

CAPÍTULO

4

APORTES A LA DELIBERACIÓN

Aspectos sobre la composición de las emisiones en la flota vehicular que afectan la salud y el ambiente

HALLAZGOS RELEVANTES

- La flota vehicular se ha incrementado cerca de diez veces desde 1980. La tasa de crecimiento anual ha sido de un 6% en promedio, mientras la población ha crecido una media de un 2%.
- El automóvil particular es el tipo mayoritario en esta flota, con un 57,4% del total de unidades.
- El 60% de los vehículos circulando tienen más de diez años de antigüedad.
- Cada unidad de la flota vehicular recorrió 50,5 kilómetros diarios en promedio en el año 2019. Los taxis y los autobuses son los que recorren más individualmente, aunque los vehículos particulares, por su cantidad, aportan en total más distancia recorrida.
- Las emisiones de CO₂ de la flota vehicular en 2019, estimadas a partir del consumo de combustibles, se calcularon en 6.832.911 toneladas. Los automóviles concentraron el 45% y el transporte de carga el 40%. El porcentaje restante se distribuyó entre los servicios de transporte público de pasajeros (11%) y las motocicletas (4%).
- Si bien los vehículos diésel representan solo el 20% del total del parque automotor, originan el 50,8% de CO₂ versus el 49,2% emitido por los vehículos gasolina, que representan el 80% restante.
- Los vehículos de carga pesada concentran el 20% del total de las emisiones de CO₂, a pesar de representar solo el 2% de la flota total y el 3% de la distancia recorrida en un año.
- Según estimaciones basadas en el consumo de combustible, mientras una motocicleta emitió en promedio 1 tonelada de CO₂ al año, cada unidad de transporte de carga pesada generó 47 toneladas. Por kilómetro recorrido, los autobuses y el transporte de carga pesada son los que producen más CO₂.
- Los vehículos que registran las mayores concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos (que pueden afectar la salud humana) son, a su vez, los que reportan menos CO₂, (que aumenta en calentamiento global) y viceversa. La tecnología de las unidades más nuevas ha permitido un mayor control en los dos primeros gases, no así en los de mayor efecto invernadero.
- Las motocicletas son los vehículos que, en conjunto, registran las mayores concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos en sus emisiones.
- Los autobuses de diésel y los vehículos de transporte de carga pesada son los que, en promedio, presentan menores porcentajes de rechazo en la prueba de emisiones de la revisión técnica vehicular.

NUEVOS APORTES PARA LA TOMA DE DECISIONES

- Esta investigación aprovecha –por primera vez en este Informe– datos del resultado de la revisión técnica vehicular obligatoria, en el marco de un convenio de cooperación entre la empresa Riteve SyC y el Programa Estado de la Nación/Conare, para caracterizar de forma exploratoria el aporte de la flota vehicular en las emisiones contaminantes en Costa Rica. En combinación con otras fuentes, se presenta un panorama inédito sobre el recorrido real de los vehículos y las particularidades de la concentración de algunos gases seleccionados, según el tipo de unidad vehicular, la antigüedad y otros criterios. Se trata de un primer acercamiento a una fuente que tiene potencial para profundizar en el futuro con otros estudios; sus limitaciones son también comentadas en la sección metodológica de este capítulo.
- Con nuevas fuentes, este capítulo proporciona herramientas para el debate y la elaboración de política pública, al analizar la concentración de tres tipos específicos de gases en la flota vehicular, con implicaciones sobre la salud humana y el calentamiento global. La descripción detallada de la flota y su relación con estos gases permite entender el comportamiento diferenciado de sus concentraciones de acuerdo con la tecnología y el combustible utilizado. Esto implica retos distintos para su control de manera simultánea. La información reafirma los desafíos de la transformación del sistema de transporte en su conjunto y la revisión del crecimiento de la flota vehicular, así como los parámetros tecnológicos y los estándares aceptados en el país.

CAPÍTULO

ARMONÍA CON LA NATURALEZA

4

/ Aspectos sobre la composición de las emisiones en la flota vehicular que afectan la salud y el ambiente

INDICE		Introducción
Hallazgos relevantes	151	En ediciones previas, el <i>Informe Estado de la Nación</i> ha profundizado en el conocimiento sobre el impacto del transporte y la movilidad en el desarrollo humano, a partir de diversas fuentes y herramientas de inteligencia de datos. Gracias a estas investigaciones, se cuenta con un panorama claro en torno a los modos en que el sistema de transporte y el diseño mismo de las ciudades contribuyen a una situación ambiental insostenible.
Nuevos aportes para la discusión	151	
Introducción	153	Lo anterior deriva, en especial, de la ausencia de planificación urbana y la alta dependencia del consumo de hidrocarburos –en su mayoría para alimentar el sector transporte–, promovido por una apuesta en el vehículo particular. Esto lleva a congestionamientos viales, pérdida de tiempo y altos costos ambientales, sociales y económicos. Entre los principales efectos documentados (PEN, 2018), está el aporte de la flota vehicular a las emisiones que impactan negativamente el ambiente y la salud humana.
Consideraciones metodológicas, fuentes y limitaciones del estudio	154	
Caracterización de la flota vehicular, distancia recorrida y consumo de combustible	156	Múltiples fuentes han estudiado los problemas de contaminación del aire o de emisiones en Costa Rica, y han permitido entender por qué es relevante considerar el transporte en el abordaje del tema. En el marco de los compromisos internacionales en cambio climático, se realiza el <i>Inventario nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de gases efecto invernadero en Costa Rica 2015</i> , el cual reporta la composición de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). También el II Informe Bienal ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio
Importante crecimiento de la flota vehicular en los últimos cuarenta años, en especial de gasolina	157	
Automóviles particulares son los que aportan más kilómetros recorridos al año	159	Climático (2019), que registra como una de las fuentes de emisión de GEI –según el análisis de tendencia– la combustión móvil (transporte terrestre). Esta representa el 23% del CO ₂ (5.394,13 gigatoneladas), y aporta 1,4 gigatoneladas de metano (CH ₄) y 0,3 de óxido nitroso (N ₂ O), lo cual la convierte en uno de los principales actores en la forma en que Costa Rica se suma al calentamiento global y a la crisis climática (IMN-Minae, 2019b; IMN-Minae, 2019a).
Los gases analizados muestran tendencias disímiles en sectores de la flota vehicular	161	
Vehículos diésel aportan CO ₂ en mayor proporción de la que corresponde a su cantidad y recorrido	161	Las emisiones provenientes del transporte tienen impactos sobre la salud humana y el ambiente (E ¹ : Alfaro, 2020). En el primer caso, como lo señala la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el mundo se registran cada año cerca de siete millones de muertes por enfermedades directamente vinculadas con la contaminación del aire (OPS, 2014). En el ámbito nacional, el Laboratorio de Análisis Ambiental de la UNA ha reportado puntos de monitoreo en los que se superan los límites establecidos en la normativa nacional y los definidos por la OMS para los llamados “contaminantes
Antigüedad de unidades se asocia a una mayor concentración de algunos contaminantes	163	
El avance tecnológico tiene un efecto inverso sobre el control de algunos gases	167	
Resultados del control de emisiones en la RTV podrían reflejar parámetros laxos para vehículos diésel	168	
Conclusiones	170	

criterio”² (ver seguimiento del tema en el “Balance ambiental” de esta edición). Otras entidades investigan sobre emisiones, como el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental de la UCR.

La contaminación atmosférica incide, además, en el bienestar y la capacidad de defensa de las personas, por cuanto desemboca en padecimientos –ante todo en las vías respiratorias– en la función pulmonar y cardiopatías, cuya atención implica altos costos. En el país no existe un sistema de alertas por contaminación del aire, ni se lleva un registro sanitario de los ingresos hospitalarios relacionados con ella (E: Alfaro, 2020). Sin embargo, algunos informes han abordado esta problemática desde la perspectiva de la salud y la economía.

En 1977, un estudio financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo estimó los costos asociados a esta materia en la Gran Área Metropolitana (GAM) en más de 27 millones de dólares (Santos-Burgoa, 1977). Allen *et al.*, (2005) analizaron los efectos negativos sobre la salud en varios distritos de esa misma zona; y en el 2011, con base en esa investigación, los costos derivados por la atención en el sistema de salud a raíz de la contaminación del aire se calcularon en 280 millones de dólares al año (Dobles, 2011). Echeverría (2003) valoró también los costos económicos y otros elementos vinculados a la actividad vehicular en 25 millones de dólares anuales, considerando para esa fecha los costos hospitalarios y las muertes por problemas respiratorios asociados. Cabe mencionar que en estos montos no se analiza la pérdida de calidad de vida y productividad (E: Alfaro, 2020). De acuerdo con un estudio del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y Cepal-Euroclima, al reducir la contaminación a los niveles establecidos por la OMS (fundamentalmente en material particulado), por año se evitaría la muerte de 229 personas, 563 casos de bronquitis crónica, 4.508 crisis asmáticas en personas adultas y 2.571 en niños y niñas³ (Alpizar *et al.*, 2017).

El calentamiento global y la salud humana están interrelacionados. El primero ocasiona efectos negativos espera-

bles en lo segundo y en la naturaleza en su conjunto. Por lo tanto, no son problemas aislados y la presión internacional se ha enfocado en disminuir las emisiones que alteran ambos aspectos. Las externalidades de la contaminación atmosférica son muy altas, aunque afectan de forma diferenciada la salud y el cambio climático. Tomando como punto de partida lo anterior, en este estudio se analizan tres de los gases derivados de la flota vehicular⁴, a saber: el CO₂, uno de los principales causantes del calentamiento global; las concentraciones de monóxido de carbono y las de hidrocarburos, que, como se explica en la sección metodológica, dañan más directamente la salud humana.

Para analizar este tema, se utilizaron diversas fuentes de información, en especial una inédita: los resultados de la revisión técnica vehicular (RTV) obligatoria en Costa Rica que efectúa la empresa Riteve SyC. Con ello, este capítulo presenta un primer estudio, con carácter exploratorio, sobre las características de varios gases específicos cuya concentración es medida a la flota de vehículos según la normativa de esta medición; esto considerando el año del modelo, el combustible, el recorrido y el uso. El objetivo es brindar elementos para la discusión sobre los retos centrales en este campo, específicamente con respecto al modelo de transporte, el parque automotor y el control de emisiones que se realiza, así como abrir una línea de investigación para profundizar en el futuro en el uso de esta fuente.

Es importante aclarar que este estudio no es un inventario de emisiones para el país. Se trata de un análisis concreto de la concentración de tres gases derivados de la flota vehicular, seleccionados por la disponibilidad de información valiosa registrada en el proceso de revisión técnica vehicular, que no se toman durante el ciclo de manejo y que son una parte parcial de un conjunto de *contaminantes criterio* que se relacionan con temas de salud humana y calentamiento global. Esta aclaración es relevante para reconocer las limitaciones inherentes a esta fuente para abordar ampliamente otros problemas, como la calidad del aire o el

efecto invernal. En el estudio solo se toma en cuenta el combustible diésel y la gasolina.

En términos generales, los hallazgos de este estudio aportan nuevos elementos a la noción de que el actual modelo de transporte terrestre impacta negativa y simultáneamente en la salud y el ambiente, aspecto que otros estudios han venido señalando. La tendencia seguida por el país durante los últimos años hacia un aumento sistemático en la flota vehicular desencadena, inevitablemente, crecientes emisiones que causan efectos en ambas áreas. También, se demuestra que los distintos tipos de vehículo tienen un peso diferenciado en el problema según el grado y tipo de emisión del escape.

Los resultados se desglosan en tres secciones. La primera incluye explicaciones y aspectos metodológicos, relevantes para entender los alcances y las limitaciones del estudio. En la segunda se describe la flota vehicular según su composición, a partir de varios criterios con un nivel de detalle inédito; por ejemplo, el recorrido de cada tipo de vehículo. Por último, se analizan las concentraciones de tres gases que mide la RTV, y sus particularidades según los tipos de vehículo por combustible, función, recorrido y antigüedad.

Consideraciones metodológicas, fuentes y limitaciones del estudio

Esta es una investigación exploratoria. Se emplearon diversas fuentes de información, abordadas mediante técnicas estadísticas para el procesamiento, análisis y visualización de los datos. La principal y más novedosa fue el conjunto de tablas sobre los resultados de la revisión técnica vehicular (RTV), proporcionadas por la empresa Riteve SyC, gracias a un convenio de cooperación con el PEN/Conare. Es un primer acercamiento a una valiosa información que apenas comienza a utilizarse y es un punto de partida para posteriores estudios. Como insumo para entender sus alcances, y por la complejidad técnica del tema, se exponen varias aclaraciones conceptuales que serán relevantes en caso de dudas sobre los aspectos desarrollados en la

investigación (recuadro 4.1), además de resumir algunas consideraciones metodológicas en este breve apartado.

Para el proceso de análisis se unieron las tablas⁶ de resultados de la RTV en un único archivo integrado, con las mediciones aplicadas a todos los vehículos que asistieron en el período 2015-2019, en temas seleccionados. Las principales variables utilizadas fueron:

- Variables de la revisión: fecha de revisión y tipo de revisión.
- Variables del vehículo: tipo de vehículo, año del modelo, criterio de uso y kilometraje⁷.
- Variables de resultado de la revisión en prueba de emisiones: concentración de gases (monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos) según régimen (ralentí⁸ o acelerado) en vehículos de gasolina; opacidad en vehículos diésel y rechazo por emisiones.

Posteriormente, se sometieron los datos a pruebas estadísticas para identificar necesidades de “limpieza” por errores propios en la captura de la información. También, se diseñaron indicadores útiles para el análisis que no estaban en las tablas iniciales: grupos de vehículos, kilómetros recorridos por día, concentraciones de gases según modelo, entre otros que también se construyeron en combinación con otras fuentes.

Como los datos se estudiaron por vehículo, se anonimizaron por razones de seguridad y privacidad, antes de ser recibidos para el proceso investigativo. Para ello, el equipo técnico de Riteve SyC creó para cada unidad un identificador único (conocido como *hash*), el cual sustituyó el número de placa o serie. El PEN-Conare no participó en esa etapa ni tuvo acceso a la metodología ni al código utilizados. De esta forma, fue posible efectuar un análisis con detalle y sin comprometer la privacidad. En todos los extremos, se cumplieron los parámetros del convenio entre Riteve SyC y el PEN-Conare, en las cláusulas que protegen el manejo de

Recuadro 4.1

Algunos puntos de partida sobre gases y combustión

Este capítulo se centra en analizar datos relacionados con tres gases emitidos por los motores de combustión interna en la flota de vehículos del país. No todos los contaminantes criterio se incluyen en el estudio, por la disponibilidad de información en las fuentes principales utilizadas: la revisión técnica vehicular solo mide concentraciones de aquellos que la normativa le indica. Sin embargo, es importante dejar constancia de las implicaciones generales sobre dichos contaminantes.

Por un lado, los gases emitidos por un motor de combustión interna de gasolina son principalmente de dos tipos: inofensivos y contaminantes. Los primeros están formados fundamentalmente por nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrógeno; y los segundos, por monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno⁵. El dióxido de carbono generado por la combustión completa del carbono no es nocivo para los seres vivos en condiciones de un ambiente abierto. Se produce como consecuencia natural de la combustión misma; es decir, cuanto mayor es su concentración, mejor es la combustión. Sin embargo, un incremento desmesurado de su concentración en la atmósfera tiene consecuencias en materia climática a gran escala, debido a lo que se conoce como efecto invernadero.

Por su parte, las emisiones de los vehículos diésel son ricas en nitrógeno, dióxido de carbono, agua, oxígeno, dióxido de azufre, partículas de hollín diésel, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono.

Aunque la contaminación del aire tiene origen en fuentes fijas, fuentes móviles y biogénicas, en este estudio se analizará la información referida a las fuentes móviles y, concretamente, a la concentración de tres gases en las emisiones vehiculares, como monóxido de carbono e hidrocarburos, que resultan cuando no se quema por completo el combustible en el motor y el CO₂ producido por la combustión completa del carbono, como se mencionó antes.

Estos fueron seleccionados porque se disponía de los datos de la medición de control de emisiones en la revisión técnica vehicular y porque permiten una aproximación a cómo la combustión afecta, de forma particular, la salud humana e incrementa el efecto invernadero.

En el caso de los vehículos diésel se estudia la opacidad, que consiste en el grado de oscurecimiento del humo por la combustión, pues es la medición establecida en la normativa.

Al inicio del capítulo se presenta, como marco general, una estimación de las emisiones totales de CO₂ por tipo de vehículo. Esta se realiza con otras fuentes distintas de la RTV (principalmente a partir del consumo de combustible según el Balance energético nacional), para dar un panorama global de los diferentes aportes de la flota en materia de gases, que permite entender mejor los hallazgos posteriores.

Fuente: Alfaro, 2020.

datos y su uso exclusivo para fines de esta investigación.

Es importante mencionar que no todos los vehículos en circulación asisten a la revisión técnica vehicular. Por ese motivo, en ciertas etapas del análisis fue necesario realizar procesos de imputación de datos para algunos (especialmente

en los modelos más antiguos y en los más recientes), considerando todas las variables de interés y con la técnica de promedios móviles, para no afectar las tendencias en los resultados finales⁹.

También se debe considerar que las emisiones de la flota vehicular están directamente relacionadas no solo con

la antigüedad, uso y tipo de combustible, sino también con los rendimientos del motor, los filtros o el mantenimiento que reciben, aspectos que no se abordan en esta primera aproximación.

Por último, se complementó la información con datos de otras fuentes, entre ellas las tablas agregadas de vehículos en circulación por tipo y modelo, proporcionadas por la Dirección de Seguros Obligatorios y Salud del Instituto Nacional de Seguros, a partir de registros administrativos que se generan con el pago de las obligaciones del derecho de circulación. Esta se usó para cuantificar las unidades según tipo, combustible y modelo. Lo concerniente a la evolución histórica de esa flota se obtuvo de la Secretaría de Planificación del Subsector Energía (Sepse) del Ministerio de Ambiente y Energía. De esa misma fuente se utilizó el Balance Energético Nacional del año 2019, con el propósito de conocer el consumo en el sector transporte por tipo de combustible y de vehículo, lo cual constituye la base de un cálculo de las emisiones totales de CO₂ de la flota vehicular, que se construyó a partir de dicho consumo y con factores de conversión¹⁰ utilizados para estos propósitos.

La metodología de análisis fue predominantemente descriptiva y se emplearon varias herramientas o programas estadísticos. Para el procesamiento, integración y limpieza de información se trabajó con *Excel*, *Tableau Prep* y *RStudio*. Las imágenes estadísticas se prepararon con *Tableau Desktop* y *Excel*.

Se presentaron algunas limitaciones para el análisis, derivadas de las características propias de las fuentes de información, aparte de los procesos normales de integración y limpieza de los datos. Como se dijo, la cantidad total de vehículos en circulación según tipo y modelo se obtiene de los registros administrativos del INS, no de la información brindada por Riteve SyC. No todos los vehículos deben hacer RTV, como sucede con los modelos más nuevos, y también hay ausentismo. Esto restringe generalizar datos para un conjunto de unidades que circulan, pero no se registran en la fuente de la RTV. Por lo tanto, se deben

extrapolar datos para aproximar mejor los hallazgos, como se explicó anteriormente.

Otra consideración relevante es que las mediciones de la RTV se focalizan en la concentración de algunos gases específicos en las emisiones de los vehículos según establece la normativa, para observar su control en cada motor particular. Esto impide estimar la masa de emisiones liberadas, y no es una fuente para inventariar los gases en la atmósfera o estudiar la composición de la química del aire, para lo cual existen otros monitoreos en el país (ver el “Balance ambiental”). Por ello, esta investigación no pretende realizar ninguna de esas dos tareas. Dado que tampoco la RTV mide la presencia de todos los gases de efecto invernadero, ni todos los *contaminantes criterio* para evaluar la calidad del aire, el análisis de este capítulo se enfoca en estudiar el comportamiento de tres gases específicos, como indicador *proxy* de cómo se caracteriza su control en la flota vehicular y qué retos implica.

Además, se debe tomar en cuenta que las emisiones analizadas en la RTV varían por tipo de vehículo y combustible; es decir, no a todas las unidades se les mide lo mismo. Por ejemplo, a los vehículos con motor diésel no se les toman los niveles de CO₂, sino la opacidad; a los de gasolina se les mide, entre otros aspectos, la concentración de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos en el proceso de combustión, como se mencionó antes. Lo evaluado en la RTV responde a ciertas condiciones, que permiten determinar la eficiencia en la reducción de gases de dicho proceso en cada vehículo, no a la masa emitida. La prueba se efectúa en un contexto diferente al del uso de los vehículos en carretera, para lo cual no existen registros. A esto se suma un margen de error no estimado en caso de una posible práctica de llevar a la RTV vehículos con alteraciones momentáneas, con el fin de pasar la prueba con más facilidad.

Por supuesto, se debe entender que la revisión técnica vehicular se realiza para objetivos propios, y sus mediciones identifican el cumplimiento de parámetros establecidos en la normativa para otorgar

o no el aval técnico a la circulación de vehículos. En este sentido, la finalidad de este proceso es distinta a la de esta investigación. Pese a lo anterior, es una fuente sumamente valiosa para explorar los estándares de concentración de gases de la flota, aunque no lo sea para cuantificar el total de emisiones. Por eso se utilizaron fuentes complementarias, tales como el consumo de combustible por tipo de vehículo, del Balance Energético Nacional de 2019, para estimar la cantidad de emisiones de CO₂, y combinaciones de datos de Riteve SyC, el INS y Sepse-Minae para profundizar el análisis.

Por último, es importante señalar que, para los cálculos sobre vehículos en circulación, y el comportamiento de los gases analizados, se excluyeron los vehículos especiales (maquinaria especial, vehículos eléctricos, etc.) pues representan menos del 2% del parque automotor, y por sus características no todos deben realizar la RTV.

Más allá de estas limitaciones, la información derivada de la RTV constituye una fuente de enorme valor público para lograr una mayor comprensión sobre las condiciones, uso y control de emisiones de la flota en Costa Rica. Existe toda una gama de retos de investigación futuros, con el propósito de complementar el análisis y ampliarlo hacia otras áreas de interés para el desarrollo humano sostenible.

Caracterización de la flota vehicular, distancia recorrida y consumo de combustible

Para enmarcar el estudio es fundamental conocer la evolución y características de la flota vehicular, las cuales se han señalado como claves en las graves deficiencias del modelo actual del transporte y la movilidad, y que generan –entre otros problemas– una gran presión sobre el consumo energético y las emisiones contaminantes. Si bien el análisis se centra en la concentración de algunos gases, con base en los resultados de la RTV, este no es el único impacto negativo de los vehículos; otros, como el provocado por el caucho de las llantas, e incluso la contaminación sonora.

Esta primera sección documenta el

marcado crecimiento de la flota vehicular en las últimas cuatro décadas y la caracteriza contemplando elementos importantes para el análisis posterior. Por primera vez se presentan datos detallados sobre las distancias recorridas por los diversos tipos de vehículos, con lo cual se puede individualizar su peso en el tema del consumo de combustible y otros aspectos.

Importante crecimiento de la flota vehicular en los últimos cuarenta años, en especial de gasolina

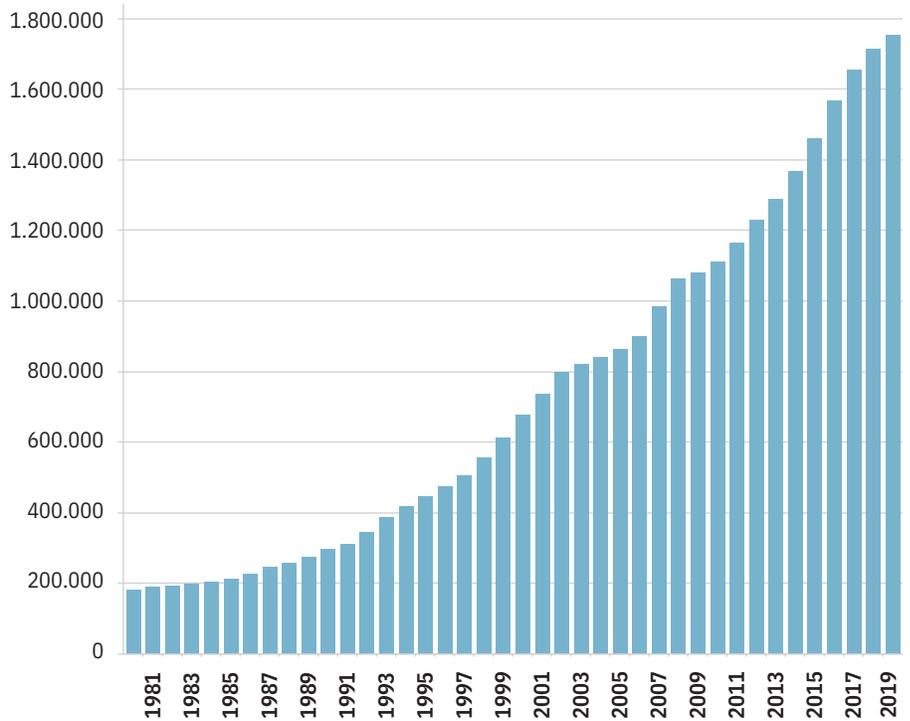
Durante los últimos cuarenta años – período para el que se tiene información–, la flota vehicular en Costa Rica ha experimentado un crecimiento anual ininterrumpido. Según las estadísticas oficiales de Sepse-Minae (2020a), entre 1980 y 2019 el parque automotor se incrementó casi diez veces, al pasar de 180.986 unidades en 1980, a 1.752.813 en 2019 (gráfico 4.1). En promedio, la tasa de crecimiento anual ha sido de un 6%, en un país donde el ritmo de aumento en su población ha rondado una media de un 2% anual en esas cuatro décadas.

El tamaño de la flota vehicular influye de forma directa en las emisiones totales, así como en otros indicadores que se analizan en esta investigación, como los kilómetros recorridos. El parque automotor se compone de vehículos con distintas características. Uno de los atributos más significativos para una clasificación es el tipo de combustible que emplean las unidades. Para el año 2019, un 82% correspondía a vehículos con motor de gasolina, un 17,3% a motores diésel y el restante 0,7% a automóviles eléctricos, híbridos o que utilizan algún tipo de gas (Sepse-Minae, 2020a).

Otro de los criterios básicos para clasificar la flota es el tipo de vehículo. En combinación con el dato anterior de combustible, es posible identificar al menos siete grupos (gráfico 4.2). Para el año 2019, los automóviles son los vehículos con mayor cantidad de unidades registradas (más de un millón, que representa un 57,4% del total). De estas, el 90,3% usan la gasolina como combustible, el 9,4% el diésel y el 0,3% otro tipo. Le siguen las motocicletas, con 433.202 unidades,

Gráfico 4.1

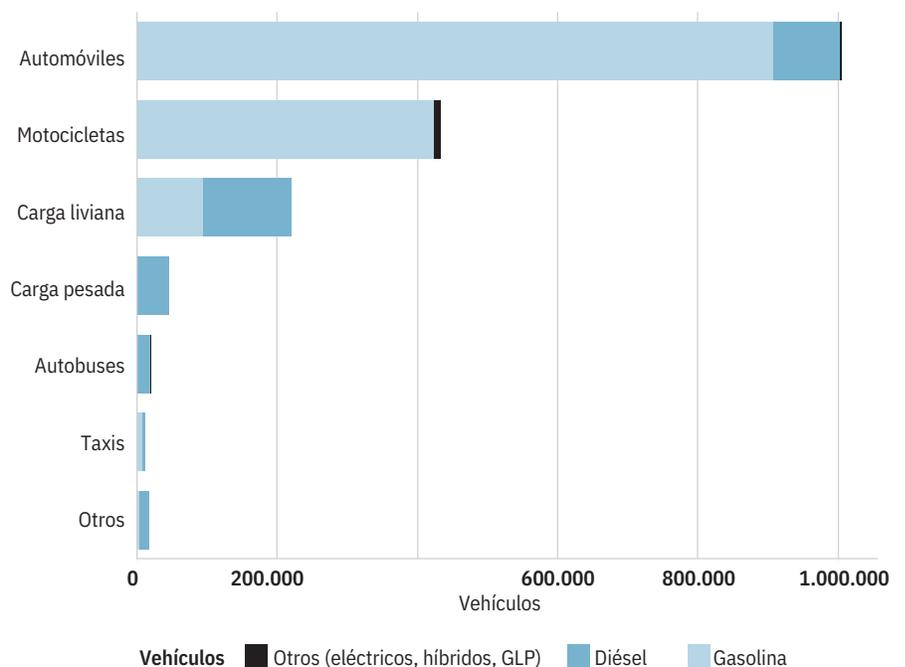
Evolución de la flota vehicular



Fuente: Fernández, 2020, con datos de Sepse-Minae, 2020a.

Gráfico 4.2

Composición del parque automotor, según tipo de combustible. 2019



Fuente: Fernández, 2020, con datos de Sepse-Minae, 2020a.

de las cuales el 98% funcionan con gasolina y el 2% son eléctricas o emplean otro tipo de combustible. Los vehículos de carga liviana o para transporte de mercancías con peso menor a los 3.500 kilogramos suman 220.256 unidades, y de estas, el 42,5% son de motor de gasolina y el restante 57,5% de diésel. Los vehículos de carga pesada o para transporte de mercancías con peso mayor de 3.500 kilogramos son aproximadamente 46.386 unidades, con más del 99% de diésel. Esto también sucede entre los autobuses, ya que, de las casi 18.724 unidades, el 99% poseen motores con diésel. Los taxis son poco más de 11.380 unidades, el 69% con motor de gasolina y el 31% de diésel. Otros tipos de vehículos, como los especiales y de cierto uso particular, se incluyen en otra categoría residual, con poco más de 17.359 unidades, un 80% de ellas de motor diésel.

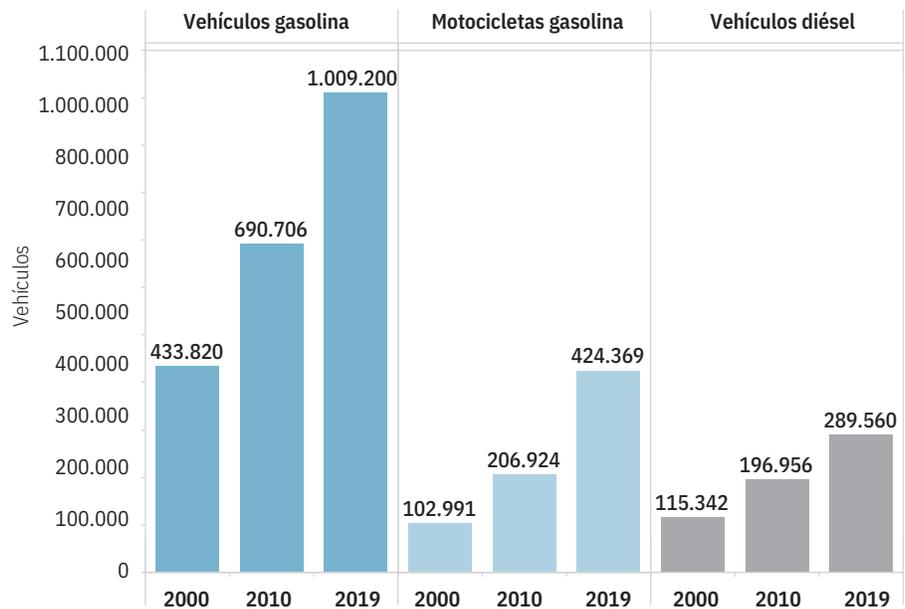
Para el análisis que se realiza más adelante sobre concentración de gases, resulta de especial interés agrupar los vehículos con características comunes, como el tipo de combustible y de motor. La totalidad del parque vehicular puede clasificarse al menos en tres grupos, que abarcan el 99% de las unidades. Se trata de una desagregación muy global, para observaciones muy generales, y que obedece a que en la RTV se les miden distintos tipos de gases. En el futuro será importante desglosar los datos que diferencien mejor la gran diversidad de tecnologías que caben en estos tres conjuntos, algo que se hace más adelante para algunos cálculos específicos. Esta selección es:

- Vehículos gasolina: todos los automotores que utilizan ese combustible, con excepción de las motocicletas;
- Motocicletas gasolina: todas las motocicletas, excepto aquellas que usan otra fuente, y
- Vehículos diésel: todos los vehículos con ese tipo de motor.

La categoría de otros vehículos no se incluye en ninguno de los grupos definidos, pues en algunos casos no les aplican

Gráfico 4.3

Evolución del parque automotor por década, según grupo de vehículos



Fuente: Fernández, 2020, con datos de la Sepse-Minae, 2020a.

la revisión de gases en la RTV (como los vehículos eléctricos) y en otros porque, durante esa prueba, presentan mayores problemas de calidad de la información (como la maquinaria pesada o de trabajo).

Al analizar la evolución histórica de estos tres grupos de vehículos, en todos se corrobora un aumento sistemático en la cantidad de unidades (gráfico 4.3). En términos relativos, los que muestran un crecimiento más acelerado son las motocicletas, que en los últimos diez años se han duplicado. Pero en términos absolutos, durante la última década los vehículos gasolina son los de mayor incremento, seguidos de las motocicletas y los vehículos diésel.

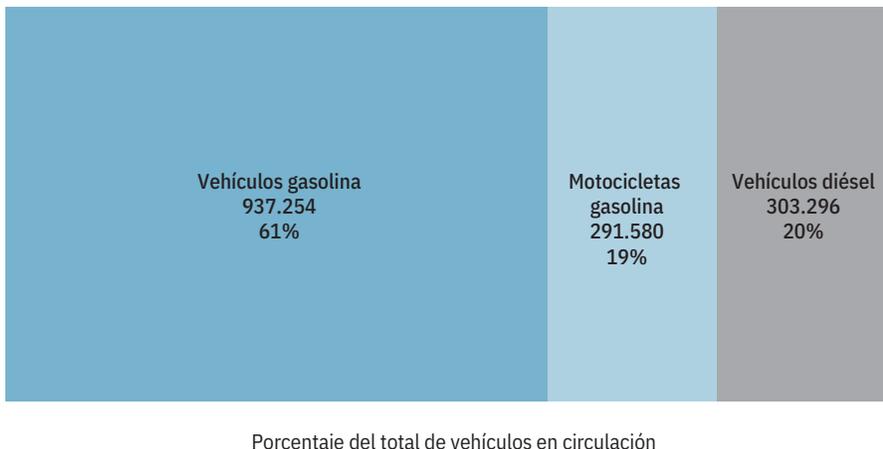
Con los datos del Instituto Nacional de Seguros, a partir del registro de aquellos vehículos que habían cumplido sus obligaciones mínimas para transitar de manera legal en el país, se puede determinar la flota que actualmente se debería encontrar en circulación. El resultado es de 1.532.130 unidades, siempre excluyendo la categoría de otros vehículos,

como la maquinaria especial. La composición por grupos de unidades en circulación resulta en un 61% de gasolina, 19% motocicletas y 20% diésel (gráfico 4.4).

Para finalizar, otra de las variables de interés es el año del modelo de los vehículos. Dependiendo de la antigüedad, pueden variar su uso y los resultados de las pruebas de eficiencia en la combustión, la cual se mide por la vía de concentración de gases. Al analizar la composición de los tres grupos en circulación para el año 2019 (gráfico 4.5), se encontró que solo 4 de cada 10 tienen menos de diez años, cerca de una cuarta parte entre 10 y 20 años, y otra cuarta parte entre 20 y 30 años. El restante 10% tiene más de 30 años, es decir, corresponde a modelos de 1990 o anteriores. La antigüedad varía considerablemente para los distintos grupos. En las motocicletas se concentra la mayor cantidad de vehículos más nuevos (8 de cada 10 con diez años o menos). Aunque la distribución es similar entre los vehículos gasolina y diésel, en los segundos existe una mayor proporción con 30 a 40 años.

Gráfico 4.4

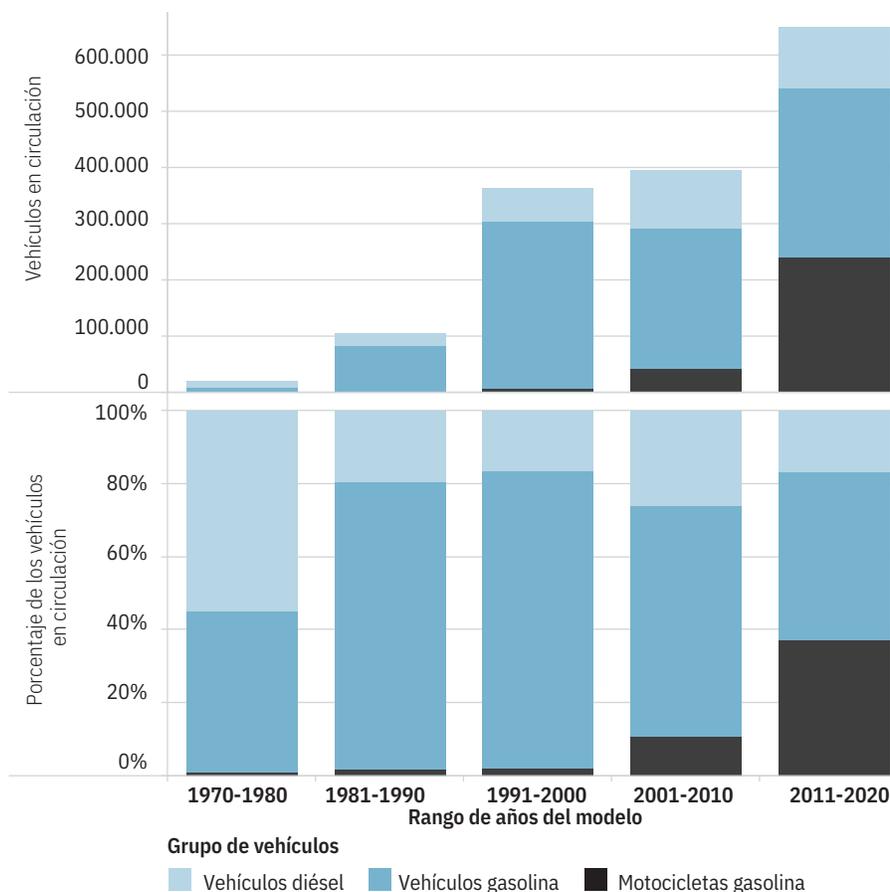
Composición del parque automotor en circulación, por grupo de vehículos. 2019



Fuente: Fernández, 2020, con datos del INS, 2020.

Gráfico 4.5

Composición del parque automotor en circulación, según rango de años del modelo. 2019



Fuente: Fernández, 2020 con datos del INS, 2020.

Automóviles particulares son los que aportan más kilómetros recorridos al año

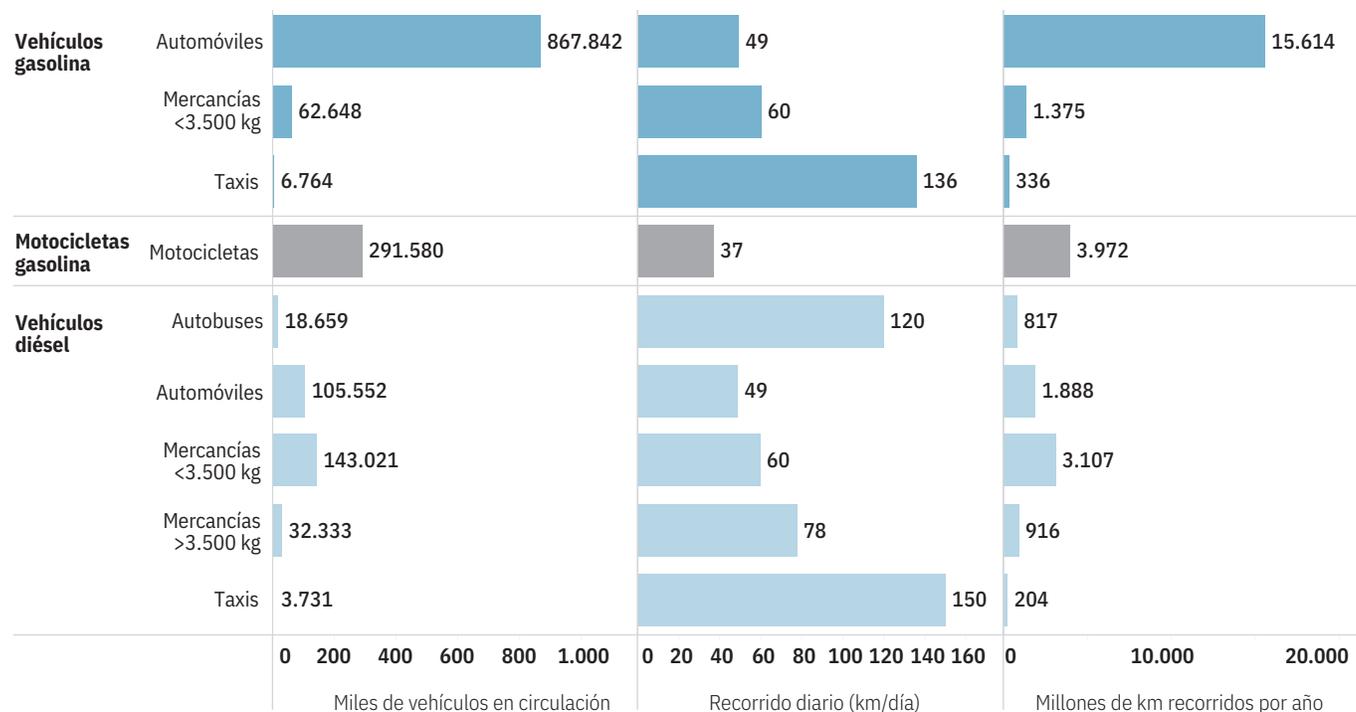
El impacto de la flota vehicular en el consumo energético y las emisiones contaminantes no depende solo de la cantidad de vehículos en circulación, sino también de las distancias que estos recorren en su uso¹¹. El parque automotor no es homogéneo; por el contrario, se compone de una agrupación de unidades con distintas características, que utilizan diferentes tipos de combustibles y recorren diversas distancias con rendimientos variados en ese consumo. Esto sugiere la necesidad de adoptar políticas diferenciadas para el control de gases, en función de esas características. Este apartado estima el recorrido de los tipos de vehículos, así como el consumo de combustible asociado.

Los resultados de la RTV permiten estimar aspectos sobre la distancia recorrida (no así sobre la velocidad de esos desplazamientos). Se utiliza como primer indicador el promedio de recorrido diario de las unidades¹². En el año 2019, el recorrido fue en promedio de 50,5 kilómetros diarios por vehículo. Los motores gasolina registran un promedio de 47,5 kilómetros por día, mientras que los de diésel recorren una media de 62,6. Por tipo de vehículo, los taxis y los autobuses obtuvieron el mayor promedio de recorrido por día: 141 y 117 kilómetros, respectivamente. Los automóviles recorren en promedio 50 kilómetros por día, y las motocicletas son las que registran un menor desplazamiento, con 24 kilómetros por día.

Un segundo indicador es el total de kilómetros recorridos por la flota vehicular en su conjunto y por tipo en un año¹³. Este indicador es relevante porque, si bien algunos grupos de vehículos recorren una mayor distancia diaria, pueden ser proporcionalmente menos en cantidad de unidades, y, por lo tanto, en términos globales aportan menos recorrido total. Un ejemplo de ello es lo que sucede con los taxis: son los que recorren una mayor distancia al día, pero en el agregado de kilómetros recorridos al año pesan menos, por ser relativamente pocas unidades. De acuerdo con el

Gráfico 4.6

Recorrido del parque automotor en circulación, por tipo y grupo de vehículos. 2019



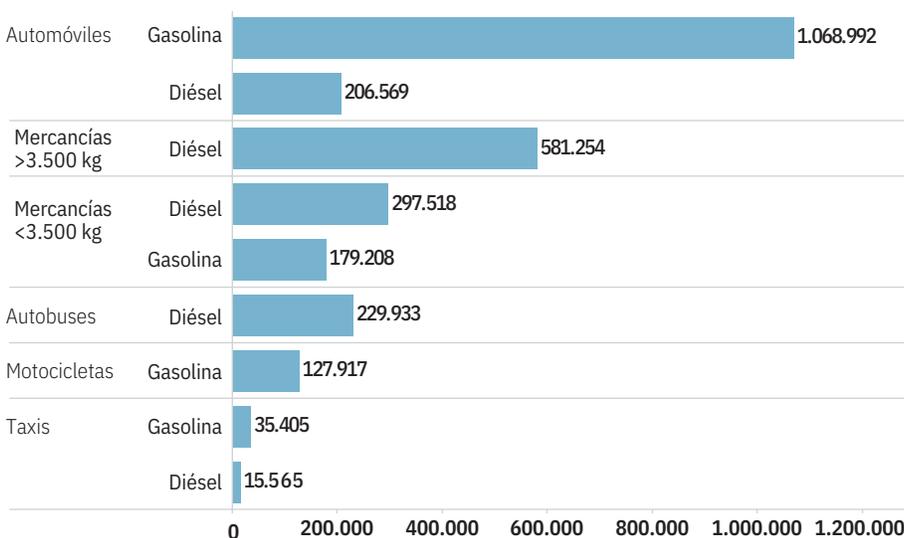
Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020, y el INS, 2020.

análisis de este último indicador para el año 2019, la totalidad de la flota recorrió 28.230 millones de kilómetros. Los vehículos tipo automóvil registran la mayor distancia recorrida en conjunto, con un total de 17.502 millones de kilómetros (gráfico 4.6). En segundo lugar, se ubican los vehículos de transporte de mercancías livianas, con 4.482 millones de kilómetros al año, y las motocicletas con 3.972 millones de kilómetros.

Según el Balance Energético Nacional del 2019, los vehículos considerados en la presente investigación consumieron, para esos recorridos, una cantidad similar de gasolina y diésel: 1,4 millones de metros cúbicos (m³) versus 1,3 millones de m³, para un total de 2.742.361 m³ de combustible en ese año (Fernández, 2020, con datos de Sepse-Minae, 2020b). Los automóviles son el grupo de vehículos que generó el mayor consumo, con 1,2 millones de m³, de los cuales el 84% fue de gasolina (gráfico 4.7). Las unidades con el menor consumo fueron las

Gráfico 4.7

Consumo de combustible del parque automotor en circulación, según tipo de combustible. 2019 (metros cúbicos)



Fuente: Fernández, 2020, con datos de Sepse-Minae, 2020b.

Gráfico 4.8

Composición de las emisiones estimadas de dióxido de carbono^{a/} del parque automotor en circulación, según tipo de vehículo. 2019

Automóviles (45%) 3.083.346 toneladas CO ₂	Mercancías >3.500 kg (22%) 1.517.073 toneladas CO ₂	Autobuses (9%) 600.125 toneladas CO ₂
	Mercancías <3.500 kg (18%) 1.203.037 toneladas CO ₂	Motocicletas (4%) 304.443 Toneladas CO ₂
		Taxis (2%)

a/ Los factores de conversión para estimar las emisiones de CO₂ son en gasolina: 2,38 kg de CO₂/litro y en diésel: 2,61 kg de CO₂/litro. Los factores de conversión para el cálculo de terajulios a volumen son: en gasolina 32,65 TJ/1.000 m³ y en diésel 36,30 TJ/1.000 m³.

Fuente: Fernández, 2020, con datos de Sepse-Minae, 2020b, y del INS, 2020.

motocicletas, con 128.000 m³ de gasolina, y los taxis, con 51.000m³ entre gasolina y diésel.

Los gases analizados muestran tendencias disímiles en sectores de la flota vehicular

Esta sección analiza –a partir de los datos consignados en el apartado anterior– dos tipos de información. Primero, una distribución de las emisiones de CO₂ en la flota vehicular, a partir de estimaciones derivadas del consumo de combustible, con los datos del Balance Energético Nacional de 2019. Y segundo, las concentraciones de otros dos gases (monóxido de carbono y los hidrocarburos) que registra la flota vehicular, según los resultados de la RTV. Como se mencionó en la introducción de este capítulo, todos los gases aportan a la contaminación del aire, y ejercen impactos simultáneos y vinculados entre sí sobre la salud y el ambiente. No obstante, algunos están más relacionados de manera particular con alguna de estas dos vertientes. Por ejemplo, se sabe que el efecto invernadero causa el calentamiento global y agrava la crisis climática; además, que estos cambios ambientales afectan, a la vez, la salud

humana. En esa materia, el dióxido de carbono (CO₂) es uno de sus principales causantes. Los otros dos gases se relacionan con una afectación directa sobre la salud humana. Es preciso recordar que estos no son todos los *contaminantes criterio* que se miden para observar el problema de la contaminación atmosférica, pero son los únicos que la normativa indica medir en la RTV y sobre los que, por primera vez, se tienen datos.

Este apartado presenta evidencia de un comportamiento disímil y opuesto en el control en los vehículos de los tres gases analizados. También, muestra posibles señales de laxitud en los parámetros con que se miden algunas de las mayores fuentes de contaminación. Con respecto a lo primero, los datos revelan la importancia de entender que el control de gases puede implicar avances en una materia y no en la otra –la salud humana o el calentamiento global–. Al mismo tiempo, y en vista de que ambos temas son elementos centrales para el desarrollo humano sostenible, se plantea la necesidad de ampliar el debate de un asunto específico de cambio o modernización de flota, a una apuesta para reducirla, o al menos su uso, con alternativas de transporte público que posibiliten mitigar las fuentes de emisión.

Vehículos diésel aportan CO₂ en mayor proporción de la que corresponde a su cantidad y recorrido

El CO₂ que emite la flota vehicular es relativamente menos nocivo que otros gases, en cuanto a sus efectos directos sobre la salud humana; sin embargo, este es el gas que, por volumen, contribuye más al efecto invernadero en el mundo y al calentamiento global. En ese sentido, determinar la magnitud y fuentes del CO₂ en la flota vehicular en Costa Rica es de suma relevancia para el diseño de intervenciones públicas enfocadas en disminuir el aporte al problema global del cambio climático, para lo cual el país ha firmado acuerdos internacionales y ha asumido metas nacionales, como la descarbonización.

Se estima que en el 2019 las emisiones de CO₂ provenientes de la flota vehicular en Costa Rica (calculadas a partir del consumo de combustible¹⁴ y con factores de conversión comentados en la sección metodológica) fueron en total de 6.832.911 toneladas. De estas, más de 3,3 millones de toneladas corresponden a vehículos gasolina y más de 3,4 millones de toneladas a vehículos diésel. Por tipo (gráfico 4.8), los automóviles concentraron el 45% del total, el transporte de carga otro 40% (22% carga pesada y 18% carga liviana), los servicios de transporte público de pasajeros, como autobuses y taxis, en conjunto, el 11%, y las motocicletas el restante 4%.

Se prepararon dos indicadores adicionales (gráfico 4.9). El primero calcula la cantidad promedio de emisiones de CO₂ por vehículo en un año determinado. Sus resultados permiten concluir que existen variaciones considerables por tipo. Mientras en el año 2019 cada motocicleta individualmente emitió en promedio una tonelada de CO₂, cada unidad de transporte de carga pesada generó en promedio 47 toneladas, debido a factores como el tamaño del motor o la distancia que cada unidad recorre al año.

El segundo indicador estima la cantidad de emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido. También las motocicletas son las que menos emisiones producen al moverse, con un promedio de 77

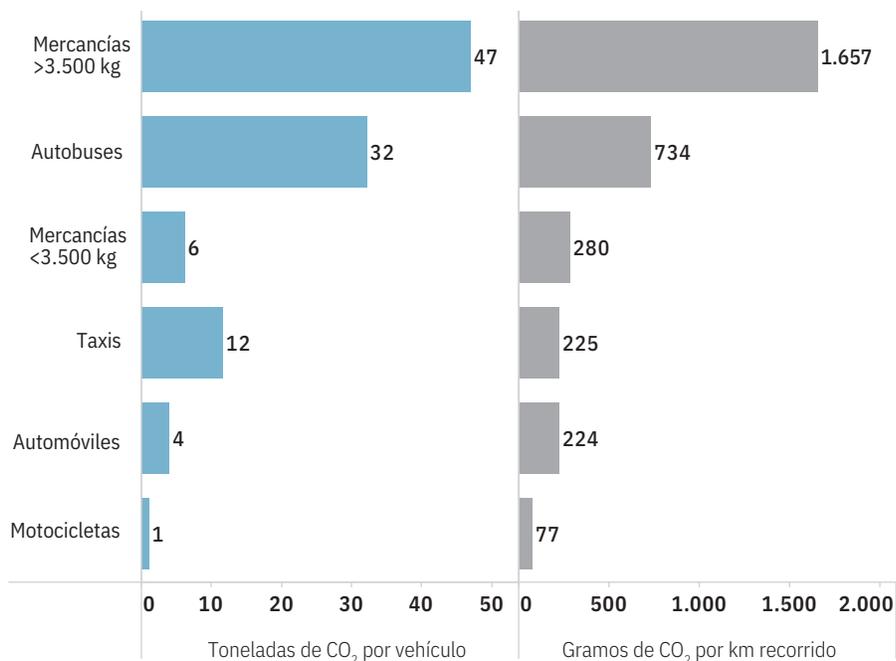
gramos por kilómetro recorrido. Los automóviles, taxis y mercancías livianas emiten entre 220 y 286 gramos por kilómetro recorrido, según sea el tipo de vehículo y el combustible utilizado. Por su parte, los que liberan más CO₂ por kilómetro recorrido son los autobuses, con 734 gramos por kilómetro, y sobre todo el transporte de carga pesada, con 1.657 gramos por kilómetro.

El cuadro 4.1 contiene un conjunto de indicadores sobre la cantidad, recorrido y emisiones estimadas de CO₂ de la flota vehicular del país, lo cual permite analizar el comportamiento por tipo, según su combustible, y comparar los resultados. Se debe recordar que esta única estimación de emisiones en el estudio se realizó con datos de consumo de combustible, y no a partir de la RTV. Los factores de conversión utilizados se detallan en el cuadro siguiente.

Uno de los principales resultados obtenidos de estos datos es que los vehículos diésel emiten una cantidad de CO₂ proporcionalmente más alta que su peso porcentual en el número de unidades. Del total, el 80% son gasolina y el 20% diésel; y del total de kilómetros recorridos al

Gráfico 4.9

Estimación de emisiones de dióxido de carbono del parque automotor en circulación, según tipo de vehículo. 2019



Fuente: Fernández, 2020 con datos de Riteve SyC, 2020, INS, 2020 y Sepse-Minae, 2020b

Cuadro 4.1

Indicadores generales y estimación de emisiones^{a/} anuales de CO₂, por tipo de vehículo. 2019

Tipo de vehículo y combustible		Vehículos en circulación	Recorrido anual (millones de km)	Consumo de combustible (m ³)	Toneladas de CO ₂	Toneladas de CO ₂ por vehículo	Gramos de CO ₂ por km recorrido
Gasolina	Automóviles	867.842	15.616	1.068.992	2.544.201	2,9	163
	Mercancías <3.500 kg	62.648	1.374	179.208	426.516	6,8	310
	Taxis	6.764	336	35.405	84.263	12,5	251
	Motocicletas	291.580	3.970	127.917	304.443	1,0	77
Diésel	Automóviles	105.552	1.888	206.569	539.145	5,1	286
	Mercancías <3500 kg	143.021	3.106	297.518	776.522	5,4	250
	Taxis	3.731	204	15.565	40.625	10,9	199
	Autobuses	18.659	817	229.933	600.125	32,2	734
	Mercancías >3.500 kg	32.333	916	581.254	1.517.073	46,9	1.657
Total	Gasolina	1.228.834	21.296	1.411.522	3.359.422	2,7	158
	Diésel	303.296	6.931	1.330.839	3.473.489	11,5	501
	Flota vehicular	1.532.130	28.227	2.742.361	6.832.911	4,5	242

a/ Los factores de conversión para estimar las emisiones de CO₂ son en gasolina: 2,38 kg de CO₂/litro y en diésel: 2,61 kg de CO₂/litro. Los factores de conversión para el cálculo de terajulios a volumen son: en gasolina 32,65 TJ/1000 m³ y en diésel 36,30 TJ/1.000 m³.

Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020; INS, 2020, y Sepse-Minae, 2020a y 2020b.

año, 75% son realizados con vehículos gasolina y 25% por vehículos diésel. Sin embargo, los últimos emiten el 50,8% del CO₂ y los de gasolina, el 49,2% restante. Es decir, una quinta parte de la flota nacional, que utiliza motores diésel, es responsable de poco más de la mitad del CO₂ emitido (gráfico 4.10). Esto puede responder a dos razones. En primer lugar, las emisiones de CO₂ dependen de la cantidad de energía necesaria para circular y de la eficiencia del motor; por lo tanto, a mayor potencia y peso del vehículo, mayor consumo de combustible y emisiones de este gas. Por otro lado, como se analiza adelante, los parámetros aceptados en estos casos pueden ser laxos, y para unidades más antiguas no se han actualizado en dos décadas.

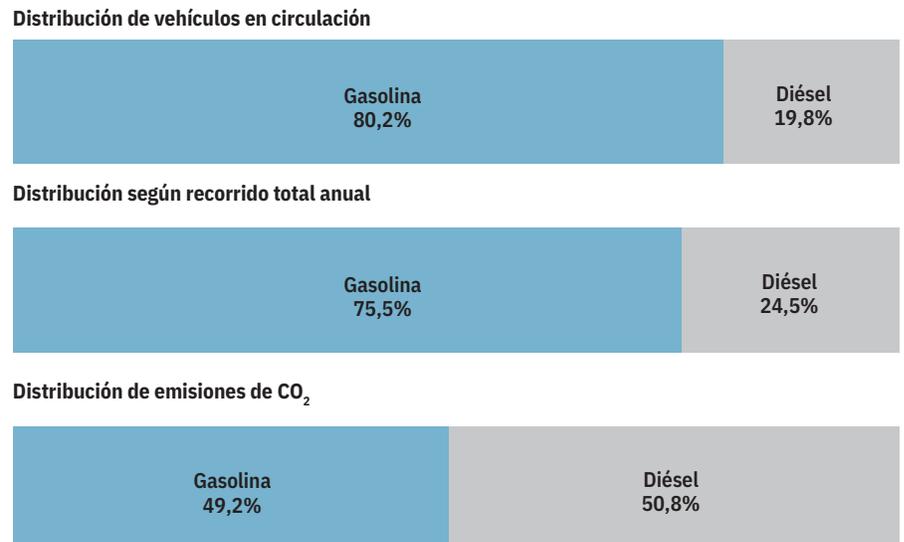
Como complemento, se comparó la composición del parque automotor por tipo de vehículo, total de kilómetros recorridos y total de emisiones de CO₂ producidas en un año (gráfico 4.11). Llama la atención que los vehículos de carga pesada, que constituyen tan solo el 2% de la flota total y el 3% de la distancia recorrida en un año, concentran el 20% del total de las emisiones. En menor medida, los autobuses también presentan un desbalance de acuerdo con su cantidad y uso. En contraste, las motocicletas alcanzan el 19% del total de la flota, pero explican menos del 5% del total de emisiones de CO₂. Los vehículos tipo automóvil, que concentran el 63% del total y esa misma proporción en kilómetros recorridos, tienen una menor participación relativa en las emisiones de CO₂, con el 48% del total.

Antigüedad de unidades se asocia a una mayor concentración de algunos contaminantes

El segundo enfoque de este análisis se refiere a la concentración de varios gases en la flota vehicular, según la eficiencia en la combustión reportada en la prueba de emisiones de la RTV. El análisis comprende gases que, de acuerdo con informes técnicos y consultas a especialistas (E: Alfaro, 2020), ejercen un impacto negativo en términos de la salud de la población. Cabe reiterar que esta

Gráfico 4.10

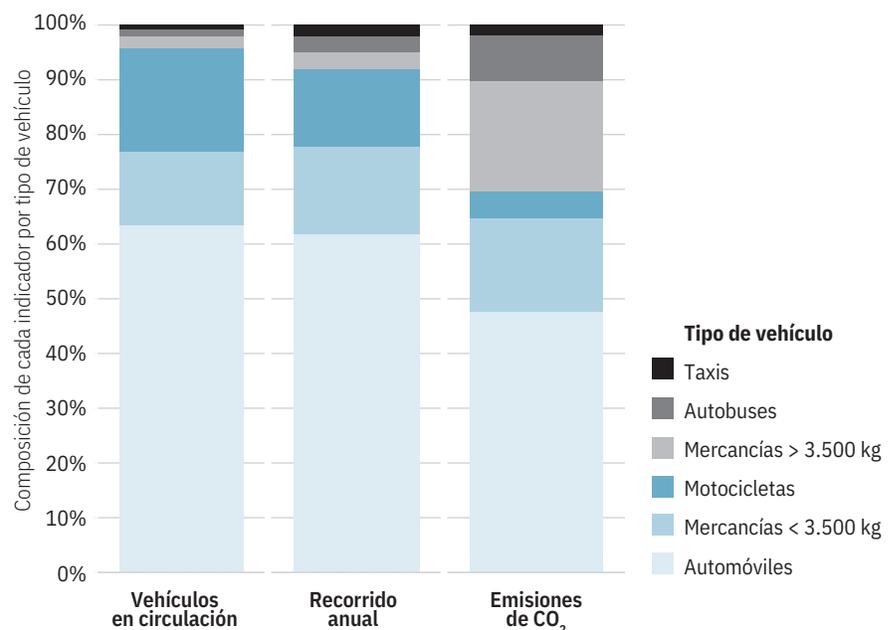
Distribución de los vehículos en circulación, recorrido anual y emisiones estimadas de CO₂, según tipo de combustible. 2019



Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020; INS, 2020 y Sepse-Minae, 2020a y 2020b.

Gráfico 4.11

Parque automotor en circulación, recorrido anual y emisiones estimadas de CO₂, según tipo de vehículo. 2019



Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020; INS, 2020 y Sepse-Minae, 2020a y 2020b.

investigación aborda solamente los niveles reportados por el parque automotor, para los gases que mide la RTV y bajo ciertas condiciones. No analiza otras fuentes de emisión y no debe considerarse como un estudio de la contaminación del aire. Sin embargo, los hallazgos constituyen un aporte inicial para otras investigaciones en este campo, pues proveen evidencia sobre posibles objetos para la política pública.

Durante la prueba de emisiones de la RTV, se mide la concentración de gases en unidades por volumen de consumo de combustible. Ese cálculo permite conocer la eficiencia del motor en cuanto al control de ciertos contaminantes específicos durante la combustión. Las mediciones varían según el tipo de vehículo, el combustible y el tamaño del motor. Por este motivo, el análisis de las concentraciones se realiza por separado para dos grandes grupos. En este estudio, el promedio de la concentración de gases se obtiene de los resultados de todas las revisiones a las que asisten los vehículos, tanto la periódica obligatoria como la reinspección cuando fue necesaria.

Vehículos gasolina registran menor concentración de CO e hidrocarburos

Los vehículos gasolina se caracterizan por tener motores que funcionan con encendido por chispa. En las pruebas de gases de la RTV que se efectúan en el país, de acuerdo con el *Manual de procedimientos para la revisión técnica de vehículos automotores en las estaciones RTV*, a este tipo de unidades se les mide la eficiencia en la combustión con los siguientes parámetros:

- Concentración de monóxido de carbono en régimen ralentí (COR). Porcentaje en volumen de combustible.
- Concentración de monóxido de carbono en régimen acelerado (COA). Porcentaje en volumen de combustible.
- Concentración de dióxido de carbono en régimen ralentí (CO₂R). Porcentaje en volumen de combustible.

- Concentración de dióxido de carbono en régimen acelerado (CO₂A). Porcentaje en volumen de combustible.
- Concentración de partículas de hidrocarburos en régimen ralentí (HCR). En partes por millón (ppm).
- Concentración de partículas de hidrocarburos en régimen acelerado (HCA). En partes por millón (ppm).

Como se comentó, de estos gases dos son los que están más asociados con un impacto directo sobre la salud humana. El monóxido de carbono es considerado un contaminante de la atmósfera y una de las principales causas de enfermedades y muertes por contaminación del aire (Téllez et al., 2006). En Costa Rica, la normativa sobre los niveles aceptables de concentración varía según el tipo de vehículo e, incluso, por aspectos como el modelo y el tamaño de su motor.

Como lo consigna la tabla de límites de concentración de gases contaminantes para motores encendidos por chispa de Riteve SyC (*Manual de procedimientos para la revisión técnica de vehículos automotores en las estaciones RTV* y sus reformas), para el monóxido de carbono en régimen ralentí el límite es hasta un 0,5% en volumen, pero en vehículos con modelos anteriores al año 1999 puede ser hasta de un 2%, y un 4,5% si son motocicletas o vehículos del año 1994 o más antiguos. Algo similar sucede con los rangos aceptados para el caso de los hidrocarburos, que en régimen ralentí debe ser menor de 125 ppm, pero varía a 350 ppm para modelos anteriores al año 1999, y en motocicletas el límite es hasta de 2.500 ppm (SCIJ, 2020).

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE ANÁLISIS DE GASES EN LA FLOTA VEHICULAR

véase Fernández, 2020, en www.estadonacion.or.cr

Los resultados de las mediciones para estos dos gases (cuadro 4.2) muestran variaciones significativas entre los distintos tipos de vehículos. Las motocicletas tienen concentraciones considerablemente mayores tanto de monóxido de carbono como de hidrocarburos, en comparación con los vehículos gasolina. Es decir, tienen motores menos eficientes en el control de estos gases en su proceso de combustión. Este resultado, junto al rápido crecimiento en la cantidad de motocicletas en los últimos años, señala un gran desafío en términos de salud pública.

Los vehículos de transporte de carga liviana que utilizan gasolina reportaron niveles de concentración de estos dos gases mayores que los automóviles, lo cual se podría explicar por el hecho de que sus motores tienen mayor tamaño. Resalta también la menor concentración de estos gases en los vehículos tipo taxi con respecto a los automóviles, en parte –posiblemente– porque, en promedio, son más nuevos, debido a la legislación nacional que les pone un tope de diez años.

Por lo anterior, la perspectiva del rango de antigüedad de los vehículos se torna relevante. Por eso, se analizó la concentración de monóxido de carbono y de hidrocarburos en régimen acelerado en las pruebas de RTV, para vehículos gasolina que no fueran motocicletas. En el primer caso, los resultados permiten concluir que, a mayor antigüedad de la unidad, las concentraciones son superiores (gráfico 4.12). Esto coincide en los tres tipos de vehículos analizados: automóviles, carga liviana y taxis. Esas concentraciones disminuyen de forma considerable en modelos posteriores al año 2000 y aún más a partir del 2010, que mostraron tener sistemas de control más eficientes con respecto a los modelos más antiguos. Este resultado implica, en primera instancia, entender que sí es relevante la modernización de la flota, a fin de hacerla más eficiente en el control de algunos gases que afectan la salud humana. Por supuesto, todavía se requiere el impulso de un cambio tecnológico hacia vehículos de fuentes más limpias, algo incipiente en el país.

Cuadro 4.2

Indicadores generales y concentración promedio de monóxido de carbono e hidrocarburos, para vehículos gasolina. 2019

Indicador	Automóviles	Mercancías < 3.500 kg	Taxis	Motocicletas	Total
Vehículos en circulación	867.842	62.648	6.764	291.580	1.228.834
Recorrido en kilómetros por día	49	60	136	37	47
Recorrido total anual (millones de kilómetros)	15.521	1.372	336	3.938	21.081
Concentración de COR ^{a/} (porcentaje en volumen)	0,3	0,8	0,2	2,9	0,9
Concentración de COA ^{b/} (porcentaje en volumen)	0,3	0,5	0,2	1,2	0,5
Concentración de HCR ^{c/} (p.p.m. ^{d/})	92	225	62	404	172
Concentración de HCA ^{e/} (p.p.m.)	47	72	42	221	89

a/ COR: Concentración de monóxido de carbono en régimen de ralentí.

b/ COA: Concentración de monóxido de carbono en régimen acelerado.

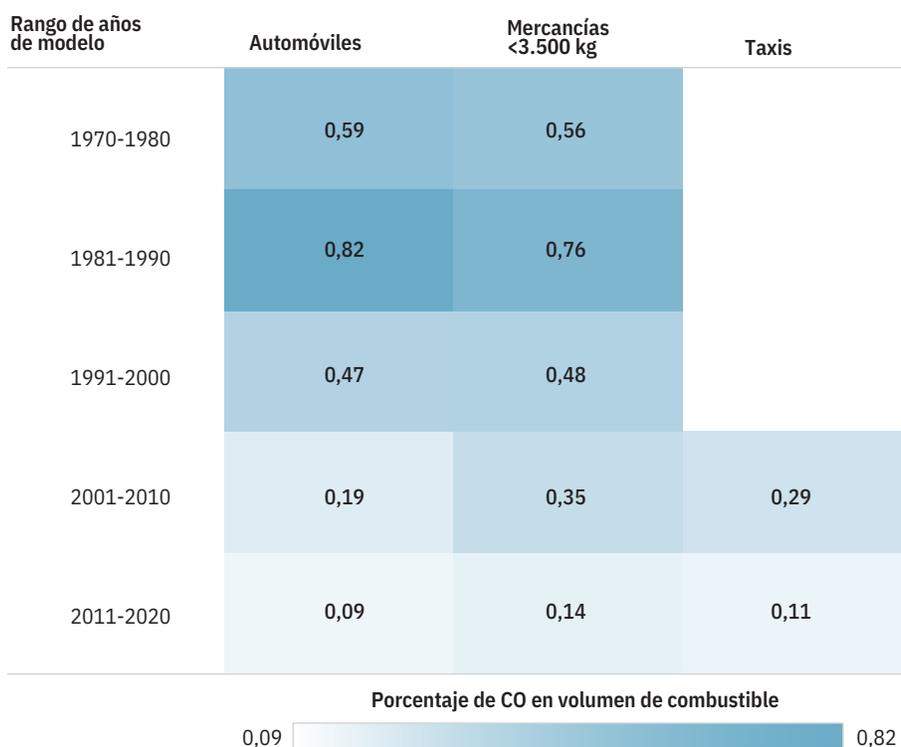
c/ HCR: Concentración de hidrocarburos en régimen de ralentí.

d/ p.p.m.: Partes por millón.

e/ HCA: Concentración de hidrocarburos en régimen acelerado.

Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020 y el INS, 2020.

Gráfico 4.12

Concentración promedio de monóxido de carbono en régimen acelerado para vehículos gasolina, según tipo y modelo. 2019
(porcentaje en volumen de combustible)

Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020.

Los resultados de concentraciones de hidrocarburos según la antigüedad de los vehículos sugieren que los modelos más nuevos son también los más eficientes (gráfico 4.13). Considerando rangos de diez años, existe una disminución sistemática en las mediciones conforme más reciente es ese rango. Esta situación coincide en los distintos tipos de vehículos analizados y también aporta evidencia sobre la importancia de promover la actualización tecnológica para un mejor control de gases contaminantes en la flota vehicular.

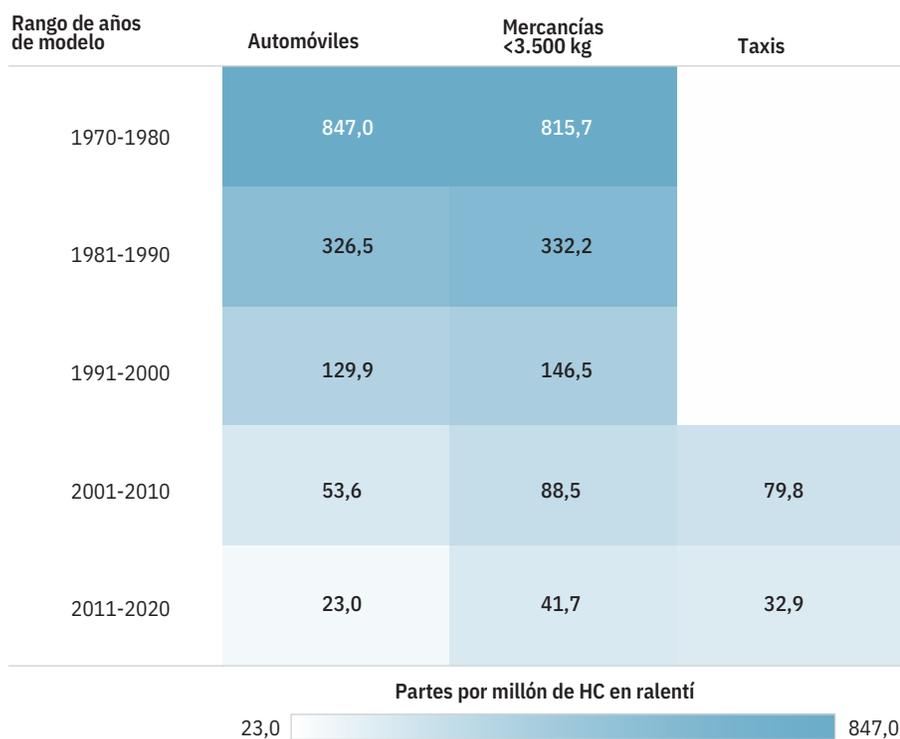
Vehículos diésel más antiguos muestran mayor opacidad en sus emisiones

Los vehículos diésel funcionan con motores encendidos por compresión. Durante la prueba de emisiones en la RTV, se les mide su grado de opacidad, es decir, el nivel de oscurecimiento del humo por concentración de partículas contaminantes. De acuerdo con los resultados, los taxis muestran en promedio un mayor grado de opacidad. Le siguen los vehículos tipo automóvil y en tercer lugar los de carga liviana. Por su parte, los dos tipos que registran un menor grado en ese indicador son los autobuses y, sobre todo, los vehículos de transporte pesado.

Gráfico 4.13

Concentración promedio de hidrocarburos en régimen ralentí para vehículos gasolina, según tipo y modelo. 2019

(partes por millón)



Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020.

Es importante señalar que, en promedio, los niveles de opacidad registrados (cuadro 4.3) por todos los vehículos se ubican entre los rangos aceptados según la normativa vigente. Como lo establece la tabla de valores límites de opacidad para motores de encendido por compresión de Riteve SyC (*Manual de procedimientos para la revisión técnica de vehículos automotores en las estaciones RTV*), estos se ubican entre 2,1 y 2,2 medido en valor k en m-1, la unidad de medida que se utiliza en la prueba. Los márgenes varían por tipo, y en vehículos de transporte de carga pesada con modelos anteriores al año 1999 pueden llegar hasta 3,7. En opinión de algunos expertos, los estándares son muy bajos y el nivel de exigencia sobre la calidad debería ser menos laxo, como se comenta más adelante (E: López, 2020).

Los resultados en el caso de los vehículos diésel también mostraron que, conforme aumenta el rango de antigüedad, es mayor el grado de opacidad en todos los distintos tipos de vehículos analizados (gráfico 4.14).

Como se desprende de los resultados de esta sección, los diversos tipos de vehículos reportan diferentes niveles de concentración en los gases o los parámetros analizados. Además, se mantienen dentro de los límites aceptados, lo cual

Cuadro 4.3

Indicadores generales y grado de opacidad en la prueba de emisiones de la RTV para vehículos diésel. 2019

Indicador	Automóviles	Taxis	Mercancías < 3.500 kg	Mercancías > 3.500 kg	Autobuses	Total
Vehículos en circulación	105.552	3.731	143.021	32.333	18.659	303.296
Recorrido en kilómetros por día	49	150	61	77	117	77
Recorrido total anual (millones de kilómetros)	1.898	219	3.103	913	803	6.935
Consumo de combustible ^{a/} (m ³)	157.856	11.895	227.290	442.821	178.217	1.018.078
Opacidad ^{b/}	1,3	1,5	1,1	0,6	0,9	1,1

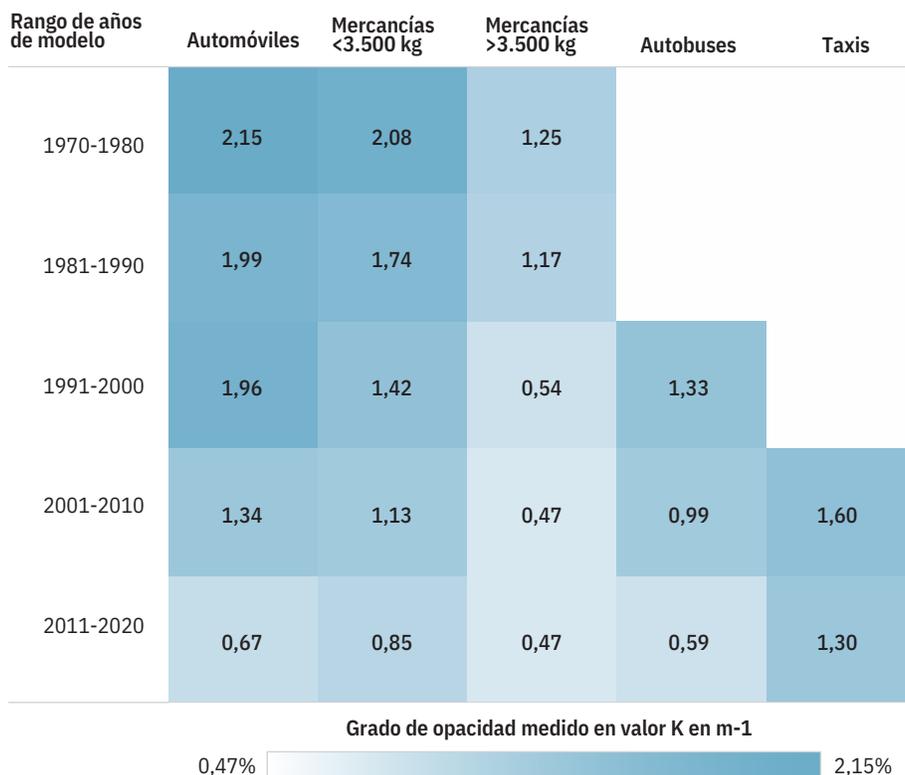
a/ Los datos sobre consumo de combustible se obtuvieron del balance energético 2018 de Sepse-Minae, 2020b, y se convirtieron de terajulios a m³ según tipo de vehículo.

b/ Opacidad medida en valor del coeficiente de absorción luminosa (K en m-1).

Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020, INS, 2020 y Sepse-Minae, 2020b.

Gráfico 4.14

Grado de opacidad^{a/} en gases de vehículos diésel, según tipo y rango de años del modelo. 2019
(partes por millón)



a/ Opacidad medido en valor k en m-1.
Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020.

puede deberse a que el estándar obligatorio establecido con la RTV tiene un impacto positivo concreto. En esta investigación, no es posible conocer qué sucede con los vehículos que no acuden a la RTV ni cuánto afectan las alteraciones que suelen hacerse para pasar la prueba, como se mencionó en el apartado metodológico. Los hallazgos permiten contar con datos específicos para alimentar el debate sobre los estándares precisos en función de los niveles de concentración adecuados de acuerdo con criterios técnicos. También se encontró que, para todos los tipos de vehículos, los modelos más recientes reportaron en promedio menores niveles de concentración en los gases medidos.

Estos hallazgos, combinados con los de las secciones previas, llaman la atención sobre dos tareas importantes para

el país. Por un lado, se deben adoptar las medidas necesarias para contar con una flota vehicular de menor antigüedad, con el fin de disminuir gases contaminantes con potencial impacto negativo en términos de la salud humana. Además, se requieren medidas más complejas para reducir el tamaño de esa flota, así como su impacto en términos del calentamiento global, como se verá en el siguiente apartado.

El avance tecnológico tiene un efecto inverso sobre el control de algunos gases

Hasta el momento, el presente capítulo ha analizado tres gases que genera la flota vehicular, con base en las mediciones de la RTV: el CO₂, uno de los causantes del calentamiento global; y las concentraciones de dos contaminantes con particular

efecto para la salud humana: el monóxido de carbono y los hidrocarburos. En esta sección se analiza el comportamiento de estos gases por tipo de vehículo y antigüedad, para comprender mejor el balance en las medidas que busquen mitigar el doble y simultáneo impacto para la salud y para la crisis ambiental.

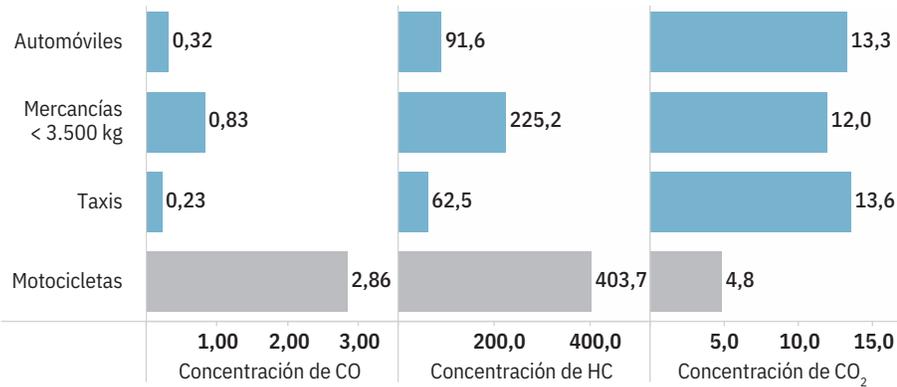
Como parte de la prueba de emisiones, la RTV mide la concentración de monóxido de carbono, hidrocarburos y CO₂ en los vehículos de gasolina¹⁵. Mediante un análisis descriptivo inicial, se observa que existe una relación inversa entre el control de los dos primeros gases por un lado y el CO₂ por el otro. Como se aprecia en el gráfico 4.15, las motocicletas tienen motores menos eficientes en el control de las concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos, pero a su vez son las que muestran menor concentración promedio de CO₂. Los vehículos gasolina –como los automóviles, carga liviana y taxis– reportan considerablemente menores concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos, pero registran un mayor nivel de CO₂.

Debido a estas discrepancias, para analizar este fenómeno a partir de la antigüedad de las unidades se seleccionó solamente el grupo de vehículos con motor de gasolina, pero sin considerar las motocicletas, con lo cual los resultados pueden ser comparables. Se evaluó la concentración promedio de monóxido de carbono y de dióxido de carbono en régimen de ralentí según el rango de año del modelo, dividido en décadas. Los resultados confirman la relación inversa entre el control de ambos tipos de gases según avanza la tecnología: cuanto más eficientes son los motores para disminuir la concentración de monóxido de carbono, se registran mayores niveles de concentración de dióxido de carbono (gráfico 4.16).

Lo anterior demuestra que los automóviles más nuevos cuentan con motores cuyas tecnologías son capaces de controlar mejor el monóxido de carbono, que afecta de manera importante la salud humana. Sin embargo, no logran controlar igual los niveles de CO₂, lo cual aumenta el impacto de la flota en el

Gráfico 4.15

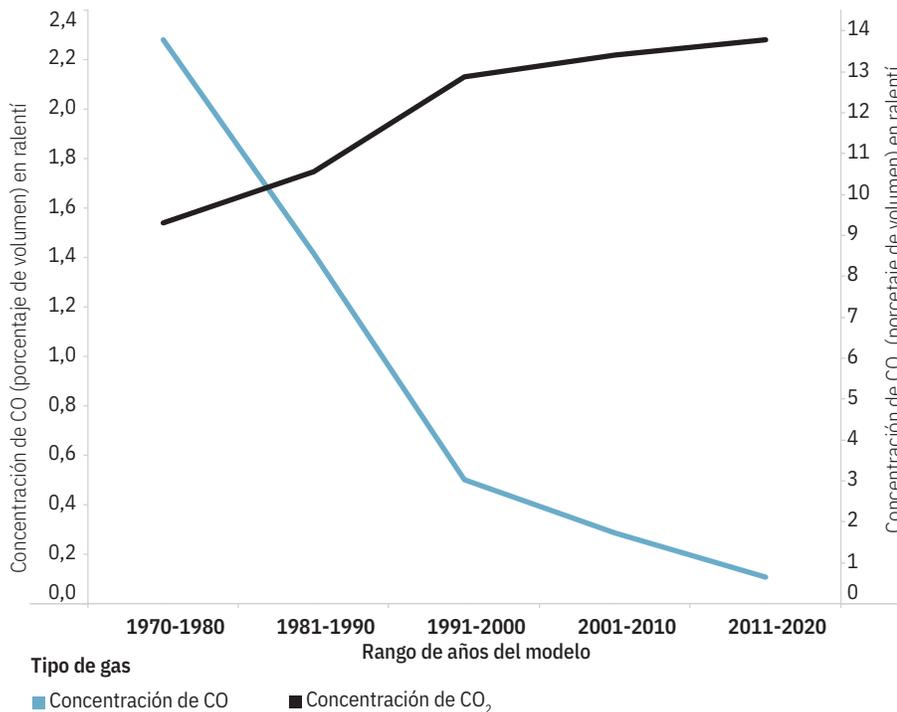
Concentración de CO^{a/}, HC^{b/} y CO₂^{c/} en régimen de ralentí para los vehículos gasolina, según tipo. 2015-2019
(valores promedio)



a/CO: Concentración de monóxido de carbono en régimen de ralentí.
 b/HC: Concentración de hidrocarburos en régimen de ralentí.
 c/CO₂: Concentración de dióxido de carbono en régimen de ralentí.
 Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020.

Gráfico 4.16

Concentración de CO^{a/} y CO₂^{b/} en régimen de ralentí en vehículos gasolina, según rango de años del modelo. 2019



a/CO: Concentración de monóxido de carbono en régimen de ralentí.
 b/CO₂: Concentración de dióxido de carbono en régimen de ralentí.
 Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020.

calentamiento global, con todas sus repercusiones, directas e indirectas, sobre el ambiente y las personas.

Es importante tener en cuenta que, técnicamente, el dióxido de carbono es un producto normal del proceso de combustión¹⁶, mientras el monóxido de carbono (CO) es un subproducto no deseado de este, que la tecnología ha intentado controlar para reducir la contaminación del aire. Desde hace varios años, en los vehículos con sistemas de control de emisiones se ha incorporado un catalizador para acelerar la conversión del CO en CO₂, como resultado del control sobre el primero, que es más tóxico. Según criterios técnicos (E: López, 2020), la normativa en Costa Rica fija parámetros para algunos gases que impactan la salud (en este caso el CO) y, como consecuencia, queda descubierto el control del CO₂, ligado directamente al cambio climático, y que resulta precisamente de un mejor proceso de combustión. Es decir, lograr un avance para impedir que los nuevos modelos sigan siendo parte del efecto invernadero es complicado, si no cambia el principio de funcionamiento del motor de combustión interna.

En suma, una mejora tecnológica de las unidades vehiculares podría reducir el impacto en la salud (de hecho, lo hace), pero, al mismo tiempo, se maximiza la concentración de CO₂, lo cual solo se puede revertir con un cambio sustantivo: más vehículos que no sean de combustión interna, así como una reducción de flota en general, que implique un menor consumo de combustibles, promoviendo otras formas de movilidad. Este hallazgo implica retos diferentes y simultáneos para la política pública en atención de dos grandes problemas.

Resultados del control de emisiones en la RTV podrían reflejar parámetros laxos para vehículos diésel

Durante la revisión técnica vehicular se mide la concentración de varios gases, la cual se contrasta con ciertos parámetros aceptables establecidos en la normativa, según el tipo de vehículo, combustible y año del modelo. Con esta evaluación se determina si la unidad reúne o no las

condiciones para circular, es decir, si se aprueba o se rechaza la RTV. Por lo tanto, es una herramienta importante para garantizar que la flota vehicular se mantenga en niveles controlados de emisiones, dentro de lo definido en la normativa.

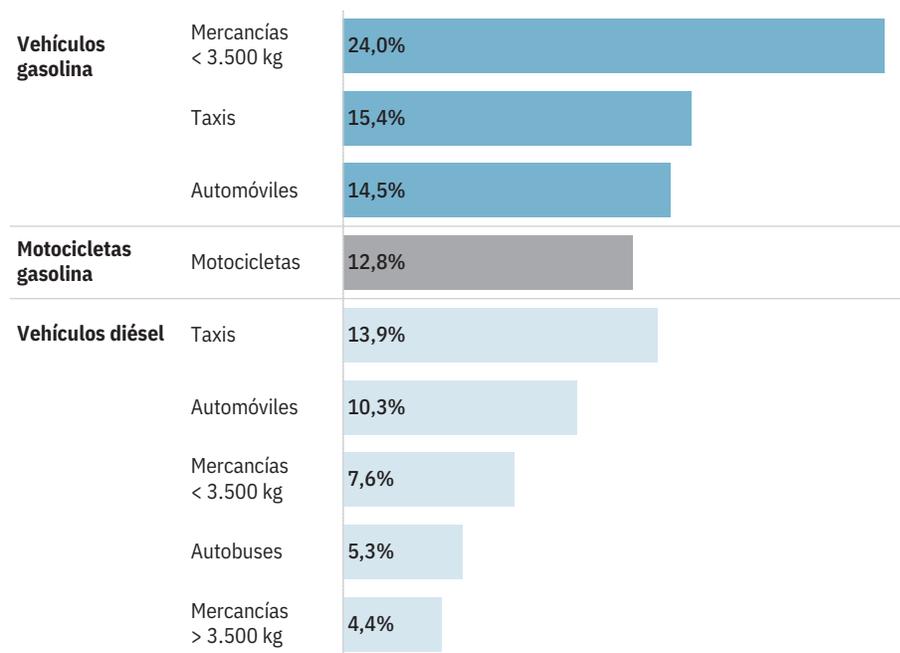
Se analizó el porcentaje de rechazo promedio en las pruebas de gases de toda la flota vehicular durante el período 2015-2019. Para tener una referencia válida acerca del nivel de rechazo, se consideraron solo las visitas para inspección periódica obligatoria y se excluyeron las reinspecciones. Como lo señala la normativa vigente, los niveles aceptables varían por tipo de vehículo y combustible, pero los resultados del porcentaje de rechazo se presentan de forma agregada, por ser un indicador comparable en cuanto al cumplimiento de los niveles de concentración de gases tolerados en cada caso.

De acuerdo con el análisis, en Costa Rica los vehículos con motor gasolina tienen mayores niveles de rechazo en la prueba, con un porcentaje promedio del 15,2%; le siguen las motocicletas con el 12,8% y los vehículos diésel con el 8,1%. Por tipo de vehículo, los de carga liviana en gasolina son en promedio más rechazados (24%). En contraste, los autobuses diésel y en especial los de carga pesada reportan menores porcentajes de rechazo (gráfico 4.17). Llama la atención que esto último ocurra en los vehículos que generan más CO₂ en proporción a su peso relativo en la flota vehicular y a su recorrido, como se vio en secciones previas de este capítulo.

También, se exploraron las variaciones en los niveles promedio de gases entre los vehículos cuando son aprobados o rechazados en la prueba. Esto permite determinar qué tan cerca o lejos están de los niveles aceptables, en promedio, cuando no alcanzan ese estándar. Los datos no son comparables entre los distintos tipos de combustibles, porque consideran diferentes mediciones, como se indicó anteriormente. Sin embargo, es posible concluir que, en los vehículos diésel, existe una mayor brecha entre los resultados aprobados y rechazados, que la que se reporta en los vehículos gasolina (gráfico 4.18).

Gráfico 4.17

Porcentaje promedio de rechazo en prueba de control de emisiones de la revisión técnica vehicular, según grupo y tipo de vehículo. 2015-2019



Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020.

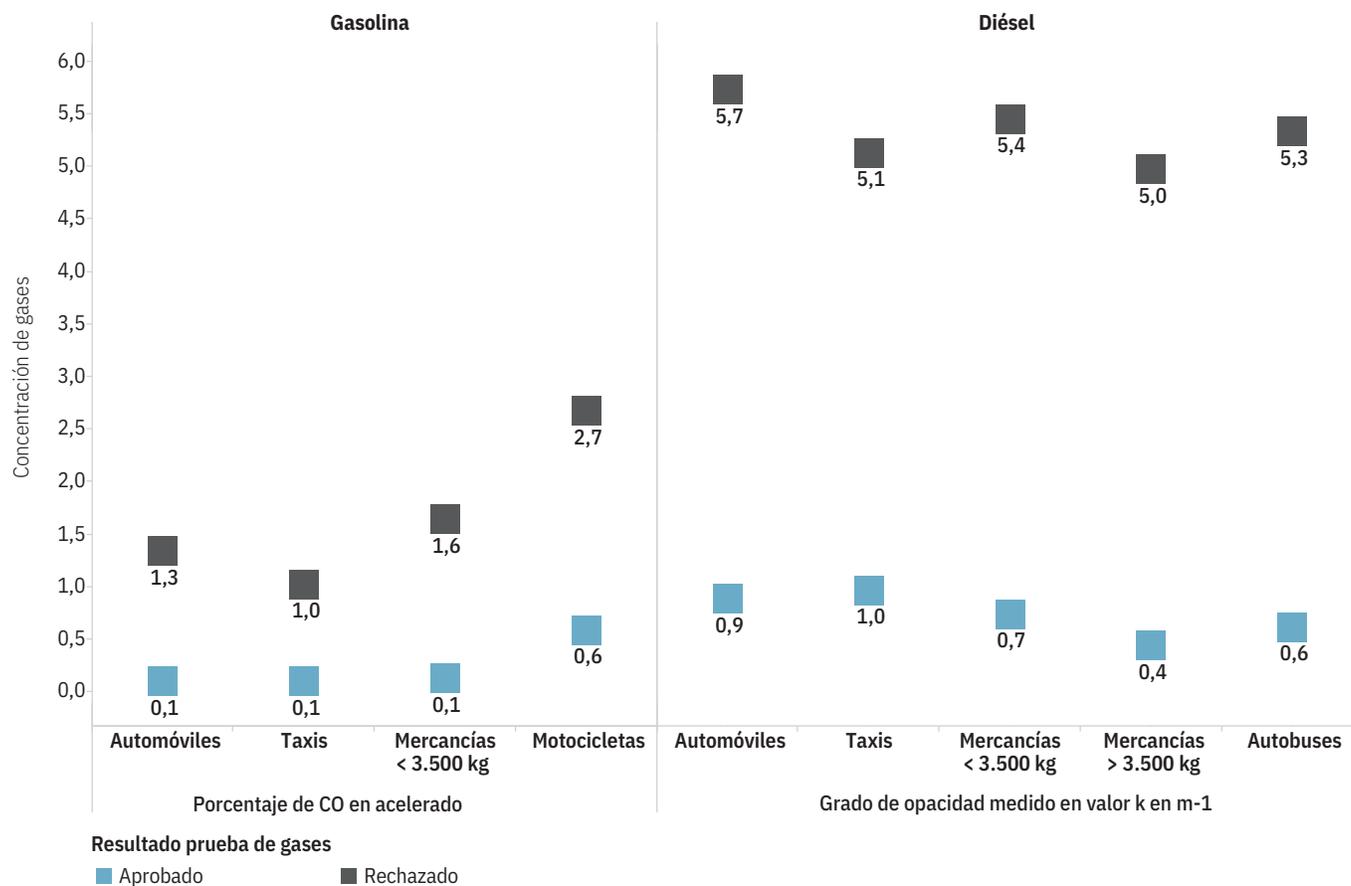
De los dos resultados anteriores se desprende, como hipótesis, que los estándares de control de emisiones en la legislación vigente no son tan estrictos en los vehículos diésel como en los de gasolina (Fernández, 2020). En los primeros se observan desviaciones en promedio mayores de los límites aceptados, entre los aprobados y rechazados; pero, a la vez, son los que presentan menor porcentaje de rechazo.

Según expertos, los valores aceptados no han cambiado para vehículos diésel modelo 1999 en adelante. Pese a las modificaciones tecnológicas, al país aún pueden ingresar unidades muy antiguas y contaminantes. Esto es favorecido por una legislación que no se actualiza hace varias décadas. Como ejemplo, en España a las unidades más nuevas (después de julio del 2008) se les exigen niveles de opacidad de 1,5 o de 0,7 m⁻¹, mientras que en Costa Rica los límites más estrictos son de 2,15 y 2,18, según el tipo de vehículo. Además, como se

permite la inyección mecánica, la cual puede ser manipulada para efectos de las pruebas de emisiones, se abre un portillo que afecta la eficacia de este control. En el mundo, hoy se discute el uso de medidores de macropartículas en vez de opacímetros, ya que los modelos más recientes logran mediciones de opacidad muy bajas (E: López, 2020). Por todo lo anterior, es un reto ampliar el estudio y revisar los estándares para este combustible a nivel nacional.

Para finalizar, en vista de que en distintos resultados se encontró una relación entre la antigüedad del modelo y las concentraciones de gases de la flota vehicular, se analizó el porcentaje de rechazo de la prueba de emisiones en la RTV según el rango del año del vehículo. Los resultados muestran que, de forma concordante con los elementos planteados, en todos los tipos los modelos más recientes tienen menores porcentajes de rechazo (gráfico 4.19).

Gráfico 4.18

Resultados de la prueba de emisiones^{a/} en la RTV, por tipo de combustible y de vehículo. 2015-2019

a/Para los vehículos gasolina, se consideró la concentración de monóxido de carbono en régimen acelerado (COA) medido en porcentaje en volumen; y para los vehículos diésel, la opacidad medida en valor k en m-1.

Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020.

Conclusiones

Este capítulo resume los hallazgos de un análisis exploratorio, efectuado a partir de información inédita sobre la flota vehicular y su relación con algunos gases contaminantes que afectan la salud y el ambiente en Costa Rica. La principal fuente de los datos fue obtenida de la revisión técnica vehicular obligatoria, de la cual el presente estudio utilizó resultados de la prueba de emisiones, aplicada a todos los vehículos que acuden. La investigación permitió identificar aspectos nuevos en materia del crecimiento y composición del parque vehicular, estratificar el peso de algunos gases en los diferentes grupos de vehículos, según su combustible, tipo y recorrido real, e identificar

áreas para reforzar las políticas públicas orientadas a la renovación y reducción de la flota vehicular existente, y la revisión de actual modelo de transporte y movilidad terrestre en su conjunto.

El estudio muestra que, por su cantidad y crecimiento, la flota de automóviles particulares tiene un importante impacto en temas de salud y ambiente, tanto por su aporte en el consumo de combustibles como en la concentración de algunos gases contaminantes. Se encontró que las unidades más antiguas registran mayores concentraciones de monóxido de carbono (CO), gas tóxico para la salud, y las más recientes presentan mayor concentración de dióxido de carbono (CO₂), el cual genera efecto invernadero.

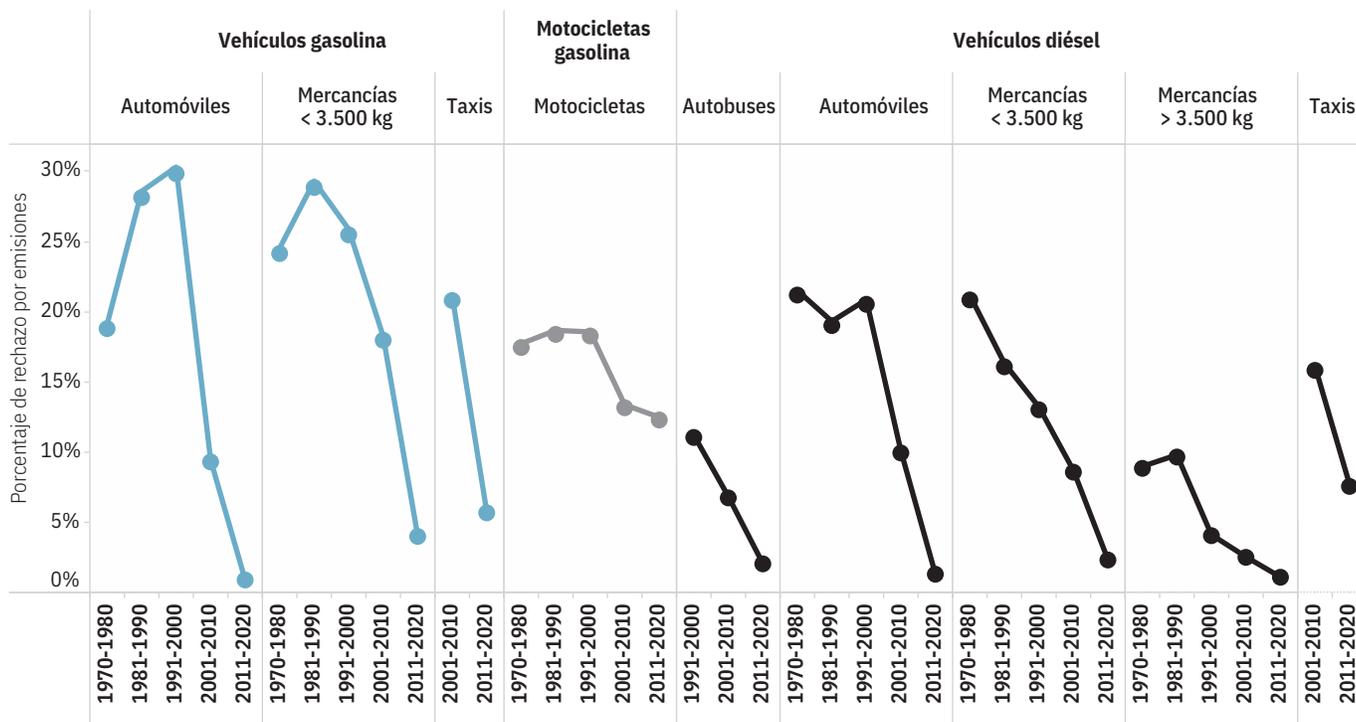
Del estudio puede, derivarse los

siguientes resultados, para la proposición o revisión de políticas públicas relacionadas con el control del CO y CO₂:

- Los vehículos diésel aportan un porcentaje de CO₂ de una proporción mayor que su peso porcentual en el número de unidades y que su aporte al recorrido acumulado de toda la flota. En este sentido, es esencial la revisión de los parámetros de antigüedad y niveles permitidos por la normativa atinente a la prueba de emisiones, en especial para los vehículos de carga pesada y de transporte público, que por razones productivas no analizadas en este estudio han tenido laxitud en la normativa.

Gráfico 4.19

Porcentaje promedio de rechazo por gases en la RTV, por tipo de vehículo, según grupo y por rango de años del modelo. 2015-2019



Fuente: Fernández, 2020, con datos de Riteve SyC, 2020.

- Las unidades de modelos más recientes registran menores concentraciones de hidrocarburos y monóxido de carbono (CO), gases tóxicos para la salud humana. Sin embargo, esta ganancia específica por eficiencia de la tecnología viene aparejada con otro problema: desde la década de los noventa los motores de estos vehículos convierten CO en CO₂, menos nocivo en ese plano, pero que -por volumen- es el que más aporta al calentamiento global y, por esa vía, indirectamente termina afectando a las personas y al ambiente.
- Una política pública que proponga reducir el monóxido de carbono (CO) en favor de la salud, debe considerar a las motocicletas como prioritarias, pues además de ser el tipo de vehículo con un crecimiento relativo más alto, es el que muestra menos eficiencia en control de ese gas. Este estudio exploratorio evidencia

que para abordar el problema de los gases en la flota vehicular se requiere transformación tecnológica y modernización de las unidades, pero también reducción y mayor control de la flota de combustión, restricciones de uso de vehículos y un cambio modal en la movilidad a gran escala. Para que esto suceda, se requiere dirigir las alternativas de transporte público hacia un sistema masivo, interconectado, seguro y limpio, que impulse un cambio en la apuesta extendida por el vehículo particular, la reducción de la dependencia de los hidrocarburos y la mejora en el control de unidades diésel; todo esto, en concordancia con lo indicado en diversas ediciones previas del *Informe Estado de la Nación* (PEN, 2018). Este tipo de medidas tendrían un impacto positivo en la salud y el ambiente, adicional a la reducción de costos del sistema actual, en los planos económico, social y del desarrollo humano en su conjunto.

Todo esto conlleva importantes retos. La dependencia de los ingresos fiscales del Estado del consumo de combustible y sus impuestos implica que, para modificar la situación antes descrita, sea necesario un cambio en la estructura fiscal, con el fin de ir acoplándose a la adopción de una matriz energética de transporte más sostenible. De forma paralela, significa abordar los cambios -reiteradamente postergados- en el diseño de las rutas de transporte público actuales (sectorización, por ejemplo) y su vínculo con los patrones de crecimiento urbano. Como se analiza en el capítulo 3 de este Informe, las nuevas construcciones entre 2016 y 2019 en el país se ubican en promedio casi a dos kilómetros de esas rutas, lo cual favorece la persistencia del uso del vehículo particular. Además, se pueden impulsar alternativas de movilidad activa o no motorizada, lo cual también exige mejores opciones de infraestructura urbana.

Por último, un aporte de esta investigación es demostrar la importancia de hacer uso de los datos para la discusión y fundamentación técnica y estadística en la toma de decisiones. El punto central consiste en debatir políticas públicas que puedan revertir los problemas aquí expuestos, entendiendo que las medidas no pueden tomar la flota vehicular como un todo homogéneo, sino como un conjunto complejo de vehículos con características técnicas y requerimientos diferenciados.

En esta oportunidad, con el primer acercamiento a la información registrada por Riteve SyC, se pudieron identificar algunos retos de investigación para el futuro, por ejemplo:

- ¿Cuál puede ser el impacto en emisiones de la flota que no acude a revisión técnica vehicular y, por lo tanto, no deja huella en los datos ni se ajusta a los parámetros establecidos en la normativa?
- ¿Cuáles son los impactos medibles sobre la salud, la economía y en general el desarrollo humano, de las condiciones actuales de la flota vehicular y sus emisiones?
- ¿Cuáles son los parámetros de ingreso de vehículos al país, y qué resultados produce?
- ¿Qué implicaciones puede tener la renovación de la flota vehicular en la reducción del consumo de combustibles y de la contaminación del aire, pero también cómo se maneja el destino de las unidades descartadas?
- ¿Cuál es el efecto del mantenimiento adecuado de los vehículos, en sus resultados de la prueba de emisiones contaminantes en la RTV?
- ¿Cuál es la situación nacional en cuanto a otros gases no contemplados en las mediciones establecidas en la revisión técnica vehicular, pero que se ha demostrado que tienen un impacto negativo para la salud y el medio ambiente?
- ¿Cuáles serían los resultados en control de emisiones que afectan la salud y el ambiente, de cumplirse de manera más amplia la normativa existente, o si se tomaran medidas para un control más estricto de los vehículos diésel, la entrada de vehículos o la calidad del combustible, entre otros aspectos?
- ¿Cuál es efecto del ingreso y el aumento de unidades con tecnologías más limpias?

Sobre estos y otros desafíos de investigación, este capítulo se puede considerar como un punto de partida, que con aproximaciones sucesivas explorará de forma más profunda esta y otras fuentes novedosas de información.

Investigador principal:

Diego Fernández Montero.

Insumo: *Análisis de las emisiones contaminantes y de CO₂ y las áreas específicas de política para reducir su impacto ambiental*, de Diego Fernández Montero.

Borrador del capítulo:

Leonardo Merino Trejos y Karen Chacón Araya.

Coordinación:

Leonardo Merino Trejos y Karen Chacón Araya.

Edición técnica: Leonardo Merino Trejos y Karen Chacón Araya, con el apoyo de Jorge Vargas Cullell.

Asistente de investigación:

Diana Camacho Cedeño.

Asesoría metodológica: Leonardo Merino Trejos, Karen Chacón Araya, Diego Fernández Montero, Rafael Segura Carmona, Jorge Vargas Cullell, Andrés Murais, Kenneth López, Eddy Delgado, Rosario Alfaro y Dennis Zúñiga.

Actualización y procesamientos de datos:

Diego Fernández Montero.

Visualización de datos:

Diego Fernández Montero.

Lectores críticos: Andrés Muruais y Kenneth López (Riteve SyC), Rosario Alfaro (consultora de Riteve SyC), Arturo Molina (Sepse-Minae), Arturo Steinworth (Centro para la Sostenibilidad Urbana), Manuel Alfaro, Guido Barrientos, Miguel Gutiérrez Saxe, Alberto Mora, Natalia Morales, Jorge Vargas Cullell y Evelyn Villareal (PEN).

Revisión y corrección de cifras:

Mariana Cubero Corella.

Corrección de estilo y edición de textos:

Mireya González Núñez.

Diseño y diagramación:

Erick Valdelomar/Insignia Ng

Un agradecimiento especial a la empresa Riteve SyC, por aceptar el convenio con el Programa Estado de la Nación-Conare que enmarca esta colaboración, por facilitar la información central que alimenta este capítulo, pero además por su compromiso y apoyo a lo largo del proceso, en la preparación y extracción de datos, comentarios y aclaraciones técnicas y de fondo, claves para la realización e interpretación del trabajo. Se agradece en específico a Andrés Muruais, *Country Manager*; a Kenneth López, gerente técnico; a Eddy Delgado, jefe de Tecnologías de Información; a Rosario Alfaro, consultora de Riteve SyC; y a Jennifer Hidalgo, subgerente de Comunicación y Responsabilidad Social Empresarial. También se agradece por el apoyo y colaboración a Angie Umaña, Jeannette Martínez y Ronny Rodríguez, del INS, así como a Arturo Molina, de Sepse-Minae.

Los talleres de consulta se realizaron el 14 de julio y el 3 de setiembre de 2020, con la participación de Jener Alfaro, Rosario Alfaro, Manuel Alfaro, Ronald Alfaro, Jaime Allen, Raquel Arriola, Guido Barrientos, Allan Borgues, Vera Brenes, Diana Camacho Cedeño, Federico Cartín, Karen Chacón Araya, Lenin Corrales, Mariana Cubero, Felipe De León, Eddy Delgado, Esteban Durán, Marianela Espinoza, María Estelí Jarquín, Diego Fernández, Steffan Gómez, Vladimir González, Miguel Gutiérrez-Saxe, Diana Jiménez, María Laura Brenes, Alonso López, Kenneth López, Ana Lucía Moya, Arlene Méndez, Leonardo Merino, Laura Mora, Natalia Morales, Kenneth Obando, Susan Rodríguez, Frank Salas, Andrea San Gil, Fabio Sánchez, Rafael Segura, Arturo Steinworth, Sebastián Urbina y Jorge Vargas Cullell.

Notas

1 Las referencias anteceditas por la letra “E” corresponden a entrevistas o comunicaciones personales realizadas durante el proceso de elaboración de este Informe. La información respectiva se presenta en la sección “Entrevistas”, de las referencias bibliográficas de este capítulo.

2 Los *contaminantes criterio* son aquellos contaminantes normados a los que se les ha establecido un límite máximo permisible de concentración en el aire, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población (E: Alfaro, 2020). Estos son: partículas con diámetros menores de $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{PM}_{2,5}$), partículas con diámetros menores de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}), ozono, plomo, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre (Herrera *et al.*, 2019).

3 Alpizar (2017) estima que, considerando el valor de un año de vida para un individuo representativo (hombre de entre 30 y 34 años), el incremento en la esperanza de vida generaría un aumento del bienestar en promedio de 115.870.828 de dólares anuales, y estas cifras podrían aumentar en términos de salud en general si se aplica la normativa de la OMS para el control de contaminantes como partículas y óxido de nitrógeno (NO_x), principalmente.

4 En esta investigación, por la fuente utilizada, solamente se analiza el tema del transporte terrestre.

5 Según un estudio sobre las emisiones contaminantes de un motor de gasolina funcionando a dos cotas con combustibles de dos calidades (Tipanluisa, *et al.*, 2017).

6 Una base de datos se estructura y compone de diversas “tablas”, según temáticas o conceptos, las cuales se vinculan o conectan con “llaves” o códigos en común. Una tabla almacena los datos en filas y columnas, donde cada fila representa un registro único y cada columna un campo dentro del registro.

7 Se debe considerar que los odómetros pueden ser alterados y que eso limita la precisión de los cálculos. Por esta razón, se realizó un proceso de control de calidad de los datos que excluyeron aquellos resultados que, según criterio de expertos de Riteve SyC, no debían ser considerados como válidos. Para el cálculo de los indicadores de recorrido se excluyeron aquellos en los que el recorrido promedio fue menor a 1.000 kilómetros al año o mayor a 500.000 kilómetros al año. Además, se excluyeron las unidades en las que la variable venía con la información faltante o nula (Fernández, 2020).

8 Según la Reforma al Manual de Procedimientos para la Revisión Técnica de Vehículos Automotores en las Estaciones RTV, “el ralenti es el régimen de rpm mínimo al que puede funcionar el motor de un vehículo sin apagarse. Para el caso de la revisión técnica vehicular que realiza la Empresa Riteve SyC, según la normativa nacional, se debe mantener estable y no debe superar los 1.000 rpm. Excepto, las motocicletas y algunos vehículos que tengan una velocidad de ralenti que, por especificaciones del fabricante, funcionen a más de 1.000 revoluciones por minuto” (SCIJ, 2020). Este término no abarca a los motores eléctricos.

9 Entre los vehículos de modelos más nuevos (2018 a 2020) son pocos los que asisten a la RTV por normativa. Por esta razón, no se cuenta con información sobre los indicadores aquí utilizados. Por eso fue necesario imputar el valor, de forma que se pudieran estimar datos para toda la flota en circulación. Se realizó considerando los resultados promedio de los vehículos con mayor similitud en tipo, combustible e incluso modelos similares. Es decir, para calcular el promedio de kilómetros diarios recorridos por un automóvil gasolina modelo 2019 se utilizó el promedio del recorrido diario de los automóviles gasolina con modelos entre 2016 y 2018. Esta metodología también se utilizó en algunos modelos anteriores a 1975, para los que tampoco se tenía buena información de la RTV (Fernández, 2020).

10 Los factores de conversión para estimar las emisiones de CO_2 son: 2,4 kg de CO_2 /litro en gasolina y 2,6 kg de CO_2 /litro en diésel. Los factores de conversión para el cálculo de terajulios a volumen son: 32,6 TJ/1.000 m^3 en gasolina y 36,3 TJ/1.000 m^3 en diésel (Fernández, 2020). Se debe considerar que estas mediciones no se realizan en el ciclo de manejo real de los vehículos.

11 También puede depender de la velocidad de desplazamiento, pero al igual que el comportamiento general en carretera, es imposible tener mediciones con las fuentes disponibles.

12 Este indicador se obtiene de la diferencia en la cantidad de kilómetros de cada vehículo entre dos mediciones de la RTV, dividido entre la cantidad de días transcurridos entre ambas fechas de revisión.

13 Este indicador se obtiene de multiplicar el recorrido promedio diario de cada tipo de vehículo por la cantidad de vehículos de ese tipo y por la cantidad de días en un año.

14 Por su metodología se trata de una estimación determinística. Se multiplica el valor del consumo total de combustible (gasolina + diésel en terajulios) por los factores de conversión, para llevarlos a volumen (litros de combustible y gasolina). Luego se vuelve a multiplicar por los factores que determinan cuánto CO_2 se genera por consumo de cada litro de cada tipo de combustible (Fernández, 2020).

15 Como se planteó en la sección metodológica, este mismo análisis no se puede aplicar a los vehículos diésel, puesto que no se miden los mismos elementos, sino solamente la opacidad.

16 ($\text{HC} + \text{O}_2 \gg \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$).