota nacional. El 42.4 % de estas fue generado por vehículos con estándar convencional (previo a 1994), cuyo peso porcentual en la flota vehicular es de apenas un 3.4 %.

Al respecto, Kholod et al. (2016) mostraron resultados similares en sus investigaciones: vehículos pre-euro emitieron el 55 % del total de las emisiones de carbono negro. De igual forma, Cruz-Núñez (2014) y Lau et al. (2015) señalan el impacto de la antigüedad de la flota vehicular como un factor determinante en la generación de carbono negro y comprueban la incidencia de las

normativas de control de emisiones (Euro) y las tecnologías asociadas a los automotores para el cumplimiento de la reducción directa de las emisiones.

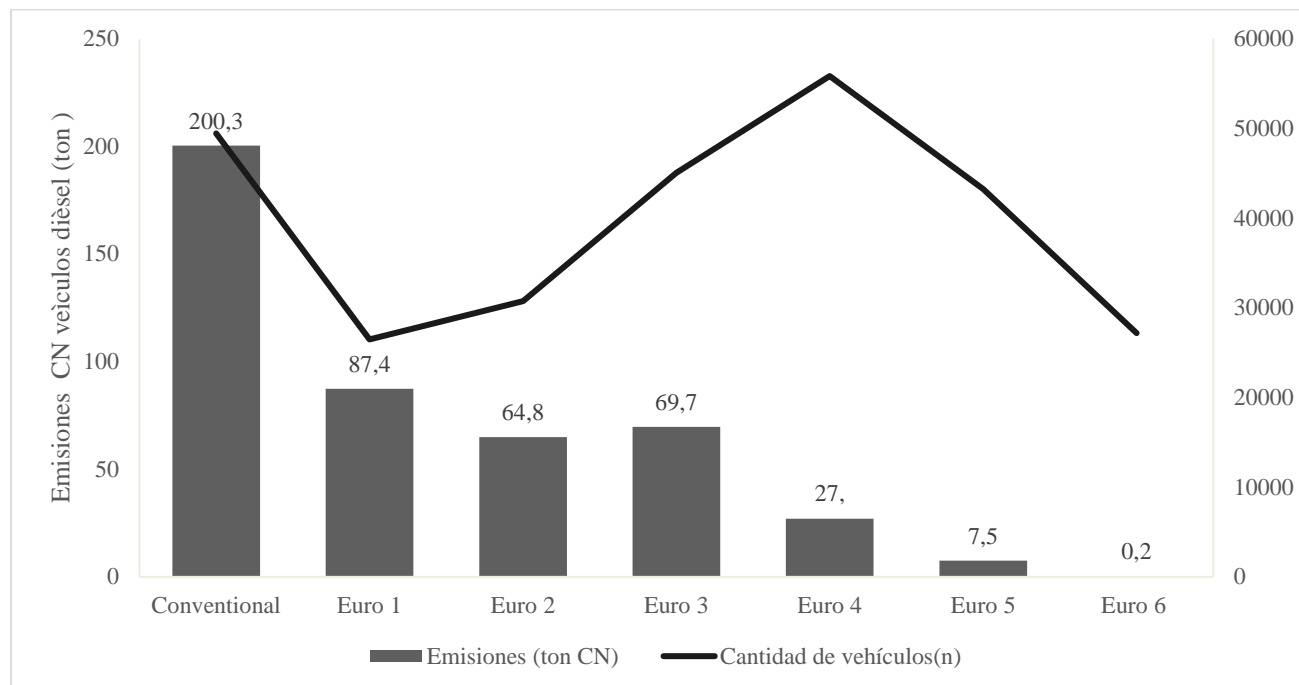


Figura 2. Emisiones de carbono negro (CN) por estándar de vehículo

El **Cuadro 6** presenta las toneladas de CO_{2e} generadas a raíz de las emisiones de carbono negro en dos escenarios distintos: uno conservador, con PCG de 460, y el escenario crítico, con un PCG de 1500.

Cuadro 6. Emisiones de CO_{2e} resultantes de las emisiones de carbono negro en el sector transporte 2016.

Categoría	Emisiones de CO _{2e} (ton)	Emisiones de CO _{2e} (ton)
	PCG 460	PCG 1500
Heavy Duty Trucks Diesel	116 081	378 525
Light Commercial Vehicles Diesel	43 862	143 029
Buses Diesel	28 057	91 490
Passenger Cars Diesel	22 193	72 367
L-Category Gasolina	4 880	1 5912
Passenger Cars Gasolina	1 733	5 651
Light Commercial Vehicles Gasolina	225.9	736.6
Total	217 031	707 712

En total, se contabilizan entre 217 031 y 707 712 toneladas de CO_{2e} emitidas por el sector transporte en el país. Esto representa entre un 4 % y un 13 % de la huella de CO₂ reportada durante el 2015.

3.3 Establecimiento de medidas de mitigación y posibles escenarios de reducción

Con base en la literatura analizada, se muestran algunas de las medidas de reducción más implementadas a nivel global para mitigar las emisiones de carbono negro en la flota vehicular.

3.3.1 Filtros de partículas

En términos generales, el objetivo del filtro de partículas diésel (DPF, por sus siglas en inglés: “Diesel Particulate Filter”) es evitar la salida a la atmósfera de partículas para después eliminarlas en un proceso de oxidación, conocido como regeneración. El filtro consta de una superficie en forma de canal de abejas hecha de material poroso, con canales alternos que forzosamente direccionan el flujo de los gases de escape a través de ellos (Cortés Duarte, 2016). Los DPF se pueden clasificar, por el principio de funcionamiento, como activos o pasivos. Los pasivos se regeneran en condiciones habituales (temperatura de escape relativamente baja) y los activos, mediante el aumento de la temperatura de escape, lo cual se logra realizando una post-inyección de combustible (Valdepeñas-García Moreno, 2018). En la **Figura 3** se muestra el esquema de un DPF.

En cuanto a los costos de estos filtros, según Stevens et al. (2005), para vehículos de carga, solo el filtro (DAF) ronda los 3 000 - 9 000 dólares, y a este se le debe sumar el catalizador de oxidación (DOC), el cual tiene un costo cercano a los 1 000 dólares.

La aceptación social de esta medida, según H. Rojas (comunicación personal, 1 de julio de 2020) y D. Bolaños (comunicación personal, 3 de julio de 2020) es baja, debido a la dificultad técnica de la instalación, el costo de instalación y mantenimiento, y a la poca disponibilidad de este tipo de sistemas en el país.

Con respecto a políticas públicas, no se encontró legislación, planes nacionales u otra documentación para favorecer la implementación de dicha medida.

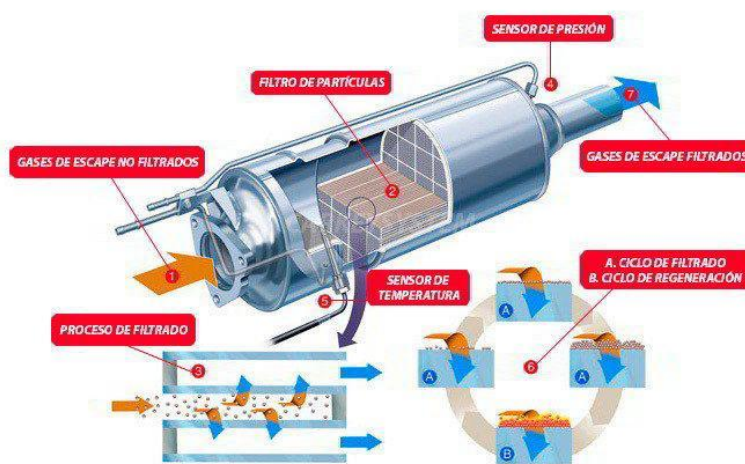


Figura 4. Filtro de partículas diésel (DPF).

Fuente: Cx80.es, 2019

3.3.2 Disminución de azufre en el combustible

El azufre es un componente natural del petróleo crudo y, por ende, se encuentra tanto en la gasolina como en el diésel. Cuando estos combustibles son quemados, el azufre se emite como bióxido de azufre (SO₂) o como partículas de sulfatos.

El azufre, además de ser un contaminante importante a nivel ambiental, impide la adopción de tecnologías para el control de la contaminación. Una de las principales problemáticas es que dicho contaminante reduce la eficiencia de conversión del CO, los HC y el NO_x en el catalizador, ya que compite con estos gases por superficie de reacción. Adicionalmente, el contenido de azufre en el combustible contribuye a su envejecimiento, una degradación más seria y una recuperación menos completa (Blumberg et al., 2003). Debido a esto, los combustibles de bajo azufre (15 ppm) generan mayores beneficios al incorporar tecnologías avanzadas de control para vehículos diésel. Los filtros de partículas del diésel pueden usarse con combustibles que no sean de bajo azufre pero solo alcanzan un 50 % de eficiencia de control, aproximadamente (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2012).

Actualmente, en el país no se comercializa este tipo de combustible; sin embargo, según V. Valverde (comunicación personal, 7 de julio de 2020), el costo del combustible podría rondar el 10 % por encima del actual. A pesar de lo anterior, J. Salazar (comunicación personal, 11 de julio de 2020) y V. Valverde (comunicación personal, 7 de julio de 2020), indican que la aceptación social de esta medida podría ser positiva para el consumidor en un corto plazo; principalmente, si se toman en cuenta los beneficios para el buen funcionamiento y alargamiento de la vida útil del vehículo.

Por último, en lo que respecta a la vinculación con políticas públicas, la legislación costarricense establece un máximo de 50 ppm de azufre (Decreto N° 36372-MINAET). No obstante, aún no se han implementado regulaciones para el diésel ultra bajo en azufre, pese a que el Reglamento para el control de las emisiones contaminantes producidas por los vehículos automotores con motor de combustión interna N° 39724 -MOPT-MINAE-S establece que los vehículos a partir del 2021 deben poseer tecnologías para el tratamiento de emisiones de partículas y la utilización de combustibles ultra bajos en azufre es indispensable para asegurar su correcto funcionamiento.

3.3.3 Uso de biodiésel

Dada la relación encontrada entre las emisiones de material particulado y los altos niveles de aromáticos y azufre en el combustible, se han estudiado combustibles alternativos al diésel que reduzcan su efecto sobre la salud de la población humana. Una de las alternativas es el biodiésel, sea este usado como único combustible o mezclado con el diésel de petróleo.

Al respecto, Magara-Gomez (2011), en un estudio donde se realizaron mediciones de las emisiones de carbono negro mezclando biodiésel proveniente de soja y biodiésel proveniente de sebo de carne, mostró que las tasas de emisión de CN disminuyeron desde un 57 % hasta un 80 % para las mezclas de soja, según la cantidad empleada (mezclas entre el 25 % y 100 %, respectivamente). De igual forma, para las mezclas de sebo de carne, las disminuciones rondaron entre el 65 % y el 82 %. Estas reducciones también son consistentes con las presentadas en el material particulado: Hernández Carrillo (2017) indicó una disminución del 50 % de las emisiones usando una mezcla de 5 % de biodiésel y Araya Jofré (2009) reportó bajas en las concentraciones de un 20 % y un 50 % para mezclas de 5 % y 10 % de biodiésel, respectivamente.

Los estudios sugieren que la reducción en las emisiones de material particulado se deben al contenido de oxígeno de la mezcla de biodiésel, el cual sustituye al oxígeno del aire en las regiones de mezcla ineficiente del combustible con el aire (Rojas, 2004).

En Costa Rica, actualmente, no se comercializa este producto a gran escala; sin embargo, la Refinadora Costarricense de Petróleo, en su Plan de Descarbonización del Sector Transporte Terrestre (2018), plantea introducirlo al país, debido a sus ventajas a nivel ambiental en la reducción de emisiones y a la oportunidad que tiene el país como productor local. No obstante, para lograrlo se deben realizar reformas en la legislación, principalmente en la Ley 6588, que regula la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), para que pueda comerciar este combustible.

En cuanto a la aceptación que podría tener el biodiésel a nivel social, J. Salazar (comunicación personal, 11 de julio de 2020) y V. Valverde (comunicación personal, 7 de julio de 2020) mencionan que podría ser positiva; no obstante, el factor determinante será el precio final del combustible. J. Salazar (2020) señaló que este debe ser menor al precio actual del diésel para que los consumidores tengan una razón de peso para utilizar el nuevo producto; de lo contrario, preferirán los productos convencionales.

3.3.4 Vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos se han posicionado como una alternativa al motor de combustión a nivel global, principalmente por la alta eficiencia que presenta (aproximadamente un 90 %, mientras que la de un motor de combustión ronda el 20 %) (Costa, 2019). Este diferencial provoca que la cantidad neta de energía requerida sea menor, lo que implica un menor costo energético para los usuarios y una mejora de la intensidad energética de la economía nacional (MINAE, 2019).

Adicionalmente, estos vehículos reducen las emisiones de gases efecto invernadero y mejoran la calidad del aire urbano, y, por ende, tienen un impacto significativamente menor en el cambio climático, en especial cuando se usan energías renovables para la obtención de la energía eléctrica (Costa, 2019).

Ahora bien, de acuerdo con el Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2023, en Costa Rica la participación de la energía eléctrica en el transporte es de solamente el 0.2 %. Sin embargo, la planificación e implementación de políticas orientadas a fortalecer el sector podrían provocar un aumento al 13.9 % para el año 2030. Este aumento implicaría una reducción del 27 % en el consumo energético (Ministerio de Ambiente y Energía, 2019).

Sin embargo, a pesar de los beneficios de los vehículos eléctricos, en la actualidad, aún existen importantes brechas en el acceso a estas tecnologías, debido al precio en el mercado; por ejemplo, un autobús de 12 m puede rondar los 390 mil dólares, mientras que un Euro VI, 200 mil dólares (Restrepo, 2018).

Por estas razones, J. Salazar (comunicación personal, 11 de julio de 2020) y V. Valverde (comunicación personal, 7 de julio de 2020) coinciden en que, a corto plazo, es difícil la transición a estas nuevas tecnologías, principalmente tomando en cuenta la coyuntura social y económica que está viviendo el país por el SARS-COVID-19 y la baja en los precios de los combustibles fósiles a nivel internacional. Sin embargo, según su criterio, para el 2030, será mucho más factible alcanzar altos porcentajes de vehículos eléctricos.

3.3.5 Escenarios de reducción teórica de carbono negro

El **Cuadro 7** muestra las medidas anteriormente descritas y los diferentes escenarios de emisión de carbono negro tomando en cuenta su implementación. Los resultados señalan que, de no ejecutarse ninguna medida, para el 2025 se presentará un aumento del 66 % de las emisiones de este contaminante y, para el 2030, el aumento corresponderá a un 75% con respecto al 2016. No obstante, con la aplicación de las medidas presentadas se pueden lograr reducciones significativas.

Cuadro 7. Escenarios de emisión de carbono negro.

Medida	Descripción	Escenario base de emisión (ton CN)	Reducción (ton CN)	Costo de la tecnología
Uso de filtros antipartículas	Retrofit de vehículos diésel carga liviana, carga pesada y autobuses, con modelo entre 1995 y año 2006 (Euro 3) con filtros antipartículas diésel. Se propone adaptación de un 15 % de las unidades para el 2025.	679.1	12.6	3 000 - 9 000 dólares por unidad
Inclusión de autobuses eléctricos	Incorporar dentro de la flota vehicular del país buses eléctricos para transporte público. Se plantea para 2025 que el 15 % de la flota sea eléctrica: se propone que el 65 % de los vehículos eléctricos sustituyan al vehículo Euro 5 y el 35 % restante corresponda al aumento del parque automotor Euro 6.	679.1	2.1	390 mil dólares por unidad
Uso de biodiésel	Utilización de mezcla de diésel con biodiésel a un 5 % de biodiésel, 95 % de diésel en vehículos de carga liviana, carga pesada y autobuses. Escenario 2025.	679.14	135.8	No se comercializa en el país y no está regulada su venta
Uso de combustibles bajos en azufre	Establecimiento de límite de concentración de diésel a 15 ppm. Escenario 2025.	679.14	45.0	No se comercializa en el país. Su precio podría rondar un 10 % más del valor actual
Uso de filtros antipartículas	Retrofit de vehículos diésel carga liviana, carga pesada y autobuses, con fabricación entre 1995 y año	715.5	62.9	3000-9000 dólares por unidad

		2006 (Euro 3) con filtros antipartículas diésel. Se propone adaptación de un 75 % de la flota para el 2030.			
Inclusión de autobuses eléctricos	de	Incorporar dentro de la flota vehicular del país buses eléctricos para transporte público. Se plantea para 2030 que el 50 % de la flota sea eléctrica; se propone que el 65 % de los vehículos eléctricos sustituyan a los vehículos Euro 6 y el 35 % restante corresponda al aumento del parque automotor.	715.5	2.3	390 mil dólares por unidad
Uso de biodiésel		Utilización de mezcla de diésel con biodiésel a un 5 % de biodiésel, 95 % de diésel en vehículos de carga liviana y carga pesada y autobuses. Escenario 2030.	715.5	143.1	No se comercializa en el país y no está regulada su venta
Uso de combustibles bajos en azufre	de	Establecimiento de límite de concentración de diésel a 15 ppm. Escenario 2030.	715.5	63.2	No se comercializa en el país. Su precio podría rondar un 10 % más del valor actual

A partir de la información anterior, se desprende que, en el caso de retrofit de vehículos Euro 3 con DAF, se podrían lograr reducciones de un 2 % y un 9 % para 2025 y 2030, respectivamente. Por su parte, la implementación de combustibles ultra bajos en azufre puede reducir emisiones entre un 7 y un 9 %; y la medida con mayor potencial de reducción, con alrededor de un 20 % para ambos escenarios, es la utilización de biodiésel. Por último, la mitigación de emisiones por sustitución de autobuses convencionales por eléctricos generaría una reducción de menos de un 1 % para ambos periodos, siendo la medida con menor impacto.

3.4 Evaluación de medidas de reducción

El siguiente paso consistió en identificar medidas de reducción para las principales fuentes de carbono negro. En el **Cuadro 8** se muestran estas medidas, tomando en cuenta dos escenarios de emisión a futuro y el puntaje obtenido en la evaluación.

Cuadro 8. Evaluación de medidas de reducción de carbono negro.

Medida	Potencial de reducción	Concordancia con políticas públicas	Costo de la tecnología	Aceptación social	Puntuación obtenida
Uso de filtros antipartículas 2025	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	10
Uso de filtros antipartículas 2030	Medio	Bajo	Alto	Bajo	12
Inclusión de autobuses eléctricos 2025	Bajo	Alto	Alto	Bajo	12
Inclusión de autobuses eléctricos 2030	Bajo	Alto	Alto	Alta	18
Uso de biodiésel 2025	Alto	Alto	Alto	Media	18
Uso de biodiésel 2030	Alto	Alto	Alto	Media	18
Uso de combustibles bajos en azufre 2025	Medio	Medio	Alto	Alta	18
Uso de combustibles bajos en azufre 2030	Medio	Medio	Alto	Alta	18

Los resultados muestran que las medidas de uso de combustibles bajos en azufre, uso de biodiésel e inclusión de buses eléctricos para el escenario 2030 son las más factibles para poner en práctica en el país; contrario a esto, la medida peor calificada es el uso de filtros DAF para el escenario 2025.

Además, se evidencia que las medidas relacionadas con la calidad y el tipo de combustibles cuentan con una mayor factibilidad de implementación, especialmente porque pueden ser aplicables a corto plazo, pues no necesitan ninguna modificación del vehículo, conllevan beneficios en el rendimiento del combustible, e incluso, en el caso del combustible bajo en azufre, implica mejoras en el funcionamiento y alargamiento de la vida útil del motor. Además de esto, son medidas que se han venido trabajado dentro del marco de las políticas públicas (como el Plan de Descarbonización del Sector Transporte Terrestre (2018) y el Decreto N° 36372-MINAET), en las que se evidencia el interés del mercado por la calidad del diésel.

En cuanto a la implementación de filtros, su baja puntuación se debe a la poca aceptación por parte de los entrevistados, principalmente por el costo de la tecnología y de su mantenimiento; por la inexistencia de precedentes en políticas públicas y, finalmente, por el bajo impacto en las reducciones de las emisiones de carbono negro para los sectores en estudio (menos del 10 %, incluso previendo la incorporación del 75 % de la flotilla). Estos resultados son respaldados por los obtenidos por Lau et al. (2015), quienes señalan que esta medida es poco eficiente para controlar las emisiones, debido a la falta de controles para asegurar un correcto mantenimiento de los filtros. Además, la Comisión Nacional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana (2007) reafirma que su costo puede superar los beneficios.

Por último, las medidas de reducción referentes a incorporar vehículos eléctricos son factibles a largo plazo, mas no a corto plazo, especialmente por el costo actual de las unidades de transporte

y porque, tomando en cuenta la situación actual del país y la baja en los precios del petróleo, la importación y sustitución de los autobuses no será tan rentable como se estimaba.

Por último, la presentación de los resultados de este estudio a personas de interés generó hallazgos muy similares a los obtenidos durante la etapa de evaluación de la aceptación social de las medidas. Por ejemplo, B. Rodríguez (comunicación personal, 4 de agosto de 2020), presidente de la Cámara de Autobuseros, señala que el factor determinante para incluir estas medidas es el costo y que solo mediante la inclusión como política pública serán efectivas en el país; en caso contrario, la transición sería muy lenta por el poco acceso de nuevas tecnologías. O. Buvvert (comunicación personal, 27 de julio de 2020), docente del Instituto Nacional de Aprendizaje y especialista en mecánica automotriz, comentó que uno de los principales retos para implementar medidas de mitigación es la concientización de las personas: se debe generar cultura para que los habitantes primero reconozcan su cuota de responsabilidad dentro de la problemática y luego puedan confiar en estas nuevas tecnologías y el valor agregado de utilizarlas.

4. Conclusiones

El carbono negro es un agente de calentamiento global que empieza a tener relevancia por las implicaciones a corto plazo que podría conllevar la reducción de sus emisiones en materia de cambio climático. En la presente investigación se evidencia la importancia de este contaminante, ya que su aporte es de entre un 4 % y un 13 % más para el sector transporte durante el 2016, en comparación con el inventario de GEI del año 2015.

Este estudio destaca que la mayor parte de las emisiones se producen por vehículos de carga y autobuses, principalmente aquellos con más de 25 años de antigüedad, por lo que es importante incentivar políticas públicas que no solo regulen la importación de vehículos sino también la remodelación de la flota vehicular existente.

A nivel internacional, ya se ha venido trabajando en medidas puntuales para la reducción de carbono negro, entre las cuales se destacan el uso de combustibles bajos en emisiones, vehículos eléctricos y mejoras tecnológicas en el sistema del motor para reducir las emisiones de escape. Los hallazgos de esta investigación señalan que, dado el contexto social, económico y político del país, las medidas que tienen una mayor factibilidad son las relacionadas con la utilización de combustibles con bajas emisiones, como el biodiésel y el diésel bajo en azufre, ya que alcanzan a toda la flota vehicular y los propietarios no necesitarían recurrir a modificaciones en sus vehículos. En contraposición, incorporar vehículos eléctricos y remodelar vehículos antiguos con sistemas de tratamiento en el escape son medidas poco rentables, por lo menos a corto plazo y, por ende, con una baja aceptación social.

Es necesario destacar que las emisiones estimadas durante este estudio podrían verse afectadas por las limitaciones en cuanto a la data existente en el país: a la fecha, no se tiene documentado el estándar de emisiones de cada vehículo ni el kilometraje; además, existen inconsistencias en cuanto al peso y cilindraje de un porcentaje importante de la flota y no se cuenta con estadísticas de las velocidades promedio en zonas rurales, urbanas y autopistas. Todas estas estimaciones aportan incertidumbre en las emisiones reportadas en este estudio.

5. Agradecimientos

Primeramente, debo agradecer a Dios y a la vida por permitirme culminar este proceso con éxito y por poner en mi camino a personas que me tendieron la mano de una u otra manera. En segundo lugar, quiero agradecer a mis padres, por su amor incondicional, por apoyarme en todo momento y porque han sido mi más grande ejemplo de superación. Por último, quiero agradecerles a Juan y a Kevin, por ser estar ahí siempre para mí.

6. Bibliografía

- Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). (s.f). *COPERT 5 Manual*. <https://copert.emisia.com/>
- Badii, M. H., Lugo, A. G. O., y Sánchez, H. J. (2015). Aspectos del Calentamiento Global The Aspects of Global Warming. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 10(2), 175–195.
- Blumberg, K., Walsh, C. y Pera, K. (2003). *Gasolina y diésel de bajo azufre: La clave para disminuir las emisiones vehiculares*. https://www.theicct.org/sites/default/files/Bajo_Azufre_ICCT_2003.pdf.
- Blumberg, K., Walsh, C., y Pera, K. (2003). *Gasolina y diésel de bajo azufre: La clave para disminuir las emisiones vehiculares*. https://theicct.org/sites/default/files/Bajo_Azufre_ICCT_2003.pdf
- Chow, J. C., Watson, J. G., Lowenthal, D. H., Antony Chen, L.-W., y Motallebi, N. (2011). PM2.5 source profiles for black and organic carbon emission inventories. *Atmospheric Environment*, 45(31), 5407-5414. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.07.011>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2012). *Análisis de la reducción del azufre en el combustible diésel en El Salvador, Guatemala y Nicaragua*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/26095-analisis-la-reduccion-azufre-combustible-diesel-salvador-guatemala-honduras>
- Cortés Duarte, M. C. (2016). *Eficiencia de remoción de material particulado usando filtros de partículas en vehículos diésel del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá DC* [Universidad Nacional de Colombia]. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57778>
- Costa, J. E. G. (2019). *Mass introduction of electric passenger vehicles in Brazil: Impact assessment on energy use, climate mitigation and on charging infrastructure needs for several case studies*. <https://run.unl.pt/handle/10362/83963>
- Cruz-Núñez, X. (2014). An approach to a black carbon emission inventory for Mexico by two methods. *Science of The Total Environment*, 479-480, 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.064>
- Fuglestvedt, J. S., Shine, K. P.; Berntsen, T., Cook, J., Lee, D. S., Stenke, A. y Waitz, I. A. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Metrics. *Atmospheric Environment*, 44(37), 4648–4677. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.044>

- Gallego, A., González, I., Sánchez, B., Fernández, P., Garcimuño, R., Bravo, J. C. y Senén, J. (2012). *Contaminación atmosférica*. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). <http://site.ebrary.com/lib/unacrsp/reader.action?docID=10646498&ppg=57>
- Gladstein, Neandross & Associates. (2014). *Dumping Dirty Diesels in Latin America: Reducing Black Carbon and Air Pollution from Diesel Engines in Latin American Countries*. 48. <https://www.nrdc.org/resources/dumping-dirty-diesels-latin-america>
- Gobierno de Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2015). *Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de Costa Rica*. <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Costa%20Rica%20First/INDC%20Costa%20Rica%20Version%202%200%20final%20ES.pdf>
- Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). (2007). *Gases de efecto invernadero - CIE WGI Resumen Técnico*. https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/tssts-2-1.html
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D. C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M. y Van Dorland, R. (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. En Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., y Miller, H. L. (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (129-234). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf
- Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: Mitigación del Cambio Climático: Resumen para responsables de políticas y resumen técnico*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume_es-1.pdf
- Hernández Carrillo, A. (2017). *Evaluación de la cinética de combustión del aceite, biodiésel y mezclas de Jatropa y sus emisiones de material particulado en motores de combustión interna* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. <http://bdigital.unal.edu.co/57711/1/52914738.2017.pdf>
- Kholod, N., Evans, M., Gusev, E., Yu, S., Malyshev, V., Tretyakova, S. y Barinov, A. (2016). A methodology for calculating transport emissions in cities with limited traffic data: Case study of diesel particulates and black carbon emissions in Murmansk. *Science of The Total Environment*, 547, 305-313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.151>
- Lau, C. F., Rakowska, A., Townsend, T., Brimblecombe, P., Chan, T. L., Yam, Y. S., Močnik, G., y Ning, Z. (2015). Evaluation of diesel fleet emissions and control policies from plume chasing measurements of on-road vehicles. *Atmospheric Environment*, 122, 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.048>
- Magara-Gomez, K. T. (2011). Impact of fossil fuel alternatives on internal combustion engine emissions [Tesis doctoral, University of Wisconsin-Madison]. <https://search.proquest.com/openview/26bd37aebc33d54b24eb8d3096cef879/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>

- Marcillo, J. J. C. (2016). Simulation of Fuel Consumption and Emissions of the Public Transportation Fleet in Ambato (Ecuador) With Copert 4. [Tesis de máster, Universidad de Valladolid]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32397.54247>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2019). *Plan nacional de transporte eléctrico 2018-2030*. MINAE DGM, SEPSE. <https://sepse.go.cr/documentos/PlanTranspElect.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- Ortúzar, F. y Tornel, C. (2016). *Controlando los contaminantes climáticos de vida corta: una oportunidad para mejorar la calidad del aire y mitigar el cambio climático: el caso de Brasil, Chile y México*. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA) e Instituto de Energía e Meio Ambiente (IEMA).
- Paz Araya, J. (2009). *Efecto de la utilización de biodiésel sobre las emisiones de vehículos pesados* [Tesis de grado, Universidad de Chile]. http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103518/araya_p.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y Organización Meteorológica Mundial (WMO). (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers*. UNON.
- Programa Estado de la Nación. (2016). *Vigésimo segundo informe: Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible* (22.^a ed.). San José, Costa Rica: PEN. http://www.estadonacion.or.cr/estado/Publicaciones/Estado_Nacion/22/index.html
- Restrepo, P. (2018). *Metodología para la implementación de buses eléctricos con baterías de litio-titanato en la ruta circular sur 302 de Medellín Colombia* [Tesis de máster, Universidad Pontificia Bolivariana]. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4378/Metodolog%C3%ADa%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20buses%20el%C3%A9ctricos%20con%20bater%C3%ADas%20litio-titanato%20en%20la%20ruta.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rojas, N. Y. (2004). Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diésel y biodiesel. *Revista de Ingeniería*, (20), 58-68.
- Sánchez Hernández, L. (2018). *Estado de la Nación: Diagnóstico sobre la situación del transporte y la movilidad en Costa Rica*. Defensoría de los Habitantes; Consejo Nacional de Rectores.
- Sims, R., Gorsevski, V. y Anenberg S. (2015). *Black Carbon Mitigation and the Role of the Global Environment Facility: A STAP Advisory Document*. Global Environment Facility.
- Stevens, G.; Wilson, A. y Hammitt, J. K. (2005). A Benefit-Cost Analysis of Retrofitting Diesel Vehicles with Particulate Filters in the Mexico City Metropolitan Area. *Risk Analysis*, 25(4), 883-899. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2005.00650.x>

UN Environment Programme. (2020). *Black Carbon*. Climate & Clean Air Coalition.
<https://www.ccacoalition.org/en/sleps/black-carbon>

Valdepeñas-García Moreno. (2018). *Caracterización de hollín implicaciones en la reactividad en DPF* [Doctoral, Universidad de Castilla de la Mancha].
<https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/18559>

7. Anexos

Anexo 1. Detalle de la clasificación de la flotilla vehicular utilizada para la modelación en el Copert 5.2

Categoría	Combustible	Subcategoría	Euro Estándar	Flotilla [n]
Passenger Cars	Petrol	< 0.8 cm ³	Euro 4	637.0
Passenger Cars	Petrol	< 0.8 cm ³	Euro 5	13.0
Passenger Cars	Petrol	< 0.8 cm ³	Euro 6 up to 2016	7.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	PRE ECE	180.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	ECE 15/00-01	627.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	ECE 15/02	738.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	ECE 15/03	2,180.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	ECE 15/04	20,472.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	Euro 1	9,380.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	Euro 2	4,936.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	Euro 3	11,705.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	Euro 4	13,944.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	Euro 5	13,133.0
Passenger Cars	Petrol	0.8-1.4 cm ³	Euro 6	13,836.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	2020+	
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	PRE ECE	2,449.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	ECE 15/00-01	2,388.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	ECE 15/02	2,162.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	ECE 15/03	5,247.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	ECE 15/04	77,735.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	Euro 1	120,642.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	Euro 2	69,524.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	Euro 3	70,011.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	Euro 4	47,447.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	Euro 5	38,925.0
Passenger Cars	Petrol	1.4–2.0 cm ³	Euro 6 up to 2016	33,963.0
Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	PRE ECE	605.0
Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	ECE 15/00-01	638.0

Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	ECE 15/02	415.0
Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	ECE 15/03	1,170.0
Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	ECE 15/04	24,244.0
Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	Euro 1	19,272.0
Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	Euro 2	40,160.0
Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	Euro 3	61,909.0
Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	Euro 4	31,764.0
Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	Euro 5	30,355.0
Passenger Cars	Petrol	> 2.0 cm ³	Euro 6 up to 2016	23,756.0
Passenger Cars	Diesel	< 0.8 cm ³	Euro 4	14.0
Passenger Cars	Diesel	0.8-1.4 cm ³	Conventional	47.0
Passenger Cars	Diesel	0.8-1.4 cm ³	Euro 1	9.0
Passenger Cars	Diesel	0.8-1.4 cm ³	Euro 2	7.0
Passenger Cars	Diesel	0.8-1.4 cm ³	Euro 3	16.0
Passenger Cars	Diesel	0.8-1.4 cm ³	Euro 4	387.0
Passenger Cars	Diesel	0.8-1.4 cm ³	Euro 5	52.0
Passenger Cars	Diesel	1.4–2.0 cm ³	Conventional	5,130.0
Passenger Cars	Diesel	1.4–2.0 cm ³	Euro 1	322.0
Passenger Cars	Diesel	1.4–2.0 cm ³	Euro 2	265.0
Passenger Cars	Diesel	1.4–2.0 cm ³	Euro 3	1,221.0
Passenger Cars	Diesel	1.4–2.0 cm ³	Euro 4	4,906.0
Passenger Cars	Diesel	1.4–2.0 cm ³	Euro 5	959.0
Passenger Cars	Diesel	1.4–2.0 cm ³	Euro 6 up to 2016	625.0
Passenger Cars	Diesel	> 2.0 cm ³	Conventional	9,014.0
Passenger Cars	Diesel	> 2.0 cm ³	Euro 1	6,102.0
Passenger Cars	Diesel	> 2.0 cm ³	Euro 2	5,490.0
Passenger Cars	Diesel	> 2.0 cm ³	Euro 3	10,888.0
Passenger Cars	Diesel	> 2.0 cm ³	Euro 4	19,698.0
Passenger Cars	Diesel	> 2.0 cm ³	Euro 5	10,593.0
Passenger Cars	Diesel	> 2.0 cm ³	Euro 6 up to 2016	7,375.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	<3.5 t	Conventional	16,198.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	<3.5 t	Euro 1	2,459.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	<3.5 t	Euro 2	604.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	<3.5 t	Euro 3	393.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	<3.5 t	Euro 4	871.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	<3.5 t	Euro 5	592.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	<3.5 t	Euro 6 up to 2016	339.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	3.5-12 t	Conventional	23,577.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	3.5-12 t	Euro 1	7,626.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	3.5-12 t	Euro 2	3,404.0

Light Commercial Vehicles	Petrol	3.5-12 t	Euro 3	4,618.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	3.5-12 t	Euro 4	1,457.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	3.5-12 t	Euro 5	741.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	3.5-12 t	Euro 6 up to 2017	418.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	>12 t	Conventional	3,483.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	>12 t	Euro 1	873.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	>12 t	Euro 2	972.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	>12 t	Euro 3	1,249.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	>12 t	Euro 4	924.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	>12 t	Euro 5	1,389.0
Light Commercial Vehicles	Petrol	>12 t	Euro 6 up to 2017	307.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	<3.5 t	Conventional	3,355.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	<3.5 t	Euro 1	467.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	<3.5 t	Euro 2	192.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	<3.5 t	Euro 3	236.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	<3.5 t	Euro 4	661.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	<3.5 t	Euro 5	193.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	<3.5 t	Euro 6 up to 2016	7.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	3.5-12 t	Conventional	9,666.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	3.5-12 t	Euro 1	3,634.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	3.5-12 t	Euro 2	2,908.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	3.5-12 t	Euro 3	7,542.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	3.5-12 t	Euro 4	10,988.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	3.5-12 t	Euro 5	11,694.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	3.5-12 t	Euro 6 up to 2017	8,988.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	>12 t	Conventional	8,950.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	>12 t	Euro 1	2,985.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	>12 t	Euro 2	3,333.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	>12 t	Euro 3	4,746.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	>12 t	Euro 4	12,091.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	>12 t	Euro 5	8,654.0
Light Commercial Vehicles	Diesel	>12 t	Euro 6 up to 2017	2,174.0
Heavy Duty Trucks	Petrol	>3,5 t	Conventional	688.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Conventional	2,973.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro I	2,757.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro II	3,228.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro III	5,187.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	1,995.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro V	4,313.0

Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro VI	2,650.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Conventional	1,735.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro I	842.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro II	675.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro III	894.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	243.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro V	539.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro VI	635.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Conventional	1,250.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro I	386.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro II	315.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro III	244.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro IV	66.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro V	66.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro VI	26.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Conventional	1,085.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro I	493.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro II	636.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro III	653.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro IV	215.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro V	279.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro VI	231.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Conventional	2,478.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro I	718.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro II	579.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro III	406.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro IV	138.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro V	187.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro VI	93.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Conventional	86.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro I	64.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro II	75.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro III	61.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro IV	18.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro V	78.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro VI	64.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Conventional	58.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro I	40.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro II	34.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro III	30.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro IV	10.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro V	45.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro VI	82.0

Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Conventional	9.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro I	8.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro II	6.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro III	3.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro VI	1.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Conventional	39.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Euro I	65.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Euro II	40.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Euro III	44.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Euro IV	32.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Euro V	8.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Euro VI	5.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 34 - 40 t	Conventional	2,301.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 34 - 40 t	Euro I	2,408.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 34 - 40 t	Euro II	4,217.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 34 - 40 t	Euro III	2,754.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 34 - 40 t	Euro IV	753.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 34 - 40 t	Euro V	228.0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 34 - 40 t	Euro VI	159.0
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Conventional	1,266.0
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro I	4,953.6
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro II	8,320.6
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro III	9,756.0
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro IV	3,229.3
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro V	4,559.5
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro VI	3,514.0
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro I	215.4
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro II	298.8
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro III	331.8
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro IV	365.1
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro V	764.6
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro VI	374.6
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro II	108.6
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro III	49.2
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro IV	22.6
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro V	24.9
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro VI	179.4
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm ³	Conventional	16.0
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm ³	Euro 1	6.0
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm ³	Euro 2	55.0
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm ³	Euro 3	77.0
L-Category	Petrol	Mopeds 4-stroke <50 cm ³	Conventional	10.0
L-Category	Petrol	Mopeds 4-stroke <50 cm ³	Euro 1	6.0

L-Category	Petrol	Mopeds 4-stroke <50 cm ³	Euro 2	10.0
L-Category	Petrol	Mopeds 4-stroke <50 cm ³	Euro 3	63.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 2-stroke >50 cm ³	Conventional	8,635.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 2-stroke >50 cm ³	Euro 1	1,415.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 2-stroke >50 cm ³	Euro 2	2,119.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 2-stroke >50 cm ³	Euro 3	3,422.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 2-stroke >50 cm ³	Euro 4	9.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Conventional	7,062.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 1	2,920.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 2	12,152.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 3	212,573.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 4	15,123.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Conventional	3,727.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 1	1,765.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 2	1,507.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 3	21,454.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 4	1,821.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Conventional	1,639.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 1	916.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 2	698.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 3	3,050.0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 4	64.0
L-Category	Petrol	Quad & ATVs	Euro 1	1,279.0
L-Category	Petrol	Quad & ATVs	Euro 2	1,891.0
L-Category	Petrol	Quad & ATVs	Euro 3	6,367.0

