



Análisis de los resultados de emisiones vehiculares reportados por los Centros de Diagnóstico Automotor – CDA que operan en la jurisdicción CORNARE

Diana Carolina Gómez Montes

Informe de semestre de industria como requisito para optar al título de ingeniera ambiental.

Asesora

María Lizeth Marín Marín, Profesional en Administración en Salud: énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Ingeniería Ambiental
Medellín
2022

Cita	(Gómez Montes, 2022)
Referencia	Gómez Montes, D. C. (2022). <i>Análisis de los resultados de emisiones vehiculares reportados por los Centros de Diagnóstico Automotor – CDA que operan en la jurisdicción CORNARE</i> [Semestre de industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
Estilo APA 7 (2020)	



Créditos a la Corporación CORNARE, a María Lizeth Marín (asesora interna), a Luis Dairon Acosta y a todo el grupo de Recurso Aire de la Corporación CORNARE, al profesor David Aguiar y a todas las personas que aportaron en mi proceso de formación.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Jhon Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
1. Objetivos	10
1.1 Objetivo general	10
1.2 Objetivos específicos	10
2. Marco teórico	11
2.1. Fuentes móviles de emisiones atmosféricas:	11
2.2. Aporte de emisiones de fuentes móviles en Jurisdicción CORNARE	15
3. Metodología	17
3.1. Recolección de datos	17
3.2. Consolidación de la información	17
3.3. Caracterización	17
4. Resultados	19
4.1. Fuente móvil: Motocicletas	21
4.2. Fuente móvil: Motocarro	25
4.3. Fuente móvil: Vehículos ciclo otto	28
4.4. Fuente móvil: Vehículos accionados con diésel	32
5. Conclusiones	37
Referencias	40
Anexos	43

Lista de tablas

Tabla 1 Límites máximos de emisión permisibles para vehículos accionados con gasolina y vehículos convertidos a gas natural vehicular o GLP, en velocidad de crucero y en condición de marcha mínima, ralentí o prueba estática, a temperatura normal de operación	13
Tabla 2 Límites máximos de emisión permisibles para motocicletas, motociclos o mototriciclo accionados con gasolina, en velocidad de crucero y en condición de marcha mínima o ralentí, a temperatura normal de operación	14
Tabla 3 Límites máximos de opacidad permisibles para vehículos accionados con diésel (ACPM) durante su funcionamiento en condición de aceleración libre y a temperatura normal de operación	15
Tabla 4 Revisiones anuales realizadas por los CDA´s de la jurisdicción CORNARE durante el periodo 2020-2022	20
Tabla 5 Rechazos anuales por fuente móvil	21
Tabla 6 Incumplimiento anual de emisiones de acuerdo al año modelo de la motocicleta	24
Tabla 7 Incumplimiento anual de emisiones de acuerdo al año modelo del motocarro	27
Tabla 8 Incumplimiento anual de emisiones de acuerdo al año modelo de vehículo ciclo otto (Ralentí)	31
Tabla 9 Incumplimiento anual de emisiones de acuerdo al año modelo de vehículo ciclo otto (Crucero)	32
Tabla 10 Incumplimiento anual por opacidad y temperatura	35

Lista de figuras

Figura 1 Emisión de contaminantes por categoría vehicular (t/año), día laboral promedio en la jurisdicción CORNARE.	16
Figura 2 Distribución porcentual de las motocicletas de acuerdo al tipo de motor	21
Figura 3 Distribución porcentual de las motocicletas de acuerdo al año modelo	22
Figura 4 Distribución porcentual de las motocicletas de acuerdo a la marca	22
Figura 5 Distribución porcentual de las motocicletas de acuerdo a la emisión	23
Figura 6 Distribución porcentual de los motocarros de acuerdo al servicio	25
Figura 7 Distribución porcentual de los motocarros de acuerdo al año modelo	25
Figura 8 Distribución porcentual de los motocarros de acuerdo a la marca	25
Figura 9 Distribución porcentual de los motocarros de acuerdo a la emisión	26
Figura 10 Distribución porcentual de los vehículos ciclo otto de acuerdo al tipo de combustible	28
Figura 11 Distribución porcentual de los vehículos ciclo otto de acuerdo al tipo de servicio	28
Figura 12 Distribución porcentual de los vehículos ciclo otto de acuerdo año modelo	29
Figura 13 Distribución porcentual de los vehículos ciclo otto de acuerdo a la marca	29
Figura 14 Distribución porcentual de los vehículos ciclo otto de acuerdo a la emisión	30
Figura 15 Distribución porcentual de los vehículos ciclo diésel de acuerdo al servicio	32
Figura 16 Distribución porcentual de los vehículos ciclo diésel de acuerdo al año modelo	33
Figura 17 Distribución porcentual de los vehículos ciclo diésel de acuerdo a la marca	34
Figura 18 Cumplimiento de temperatura y opacidad	35

Resumen

La contaminación atmosférica es un problema mundial, debido al incremento desmedido de los gases de efecto invernadero (GEI). De acuerdo con los principales inventarios de emisión de contaminantes al aire de Colombia, el material particulado MP, los óxidos de azufre SO_x, los óxidos de nitrógeno NO_x, el monóxido de carbono CO y el dióxido de carbono CO₂, son los contaminantes que se generan en mayor cantidad. En razón de lo expuesto, es importante que se dé cumplimiento a las diferentes normativas ambientales vigentes y se continúe fortaleciendo el control y seguimiento con el objeto de reducir los niveles de emisiones atmosféricas.

En el presente trabajo se realizó un análisis de la información relacionada con los resultados de las revisiones de emisiones de gases vehiculares de los Centros de Diagnóstico Automotor - CDA que operan en la jurisdicción CORNARE de acuerdo con los datos reportados en el período 2020-2022. Se llevó a cabo una caracterización de la información, lo cual logró identificar para el periodo de análisis, que el monóxido de carbono es la emisión de mayor incumplimiento por parte de los automotores accionados a gasolina o gas, y que los años modelo más recurrentes asociados a mayores emisiones son los anteriores a 1985. Adicionalmente, se vio reflejada una disminución del número de rechazos de las revisiones, no obstante, es importante resaltar que la cantidad de fuentes móviles en el territorio han aumentado significativamente, lo cual requiere de una mayor rigurosidad en su control y seguimiento.

Palabras clave: gases de efecto invernadero, fuentes móviles, contaminantes, emisiones atmosféricas, Centros de Diagnóstico Automotor, CORNARE.

Abstract

Atmospheric pollution is a global problem, due to the excessive increase of greenhouse gases (GHG). According to the main air pollutant emission inventories in Colombia, particulate matter PM, sulfur oxides SO_x, nitrogen oxides NO_x, carbon monoxide CO and carbon dioxide CO₂, are the pollutants that are generated in greater quantities. In view of the above, it is important to comply with the different environmental regulations in force and to continue strengthening research, citizen participation, education, as well as control and follow-up in order to reduce atmospheric pollution levels.

In the present work, an analysis of the information related to the results of the vehicle gas emission reviews of the Automotive Diagnostic Centers - CDA operating in the CORNARE jurisdiction was carried out according to the data reported in the period 2020-2022. A graphic characterization of the information was carried out, which managed to identify it for the period of analysis, with which it was possible to identify for the period of analysis that carbon monoxide is the most non-compliant emission from gasoline or gas vehicles, and that the most recurrent model years associated with higher emissions are those prior to 1985. In Addition, it was relected a decrease in the number of review rejections, however, it is important to highlight that the number of mobile sources in the territory has increased significantly, which requires more rigorous control and monitoring.

Keywords: greenhouse gases, mobile sources, pollutants, atmospheric emissions, automotive diagnostic centers, CORNARE.

Introducción

Durante los últimos años los centros urbanos están experimentando un rápido crecimiento demográfico que trae consigo un aumento en las actividades industriales, incrementos en las tasas de motorización y aumentos en el consumo de recursos naturales ocasionando deterioro en la calidad del aire (González Duque, 2017).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año en el mundo la exposición a la contaminación del aire causa 7 millones de muertes y provoca la pérdida de millones de años de vida saludable (OPS, 2021). En Colombia las emisiones de GEI representan el 0,4% de las emisiones globales (República de Colombia, 2017), no obstante, la contaminación atmosférica del país genera una gran preocupación, debido a que el aire contaminado además de generar impactos en la salud y en el ambiente, es el mayor generador de costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales (MinAmbiente, 2021).

El documento CONPES 3943 “Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire”, aprobado en 2018, señala que los vehículos son la fuente principal de generación de contaminantes del aire siendo responsables de la emisión del 78% de las partículas menores a 2.5 micras $PM_{2.5}$ (Colombia. Departamento Nacional de Planeación, 2018). Los vehículos a gasolina y diésel, son uno de los principales emisores de combustibles fósiles quemados, siendo las principales emisiones: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrocarburos no combustionados (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x) (León et al., 2020). En el país, según las cifras más recientes del Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), hay más de 17 millones de vehículos, de los cuales más de 14 millones deben hacer la Revisión Técnico-Mecánica y Emisiones Contaminantes (RTMyEC), pero el 57% no tiene certificado vigente. La mayor participación en la evasión de RTMyEC se presenta por parte de las motocicletas con un 78%, seguido por los automóviles y otras clases, con el 12% y 10%, respectivamente (RUNT, 2022).

La jurisdicción de CORNARE, está ubicada en el departamento de Antioquia y conformada por veintitrés municipios en la zona Oriente, dos municipios de la zona del Nordeste y un municipio de la zona del Magdalena Medio, con un área correspondiente al 13% de Antioquia y el 0.7% de Colombia, distribuida en cinco subregiones (CORNARE, 2019) agrupadas a partir de dinámicas y características homogéneas de carácter socioeconómico, cultural y físico-naturales; estas son: Valle

de San Nicolás o altiplano, Bosques, Aguas, Porce-Nus y Páramo (Echeverri et al., 2017). Estas subregiones han venido experimentando un acelerado crecimiento urbano, lo cual ha conllevado incremento en la actividad industrial, ampliación de la infraestructura vial y aumento en la cantidad de vehículos que transitan por la zona, esto ha derivado en deterioro en la calidad ambiental de la región. (Echeverri et al., 2017).

Por lo anterior, es fundamental que se sigan fortaleciendo las funciones de las autoridades ambientales y de movilidad, específicamente en lo relacionado con la prevención, control y seguimiento de las emisiones generadas por las fuentes móviles que transitan en el territorio. Con el fin de apoyar la función misional de CORNARE en cuanto al control y seguimiento de las emisiones generadas por el parque automotor que transita en su jurisdicción; este estudio pretende hacer un análisis de la variación de los resultados de las revisiones de emisiones de gases vehiculares, realizadas por los CDA que operan en la jurisdicción CORNARE en el cumplimiento normativo ambiental evaluado durante los últimos tres años (2020 - 2022), como base para facilitar la toma de decisiones pertinentes en un nivel de rigurosidad que favorezca la gestión ambiental en materia de calidad del aire.

Para lograr esto, los datos se compilaron en una única base de datos por cada una de las tipologías de automotor (motos, motocarro, vehículos a gasolina y a gas, vehículos diésel) para posteriormente, realizar una caracterización de acuerdo a algunas particularidades que poseen (marca, año modelo, entre otras) y relacionar la influencia que tienen en el cumplimiento normativo en materia de emisiones atmosféricas. Las bases datos generadas permiten ser actualizadas, por tanto, pueden continuar siendo utilizadas para posteriores análisis.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Analizar la influencia de las características del parque automotor en los resultados de las pruebas de emisiones contaminantes realizadas por Centros de Diagnóstico Automotor – CDA que operan en la jurisdicción CORNARE durante el periodo 2020 – 2022.

1.2 Objetivos específicos

- Consolidar la información de los resultados de las revisiones de emisiones contaminantes vehiculares realizada por los CDA en la región, en una única base de datos.
- Analizar la información compilada, de acuerdo con diferentes características que poseen los automotores evaluados por los CDA.
- Elaborar una base de datos que detalle las características de las fuentes móviles y su relación con el cumplimiento normativo ambiental.

2. Marco teórico

Contexto sobre la contaminación atmosférica en Colombia

Durante los últimos años se ha incrementado la preocupación por las consecuencias que acarrearán los problemas de contaminación atmosférica. En Colombia, el monitoreo y control de la contaminación atmosférica cada vez toma mayor relevancia, debido a las preocupantes estimaciones sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud (UNAL, 2018).

De acuerdo a la actualización de un estudio realizado por el DNP en el año 2015, en el cual se presentan los costos asociados a las muertes y enfermedades generadas por el deterioro del medio ambiente en Colombia, la contaminación del aire urbano generó un total de 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades, ocasionando un gasto de \$15,4 millones de pesos, equivalentes a 1,93% del PIB de 2015 (DNP, 2017). De otro lado, los inventarios de emisiones realizados para los principales centros urbanos del país han demostrado que existe un gran aporte de emisiones por parte de fuentes móviles, lo cual se ha traducido en una de las grandes problemáticas que deben enfrentar estas zonas poblacionales (SIAC, 2020) y según cifras del RUNT en 2019, el 25% del parque automotor nacional superaba los 16 años de antigüedad, factor que está relacionado con una mayor generación de emisiones (RUNT, 2021).

A continuación, se presentan algunos conceptos y bases teóricas importantes, que facilitan el entendimiento del presente trabajo:

2.1. Fuentes móviles de emisiones atmosféricas:

El aire es contaminado cuando se introducen sustancias distintas a las que lo componen naturalmente o cuando se modifican las cantidades de sus componentes. Las emisiones por fuentes móviles se producen principalmente por la quema de combustibles fósiles y la proporción en que se emiten estos contaminantes depende de factores como el tipo de motor, la calidad del combustible usado y el estado de mantenimiento del vehículo (AMVA, 2019).

Un proceso de combustión consiste en una reacción de oxidación producida por la interacción de dos elementos: el combustible, que puede ser un sólido (Carbón, Madera, etc.), un líquido (Gasóleo, Fuel-Oil, etc.) o un gas (Natural, Propano, etc.) y el comburente (generalmente

oxígeno), que produce un desprendimiento de calor. (García San José, R. 2001). Dicha reacción química no siempre es homogénea debido a que en muchos casos puede darse con exceso o déficit del aire admitido. De acuerdo a esto, existen los siguientes tipos de combustión (Amell et al. 1997).

- **Combustión estequiométrica:** se produce una oxidación completa de todos los componentes del combustible con la cantidad exacta de comburente y los productos no contienen oxígeno libre.
- **Combustión completa:** conduce a la oxidación total de todos los elementos que constituyen al combustible sin necesidad de reaccionar con la cantidad de comburente exacta. Esta combustión también puede darse con exceso de aire, es decir, la cantidad empleada de aire es mayor a la teórica para producir una combustión lo más completa posible, en el cual el exceso no toma parte en la reacción y se encuentra como producto.
Combustión incompleta: se presenta cuando parte del combustible no reacciona completamente porque el oxígeno no es suficiente, formando productos además de CO₂ y vapor de agua, CO, SO₂, NO_x e hidrogeno.

Cuando es utilizada la gasolina como combustible, se produce CO₂, agua, y NO_x, a su vez, algunos compuestos tóxicos que se encuentran en la gasolina, se emiten al aire cuando esta se evapora. El benceno, por ejemplo, es producido durante una combustión incompleta, y al igual que este, el tolueno y el xileno también se concentran cuando la gasolina es de alto octanaje. Por otro lado, el formaldehído, el acetaldehído, el material particulado del combustible para motores diésel y el 1,3-butadieno no están presentes en el combustible, pero pueden ser subproductos de la combustión incompleta. Cuando es utilizado como combustible el diésel, se produce CO₂, agua, NO_x, SO₂ y material particulado (Escobar & Castro, 2006; Herrera, J et. al, 2012), no obstante, las emisiones comprenden más de 400 partículas diferentes, vapores y materiales orgánicos, de los cuales varios han sido considerados tóxicos. Algunos de estos contaminantes son el CO, SO₂, compuestos de cianuro, acetaldehído, benceno, formaldehído, plomo inorgánico, compuestos de manganeso, compuestos de mercurio, metanol, fenol y arsénico (University of California, 2003).

En Colombia, el decreto 1076 de 2015 “*Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*”, establece que la quema de combustibles fósiles utilizados por el parque

automotor es una actividad contaminante sujeta a prioritaria atención y control por parte de las Autoridades Ambientales, las cuales son competentes dentro de su jurisdicción para realizar la observación y seguimiento constante, medición, evaluación y control de los fenómenos de contaminación del aire y definir los programas regionales de prevención y control, e imponer las medidas preventivas y sanciones que correspondan por la comisión de infracciones a las normas sobre emisión y contaminación atmosférica (Colombia. MinAmbiente, 2015).

Este decreto dispone como funciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establecer los estándares permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles, así como la de determinar los mecanismos de evaluación de emisiones de vehículos automotores (Colombia. MinAmbiente, 2015). El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el fin de dar cumplimiento y desarrollar las funciones asignadas, dispone la *Resolución 910 del 5 de junio de 2008*. La normativa específica los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes que deben cumplir las fuentes móviles terrestres, exceptuando las locomotoras, equipos fuera de carretera para combate o defensa, equipos o maquinaria para obras civiles, equipos internos para manejo de carga en la industria y terminales, equipos para minería, equipos agrícolas y en general los equipos establecidos como maquinaria o vehículos NONROAD, los vehículos dedicados a gas natural o GLP y las declaradas por la autoridad de tránsito como vehículos antiguos o clásicos. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008). En las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los límites permisibles establecidos por la resolución citada:

Tabla 1

Límites máximos de emisión permisibles para vehículos accionados con gasolina y vehículos convertidos a gas natural vehicular o GLP, en velocidad de cruceo y en condición de marcha mínima, ralentí o prueba estática, a temperatura normal de operación.

Año modelo	CO (%)	HC (ppm)
1970 y anterior	5,0	800
1971 – 1984	4,0	650
1985 – 1997	3,0	400
1998 y posterior	1,0	200

Fuente: Capítulo II, Artículo 5 y 6, tabla 1 y 2 de la Resolución 910/2008.

Para los vehículos a gasolina, cuando la concentración de O₂ exceda el 5% o la concentración de CO₂ sea inferior al 7%, se entenderá que existe dilución de la muestra y el vehículo automotor deberá ser rechazado. (Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2008).

Tabla 2

Límites máximos de emisión permisibles para motocicletas, motociclos o mototriciclo accionados con gasolina, en velocidad de crucero y en condición de marcha mínima o ralentí, a temperatura normal de operación.

Tipo	Año modelo	CO (%)	HC (%)
2T	2009 y anterior	4,5	10.000
	2010 y posterior	4,5	2.000
4T	Todos	4,5	2.000

Fuente: Capítulo II, Artículo 7, tabla 3 y 4 de la Resolución 910/2008.

Los límites máximos de emisión permisibles descritos, son establecidos para un valor de exceso de oxígeno máximo de 11% y 6% para motocicletas, motociclos y mototriciclos de dos (2) y cuatro (4) tiempos respectivamente. Los valores obtenidos con concentraciones de oxígeno superiores deberán ser corregidos (Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2008).

Las motocicletas, motociclos y mototriciclos de dos (2) tiempos año modelo 2010 y posteriores, deberán comparar los límites máximos de emisión permisibles para un valor de exceso de oxígeno máximo de 6%. (Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2008).

Tabla 3

Límites máximos de opacidad permisibles para vehículos accionados con diésel (ACPM) durante su funcionamiento en condición de aceleración libre y a temperatura normal de operación.

Año modelo	Opacidad (%)
1970 y anterior	50
1971 – 1984	45
1985 – 1997	40
1998 y posterior	35

Fuente: Capítulo II, Artículo 8, tabla 5 de la Resolución 910/2008.

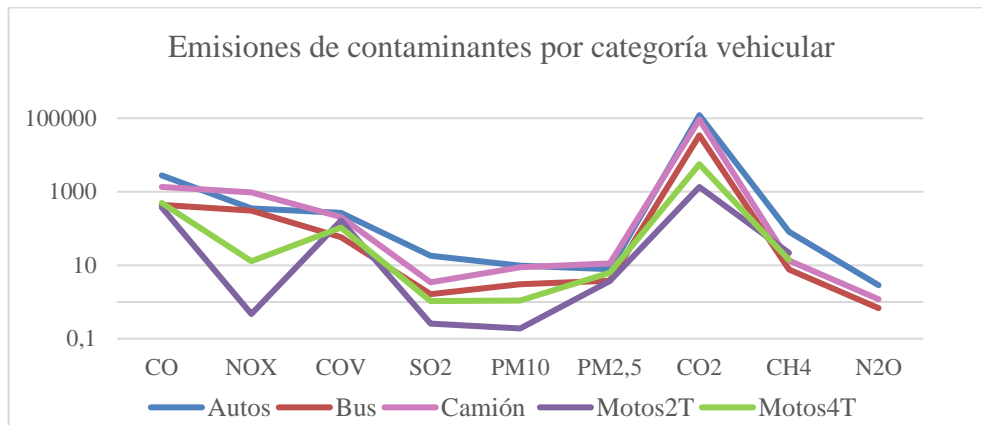
A partir de los vehículos año modelo 2010, la emisión máxima permisible debe ser equivalente al 80% del valor establecido para los vehículos con año modelo 1998 y posterior. (Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2008).

2.2. Aporte de emisiones de fuentes móviles en Jurisdicción CORNARE

Según los resultados de un estudio de dispersión de contaminantes atmosféricos realizado en el año 2015 en un convenio entre CORNARE y la Universidad Pontificia Bolivariana, las fuentes móviles que circulan por las principales vías de acceso al Valle de San Nicolás generaron durante el año 2015, 5457.9 t de CO, 1640.2 t de NO_x, 24.5 t de SO₂, 798.9 t de COV y 32.7 t de PM_{2.5}, para un escenario que contempló el flujo vehicular completo para un día laboral promedio. Los autos evaluados en estudio incluyeron taxis y el PM₁₀ reportado correspondió a las emisiones por desgaste de frenos y neumáticos. El proceso investigativo seleccionó diferentes puntos importantes en la región donde se enfoca el crecimiento industrial y se registra el mayor aumento de tráfico vehicular, en el cual evidenciaron que en el sector Belén ubicado en Rionegro, los resultados asociados a la dispersión de los contaminantes NO₂, SO₂ y PM_{2.5}, los valores más altos de concentraciones (UPB & CORNARE, 2015). En la Figura 1 se presentan los resultados totales de las emisiones estimadas en el estudio generadas por las fuentes móviles:

Figura 1

Emisión de contaminantes por categoría vehicular (t/año), día laboral promedio en la jurisdicción CORNARE.



Fuente: (UPB & CORNARE, 2015).

3. Metodología

Este proyecto se realizó a partir de la información generada de las evaluaciones de emisiones de gases, realizadas por los CDA que operan en la jurisdicción CORNARE desde el año 2020 hasta el primer semestre 2022, con el fin de analizar la variación de los resultados de dichas evaluaciones, de acuerdo a diferentes características que poseen los vehículos automotores y su relación con el cumplimiento de los niveles de emisión.

3.1. Recolección de datos

Se recolectaron datos de las evaluaciones reportados mensualmente ante la Corporación por los CDA de la región, los cuales varían de acuerdo a la clasificación de estos. Los CDA están clasificados de acuerdo a las líneas de revisión técnico-mecánica que posean, de la siguiente manera: Clase A: solo para motos, Clase B: solo para livianos, Clase C: solo para vehículos pesados, Clase D: para livianos, pesados y/o líneas mixtas.

3.2. Consolidación de la información

Para la consolidación de los datos se realizaron los siguientes pasos, mediante funciones estadísticas de la herramienta Excel:

- Depuración y selección de los datos recolectados.
- Se relacionaron los datos de acuerdo al tipo de operación (vehículos accionados con gasolina y convertidos a gas natural vehicular o GLP, motos, motocicletos o mototriciclo accionados con gasolina y vehículos accionados con diésel (ACPM)) del vehículo automotor, los cuales están determinados por la normatividad ambiental.
- Estimación de cumplimiento de las mediciones de gases vehiculares de acuerdo a los límites máximos de emisión establecidos en la normatividad.

3.3. Caracterización

La caracterización se realizó mediante la herramienta Excel, con la ayuda de tablas y gráficos dinámicos. Se construyó una base de datos para cada una de las diferentes tipologías de fuentes móviles, de acuerdo con el formato para su reporte, y se plasmó mediante gráficos dinámicos información de interés contenida en estos, tales como: el tipo de combustible, año de producción de éste, marca que fabricó el vehículo, entre otras. Así mismo, se graficaron los datos correspondientes a la emisión de cada uno de los gases y de la opacidad, y se ilustró la participación de los CDA's. Dicha caracterización se realizó para una variación trimestral del período de tiempo a analizar (2020-2022).

Para evaluar el porcentaje de emisiones que mayor incumplimiento presentan de acuerdo a la caracterización, se tuvieron en cuenta los límites establecidos en la norma *Resolución 910 de 2008* y se requirió consultar las concentraciones máximas de CO₂ y O₂ que obedecen a la relación de aire- combustible considerada en una combustión interna.

De acuerdo a un informe realizado por Clean Air Instituto y el AMVA para el fortalecimiento del control a las fuentes móviles en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el CO₂ independiente de las condiciones de combustión y considerando la carencia de información acerca del combustible de Colombia, tiene como referencia los valores de 16,5% y 13,6% de dióxido de carbono máximos posibles que se pueden generar al utilizar gasolina o gas respectivamente (Clean Air Institute & AMVA, 2013). Por otro lado, teniendo en cuenta que el aire contiene un 20,95 % en volumen de O₂, la combustión de 1 mol de combustible, se encuentra en la proporción correcta de 14,7:1 para gasolina, 15,3 para gas licuado y 17,2 para gas natural (Clean Air Institute et al., 2013; Universidad Estatal de Milagro, 2018; Rocha et al., 2018). Dado lo anterior, se tomó un valor del 16% para el O₂ considerando un valor máximo para que un motor funcione correctamente.

4. Resultados

Se realizaron cuatro bases de datos de acuerdo a los formatos que contienen la información de los reportes, a los que se les adicionó información para la interpretación del cumplimiento de los límites máximos de emisiones. Las bases de datos son dinámicas, es decir que, permiten realizar variaciones de la información contenida en los gráficos, de acuerdo a la interpretación a la que se quiera llegar o fracción que se dese analizar (se pueden realizar variaciones de la escala de tiempo y en cada uno de los datos caracterizados). Para este análisis se realizaron diferentes variaciones de los datos, lo cual hace que la cantidad de los resultados graficados sean densos, por lo tanto, sólo se exponen los gráficos asociados a la totalidad de la información y correspondientes a todo el período de tiempo en consideración.

Las bases de datos quedaron clasificadas para: motocicletas, motocarros, vehículos accionados a gasolina o gas (ciclo otto) y vehículos diésel. Es importante mencionar que el formato de reporte de las evaluaciones del parque automotor entregado por los CDA´s, requiere que los datos sean distribuidos por las categorías a saber: motos 2T, motos 4T, vehículos livianos y vehículos pesados.

En la jurisdicción operan 23 CDA´s, no obstante, dos de ellos no se tuvieron en cuenta para este análisis debido a que entraron en operación en el 2022 y por ende no cuentan con información suficiente para el período de tiempo contemplado. Los CDA´s en operación se encuentran principalmente en el altiplano y están distribuidos de la siguiente manera: 6 en el municipio de Rionegro, 4 en La Ceja, 5 en Marinilla, 2 en Guarne, 2 en el Carmen de Viboral, 1 en Santuario, 1 en El Peñol perteneciente a la subregión Bosques, 1 en Sonsón en la subregión Páramo y 1 unidad móvil que operó en los municipios de San Rafael, San Carlos y San Luis los últimos tres años.

Por otro lado, la información asociada al año 2020 careció de los meses de abril y mayo, ya que para estas fechas el territorio se encontraba en pandemia y los CDA´s suspendieron sus actividades. Adicionalmente, 5 de los CDA´s considerados para este análisis empezaron a operar en el 2021.

Teniendo en cuenta que todos los CDA en operación realizan revisión de motocicletas, 5 realizan revisiones de motocarro, 11 realizan revisiones para vehículos ciclo otto y 11 revisiones de vehículos diésel, se tiene la siguiente información:

Tabla 4

Revisiones anuales realizadas por los CDA´s de la jurisdicción CORNARE durante el período 2020-2022

Fuente Móvil	Número de revisiones anuales			Total	%
	2020	2021	2022		
Motocicletas	69.047	80.241	35.169	184.457	53%
Motocarros	979	1021	458	2.458	1%
Vehículos a gasolina o gas	53.005	57.289	22.849	133.143	38%
Vehículos diésel	11.367	12.283	5.385	29.035	8%
Total				349.093	100%

En general, se puede observar en la Tabla 4, que para el año 2021 aumentó el número de revisiones técnico-mecánicas respecto al 2020, lo cual es congruente con el aumento de CDA´s en ese año. También, se evidencia que el mayor número de revisiones es correspondiente a las motocicletas.

Para una mejor interpretación del primer semestre de 2022, se hizo una comparación respecto a los datos del primer semestre de 2021, haciendo uso de la base de datos dinámica generada para esta tipología. Se pudo evidenciar que, en el primer semestre de 2022 para el caso de las motocicletas el porcentaje de evaluaciones disminuyó en un 3,64% con respecto al 2021, para los motocarros aumentó en un 40,9 %, las evaluaciones de vehículos ciclo otto aumentaron en un 1,96% y para los vehículos diésel aumentaron en un 11,14% (Anexo 1).

Las evaluaciones reportadas por los CDA, entregan los resultados de las emisiones y a su vez el concepto de aprobación o rechazo, el cual es determinado por el cumplimiento o no, de los límites máximos de emisión de la fuente móvil durante la prueba. La Tabla 5 ilustra el número de rechazos durante el período 2020-2022.

Tabla 5*Rechazos anuales por fuente móvil*

Fuente Móvil	Rechazos			%		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Motocicletas	11.318	12.592	4.744	16,39%	15,69%	13,49%
Motocarros	175	163	65	15,88%	15,96%	14,19%
Vehículos a gasolina o gas	7.756	7.803	2.196	14,63%	13,62%	9,61%
Vehículos diésel	280	238	46	2,46%	1,94%	0,85%

El mayor número de rechazos durante el 2020, correspondió a las motocicletas con un 16,39% de las evaluaciones totales de las mismas, contrario al 2021, en el que se evidencia mayor rechazo para los motocarros, en el primer semestre 2022 se continúa presentando un mayor número de rechazos para los motocarros, seguido de las motocicletas. En general, se observa que los vehículos diésel conservan un porcentaje inferior de rechazos respecto al resto de tipologías (Tabla 5).

4.1. Fuente móvil: Motocicletas

La caracterización de motocicletas se realizó de acuerdo al tipo de motor, diseño, año modelo y marca. Las figuras 2, 3 y 4 ilustran los porcentajes totales correspondientes a los últimos tres años.

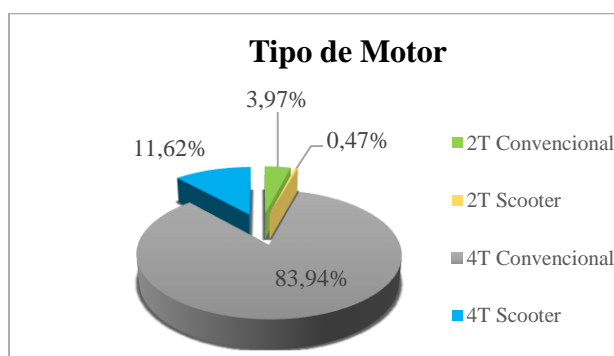
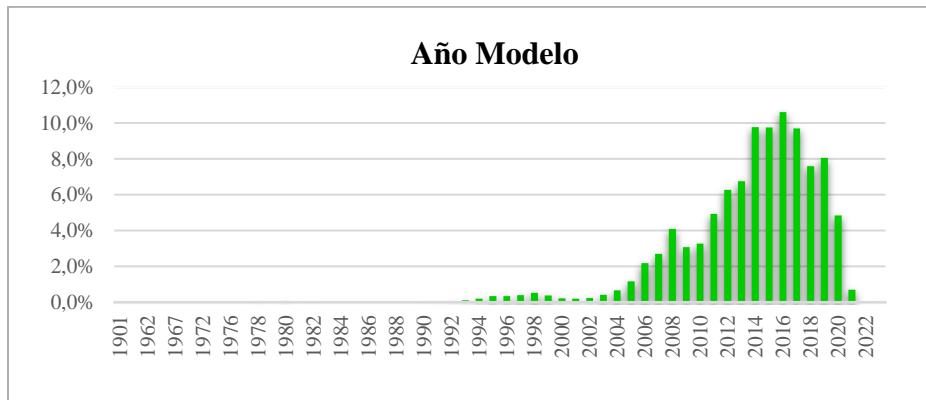
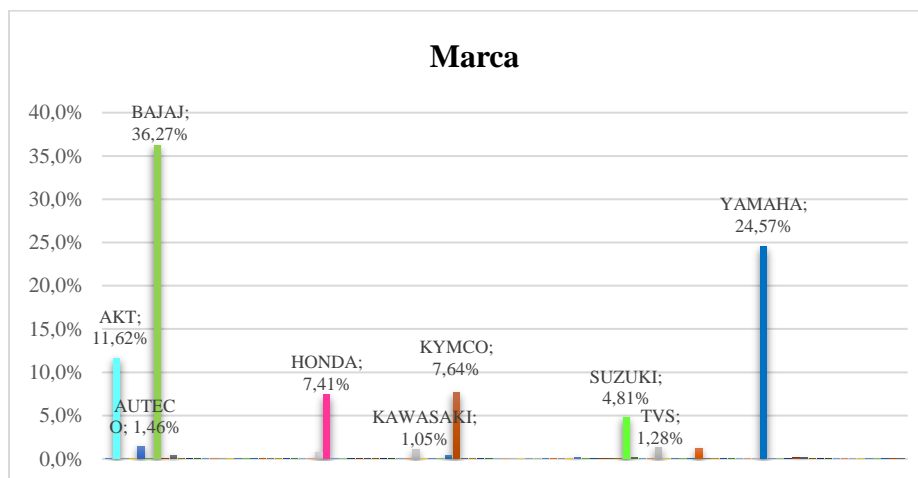
Figura 2*Distribución porcentual de las motocicletas de acuerdo al tipo de motor*

Figura 3*Distribución porcentual de las motocicletas de acuerdo al año modelo***Figura 4***Distribución porcentual de las motocicletas de acuerdo a la marca*

El mayor número de evaluaciones se presentó para las motocicletas 4T con diseño convencional, las cuales representan un 83,94% de las evaluaciones totales, así mismo, se observan los valores más altos para los modelos de 2014 a 2017, con porcentajes superiores el 8% (Figura 2 y 3). Las principales marcas encontradas corresponden a Bajaj y Yamaha, seguidas de las AKT, Kymco y Honda (Figura 4).

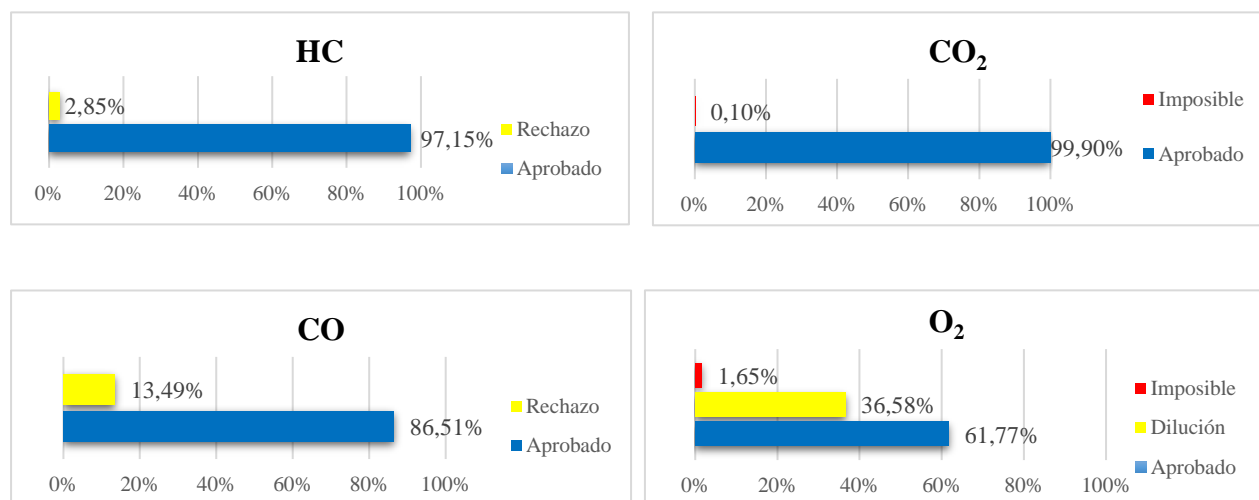
Ahora bien, teniendo en cuenta que las revisiones RTMyEC son realizadas por diferentes CDA que operan en la región, tenemos que la mayor participación en las evaluaciones para

motocicletas, se encuentra en el municipio de Rionegro, seguido por los municipios de La Ceja, Marinilla y Carmen de Viboral.

De acuerdo con los valores máximos de emisión establecidos en la normativa ambiental y con los valores máximos posibles de referencia consultados para el monóxido de carbono y el oxígeno se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 5), los cuales fueron determinados como aprobados o rechazados, los gases que cumplen o incumplen con los límites de emisión permisible, respetivamente, los determinados como dilución, el gas que excede los porcentajes de dilución establecidos en la norma de acuerdo a la fuente móvil y para el caso de los valores imposibles, los gases con valores superiores a los porcentajes máximos posibles de referencia.

Figura 5

Distribución porcentual de las motocicletas de acuerdo a la emisión



La emisión que mayor incumplimiento de los límites máximos presenta, es el monóxido de carbono como se observa en la Figura 5, no obstante, se evidenciaron aprobaciones por parte de 5 CDA's. Además, existen valores imposibles de CO₂ y O₂, los cuales fueron admitidos en las aprobaciones en un 15,14% y 82,31% respectivamente (Anexo 1).

Considerando las marcas más recurrentes (Bajaj y Yamaha, seguidas de AKT, Kymco y Honda.), se evidenció que la que mayor porcentaje de rechazos presenta correspondiente al total de pruebas de la misma, es la AKT con un 18,32%, seguida de la Kymco con un 17,43%, Bajaj

con 15,61%, Honda con 14,62% y Yamaha con un 13,57%. Así mismo, se encontraron los principales modelos asociados a dichos rechazos de la siguiente manera: AKT con un porcentaje mayor para los años modelo 2015 y 2016, Kymco con los modelos 2016 y 2017, Bajaj con un rango más amplio de modelos 2012 a 2020 donde prevalece los años 2014 y 2017, Honda con mayor porcentaje entre los modelos 2010-2013 con un predominio de los modelos 2012, y finalmente, los modelos de 2012 a 2016 de Yamaha (Anexo 1).

Tabla 6

Incumplimiento anual de emisiones de acuerdo al año modelo de la motocicleta

Año modelo	% de incumplimiento de los límites de emisiones						% de O ₂ superior a los límites de dilución		
	%HC 2020	%HC 2021	%HC 2022	%CO 2020	%CO 2021	%CO 2022	%O ₂ 2020	%O ₂ 2021	%O ₂ 2022
1970 y anterior							50	33,33	
1971-1984	14,29	7,54	7,79	16,67	13,07	15,58	50	49,25	32,47
1985-1997	11,23	12,42	6,58	14,84	16,46	11,04	42,8	46,88	36,94
1998 y posterior	2,91	2,71	2,25	13,79	13,86	11,89	38,91	36,49	32,47

Los rangos de año modelo establecidos en la normatividad ambiental asociados a los valores de las emisiones, evidenciaron que las motocicletas modelos anteriores a 1970 no presentaron rechazos por emisiones, pero si presentaron un porcentaje considerado para los años 2020 y 2021 de dilución.

Durante el 2020 el mayor número de HC que sobrepasaron los límites de emisión correspondieron a los modelos de 1971 a 1984, al igual que para el año 2022, y para el año 2021 los modelos de 1985 a 1997. En el caso del CO, el mayor resultado que sobrepasó los límites durante el año 2020 y 2022 coincide para los modelos 1971 a 1984 y para el año 2021 los modelos 1985 a 1997. Los mayores porcentajes de dilución en 2020 se asocian a los modelos de 1984 y anteriores, en el año 2021 los modelos de 1971 a 1984 y para el 2022 los modelos 1985 a 1997 (Tabla 6).

4.2. Fuente móvil: Motocarro

Los motocarros se caracterizaron de acuerdo al servicio, clase, año modelo y marca. Las figuras 6, 7, 8 y 9 ilustran los resultados para el período 2020 – 2022.

Figura 6

Distribución porcentual de los motocarros de acuerdo al servicio

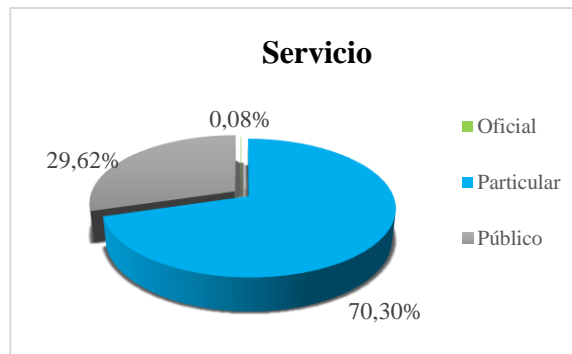


Figura 7

Distribución porcentual de los motocarros de acuerdo al año modelo

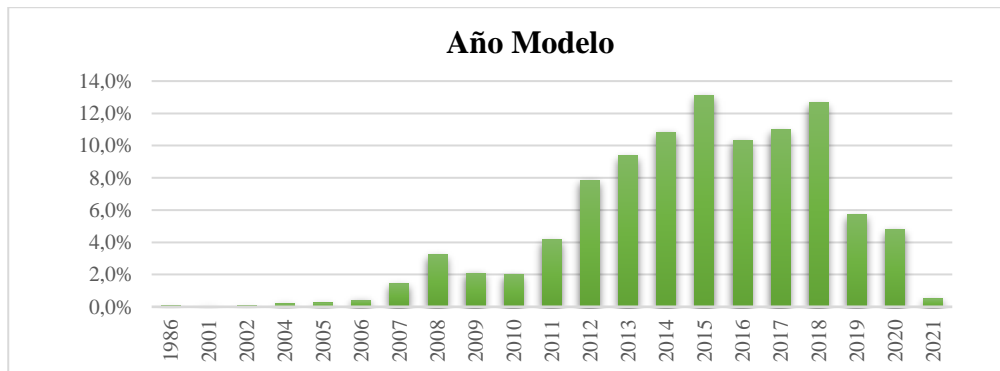
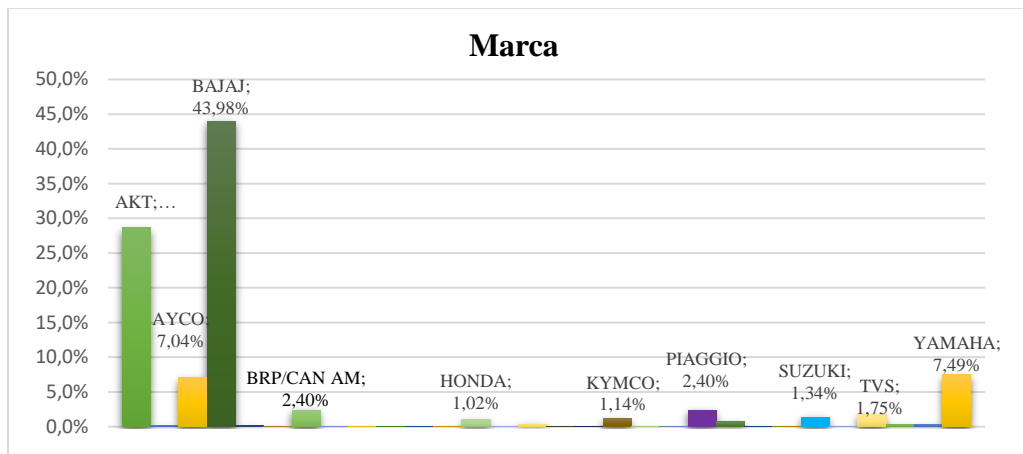


Figura 8

Distribución porcentual de los motocarros de acuerdo a la marca

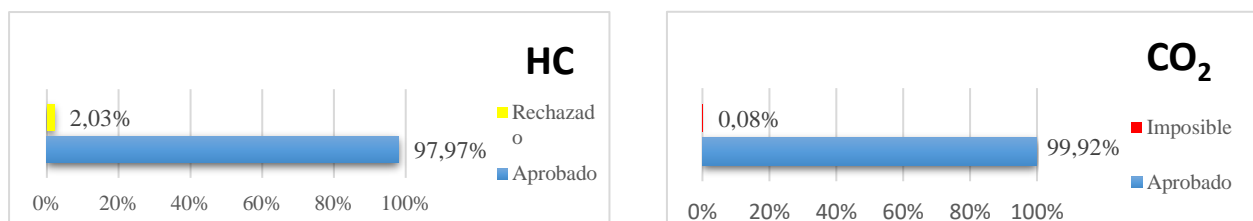


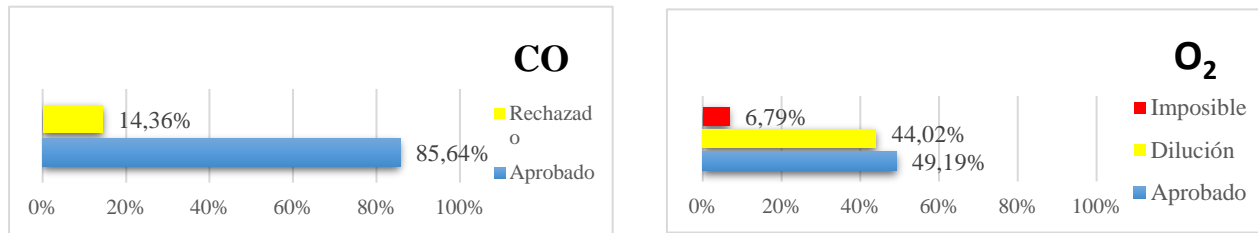
En la Figura 6, se contempla que el mayor número de evaluaciones es realizado para los motocarros particulares con un 70,3% de las evaluaciones totales, además, se observa que los modelos de 2014 a 2018 son los que más se presentan, con una prevalencia de los modelos 2015 y 2018 con porcentajes superiores al 12% (Figura 7). Las principales marcas encontradas corresponden a Bajaj, seguida de las AKT, Yamaha y Ayco (Figura 8).

Los CDA's que realizan revisiones RTMyEC para motocarro se encuentran en los municipios de Rionegro, La Ceja, El Peñol y Guarne, para los cuales se tiene que la mayor participación durante los años 2020-2022 se atribuye al municipio de Rionegro, seguido por el municipio de La Ceja (Anexo 2).

Figura 9

Distribución porcentual de los motocarros de acuerdo a la emisión





Al igual que los resultados para el caso de las motocicletas, la emisión atmosférica que mayor incumplimiento de los límites máximos presenta en los motocarros, es el monóxido de carbono, como se muestra en la Figura 9. Además, se evidencian valores imposibles de CO₂ y O₂, para los cuales se tiene que el dióxido de carbono estuvo presente en todas las aprobaciones y en el caso del oxígeno, un 88,02% de las aprobaciones. Para los valores imposibles de CO₂ se identificó que correspondían a dos motocarros de la marca Bajaj modelos 2014 y 2015. De igual manera, los valores imposibles de oxígeno se exhibieron con un mayor porcentaje de las marcas Bajaj y AKT y una mayor recurrencia en los modelos 2018 seguido de los 2016 (Anexo 2).

De acuerdo con las marcas más recurrentes (Bajaj, AKT, Yamaha y Ayco.), se evidenció que el mayor porcentaje de rechazos correspondiente al total de pruebas de la misma, es el asociado a los motocarros Bajaj con un 8,08%, seguida de la AKT con un 5,37%, Yamaha con 1,68% y la Ayco con un 1,59%. Los principales modelos en relación con los mencionados rechazos fueron: Bajaj con un mayor porcentaje entre los años 2014 y 2017, AKT con los años modelo 2016 y 2015, Yamaha con un porcentaje del año modelo 2008 notablemente mayor a los demás asociados y Ayco con los modelos 2020 (Anexo 2).

Tabla 7

Incumplimiento anual de emisiones de acuerdo al año modelo del motocarro

Año modelo	% de incumplimiento de los límites de emisiones						% de O ₂ superior a los límites de dilución		
	%HC		%HC	%CO		%CO	%O ₂		%O ₂
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
1998 y posterior	2,55	1,67	1,75	15,93	14,01	11,62	47,6	42,8	42,80

Los motocarros evaluados durante el periodo de tiempo de análisis presentaron una única evaluación correspondiente al año modelo 1986, las demás fueron para modelos superiores a 2001. El mayor número, tanto para los HC como para los CO, que sobrepasaron los límites de emisión correspondieron al año 2020, al igual que para los mayores porcentajes de dilución (Tabla 7).

4.3. Fuente móvil: Vehículos ciclo otto

La caracterización de vehículos a gasolina o gas se realizó de acuerdo al combustible, clase, servicio, año modelo y marca, como se muestra en las Figuras 10, 11, 12, 13 y 14 para el período 2020-2022.

Figura 10

Distribución porcentual de los vehículos ciclo otto de acuerdo al tipo de combustible

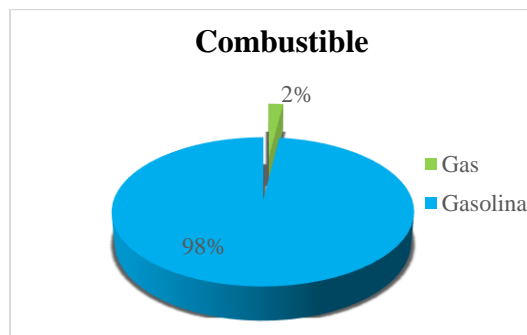


Figura 11

Distribución porcentual de los vehículos ciclo otto de acuerdo al tipo de servicio

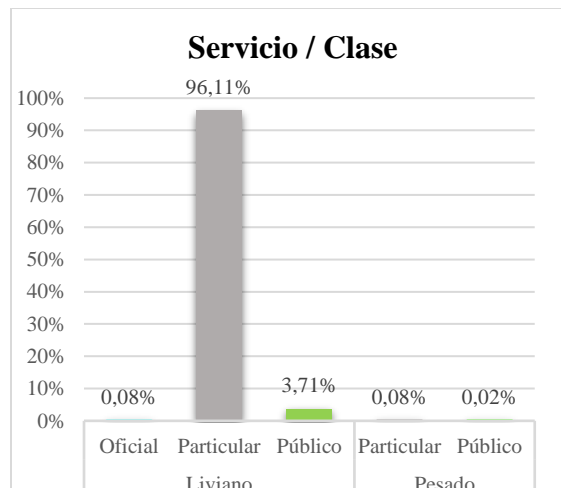
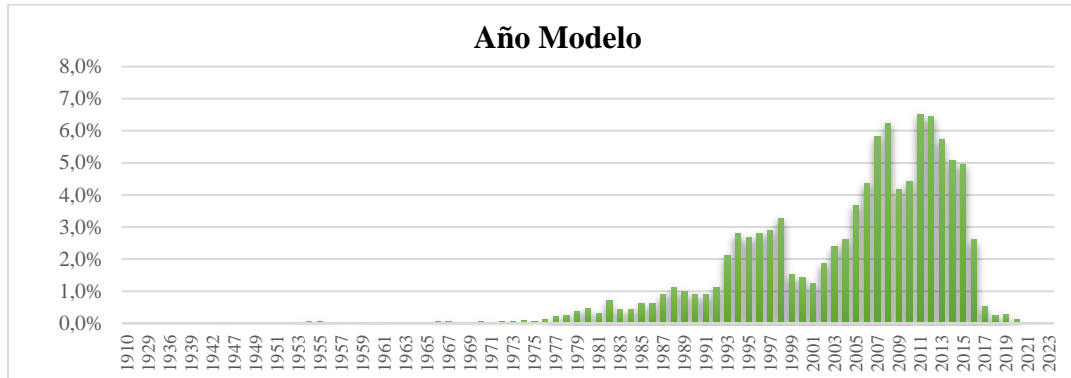
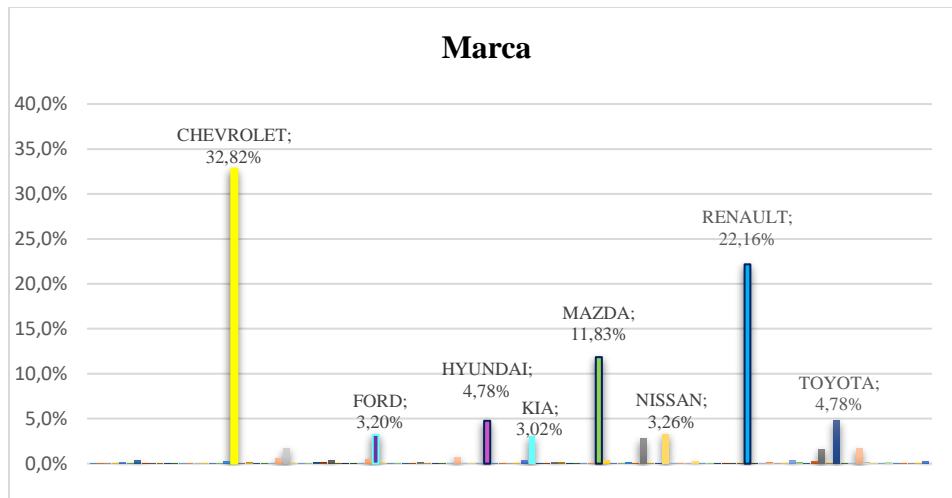


Figura 12*Distribución porcentual de los vehículos ciclo otto de acuerdo año modelo***Figura 13***Distribución porcentual de los vehículos ciclo otto de acuerdo a la marca*

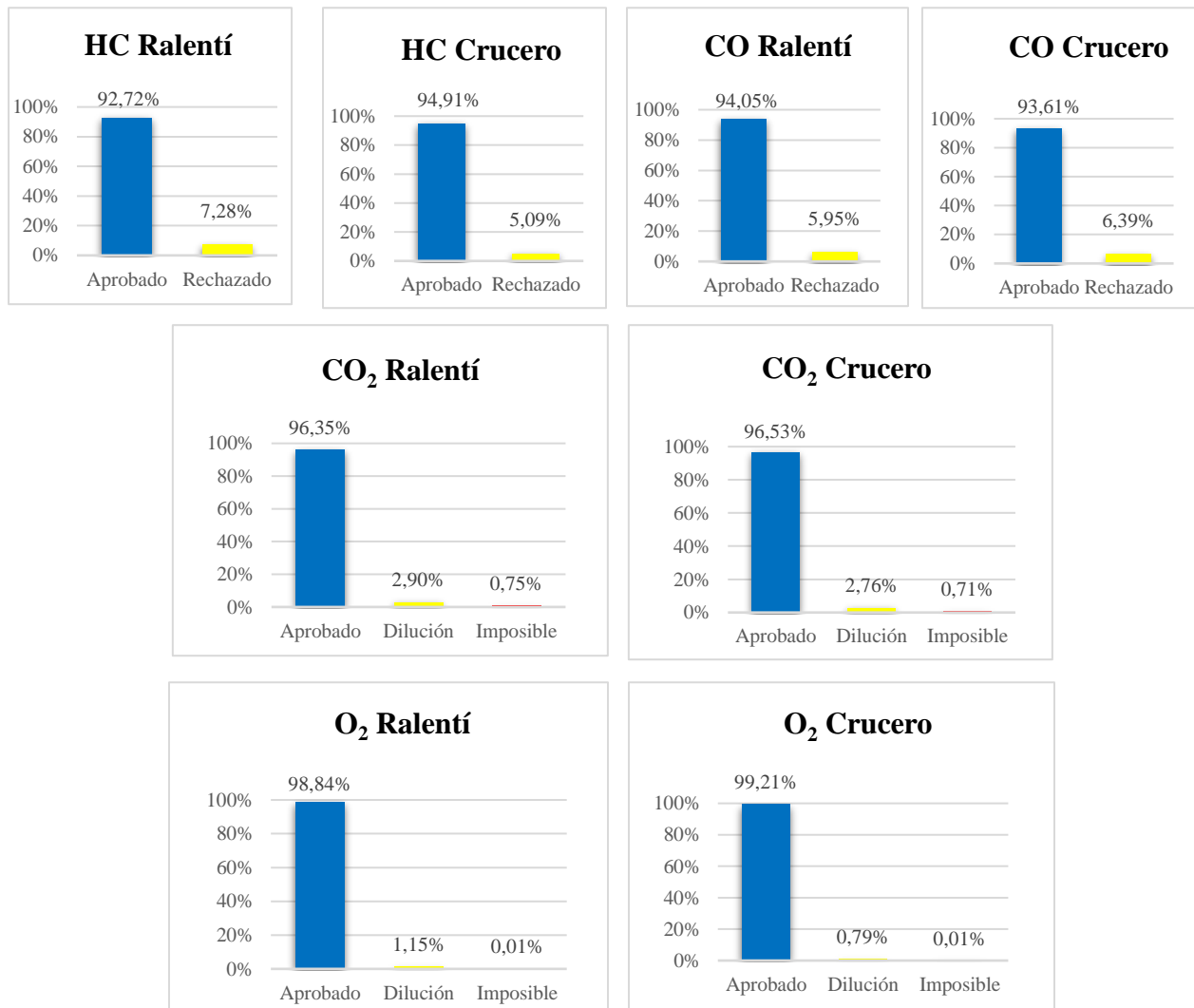
En la Figura 10, se evidencia un porcentaje significativo de evaluaciones correspondiente a los vehículos accionados a gasolina con un 98%, también, se observa en la figura 11 que los vehículos livianos particulares son los que más se presentan, representados por un porcentaje del 96,11% de todas las evaluaciones. Los modelos 2008, 2011 y 2012 son los que mayor número comprenden, con porcentajes superiores al 6% (Figura 12) y las principales marcas que se exhiben corresponden a Chevrolet y Renault, seguidas de las marcas Mazda, Toyota y Hyundai (Figura 13).

Conforme a los CDA's que realizan revisiones RTMyEC para vehículos ciclo otto, se identifica que en los municipios donde más número de revisiones concurrieron, corresponden al municipio de Rionegro, seguido por el municipio de la Ceja (Anexo 3).

La evaluación de gases de escape de vehículos automotores que operan con ciclo otto, contempla el método de ensayo en marcha mínima (ralentí) y velocidad crucero, razón por la que se exponen dos resultados para cada uno de los gases (Figura 14).

Figura 14

Distribución porcentual de los vehículos ciclo otto de acuerdo a la emisión



En el caso de los vehículos otto, las emisiones que más presentaron incumplimiento de la normatividad obedecen a los HC crucero, aun así, el porcentaje de rechazos tanto para el HC como para el CO en ambas condiciones (ralentí y crucero), difieren muy poco. De otro lado, se observa que los mayores porcentajes de dilución son debidos principalmente a los valores de dióxido de carbono (Figura 14), además, se encontró que más del 12% de las condiciones de dilución fueron admitidas en la aprobación de las pruebas (Anexo 3).

Los valores encontrados como imposibles de CO₂ crucero están asociados principalmente con los vehículos a gas, representados por un 71% de los valores totales imposibles de las dos condiciones. A diferencia de los CO₂, los valores de O₂ imposible se presentan para los vehículos a gasolina, en los que se identificó que correspondían a la marca Renault en un 40%, seguida de las marcas Chevrolet, Ford y Toyota con un 20% cada una (ver Anexo 3).

De acuerdo con las marcas más recurrentes de las pruebas para vehículos ciclo otto, se evidenció que el mayor porcentaje de rechazos correspondiente al total de pruebas de la misma, corresponde a la marca Mazda con un 19,88% de rechazos, seguida de las marcas Renault con un 13,67% y Chevrolet con un 13,34% y posteriormente, las marcas Hyundai y Toyota con un 10,70 y 8,11%, respectivamente.

Dado lo anterior, se relacionaron los principales años modelo. Para la marca Mazda se encontró un mayor porcentaje de los modelos 1994, 1995 y 1998, para Renault los modelos 2006 y 2007, Chevrolet con los años modelo de 1993 a 1995 y los modelo 2007, Hyundai con los años 1998 y 2005 a 2008 y para la marca Toyota los modelos 1994 a 1998 (Anexo 3).

Tabla 8

Incumplimiento anual de emisiones de acuerdo al año modelo del vehículo ciclo otto (Ralentí)

Año modelo	% de incumplimiento de los límites de emisiones						% de O ₂ superior a los límites de dilución			% de CO ₂ superior a los límites de dilución		
	% HC	% HC	% HC	% CO	% CO	% CO	% O ₂	% O ₂	% O ₂	% CO ₂	% CO ₂	% CO ₂
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
1970 y anterior	15,53	12,53	9,64	11,97	10,73	8,43	7,44	3,47	1,81	7,77	4,42	3,61
1971-1984	11,35	10,45	7,15	12,31	12,12	9,20	4,71	3,78	2,81	7,82	6,53	4,85
1985-1997	12,99	11,96	9,40	15,38	15,14	12,26	3,53	2,79	2,26	6,00	4,90	3,71
1998 y posterior	6,48	5,81	4,39	3,27	3,44	2,77	0,53	0,47	0,44	2,46	1,93	1,66

Tabla 9

Incumplimiento anual de emisiones de acuerdo al año modelo del vehículo ciclo otto (Crucero)

Año modelo	% de incumplimiento de los límites de emisiones						% de O ₂ superior a los límites de dilución			% de CO ₂ superior a los límites de dilución		
	% HC	% HC	% HC	% CO	% CO	% CO	% O ₂	% O ₂	% O ₂	% CO ₂	% CO ₂	% CO ₂
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
1970 y anterior	11,33	9,46	8,43	11,97	9,78	7,23	4,85	1,58	1,20	6,15	4,42	3,61
1971-1984	6,37	6,67	6,13	13,49	12,51	10,22	2,09	1,96	1,79	6,37	5,15	3,83
1985-1997	7,62	7,03	6,99	16,92	16,91	13,01	2,26	1,77	1,63	5,12	4,42	3,71
1998 y posterior	4,65	4,39	3,83	3,47	3,57	2,81	0,44	0,40	0,31	2,48	1,98	1,69

Los tres años analizados demuestran que el mayor porcentaje de HC que sobrepasaron los límites de emisión se presentan para los modelos de 1970 y anteriores, seguido de los modelos 1985-1997. Los CO se identificaron con mayores porcentajes correspondientes 1985-1997, seguido de los modelos 1971-1984 (Tabla 7 y 8).

Los más altos porcentajes de dilución asociados a los porcentajes de O₂ para 2020 se relacionan con los modelos de 1970 y anteriores, a diferencia de los años 2021 y 2022 que correspondieron a los modelos de 1971-1984. Los mayores porcentajes de dilución asociados al CO₂ para los tres años, se exhibieron para los modelos 1971-1984 (Tabla 7 y 8).

4.4. Fuente móvil: Vehículos accionados con diésel

Los vehículos accionados con diésel fueron caracterizados de acuerdo a la clase, servicio, año modelo y marca. En las figuras 15, 16, 17 y 18 se ilustran los resultados correspondientes a los tres años evaluados (2020-2022).

Figura 15

Distribución porcentual de los vehículos ciclo diésel de acuerdo al servicio

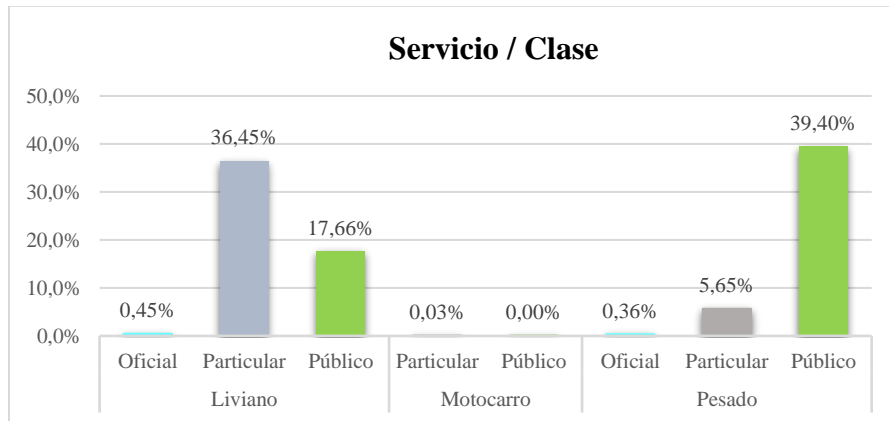


Figura 16

Distribución porcentual de los vehículos ciclo diésel de acuerdo al año modelo

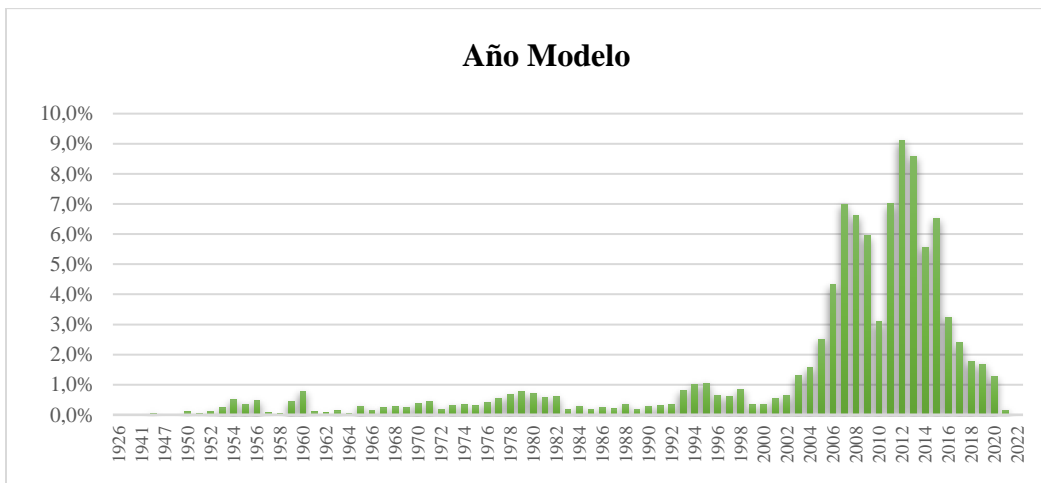
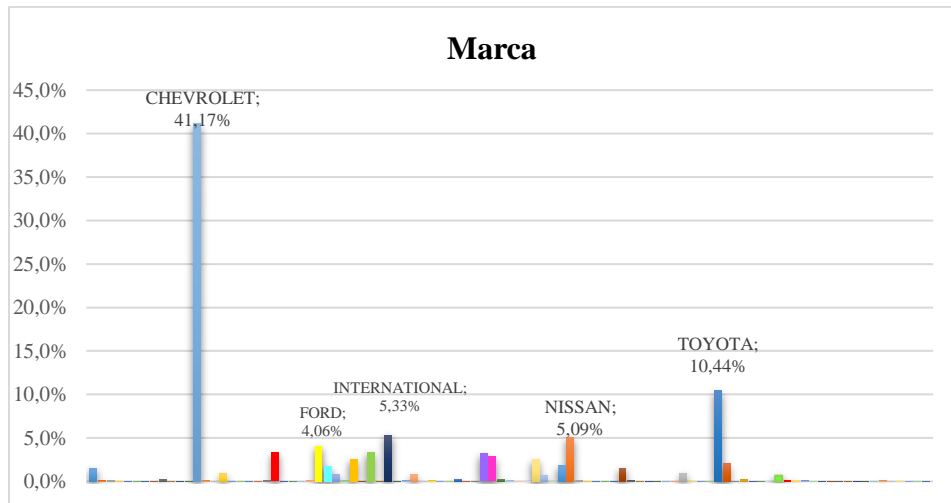


Figura 17

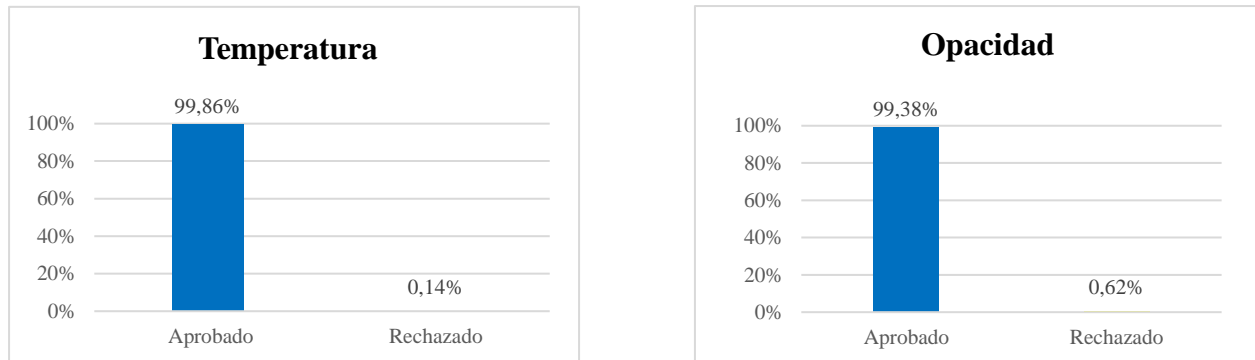
Distribución porcentual de los vehículos ciclo diésel de acuerdo al tipo marca



En la figura 15, se evidencia un mayor porcentaje de las evaluaciones para los vehículos livianos con un 54,56%, no obstante, los vehículos pesados de servicio público son los que exhiben una mayor participación respecto a los de más categorías, seguido de los vehículos livianos particulares. Por otro lado, en la figura 16 se identifica que los años modelo 2012 y 2013 son los que mayores porcentajes comprenden y en la figura 17 una mayor recurrencia de las marcas Chevrolet, seguida de las marcas Toyota, International y Nissan.

Los municipios que mayor número de revisiones RTMyEC realizaron para vehículos accionados con diésel, se contemplaron en Rionegro y La Ceja. (Anexo 4).

Las pruebas de opacidad para vehículos automotores que operan con ciclo diésel, son realizadas con una temperatura mínima de operación, que a su vez contempla algunas consideraciones para asegurar que la operación del vehículo sea la correcta. Por el motivo antes mencionado, se valoró la temperatura como un parámetro relevante para el análisis (Figura 18).

Figura 18*Cumplimiento de temperatura y opacidad*

En la figura 18, se observa un porcentaje notablemente alto en las aprobaciones de las pruebas de opacidad, al igual que el porcentaje de pruebas que cumplieron con las condiciones de temperatura.

En concordancia a las marcas identificadas con mayor participación en las pruebas para vehículos ciclo diésel y si bien el número de rechazos fue muy bajo, se evidenció que el mayor porcentaje de rechazos, correspondiente al total de pruebas de la misma, fue para Nissan con un 2,30%, seguido de la marca International con un 2%, Chevrolet con 1,26% y la Toyota con 0,63%. También, se identificó los años modelo asociados de la siguiente manera: Nissan con mayores rechazos para el modelo 2012, International con el año modelo 2012, Chevrolet con un mayor porcentaje de los 2005 y 2009 y para Toyota los modelos 2011 (ver Anexo 4).

Tabla 10*Incumplimiento anual por opacidad y temperatura*

Año modelo	% incumplimiento de los límites de opacidad			% incumplimiento por temperatura		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
1970 y anterior	6,12	25,71	28,57	2,04	0,00	28,57
1971-1984	14,81	26,09	40,00	0,00	4,35	0,00
1985-1997	30,43	38,89	20,00	0,00	0,00	0,00
1998 y posterior	36,69	32,23	31,03	0,76	1,65	0,00

Para el año 2020 y 2021 se aprecia que el mayor porcentaje de incumplimiento de los límites de opacidad correspondieron para los años modelo 1985 y posteriores, sin embargo, para el primer semestre del 2022 los años modelo más recurrentes fueron 1971-1984.

En cuanto a los porcentajes por incumplimiento de temperatura, se identifica que el mayor valor durante el 2020 se presentó para los modelos 1970 y anteriores, en el 2021 los modelos 1971-1984 y para el primer semestre 2022 un mayor porcentaje de los modelos 1970 y anteriores, exhibiendo el mayor valor de rechazos de los tres años. También, se evidencia que los modelos 1985-1997 no presentaron incumplimiento, y en el primer semestre 2022 incumplimientos únicamente de los modelos 1970 y anteriores (Tabla 9).

5. Conclusiones

Teniendo en cuenta que los datos recolectados carecieron de información y que las cantidades tanto del número de CDA en operación por año, como las evaluaciones por tipología y línea de revisión técnico-mecánica que realizan, difieren en gran proporción, la variabilidad de las emisiones podría ser imprecisa.

En la jurisdicción el mayor número de vehículos con Revisión Técnico-Mecánica y Emisiones Contaminantes desde 2020 al primer semestre de 2022, obedece a las motocicletas con un 53% de las revisiones totales, seguido de los vehículos a gasolina o gas con un 38%, y de los vehículos diésel y motocarros con un 8% y 1%, respectivamente. Dichas tipologías comprendieron una variabilidad de rechazos por año, exhibiendo que durante el 2020 la fuente móvil con mayores rechazos, de acuerdo al número de evaluaciones de la misma, correspondió a las motocicletas y para el año 2021 y primer semestre del presente año, un mayor incumplimiento por parte de los motocarros. Se encontró que los vehículos diésel tienen un porcentaje muy bajo de rechazos respecto a las demás tipologías, sin embargo, se debe enfatizar en que los contaminantes emitidos por este tipo de fuente móvil requieren de especial atención.

El mayor aporte de revisiones RTMyEC dentro la jurisdicción se realiza en el municipio de Rionegro, lo cual es congruente con el número de CDA's que operan en esta zona y a las diferentes clasificaciones existentes de estos.

El mayor porcentaje de motocicletas con Revisión Técnico-Mecánica y Emisiones Contaminantes en la jurisdicción, tuvo como resultado las de motor 4T con diseño convencional, de las marcas Bajaj, Yamaha, AKT, Kymco y Honda, de las cuales presentó una cantidad superior de rechazos, de acuerdo al total de pruebas de la misma durante el periodo analizado, la AKT, con un mayor porcentaje asociado de los años modelo 2015 y 2016. Para el caso de los motocarros, se identificó que las evaluaciones más recurrentes son realizadas para los de servicio particular con una prevalencia de las marcas Bajaj, AKT, Yamaha y Ayco y de los años modelo 2015, presentándose mayor incumplimiento por parte de la marca Bajaj asociada a un mayor porcentaje

de los modelos 2016 y 2015. La mayoría de los vehículos ciclo otto analizados, son los livianos de servicio particular accionados a gasolina, asociados principalmente a las marcas Chevrolet y Renault, seguidas de las marcas Mazda, Toyota y Hyundai y a los años modelo 2008, 2011 y 2012. Para los vehículos accionados con diésel, se evidenció un máximo porcentaje de evaluaciones para vehículos livianos, pero, aun así, los vehículos pesados de servicio particular exhibieron un mayor porcentaje y se encontró que las marcas más frecuentes son Chevrolet, International y Nissan, y los modelos 2012 y 2013 los que más porcentaje comprenden. Se identificó un porcentaje de incumplimiento por opacidad muy bajo que, de acuerdo a las mencionadas marcas, tuvo asociado por un mayor porcentaje, de la marca Nissan y los modelos 2012.

Se logra identificar que los modelos asociados al incumplimiento tanto por las emisiones de CO, como por las de HC corresponden principalmente a los años 1997 y anteriores. No obstante, los incumplimientos por CO para la tipología de motocarros tuvieron una mayor incidencia de los modelos 2020 y los incumplimientos por HC, los modelos 2026 y 2020, puesto que los años modelo de todas las revisiones de estos, correspondieron a una sola evaluación de un año modelo de 1998 y el resto a años posteriores al 2001. El bajo porcentaje de incumplimiento por opacidad varió de acuerdo al año modelo durante los tres años de análisis, pero se logra identificar que el máximo valor se presentó para los años modelo 1971 – 1984 del actual año, así mismo, el incumplimiento por temperatura también exhibió un valor máximo en el presente año, el cual estuvo asociado a los modelos 1970 y anteriores. En general, los años modelo que tuvieron mayor influencia en el incumplimiento de emisiones fueron los anteriores al 1998.

Las motocicletas y los motocarros, contemplaron un mayor incumplimiento de los límites de emisión, asociados al monóxido de carbono. A diferencia de estos, para el caso de los vehículos accionados a gasolina o gas, el máximo incumplimiento normativo se presentó por los HC en marcha ralentí, no obstante, los porcentajes de incumplimiento para ambas emisiones (Hidrocarburos y monóxido de carbono) fueron muy similares. Dado lo anterior, se logra identificar que el CO es la emisión de mayor incumplimiento por parte de los diferentes automotores accionados a gasolina o gas, por tanto, se puede inferir que es la emisión más generada por este tipo de fuente dentro de la jurisdicción, teniendo en cuenta el alcance de este análisis y que en la

vía publica los resultados de las emisiones vehiculares pueden diferir de las evaluadas en los Centros de Diagnostico Automotriz. Esta conclusión tiene concordancia con los resultados encontrados en el estudio de dispersión de contaminantes atmosféricos realizado en el 2015 por CORNARE y la Universidad Pontificia Bolivariana.

Durante el periodo evaluado (2020-2022), se presentaron valores imposibles de CO₂ y O₂, los cuales en su mayoría fueron admitidos en las evaluaciones. Si bien, no existe un límite máximo para estos gases dentro de la normatividad ambiental para emisión de gases vehiculares, estos valores excesivos no obedecen a la relación de mezcla de combustión normal considerada por el principio de funcionamiento de un motor de combustión interna.

Si bien, se evidenció que las evaluaciones de RTMyEC han ido en aumento y que el número de rechazos ha disminuido a través de los últimos tres años, es importante resaltar que la cantidad de fuentes móviles en el territorio han aumentado significativamente, lo cual debería conllevar a una cantidad de evaluaciones congruente con este y a una mayor rigurosidad en su control y seguimiento.

Referencias

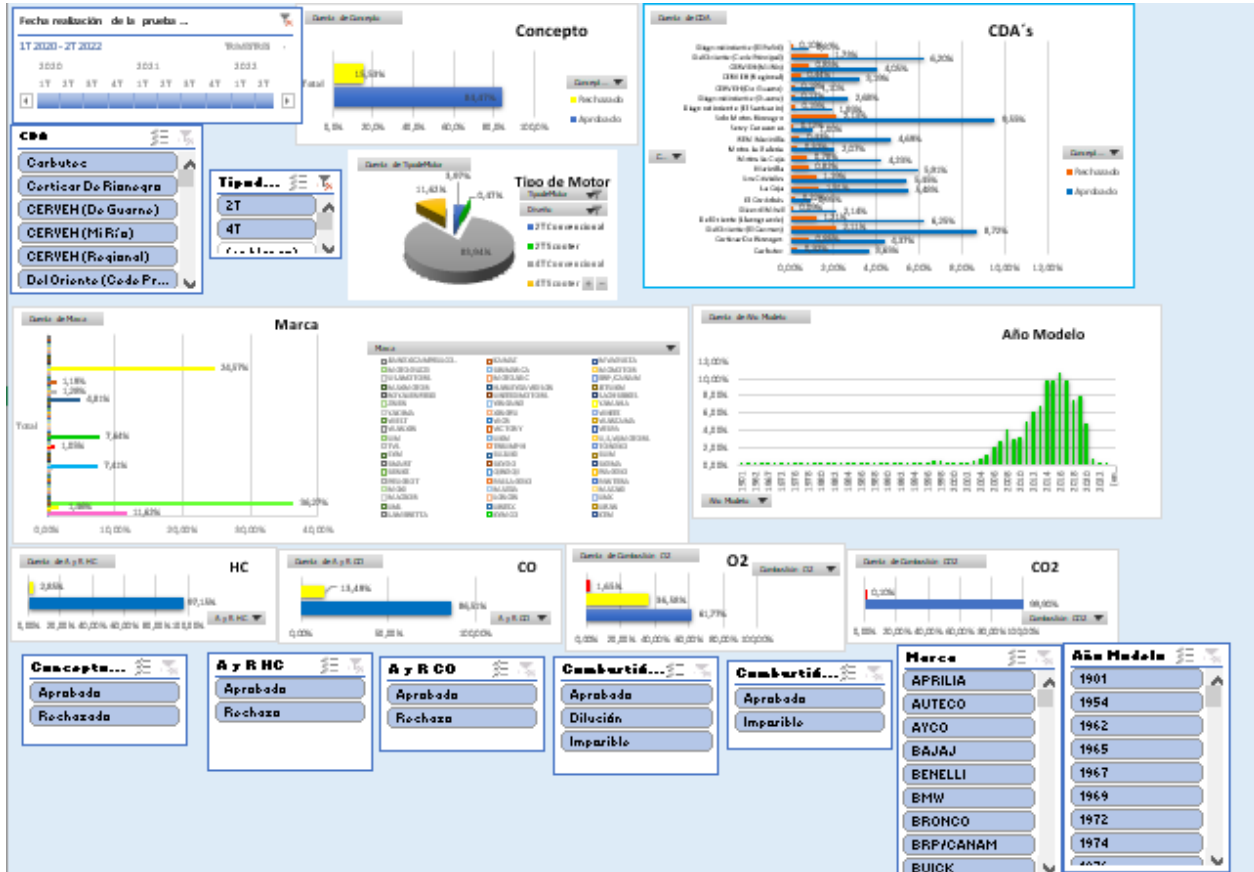
- Amell, A., Gil, E., & Maya, R. D. (1997). *Herramientas para el Uso Eficiente del Gas: Diagramas de Combustión*. Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia, (15), 38–50. Retrieved from <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/325735>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). (2019). *Cómo se contamina el aire*. Retrieved June 22, 2022, from <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/Como-se-contamina-el-aire.aspx>
- Castro Peña, P. C., & Escobar Winston, L. M. (2006). *Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel nacional y formulación de lineamientos técnicos para el ajuste de las normas de emisión*. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/301
- Clean Air Institute & AMVA. (2013) *Evaluación y diseño de herramientas tecnológicas para el fortalecimiento del control a las fuentes móviles en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Reporte final Acta Compromisoria*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto 1076 de 2015 (mayo 26): Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Diario Oficial. Bogotá D.C., Colombia.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). *Resolución 910 de 2008 (junio 5): Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones*. Diario oficial. Bogotá D.C., Colombia.
- CORNARE - UPB. (2015). *Estudio de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en la Jurisdicción de CORNARE*. Retrieved from https://www.cornare.gov.co/SIAR/aire/CALIDAD_DE_AIRE/CONTENIDO/INFORME-GENERAL_1.pdf
- Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare (CORNARE). (2019). *Localización Regional*. Retrieved June 20, 2022, from <https://www.cornare.gov.co/localizacion-regional/>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (7 mayo de 2017). *Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones*. Portal Web DNP. Retrieved June 20, 2022, from <https://bit.ly/3ICQOeJ>
- Echeverri Restrepo, A., Arango Arango, A. M., Bustamante Fernández, J. S., Basombrío, I., Delgado Vélez, C. A., Zapata Córdoba, D., Cadena Gaitán, C., & Gómez Aristizábal, J.

- (2017) *Corredores estratégicos de movilidad sostenible, ordenamiento territorial y recuperación ambiental para el Oriente antioqueño*. Centro de estudios urbanos y ambientales - urbam EAFIT. Medellín, Colombia. 255 Págs. Retrieved from https://www.proantioquia.org.co/sites/default/files/2020-09/documentos/corredores_estrategicos_de_oriente.pdf
- García San José, R. (noviembre 2001). *Combustión y Combustibles*. Retrieved from file:///C:/Users/user/Downloads/Combusti%C3%B3n%20y%20combustibles.pdf
- González Duque, C. M. (2017) *Dinámica e impacto de emisiones antrópicas y naturales en una ciudad andina empleando un modelo euleriano de transporte químico on-line. Caso de estudio: Manizales, Colombia*. Repositorio Institucional - UNAL.
- Herrera-Murillo, J., Rodríguez-Román, S., & Rojas-Marín, J. F. (2012). Determinación de las emisiones de contaminantes del aire generadas por fuentes móviles en carreteras de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 25(1), pág. 54-63 <https://doi.org/10.18845/tm.v25i1.176>
- Instituto de Estudios Urbanos de la UNAL. (2019). *La mala calidad del aire provoca daños graves a la salud y a los ecosistemas*. Retrieved June 20, 2022, from <http://ieu.unal.edu.co/en/medios/noticias-del-ieu/item/la-mala-calidad-del-aire-provoca-danos-graves-a-la-salud-y-a-los-ecosistemas>
- León Japa, R. S.; Maldonado Ortega, J. L., & Contreras Urgilés, W. R. (2020). Predicción de emisiones de CO y HC en motores Otto mediante redes neuronales. *Revista Ingenious*. (23), 30-39. <https://doi.org/10.17163/ings.n23.2020.03>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2021). *Contaminación Atmosférica en Colombia*. Retrieved June 20, 2022, from <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (22 de septiembre de 2021). *Nuevas directrices mundiales de la OMS sobre calidad del aire buscan evitar millones de muertes debidas a la contaminación*. Portal web OPS. Retrieved June 20, 2022, from <https://www.paho.org/es/noticias/22-9-2021-nuevas-directrices-mundiales-oms-sobre-calidad-aire-buscan-evitar-millones>
- Registro Único Nacional de Transito (RUNT). (2021). *¿Cuál es la edad del parque automotor en el país?* Boletín de prensa 012 de 2021. Retrieved from <https://www.runt.com.co/node/833943>
- Registro Único Nacional de Transito (RUNT). (2022). *RUNT en Cifras. Balance del Sector Tránsito y Transporte en Colombia*. Mintransporte. Retrieved June 20, 2022, from <https://www.runt.com.co/runt-en-cifras>

-
- República de Colombia. (2017). *Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC)*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.
- República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. (31 de julio de 2018). *Consejo Nacional de Política Económica y Social - CONPES 3943 "Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire"*. Bogotá D.C., Colombia.
- Rocha Hoyos J.C., Tipanluisa L. E., Zambrano V. D., Portilla, A. A. (2028) *Estudio de un Motor a Gasolina en Condiciones de Altura con Mezclas de Aditivo Orgánico en el Combustible*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500325>
- Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). (2020). *Emisiones Aire*. Retrieved June 15, 2022, from <http://www.ideam.gov.co/web/siac/emisionesaire>
- Universidad Estatal de Milagro. (2018). *Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas*. *Revista Ciencia Unemi*, 11(28), 97-108. <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661251009/html/>
- University of California. (2003). *Las emisiones Diésel lo que usted debe saber*. Labor Occupational Safety and Health (LOSH). California, Los Ángeles. Retrieved from <https://www.coshnetwork.org/sites/default/files/%236%20Emisiones%20de%20Diesel.pdf>

Anexos

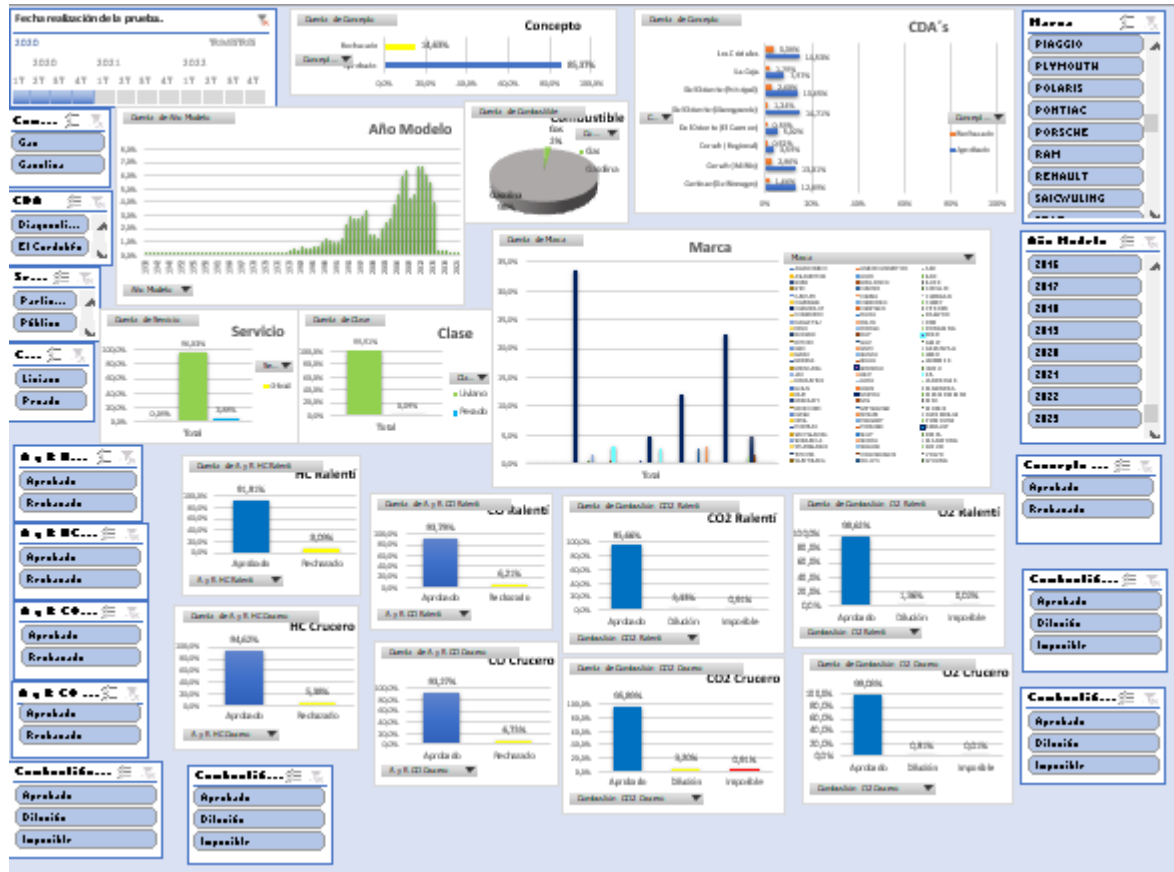
Anexo 1. Imagen de gráficos dinámicos correspondientes a la base de datos de las motocicletas



Anexo 2. Imagen de gráficos dinámicos correspondientes a la base de datos de los motocarros



Anexo 3. Imagen de gráficos dinámicos correspondientes a la base de datos de los vehículos ciclo otto



Anexo 4. Imagen de gráficos dinámicos correspondiente a la base de datos de los vehículos diésel

