



EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VEHÍCULOS LIVIANOS NUEVOS

ANÁLISIS DE IMPACTO NORMATIVO

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

Bogotá D.C.

Octubre, 2022



MINISTERIO DE MINAS Y
ENERGÍA



ÍNDICE

1.	1. ANTECEDENTES Y CONTEXTO.....	6
2.	2. INTRODUCCIÓN.....	7
3.	3. MARCO PROGRAMÁTICO Y LEGAL	9
3.1	Lineamientos legales del AIN.....	9
3.2	Documentos CONPES 3816 de 2014	10
3.3	Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC).....	11
3.4	Guías y orientaciones del Departamento Nacional de Planeación – DNP.....	12
4.	ANTECEDENTES TÉCNICOS.....	13
4.1	Contexto del sector transporte en Colombia.....	13
4.2	Acciones para un transporte sostenible.....	14
4.3	Normativa de eficiencia energética en el sector transporte	17
4.4	Línea base de consumo de combustibles	18
5.	CAPÍTULO I.....	24
5.1	Definición del problema	24
5.1.1	Problema central.....	24
5.2	Análisis del problema	34
5.3	Origen del problema	35
5.3.1	Causas directas	31
5.3.2	Causas indirectas	31
5.4	Consecuencias del problema.....	32
5.4.1	Consecuencias directas.....	32
5.4.2	Consecuencias indirectas.....	32
5.5	Identificación de los grupos afectados.....	34
5.6	Definición de objetivos.....	36
5.6.1	Objetivo general	38
5.6.2	Objetivos específicos.....	38
5.7	Alternativas para mejorar la eficiencia energética de los vehículos livianos	40
5.7.1	Medidas regulatorias	41
5.7.2	Medidas no regulatorias	43
6.	CAPÍTULO 2	46
6.1	Alternativas consideradas en la evaluación	46



6.2	Metodología de selección de alternativa.....	46
6.3	Definición de criterios de evaluación de alternativas	47
6.4	Peso de los criterios	50
6.5	Análisis de toma de decisiones multicriterio	51
6.5.1	Recolección de información	51
6.5.2	Análisis por encuestado	53
6.5.3	Análisis por tipo actor involucrado	54
6.6	Diseño de la implementación y monitoreo	57
7.	CAPÍTULO 3	59
7.1	Proceso participativo.....	59
7.2	Taller Participativo de Socialización del AIN	59
7.2.1	Resumen del taller participativo	61
7.2.2	Desarrollo de las mesas de trabajo	64
7.2.3	Discusión	68
7.3	Encuesta de levantamiento de información	69
7.4	Reuniones con el gremio automotriz	69
7.5	Consulta pública determinación de problema de la eficiencia energética en vehículos livianos en el país	72
8.	CONCLUSIONES.....	72
9.	REFERENCIAS	74
10.	ANEXO 1	78



LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de emisión de reglamentación.	12
Figura 2. Construcción del Análisis de Impacto Normativo – AIN [13].	13
Figura 3. Consumo final de energía por modos del sector transporte [3].	14
Figura 4. Promedio ponderado anual de consumo de combustible para vehículos livianos (LDV) en Colombia.....	19
Figura 5. Tendencias del consumo de combustible en la región [27]	20
Figura 6. Promedio anual de emisiones de CO2 por kilómetro para los vehículos livianos (LDV) en Colombia.....	22
Figura 7. Comparación del promedio ponderado de emisiones de los vehículos livianos (LDV) a nivel regional.	23
Figura 8. Anuncios de fabricantes de equipos originales relacionados con vehículos ligeros eléctricos [17]	27
Figura 9. Promedio ponderado anual de consumo de combustible para vehículos livianos (LDV) en Colombia.....	28
Figura 10. Tendencias y metas en el consumo de combustible en el mundo [18]	29
Figura 11. Compilado de países con estándares de eficiencia energética vehicular, 2021 [19].	30
Figura 12. Resultados de matriz de Vester.	35
Figura 13. Árbol del problema.	31
Figura 14. Árbol de objetivos.....	37
Figura 14. Peso de los criterios.....	50
Figura 15. Distribución de respuestas a la encuesta de comparación cruzada de alternativas por actor relacionado.	52
Figura 16. Valoración global de las alternativas / Ranking.....	54
Figura 17. Valoración ponderada de las alternativas por tipo de actor.	55
Figura 18. Valoración desagregada de las alternativas por criterio y tipo de actor.....	56
Figura 19. Proceso participativo para acompañar la regulación de mejora de eficiencia energética vehicular.....	59
Figura 20. Espacio de referencia bipolar.	82



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de impacto sobre la regulación de eficiencia energética.....	34
Tabla 2. Relación entre las causas y objetivos de la intervención.....	38
Tabla 3. Consecuencias y beneficios de la intervención	40
Tabla 4. Criterios de evaluación	47
Tabla 5. Estructura de la matriz de decisión.....	52
Tabla 6. Matriz de decisión.	53
Tabla 7. Ponderación de las alternativas por tipo de actor	55
Tabla 8. Resumen de las discusiones sostenidas con el gremio automotriz colombiano dentro del proceso participativo.....	70
Tabla 9. Caracterización de los algoritmos de MCDM.	79
Tabla 10. Identificación de ventajas y desventajas de algoritmos de MCDM.	80
Tabla 11. Valores de asignación de intensidad para comparación por pares.	82
Tabla 12. Índice de consistencia aleatoria [44].	84



1. ANTECEDENTES Y CONTEXTO

Campo	Descripción
Nombre de la entidad	Ministerio de Minas y Energía
Para resolver la problemática identificada, ¿ya existe alguna regulación? ¿Cuál o cuáles?	En Colombia no existe una regulación enfocada en la eficiencia energética de los vehículos livianos que ingresan al parque automotor. Sin embargo, se tiene conocimiento que a nivel internacional diferentes países han establecido regulaciones en eficiencia energética, como es el caso de mercados de Brasil, Canadá, China, Unión Europea, India, Japón, México, Corea del Sur y Estados Unidos. Las normativas de estos mercados, abarcan más del 80% de las ventas mundiales de vehículos de pasajeros e influyen en las decisiones comerciales de los principales fabricantes de vehículos de todo el mundo.
De acuerdo con la pregunta anterior ¿la regulación existente es un reglamento técnico?	En Colombia no existe una regulación enfocada en la eficiencia energética de los vehículos livianos que ingresan al parque automotor, por lo que no hay una regulación que sea considerada como reglamento técnico.
¿Las intervenciones pensadas para solucionar la problemática tienen algún impacto sobre la economía, la sociedad o el medio ambiente?	<p>Sí, la problemática identificada se encuentra asociada al incremento constante en el consumo de combustible de los vehículos livianos, afectando la eficiencia energética y por consiguiente la salud, por calidad de aire en las ciudades, y la preservación del medio ambiente. La intervención que se pretende efectuar, propende por mitigar los efectos negativos en la sociedad y medio ambiente, estableciendo parámetros de rendimiento de energético sobre flotas, marca, basado en intervalos de pesos o subclases de vehículos. Este tipo de regulación es justificada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, quien argumenta que es complicado que los fabricantes tengan voluntad propia para actualizar la tecnología de los vehículos para incrementar el rendimiento de combustible, es decir, es necesario que el gobierno imponga límites mínimos de rendimiento de combustible, para que los fabricantes actualicen la tecnología de los vehículos (EPA, 2012). Lo anterior tendrá los siguientes impactos:</p> <p>Impactos sobre la economía: El sector transporte cuenta con las mayores ineficiencias a nivel de consumo final en Colombia, pues solo el 24% de la energía usada se convierte en energía útil, y concentra el 54% del total de las pérdidas en energía del país y representa altos costos por ineficiencia. Es por esto, que desde el Gobierno Nacional se han generado diferentes mecanismos para fomentar mejorar la eficiencia energética del sector. Los vehículos más eficientes pueden incurrir en costos adicionales por la implementación de paquetes tecnológicos necesarios para el cumplimiento de los estándares de eficiencia requeridos, frente a tecnologías más ineficientes, sin embargo, no solo se debe evaluar los costos de inversión sino evaluar costos de operación y mantenimiento. Donde una tecnología más eficiente reduce el consumo de energéticos y a su vez reduce la emisión</p>



	<p>de GEI y material particulado, que al monetizar trae beneficios económicos en salud pública.</p> <p>Impactos sobre el medio ambiente: Las normativas que promuevan la eficiencia en consumo de combustibles son una herramienta clave para frenar tendencias crecientes en el consumo de combustible y asegurar el futuro energético y medioambiental del país para los próximos años. Para llegar a este impacto, se establecen metas de ahorro de combustibles lo cual deriva en una mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.</p> <p>Impacto sobre la sociedad: Los estándares de eficiencia energética propenden por incrementar el número de kilómetros recorridos por cada unidad de galón consumida, lo cual repercute directamente en la disminución de costos de operación de los vehículos al disminuir el consumo de combustible de los vehículos livianos. De igual manera, al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y al mejorar la calidad de aire, se está impactando en la salud de las personas y en la disminución de enfermedades y muertes asociadas por la contaminación del aire.</p>
<p>¿Las intervenciones pensadas para solucionar la problemática incrementan los costos administrativos o de cumplimiento de las empresas, organizaciones civiles, u otros actores relacionados con la regulación?</p>	<p>Sí, las intervenciones pensadas pueden incrementar los costos en los procesos de homologación de la información de consumo de combustible de los vehículos livianos y en las mejoras tecnológicas que tendrán que realizar los comercializadores, fabricantes e importadores para cumplir con los estándares de eficiencia energética, trasladando el costo final al usuario y/o cliente y/o consumidor final.</p>
<p>¿Las intervenciones pensadas buscan implementar mecanismos más flexibles para atender la problemática identificada?</p>	<p>No, lo que se pretende es realizar una intervención pensada con el fin de establecer mecanismos que permitan disminuir los riesgos asociados a la problemática, especificando límites de consumo de combustible de los vehículos livianos nuevos.</p>

2. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda en el consumo de recursos energéticos, los actuales compromisos ambientales establecidos por cada país en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), así como los objetivos planteados para el desarrollo sostenible de la ONU, han impulsado la investigación en eficiencia energética y sostenibilidad de los sectores productivos [1]. Particularmente, Colombia se comprometió a una reducción de un 51% de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) proyectadas para 2030 en su escenario de referencia, proceso que tiene el propósito final de lograr la carbono neutralidad



al 2050. En el marco de la NDC, la eficiencia energética ha sido planteada como un medio transversal a los subsectores de la energía eléctrica, hidrocarburos y minería.

Para el caso del sector transporte, tenemos por delante desafíos importantes ya que este consume el 41% de la energía de Colombia y 96% de esa energía se concentra en el consumo de combustibles líquidos. Como consecuencia, es el sector con mayores ineficiencias a nivel de consumo final, pues solo el 24% de la energía usada se convierte en energía útil, y concentra el 54% del total de las pérdidas en energía del país. Esta distribución de la matriz energética para el sector transporte merece un análisis profundo, que permita considerar nuevas oportunidades tecnológicas y el uso de otros energéticos.

En esta línea, la Ley 697 del 2001, establece los principios para fomentar el uso racional y eficiente de la energía en el país. Sin embargo, son las Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 las que otorgan al Ministerio de Minas y Energía junto con la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) la responsabilidad de definir de estándares de eficiencia energética para vehículos livianos nuevos y vehículos pesados, nuevos y usados.

Al respecto, la UPME realizó un estudio en el año 2018 relacionado con regulación en estándares de eficiencia energética para vehículos livianos en Colombia, incentivado por lo identificado en su PAI-PROURE 2017-2022, adoptado por el Ministerio de Minas y Energía mediante la Resolución 41286 de 2016. Este instrumento identificó la regulación en estándares de EE, como una de las maneras más eficientes de reducir emisiones del sector transporte, puesto que incide directamente en el incremento de la eficiencia energética de los vehículos automotores que se venden en el país.

En consecuencia, para la nueva actualización, la UPME ha establecido metas indicativas de eficiencia energética en el marco del Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) para el periodo 2022-2030, en el cual, se establece como objetivo “reducir las ineficiencias en el uso final de la energía a través de la renovación vehicular” mediante el cambio tecnológico [2]. Por otro lado, la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, también ha otorgado a los Ministerios de Minas y Energía, de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y de Transporte, la responsabilidad de definir estándares mínimos de eficiencia energética vehicular y una etiqueta como medio para la renovación de flota, promoviendo vehículos especialmente eléctricos a batería, ya que estos son las opciones



tecnológicas más eficientes y rentables para lograr reducciones de emisiones del tubo de escape. Se señala que la Política de Crecimiento Verde del Departamento Nacional de Planeación en su Documento CONPES 3934 de 2018, ha establecido el objetivo de contar con 600 mil vehículos eléctricos en el año 2030.

Por todo lo anterior, el Ministerio de Minas y Energía como rector político del sector energético, junto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como el de Transporte, han iniciado los trabajos para el desarrollo de la reglamentación de estándares de eficiencia energética de vehículos livianos (LDV) nuevos, enmarcado dentro de los procesos de planeación con un enfoque climático para reducir el consumo energético del sector transporte, mitigar los impactos negativos, y con ello hacer un aporte a las metas globales de gestión del cambio climático.

3. MARCO PROGRAMÁTICO Y LEGAL

3.1 Lineamientos legales del AIN

De acuerdo con el Decreto 1074 de 2015, modificado por los Decretos 1595 de 2015 y 1468 de 2020, el Análisis de Impacto Normativo - AIN, es considerado una evaluación que evidencia tanto los resultados deseados como los impactos probables positivos y negativos que se generan por la propuesta o modificación de un reglamento técnico, así mismo el Anteproyecto del Análisis de Impacto Normativo -AIN Preliminar-, es el documento que contienen la definición del problema, los objetivos del AIN y las posibles opciones identificadas para resolverlo. En este sentido, el Informe de análisis de impacto normativo - AIN-, es un documento que las entidades reguladoras preparan para dar a conocer la metodología de elaboración, las técnicas de levantamiento de información y las posiciones de los diferentes actores consultados, esto junto con los resultados y conclusiones obtenidas frente a las alternativas de solución planteadas y priorizadas frente a las problemáticas identificadas.

Elemento relevante dentro del AIN es el listado problemáticas, mediante el cual se identifican los principales problemas que pongan en riesgo los objetivos legítimos en Colombia establecidos en forma general en el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio de la OMC. Tal listado en etapa preliminar constituye un insumo importante para elaborar el Plan Anual Análisis de Impacto Normativo -PAAIN de los reguladores.



Las entidades reguladoras deberán elevar a consulta nivel nacional el análisis de impacto normativo establecido en el Artículo 2.2.1.7.5.5, Decreto 1595 de 2015 y su modificación con el Decreto 1468 de 2020 [9], [10]. Estas consultas se realizan a través de los correspondientes sitios web institucionales o a través de otros medios idóneos según sea el caso, los cuales se definen y comunican con las especificaciones de las herramientas de consulta pública a utilizar y la forma en la cual se realizará la respectiva retroalimentación.

La consulta pública de un AIN simple será de 10 días calendario. Por otro lado, para el AIN completo, el problema deberá someterse a consulta pública será de 5 días calendario y, posteriormente el AIN se someterá a consulta durante 10 días calendario. En los casos en los que el AIN indique que deben tomarse medidas regulatorias, el proyecto de reglamento técnico deberá someterse a consulta pública durante 15 días calendario.

De acuerdo con la Recomendación de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico - OCDE 2012 del Consejo sobre Política y Gobernanza Regulatoria, la mejora regulatoria busca brindar mayor confianza en las decisiones regulatorias de acuerdo con los principios de buenas prácticas de la OCDE, de forma tal que estas se tomen de forma objetiva, imparcial y consistente, sin conflicto de intereses, sesgo o influencia indebida.

La regulación influye de forma transversal en el desarrollo económico de los países, razón por la cual, la OCDE promueve la regulación inteligente y con estándares de calidad, que cumpla con los objetivos para los cuales fue expedida; a esto se le ha conocido como “Mejora Regulatoria”. Al respecto la OCDE ha establecido:

“Internacionalmente una política de Mejora Normativa asegura la eficiencia económica y social de las normas al incorporar herramientas durante el proceso mediante el cual el gobierno, luego de identificar un objetivo de política pública, determina si empleará la normatividad como instrumento de política, evalúa alternativas y adopta la norma a través de un proceso de toma de decisiones basado en evidencia” [11].

3.2 Documentos CONPES 3816 de 2014

El documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social de la República de Colombia, CONPES 3816 (Departamento Nacional de Planeación - DNP, 2014), establece las bases que institucionalizan el Análisis de Impacto Normativo -AIN-, en este documento



el AIN se define de la siguiente manera: "El AIN (o RIA por sus siglas en inglés) es un instrumento que aplica la administración pública luego de la intención de intervenir mediante una norma. Esta herramienta examina y cuantifica los beneficios, costos y efectos que probablemente una nueva norma o un cambio en ésta pueda generar".

3.3 Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC)

El Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC), es uno de los convenios multilaterales sobre comercio internacional de mercancías adoptado en Colombia mediante la Ley 170 (SENADO DE LA REPÚBLICA, 1994), incluidos como Anexos del Acuerdo de Marrakech por el cual se estableció la Organización Mundial del Comercio (OMC).

Con el fin de incrementar y facilitar el comercio y obtener el acceso efectivo al mercado, este Acuerdo OTC tiene por objetivo que los reglamentos técnicos, las normas y los procedimientos de evaluación de la conformidad no sean discriminatorios y no constituyan obstáculos innecesarios al comercio internacional, al tiempo que reconoce el derecho de los Miembros a adoptar medidas de reglamentación para alcanzar sus objetivos legítimos, entre ellos: los imperativos de la seguridad nacional, las prescripciones en materia de calidad, la protección de la salud o seguridad humanas y de la vida o la salud de los animales, la preservación de los vegetales, la protección del medio ambiente y la prevención de prácticas que puedan inducir a error. El acuerdo recomienda a sus miembros que basen sus medidas en normas internacionales.

En términos de transparencia, el Acuerdo OTC establece que cada parte permitirá que personas de la otra Parte participen en el desarrollo de sus normas, reglamentos técnicos y procedimientos de evaluación de la conformidad. En este sentido, se establece la obligación de notificación a cada Parte de los proyectos de reglamentos técnicos y procedimientos de evaluación de la conformidad que se pretenda adoptar. Cada Parte deberá a su vez notificar a los demás miembros de la OMC, de conformidad con el Acuerdo OTC [12], [13]. Para estos efectos, cada Parte deberá conceder, al menos un plazo de sesenta (60) días desde la transmisión de la notificación mencionada, para que los interesados puedan presentar y formular observaciones y consultas de tales medidas a fin de que la Parte notificante pueda absolverlas y tomarlas en cuenta.

3.4 Guías y orientaciones del Departamento Nacional de Planeación – DNP

El Departamento Nacional de Planeación dentro de la política de mejora regulatoria ha planteado en una Guía los lineamientos metodológicos para la preparación del Análisis de Impacto Normativo – AIN, dicha guía contiene orientaciones para cada una de las fases requeridas de la construcción del AIN.

La Figura 1 muestra el proceso general para la emisión de regulación en Colombia y la inclusión del Análisis de Impacto Normativo – AIN.



Figura 1. Proceso de emisión de reglamentación.

La siguiente figura resume los pasos para incluir la estrategia de mejora regulatoria Análisis de Impacto Normativo – AIN, en la emisión de normas.

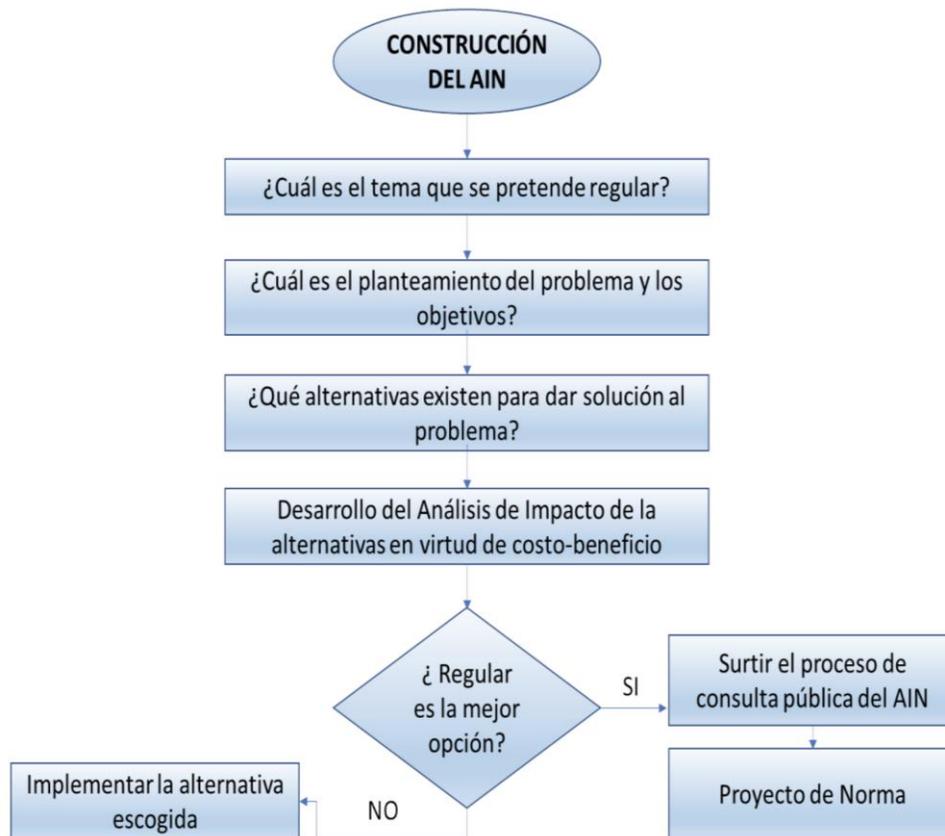


Figura 2. Construcción del Análisis de Impacto Normativo – AIN [13].

ANTECEDENTES TÉCNICOS

4.1 Contexto del sector transporte en Colombia

Específicamente, el sector transporte ha sido reconocido mundialmente como uno de los sectores que más consumen energía, principalmente responsable de la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la contaminación atmosférica, y la producción de ruido en zonas urbanas. Aunado a lo anterior, la tendencia del parque automotor es de crecimiento. El Ministerio de Transporte reportó una flota de 17 millones de vehículos a 2022, de los cuales 6 millones son vehículos livianos en 2022 (35%). Sin embargo, se proyecta que esta cifra podría aumentar cerca de un 30% para 2030 y un 55% para el 2050 [3], [4].

En este sentido, según el balance energético, el sector transporte tuvo una participación del 42% en el consumo final de energía del país en el año 2019, conformado de un 22% para consumo de gasolina de motor y un 19% de diésel. Igualmente se analiza que el modo de transporte con mayor consumo es el terrestre de pasajeros (64%), seguido del de carga (25%)

como se observa en la Figura 3 [3]. Según el Balance de Energía Útil, el sector transporte tiene las mayores ineficiencias por uso, de acuerdo con el balance año del mismo año, solo el 24 % de la energía que se consume (y se paga) es energía útil, y concentra el 54% del total de las pérdidas en energía del país. El Ministerio de Energía y la UPME, estimaron que si se utilizaran mejores tecnologías disponibles a nivel internacional existe un potencial para mejorar la eficiencia del sector o reducir el consumo hasta un 50 %, generando ahorros cercanos a 3,400 millones de USD al año [2].

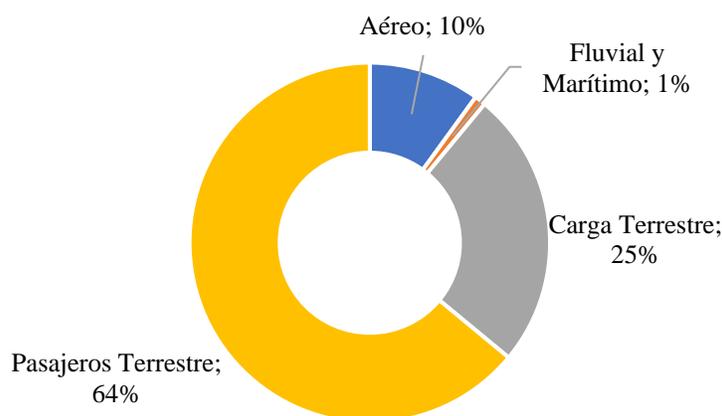


Figura 3. Consumo final de energía por modos del sector transporte [3].

De acuerdo al Inventario de Emisiones de GEI 2018, presentado en el Tercer Informe Bial de Actualización de Cambio Climático de Colombia, el sector transporte es responsable del 12,5% de las emisiones de CO₂ equivalente. En el mismo informe se presenta también el aporte del sector a las emisiones de carbono negro, donde se indica que el transporte es responsable de alrededor del 17% de las emisiones del sector energía [5]. Lo anterior es importante si se considera que en el año 2018 se reportaron 8 mil muertes asociadas a mala calidad del aire, mismas que le cuestan al país 12,2 billones de pesos anuales (incluye morbilidad y mortalidad) [4].

4.2 Acciones para un transporte sostenible

Desde el Gobierno Nacional se ha trabajado arduamente en identificar aquellos potenciales de ahorro de energía y reducción de GEI del sector transporte, ya sea mediante la implementación de medidas de eficiencia energética, cambios tecnológicos y la



incorporación de nuevos energéticos que permitirán migrar hacia un transporte sostenible y bajo en carbono.

Como respuesta a las diferentes necesidades que se han identificado en el sector transporte, el Gobierno ha generado diferentes mecanismos que han permitido el fomento de la modernización tecnológica y mejora de la eficiencia energética del transporte. A continuación, se mencionan las principales, pero se aclara que así mismo se trabaja en otras adicionales.

La Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica y la Ley 1964 de 2019, busca promover el uso de vehículos eléctricos en Colombia y cuyo objeto es generar esquemas de promoción al uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones. Con la expedición de esta ley, se establecen beneficios económicos, además se fomenta el despliegue de infraestructura de carga y la incorporación de vehículos eléctricos en los sistemas de transporte masivo y en la flota oficial, entre otros.

En el mismo sentido, la ENME surge de la interacción conjunta entre Minambiente, MinEnergía, Mintransporte, DNP y UPME, con apoyo de ONU Medio Ambiente, y define las acciones que permitirán acelerar la transición hacia la movilidad eléctrica.

El Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, define la meta de contar con 6.600 vehículos eléctricos registrados en el RUNT a 2022. En mayo de 2022 se contaba, en total, con 8.128 vehículos eléctricos acumulados, logrando cumplir en un 123% la meta que establecimos en el Plan Nacional de Desarrollo de contar con una flota de 6.600 vehículos eléctricos.

De otro lado, se han trabajado en diferentes documentos CONPES, entre los cuales se resalta el CONPES 3934 de 2018 Política de Crecimiento Verde impulsa el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, y establece la meta de contar con 600 mil vehículos eléctricos registrados en el RUNT a 2030. Adicionalmente, se emite el documento CONPES 3943 de 2018 de calidad del aire.

La modernización del transporte de carga es uno de los principales retos para el sector transporte y un factor crítico para el crecimiento de la economía del país. El documento CONPES 3963 de 2019 de “Política para la modernización del sector transporte automotor de carga” consigna las estrategias para promover la modernización del parque automotor de



carga, de forma sostenible y a largo plazo. Lo anterior, a través de la actualización del programa de desintegración de vehículos de carga, la entrada de nuevas tecnologías, la desintegración de los vehículos de carga más antiguos y la flexibilización de la habilitación de empresas de transporte enfocadas hacia los pequeños propietarios de estos tipos de vehículos, mediante incentivos económicos y fiscales.

En el año 2021 con apoyo del Banco Mundial se avanzó en la "Estructuración del programa de modernización de carga urbana de menos de 10,5 t de PBV y volquetas", vehículos que son de gran interés en su abordaje por parte de autoridades locales. Igualmente se está avanzando en la estructuración de los Términos de Referencia del fondo de ascenso tecnológico, conforme al artículo 33 de la Ley 2169 de 2021, el cual tiene como enfoque sistemas de transporte y transporte de carga menos a 10,5 toneladas y volquetas.

Por otra parte, se encuentra el CONPES 3918 de 2018 de "Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia" y el CONPES 3991 de 2020 de "Política nacional de movilidad urbana y regional", donde se plantean las acciones para materializar una visión de movilidad de calidad y que contemple la participación de todos los actores del sistema.

A su vez, el CONPES 3982 de 2020 que actualizó la "Política Nacional Logística", se enfoca en la promoción de la intermodalidad y en la generación de estrategias para el posicionamiento de medios de transporte con bajas emisiones contaminantes, destacando el modo ferroviario y el fluvial. Todo lo anterior, con el propósito de reactivar la operación de los corredores existentes con mayor potencial, articular la operación ferroviaria con los puertos marítimos y fluviales y con los proyectos ILE.

El Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, establece la importancia de formular una Estrategia Nacional de Transporte Sostenible (ENTS), la cual está siendo formulada por los Ministerios de Ambiente, Energía, Transporte, DNP y la UPME, integrantes de la Mesa Interinstitucional de Transporte Sostenible (MITS). Esta estrategia busca dar un impulso adicional a la penetración del uso de energéticos y tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones. Además, esta estrategia no considera únicamente el modo carretero, también busca generar lineamientos de ascenso tecnológico para los modos férreo y fluvial. Dentro



de estas tecnologías, se encuentran los vehículos eléctricos, a gas, a hidrógeno, híbridos, diésel y gasolina con bajo contenido de azufre.

Por otro lado, se avanza en el proyecto de resolución sobre la definición de tecnologías de cero y bajas emisiones y en el proyecto de resolución sobre etiquetado ambiental, el cual busca clasificar mediante una etiqueta los vehículos en circulación de acuerdo con sus estándares ambientales.

4.3 Normativa de eficiencia energética en el sector transporte

En las iniciativas de mitigación del sector transporte presentadas en las NDC, se incluye la movilidad eléctrica como una apuesta ambiciosa para disminuir las emisiones del transporte. Sin embargo, con estos antecedentes, regular la eficiencia energética en vehículos livianos nuevos también representa una oportunidad importante para reducir el consumo de combustible, y en consecuencia las emisiones. Incluso, algunos expertos sugieren que para cumplir los objetivos climáticos se tiene más impacto con la mejora de la eficiencia vehicular que aborda varias tecnologías que únicamente con la introducción de vehículos eléctricos, ya que estos últimos podrían aumentar sus ventas a consecuencia de la regulación de la eficiencia energética [6].

En el presente contexto, se entiende que un “vehículo será más eficiente” entre menos energía consuma cuando se compara con otro vehículo para recorrer una misma distancia. Los países establecen estándares para regular la eficiencia, y definen un “vehículo eficiente” como aquel que consume combustible por debajo del umbral de los actuales estándares de eficiencia fijados para vehículos livianos¹. Como en Colombia no existen estándares, se toman como referencia los umbrales de otros mercados regulados que incluyan las mismas marcas que se comercializan en el país.

La evidencia ha demostrado que las políticas de eficiencia energética tienen mucho más efecto en la flota de un país si se abordan en los vehículos nuevos, que en aquellos que ya se encuentran en circulación, puesto que estos últimos son responsabilidad de los consumidores una vez entran a circular, mientras que los vehículos nuevos (antes de su comercialización)

¹ Aquellos con una masa bruta menor 2722 kg, entre los que se encuentran automóviles, camperos, camionetas, microbuses y vehículos de dos y tres ruedas [45].



son responsabilidad del Estado y es donde se tienen las mayores posibilidades de incidir, de asegurar la entrada de vehículos con avances tecnológicos para mejorar la eficiencia del combustible.

Tener cambios en la eficiencia del parque automotor mediante políticas dirigidas a los vehículos en circulación es muy relevante pero no son objeto del presente análisis y algunas acciones se mencionan en la sección anterior. La explicación técnica, es que los motores se degradan naturalmente con su uso y mantener el nivel inicial de eficiencia, depende directamente del mantenimiento que le sea dado a los principales componentes de parte de sus dueños, del estilo de conducción y en muchas ocasiones del clima y la topografía.

Al asegurar la entrada de vehículos nuevos al parque con mayor eficiencia en el motor, se asegura mayor eficiencia durante todos los años que duren circulando esos vehículos en el país. La edad de la flota en Colombia según ANDEMOS es de 17 años promedio (2020). En los mercados de países desarrollados, un vehículo puede tener entre 3 a 4 propietarios durante su vida útil, y una duración de propiedad de entre los 4-7 años cada uno, siendo los últimos propietarios quienes tienen los periodos más largos; en mercados de países en desarrollo se cree que los vehículos podrían durar más años en circulación [7]. Las políticas de eficiencia energética en vehículos nuevos inducen una renovación vehicular de fondo, con un parque progresivamente más eficiente en el mediano y largo plazo.

El consumo de combustible puede medirse en litros de gasolina por cien kilómetros de viaje (l/100-km) o en gramos de dióxido de carbono por kilómetro (gCO_2 / km) (dada la relación directa entre las emisiones de CO_2 y la quema de combustible) [8]; y la economía de combustible en millas por galón (mpg), o kilómetros por litro (km/l). Ambos parámetros son utilizados en el ámbito, y al identificar el nivel de consumo, refleja la eficiencia energética del vehículo.

4.4 Línea base de consumo de combustibles

La Iniciativa Global para la Economía de Combustible (GFEI, por sus siglas en inglés) de Naciones Unidas, de la cual Colombia es parte, es un programa que promueve con acciones concretas la mejora del rendimiento energético en los países, en conjunto con los gobiernos adscritos, la iniciativa genera diagnósticos, realiza actividades de fortalecimiento de

capacidades y desarrolla políticas según el contexto de cada país buscando reducir el consumo de combustible. Se ha establecido como meta mundial, duplicar la eficiencia energética de los vehículos livianos nuevos al 2030 y de reducir en un 90% sus emisiones de CO₂ al año 2050 [8].

En Colombia, los trabajos en el marco del GFEI comenzaron en 2017 con la estimación de una línea base de consumo de combustible para los vehículos livianos nuevos, teniendo su última actualización en el 2021. Los Ministerios participantes son el de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de Minas y Energía, y Transporte. La línea base considera datos de los años 2011 al 2019, sin embargo, para el presente análisis se toma como referencia sólo el año 2019.

Mediante este programa se identificó que el consumo energético de los vehículos livianos para este año es de 7,06 lge/100 km (164,81 gCO₂/km), se resalta que se ha observado un aumento del consumo de combustible desde el 2011, con una variación anual promedio de 1% en ocho años, típico de un mercado con una regulación laxa, inexistente en el caso de Colombia, dónde son las fuerzas del mercado las que han inducido los pequeños cambios. Ver Figura 4.

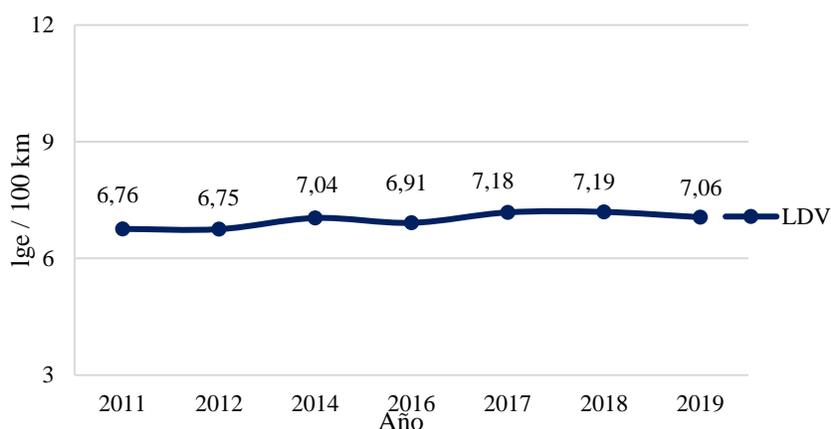


Figura 4. Promedio ponderado anual de consumo de combustible para vehículos livianos (LDV) en Colombia

Se señala que, en economías emergentes, con un consumo medio de combustible de entre 6,5 y 8,5 lge/100 km, específicamente, para el caso de países de la región como Argentina, Brasil, Chile, Perú y México, el consumo de combustible oscila en un rango entre 7,0 a 8,5 lge/100 km como se presenta en la Figura 5. Se destacan países como Chile y Brasil quienes han

logrado mejoras del rendimiento entre 2012 y 2017 del orden del 5,9% y 6,1%, respectivamente [27] y donde se identifica una reducción en el consumo en el periodo analizado.

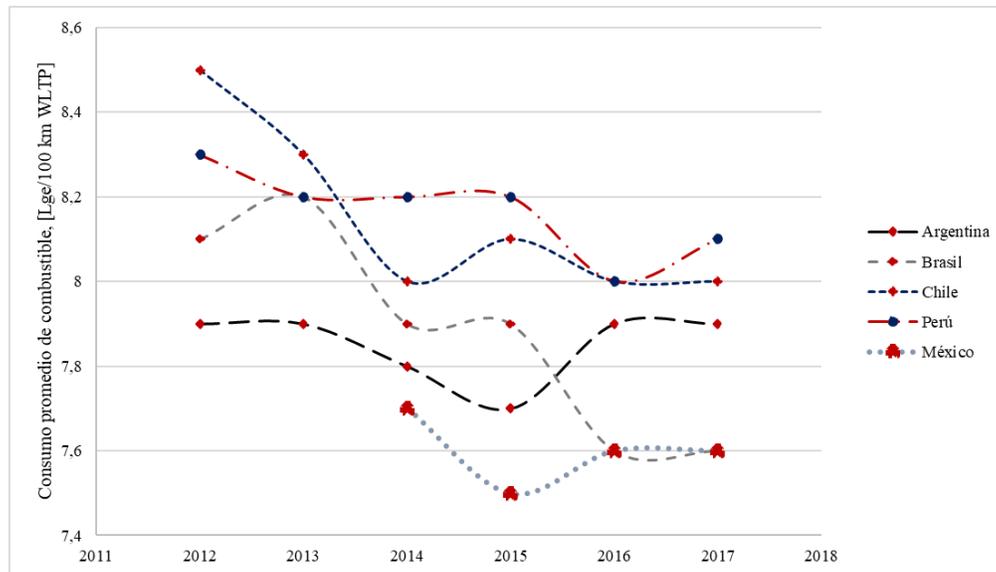


Figura 5. Tendencias del consumo de combustible en la región [27]

En este sentido, cuando la brecha tecnológica aun es grande con respecto a las tendencias mundiales los esfuerzos no se limitan, de acuerdo con el Ministerio de Energía de Chile [28], el estándar mínimo de consumo de combustible para vehículos livianos motorizados entre el 2024 y el 2026 deberá ser de 5,32 lge/100 km, lo que implica una reducción del 33,5% respecto al 2017, es decir, 5,7 veces más que la reducción alcanzada por ese país entre 2012 y 2017. Mediante este estándar, el gobierno busca aumentar en casi un 45% la eficiencia energética de los vehículos nuevos, acercando al país a los estándares exigidos en Europa, Estados Unidos y Japón. Así mismo, mediante esta normativa, el Estado chileno incentiva a grandes importadores de vehículos a comercializar los modelos más eficientes de sus marcas de autos. Este estándar de emisiones exige que los vehículos cumplan con un límite máximo de consumo de combustible según su peso bruto.

Al 2019, de acuerdo con la línea base de consumo de combustible de vehículos livianos para Colombia en el marco del GFEI, se registraron vehículos a gasolina tipo pick-up, camioneta, utilitario o SUV con un consumo de combustible superior de 7,9 lge/100 km, promedio de consumo de combustible para vehículos livianos en la región, de acuerdo con los presentado



en la Figura 5. Por otro lado, según el reporte de estadísticas de ANDEMOS, al 2019, antes de la llegada de la pandemia del COVID-19, en el país se vendieron cerca de 82.585 vehículos de las categorías ya mencionadas, las cuales representaron cerca del 37,7% de los vehículos livianos vendidos en dicho año. Se identificó que, aproximadamente un 31,52% de esta fracción de vehículos en estas categorías pertenecen a líneas con un consumo de combustible superior a 7,9 lge/100 km. Así, se establece que, actualmente en Colombia, se venden líneas de vehículos que no cumplen con lo establecido en el estándar de eficiencia energética de Chile y que, por lo tanto, su comercialización en este país acarrearía sanciones de tipo económico.

La calidad de los combustibles es un factor relevante que promueve la introducción de tecnologías eficientes, ya que los motores eficientes son incompatibles con los sistemas de control de emisiones de tecnología anticuada. Además, los combustibles de ultra bajo azufre permiten un funcionamiento óptimo en estos sistemas hasta niveles superiores al 90% tanto en vehículos a diésel como de gasolina [46]. Por lo anterior, los combustibles de mejor calidad resultan ser un incentivo indirecto a la eficiencia energética. En Colombia se tiene previsto que a partir del 2022 se comercialice gasolina con 50 ppm de azufre, y hasta 2030 con 10 ppm; en el caso del diésel, se prevé una reducción a 15 ppm a partir de enero 2023 y a 10 ppm a partir de 2025 [47].

En cuanto al dato de emisiones de CO₂, se ha identificado que Colombia mantiene una tendencia al alza en el promedio ponderado de CO_{2e} de toda la flota aun cuando hubo una mejora marginal del rendimiento. Aunado a los atrasos regulatorios, esto podría deberse a que existe un incremento de 10% en la comercialización de camionetas, vehículos SUV, entre otros de mayor tamaño del 2011 al 2019. Debe recordarse que mientras más pesado es un vehículo, más energía necesita para moverse y por lo tanto significan más emisiones. Ver Figura 6.

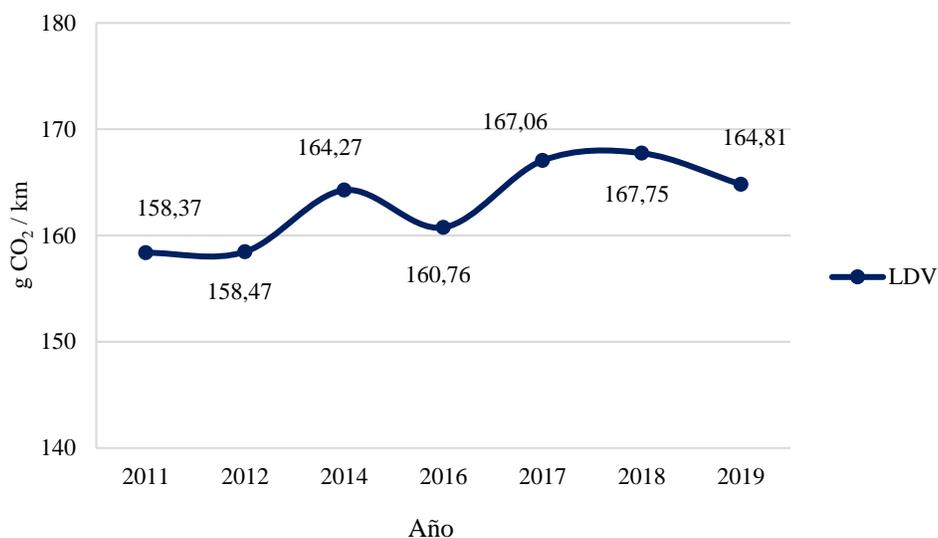


Figura 6. Promedio anual de emisiones de CO₂ por kilómetro para los vehículos livianos (LDV) en Colombia

Durante el análisis de la Línea Base de combustible, se observó que países como Chile y México, tienen un promedio ponderado de emisiones en gCO₂/km de los vehículos livianos, menor que el reportado para Colombia. Además, es importante señalar que Colombia presenta una tendencia al alza en esta variable, mostrando así la necesidad de tomar acciones correctivas en aras de cumplir con las metas energéticas y ambientales del país.

En la Figura 5 se presenta una comparación del promedio ponderado de emisiones de CO₂ y de consumo de combustible de Colombia en 2019 con respecto a otros países a nivel regional y global.

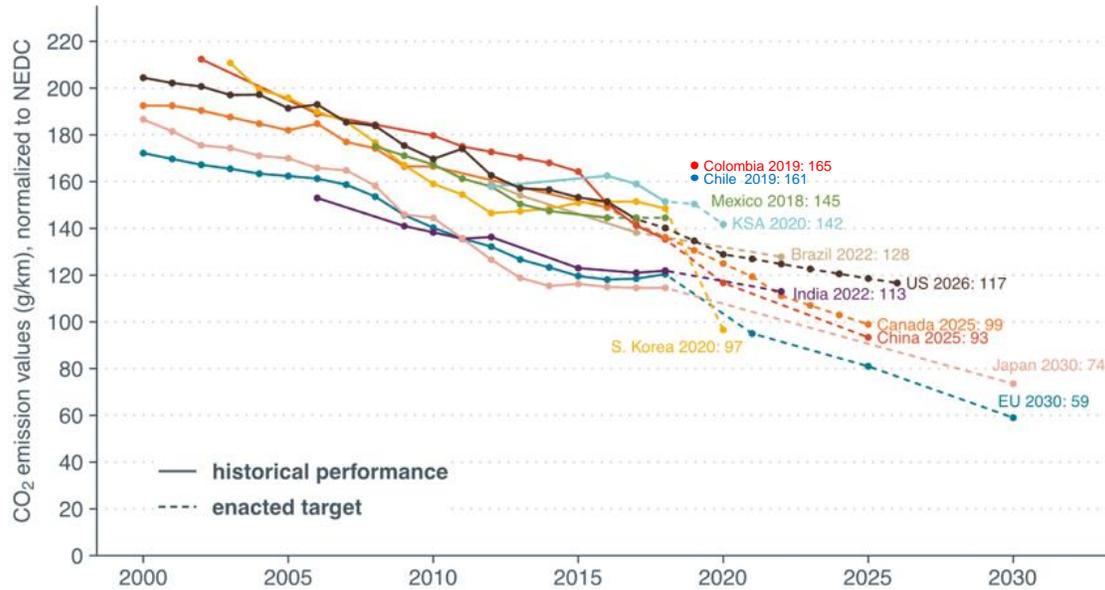


Figura 7. Comparación del promedio ponderado de emisiones de los vehículos livianos (LDV) a nivel regional.

Colombia, no regula la eficiencia energética de los vehículos que ingresan al parque automotor, por lo tanto, ingresan al país vehículos que no cumplen con el umbral mínimo de eficiencia fijado en mercados regulados como el europeo, en Estados Unidos, en Chile y México. Con información de la línea base estimada, se observó que entre los años 2018-2019, el crecimiento de las ventas fue de 14%, por lo que promover la entrada de vehículos con motores más eficientes, conlleva a que progresivamente este porcentaje ingrese con tecnología más amigable con el ambiente y de esta forma, se contribuya en el cumplimiento de sus compromisos climáticos internacionales.



CAPÍTULO I

Este capítulo presenta la definición y origen del problema central en relación con la puesta en marcha de una normativa de eficiencia energética para vehículos livianos en Colombia, sus causas, sus efectos, los actores o grupos de interés impactados, así como las medidas regulatorias o no regulatorias que podrían solucionarlo.

5.1 Definición del problema

El Ministerio de Minas y Energía como rector político del sector energético, junto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como el de Transporte, han iniciado los trabajos para el desarrollo de la reglamentación de estándares de eficiencia energética de vehículos livianos nuevos, un trabajo enmarcado en los procesos de planeación con un enfoque climático para reducir el consumo energético del sector transporte, mitigar los impactos negativos, y con ello hacer un aporte a las metas nacionales de la gestión del cambio climático.

5.1.1 *Problema central*

De acuerdo a las metodologías establecidas por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) el Análisis de Impacto Normativo inicia con la definición del problema [14]. Por lo tanto, se identifica aquello que afecta el bienestar colectivo o que genera efectos negativos o no deseados en la sociedad. En este sentido, en los Antecedentes Técnicos se identificó que el consumo de energía del sector transporte representa casi la mitad de la energía que se consume en el país (41%) y que, además, tiene las mayores ineficiencias por su uso, según el Balance de Energía útil del año 2019. Así mismo, a través de las estimaciones de la Línea base de consumo de combustible de los vehículos livianos de nuestro país, se logró demostrar que el parque automotor de Colombia tiene grandes oportunidades de mejorar el rendimiento energético de los vehículos que ingresan al mercado. Esto incorporando tecnologías vehiculares más eficientes que ya hoy están disponibles, cuyo objetivo final es construir un parque automotor más amigable con el medio ambiente y que permita minimizar el consumo de energía.

Para identificar el problema principal se propone el uso de la matriz de Vester. Mediante este método, es posible obtener una valoración cuantitativa del grado de relevancia de un conjunto de posibles problemas identificados, para así develar el problema central que hace las veces



de tronco, las causas principales que hacen las veces de raíces y las consecuencias más relevantes que hacen las veces de ramas y follaje en el árbol de problema.

La matriz de Vester se caracteriza por permitir una valoración de un conjunto de problemas en una escala de 0 a 3, donde 0 denota un grado de no afectación o causalidad y 3, un grado de alta afectación o causalidad. Los problemas son ubicados tanto en filas como en columnas, formando una matriz cuadrada $\{n \times n\}$. En ese sentido, la matriz permite llevar a cabo una comparación entre un par de problemas donde se busca establecer el grado de afectación o causalidad de un problema con respecto a otro. Así, dado que la diagonal principal de la matriz representaría una valoración de cada problema sobre sí mismo, esta se valora con un 0. No es posible ser causa y efecto de sí mismo simultáneamente. La matriz triangular inferior y superior se llenan sistemáticamente considerando la valoración propuesta por la escala por parte de quienes realizan la evaluación.

Una vez se tiene la valoración del grado de dependencia e influencia de cada problema sobre los demás, se construye un gráfico bidimensional donde el eje de las abscisas representa el grado de dependencia y el eje de las ordenadas el grado de influencia. Inicialmente la lista de problemas, considerados relevantes para ser valorados mediante la matriz de Vester, fueron identificados y discutidos en mesas de trabajo sostenidas entre expertos técnicos de entidades académicas y de investigación del orden nacional e internacional y funcionarios de los Ministerios de Minas y Energía, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y Ministerio de Transporte. Adicionalmente se tuvieron en cuenta los comentarios realizados por los diferentes grupos de interés en los siguientes espacios:

- Taller participativo para la socialización del proceso normativo en eficiencia energética de vehículos livianos, que se realizó el día 6 de abril de 2022 – Ver Anexo 1.
- Reuniones con trabajo con la Asociación Nacional De Movilidad Sostenible (ANDEMOS), la Federación Nacional de Comerciantes Empresarios (FENALCO) y la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI)

La lista de posibles problemas identificados es:



P1: Competencia imperfecta en el mercado automotor, en términos de eficiencia energética

Debido a que no existen instrumentos que regulen la eficiencia energética de los vehículos que ingresan al mercado colombiano, los importadores y fabricantes no tienen incentivos de ningún tipo para importar o fabricar vehículos con motores y componentes más eficientes, incluso cuando las marcas ya cuentan con capital tecnológico para hacerlo. Recordar que un vehículo se considera eficiente, cuando consume combustible por debajo del umbral de los actuales estándares de eficiencia. Al no contar en Colombia con estándares, se toman como referencia otros mercados regulados que incluyan las mismas marcas del mercado del colombiano.

Las marcas adaptan sus estrategias de venta a los mercados y su contexto, persiguen selectivamente el crecimiento del negocio de vehículos a combustión en mercados donde aún tienen potencial [15]. Por el contrario, varios fabricantes originales de equipo (OEM por sus siglas en inglés) se han auto impuesto metas para acelerar las ventas y la fabricación de vehículos eléctricos a través de una reconfiguración de sus líneas de producción, pero solo en los mercados regulados más estrictos (Figura 8), los vehículos eléctricos son las opciones tecnológicas más eficientes y rentables para lograr reducciones de consumo de energía y las emisiones del tubo de escape. Los mercados regulados más estrictos han anunciado eliminar gradualmente las ventas de vehículos nuevos con motor de combustión interna (ICE), unos a partir del 2035, pero la mayoría principalmente 2040, lo que permite reforzar la idea de que las marcas derivan sus vehículos más eficientes según las exigencias regulatorias [16].



Figura 8. Anuncios de fabricantes de equipos originales relacionados con vehículos ligeros eléctricos [17]

P2: Bajo conocimiento sobre el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ de los vehículos que entran al parque automotor colombiano

Actualmente los importadores y ensambladores de vehículos en Colombia están obligados a reportar el Certificado de Emisiones bajo Prueba Dinámica (CEPD) ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), el cual contiene información relacionada con las emisiones contaminantes. Sin embargo, no es obligatorio que reporten el consumo de combustible ni el nivel de emisiones de CO₂ de los vehículos que comercializan. En Colombia la información de los vehículos que ingresan al parque automotor es almacenada en el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), pero tampoco se registran las variables relacionadas con la eficiencia energética. Se señala que para contar con información actual referente al tema, en el marco del GFEI, los Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Energía y Minas, y Transporte, junto con el equipo técnico asignado, construyeron una línea base del consumo de combustible y de emisiones promedio de los vehículos nuevos, tomando como fuente los resultados de mediciones certificadas realizadas en otros países para los mismos modelos entrantes a Colombia.

P3: Tendencia al aumento del promedio del consumo de combustible de los vehículos livianos que entraron al parque automotor entre 2011 y 2019

Expuesto también en la sección de Antecedentes Técnicos, los trabajos en el marco de la iniciativa mundial de Economía del Combustible de Naciones Unidas, de la cual Colombia es parte a través de la participación de los Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de Minas y Energía, y Transporte; se desarrolló una línea base que considera datos de los años 2011 al 2019, para este último, el programa identificó que el promedio de consumo de combustible de los vehículos livianos nuevos fue de 7,06 lge/100 km (164,81 gCO₂/km). Sin embargo, se señala que se ha observado un aumento de este parámetro desde el 2011, con una variación anual promedio de 1% en ocho años, típico de un mercado con una regulación laxa e inexistente en el caso de Colombia, dónde son las fuerzas del mercado las que han inducido los pequeños cambios (ver Figura 4). Recordar que la tendencia esperada es a la baja, puesto que se espera que los vehículos mejoren la eficiencia energética y reduzcan su consumo de combustible.

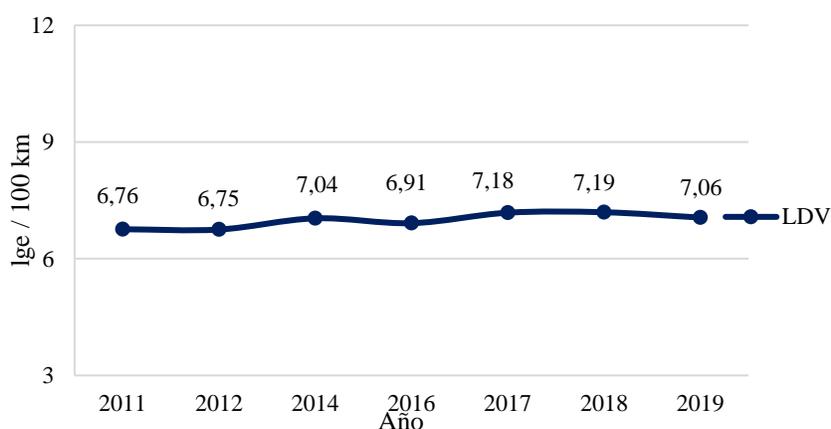


Figura 9. Promedio ponderado anual de consumo de combustible para vehículos livianos (LDV) en Colombia

P4: Parque automotor nacional con retraso respecto a tendencias mundiales en políticas de eficiencia energética

Desde inicios de la década del 2000, la Unión Europea adoptó estándares de eficiencia energética voluntarios, sin embargo, fue hasta el 2007 que se establecieron objetivos obligatorios, de esta última forma, el consumo de combustible cayó rápidamente de 2005 a

2015 un promedio un 1,6 % por año. En los Estados Unidos, el consumo de combustible en el mismo periodo disminuyó un 2,5 % por año, debido a los estándares de promedio corporativo de economía de combustible y al aumento de los precios del combustible. Los países con menor consumo de combustible (menos de 6 lge/100 km) son en su mayoría países europeos, economías asiáticas desarrolladas y la India. La mayoría de los países de mercados emergentes y en desarrollo como Colombia se encuentran en el rango de 6-8 lge/100 km [18]; Colombia se ubica en 7,2 lge/100 km muy por encima de lo que se observa en economías desarrolladas.

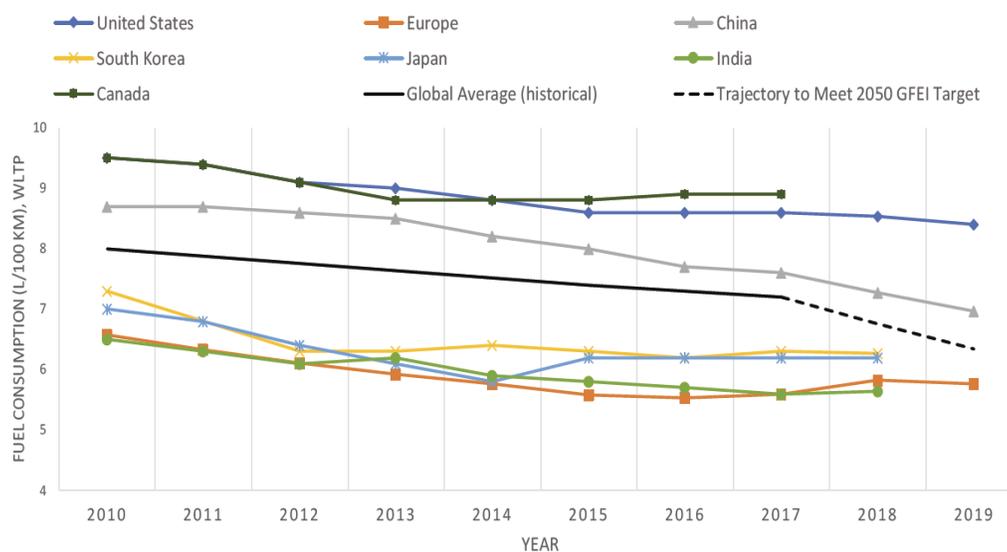


Figura 10. Tendencias y metas en el consumo de combustible en el mundo [18]

De acuerdo con lo referido en el problema P3 esto también evidencia que, actualmente, en Colombia existe un desfase de aproximadamente 20 años, respecto a Europa, y 40 años respecto a Estados Unidos, en la expedición de políticas de eficiencia energética vehicular.

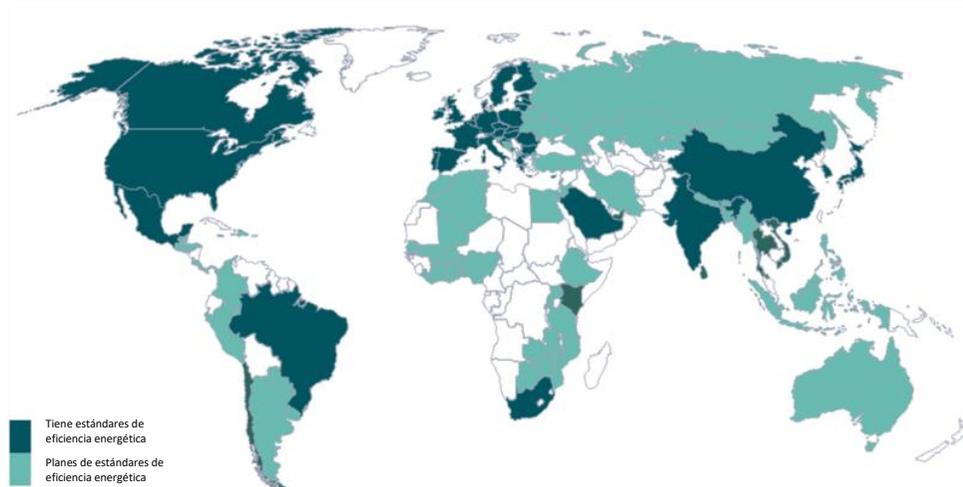


Figura 11. Compilado de países con estándares de eficiencia energética vehicular, 2021 [19].

P5: Regulación del mercado automotor desactualizada y poco competitiva en temas de eficiencia energética y emisiones a nivel regional e internacional

En línea con el problema anterior, en Colombia la normatividad vigente en términos del mercado de vehículos está relacionada, entre otras cosas, con la reducción de emisiones de fuentes móviles (Ley 1955 de 2019) [20], la política para el mejoramiento de la calidad del aire (CONPES 3943) [21], la calidad de combustibles (Resolución 40103 de 2021) [22] y el Uso Racional y Eficiente de la Energía (Ley 697 de 2001) [23]. En la actualidad, Colombia, no ha establecido una normatividad que promueva la eficiencia energética vehicular en vehículos livianos, como lo han hecho otros países del mundo tanto en países desarrollados como algunos otros de economías emergentes.

Por ejemplo, desde el año 1999 la EU (*European Union*) emitió la “directiva de etiquetado vehicular” (Directiva 1999/94/EC) [24], la cual requería que los vehículos nuevos exhibieran una etiqueta que mostrará su eficiencia energética y el nivel de emisiones de CO₂. Por la misma época se introdujeron los estándares de CO₂ de cumplimiento voluntario, que se hicieron obligatorios en el año 2009. La EU estableció para vehículos de pasajeros los promedios corporativos de emisiones de CO₂ para el periodo 2015-2019 en 130 g CO₂/km, mientras que para el año 2040 fueron establecidos en 95 g CO₂/km. La iniciativa “Fit for 55” de la EU estableció nuevos estándares de emisión de CO₂, esta incluye una reducción del



55% de las emisiones de los vehículos de pasajeros en 2030 comparado con 2021, y para el 2035 requiere que todos los vehículos livianos nuevos lleguen a cero emisiones de CO₂ [25]. Por otro lado, los Estados Unidos introdujeron desde 1975 los estándares corporativos de consumo promedio de combustible (CAFE). Estos estándares definían, de acuerdo con el año de producción, los niveles de emisión promedio que las flotas de un determinado productor tenían que cumplir en ese año, con niveles específicos que dependían de las características y tipos de vehículos producidos. En el año 2020, la regla de vehículos más segura y alcanzable de economía de combustible (SAFE) estableció estándares de eficiencia energética que fueron significativamente menos exigentes que los estándares establecidos en el año 2012. La normativa SAFE estableció un mejoramiento anual en la economía de combustible de 1.5% para los vehículos de los años 2021 a 2026, mientras los estándares anteriores establecían 4.7% de mejora anual para los vehículos de los años 2017 a 2025. En enero de 2021, el nuevo gobierno de US, a través de una orden ejecutiva ordenó a la EPA reconsiderar el programa SAFE y en agosto de 2021 una revisión propuso establecer estándares más exigentes a partir de 2023. Comparados con SAFE, los estándares propuestos representan un aumento del 10% en el mejoramiento para los modelos 2023 y un aumento de 5% en los años siguientes [26]. Las acciones tomadas en estos países y otros países de la región, como Chile, evidencia que Colombia tiene un retraso en la implementación de acciones para alcanzar las metas establecidas por el GFEI y revertir la tendencia hacia un menor consumo de combustible de su parque automotor de vehículos livianos nuevos.

P6: Mercado automotor de Colombia que permite la entrada y el comercio de algunos vehículos no permitidos en otros países debido a sus bajas eficiencias energéticas

Ya se ha mencionado que en el 2019 el promedio ponderado del consumo de combustible en Colombia resultó en 7,06 lge/100km, muy por encima de países con economías avanzadas (en su mayoría países europeos, economías asiáticas desarrolladas y la India), cuyo promedio oscila alrededor de los 5,2 lge/100 km, y no sobrepasa los 6,0 lge/100 km por vehículo [18]; esto significa que en estos países, no ingresan tecnologías que sobrepasen este último límite, mientras que en Colombia, para obtener este promedio posiblemente ingresan vehículos sobre 7,06 lge/100 km.



Con respecto a países en la región, de acuerdo con el Ministerio de Energía de Chile [28], el estándar mínimo de consumo de combustible para vehículos livianos motorizados entre el 2024 y el 2026 será de 5,32 lge/100 km, lo que implica una reducción del 33,5% respecto al 2017, es decir, en dos años se estima mejorar 5,7 veces más el rendimiento que Chile logró entre 2012 y 2017; así mismo, la meta asociada es 25% más competitiva que el actual promedio colombiano de consumo de combustible (7,06 lge/100 km).

De esta manera se establece que, actualmente en el país se venden líneas de vehículos que no cumplen con lo establecido en el estándar de eficiencia energética en otros países como los mencionados. La industria automotriz adapta sus estrategias comerciales según el mercado, si no existen normativas de eficiencia energética, o estas son muy laxas. Es muy probable que ingresen al parque automotor vehículos poco eficientes, de gran tamaño y peso vehicular, al menos, la experiencia así lo ha demostrado; en el problema 1 se señaló como las marcas han comprometido la mejora de su oferta tecnológica a 100% eléctrica solo en los mercados regulados más exigentes.

P7: La industria nacional no tiene incentivos a la producción/importación de vehículos livianos de alta eficiencia energética

Según el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, la Política Industrial en marcha, ha visualizado mejorar la competitividad económica del sector desde varios frentes, tales como la innovación, la productividad, la inversión, el financiamiento, y la creación de un entorno competitivo. Sin embargo, se ha puesto énfasis en mejorar la dinámica productiva para mejorar la cuota del mercado de vehículos, sin hacer mención de la mejora tecnológica del producto final como un medio para la descarbonización del país, o bien, para el cumplimiento de las metas gubernamentales sobre cambio climático [29].

En el caso de los vehículos, la mejora tecnológica como producto final para cumplir los objetivos climáticos, significa promover la fabricación de vehículos con motores y componentes de alta eficiencia. Lo cual, como ya se ha mencionado representa una oportunidad de hacer grandes aportes a la reducción del consumo de combustible a nivel nacional del sector transporte. Existen diversos programas a los cuales la industria automotriz puede acceder, la mayoría programas transversales que no necesariamente incluyen un incentivo directo a tales efectos [30].



El Programa de Fomento para la Industria Automotriz (PROFIA), único programa direccionado a esta industria, proporciona una exoneración de gravamen arancelario a las mercancías o bienes contenidos en las subpartidas arancelarias señaladas en el Decreto 1567 del 2015, utilizados para el ensamblaje de vehículos. No obstante, tampoco existen condicionantes de este incentivo económico a la importación de componentes que promuevan la mejora tecnológica del producto desde la perspectiva climática, para dar valor agregado a la exportación.

P8: Vehículos con altas tasas de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y contaminantes en comparación con vehículos de las mismas referencias en otras regiones

En el año 2019, los vehículos livianos entrantes al mercado colombiano promediaron unas emisiones de 165g de CO₂/km, cuando estas son evaluadas bajo el ciclo de *New European Driving Cycle*. Con respecto a otros mercados, Colombia representa cifras por encima de la tendencia en el 2019 incluso en países latinoamericanos como es el caso de México (145g CO₂/km) y Chile (161g CO₂/km), si se compara con respecto a mercados de países de primer mundo, Colombia puede representar casi el doble de las emisiones que en el caso europeo (ver Figura 5).

Se señala que, en cuanto a estándares de emisiones, actualmente el país expide exigencias comparadas a un paquete normativo Euro 2 o Tier 1 de Estados Unidos, los cuales salieron de vigencia en estos países aproximadamente en el año 2000 para avanzar en exigencia, es decir, la normativa actual de emisiones en Colombia en los mercados mejor regulados quedó obsoleta hace casi 20 años [32].

P9: Desconocimiento de considerar la eficiencia energética en el costo total de propiedad de los vehículos

Los consumidores relacionan avances tecnológicos en los vehículos con un mayor costo de inversión, el precio de compra suele ser decisivo sin tomar en cuenta que es posible tener ahorros importantes en los costos de operación a lo largo de la vida útil del vehículo. Se considera necesario que los consumidores conozcan como dichas mejoras tecnológicas



impactan en los costos totales de propiedad de los vehículos y qué condiciones deben cumplirse en el país para que dichos vehículos puedan comercializarse.

5.2 Análisis del problema

Una vez identificados los problemas, los miembros del grupo de trabajo del proyecto aplicaron la metodología de Vester², asignando una valoración de afectación o causalidad entre los problemas. En la Figura 12, se presentan los resultados obtenidos una vez aplicado el método que hace uso de la matriz de Vester. Las parejas ordenadas *Dependencia – Influencia* son ubicadas en un gráfico bidimensional dividido en cuatro cuadrantes. De acuerdo con los resultados obtenidos de la valoración del grado de dependencia e influencia, en el primer cuadrante se ubican aquellos problemas que se consideran críticos, en el segundo cuadrante se ubican aquellos problemas que se consideran causas directas o activas de los problemas críticos, en el tercer cuadrante se ubican aquellos problemas que se consideran indiferentes, aquellos que no son ni causas ni consecuencias y en el cuarto cuadrante aquellos que más que problemas, son considerados las consecuencias principales o efectos directos de las causas críticas.

Mediante la matriz de Vester es posible identificar el problema central que hace las veces de tronco en el árbol de problema. Un problema es más crítico cuanto más alejado se encuentre del origen porque tiene mayor influencia y grado de dependencia sobre el resto. Según el análisis del grupo de trabajo y la retroalimentación recibida en el proceso participativo y de socialización (ver ANEXO 1), el problema central se identifica como aquel que, estando ubicado en el primer cuadrante, se encuentra a una mayor distancia euclidiana respecto al origen. En el caso del presente estudio se identifica, después de obtener los resultados de la Matriz de Vester, que el problema que se encuentra más alejado del origen y por lo tanto el problema central es la existencia de una “*Tendencia al aumento en el promedio consumo de combustible promedio de los vehículos livianos que entraron al parque automotor entre 2011 y 2019*”. Este resultado refleja lo mostrado por la Línea Base de Consumo de Combustible, donde se evidencia que, en los últimos años en Colombia han entrado vehículos nuevos, que

² El grupo de trabajo se conformó por personal de los Ministerios de Minas y Energía, de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y de Transporte, así como el equipo técnico asesor, el Centro Mario Molina Chile y la Universidad Tecnológica de Pereira.

en conjunto, tienen un promedio consumo de combustible más alto que en mercados de países que sí regulan este parámetro.

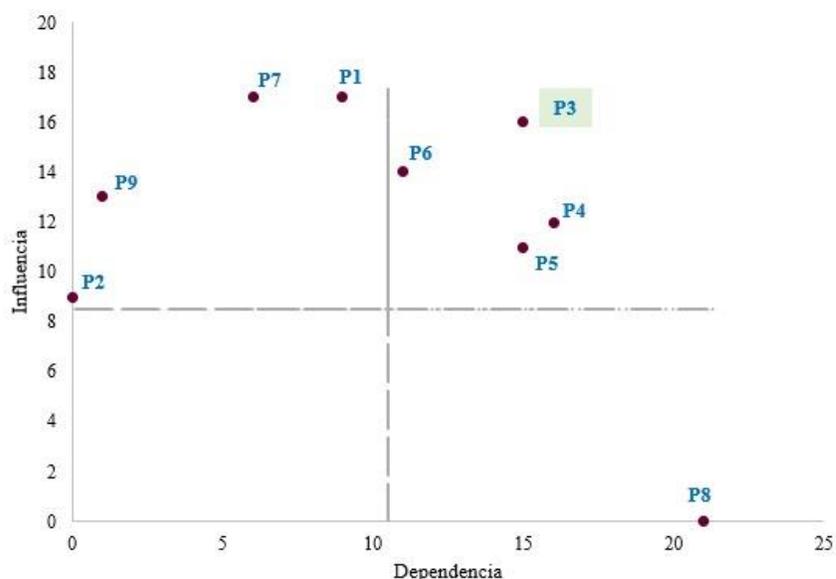


Figura 12. Resultados de matriz de Vester.

5.3 Origen del problema

Las causas que dan origen al problema central “*Tendencia al aumento del promedio del consumo de combustible de los vehículos livianos que entraron al parque automotor entre 2011 y 2019*”, son clasificadas en causas directas e indirectas según la forma en la que contribuyen al problema. A continuación, se muestra el árbol de problemas construido a partir del análisis de la matriz de Vester, las discusiones sostenidas entre el grupo de trabajo, y la retroalimentación del grupo afectado en la socialización de este. Luego, se exponen las causas identificadas que originan el problema central.

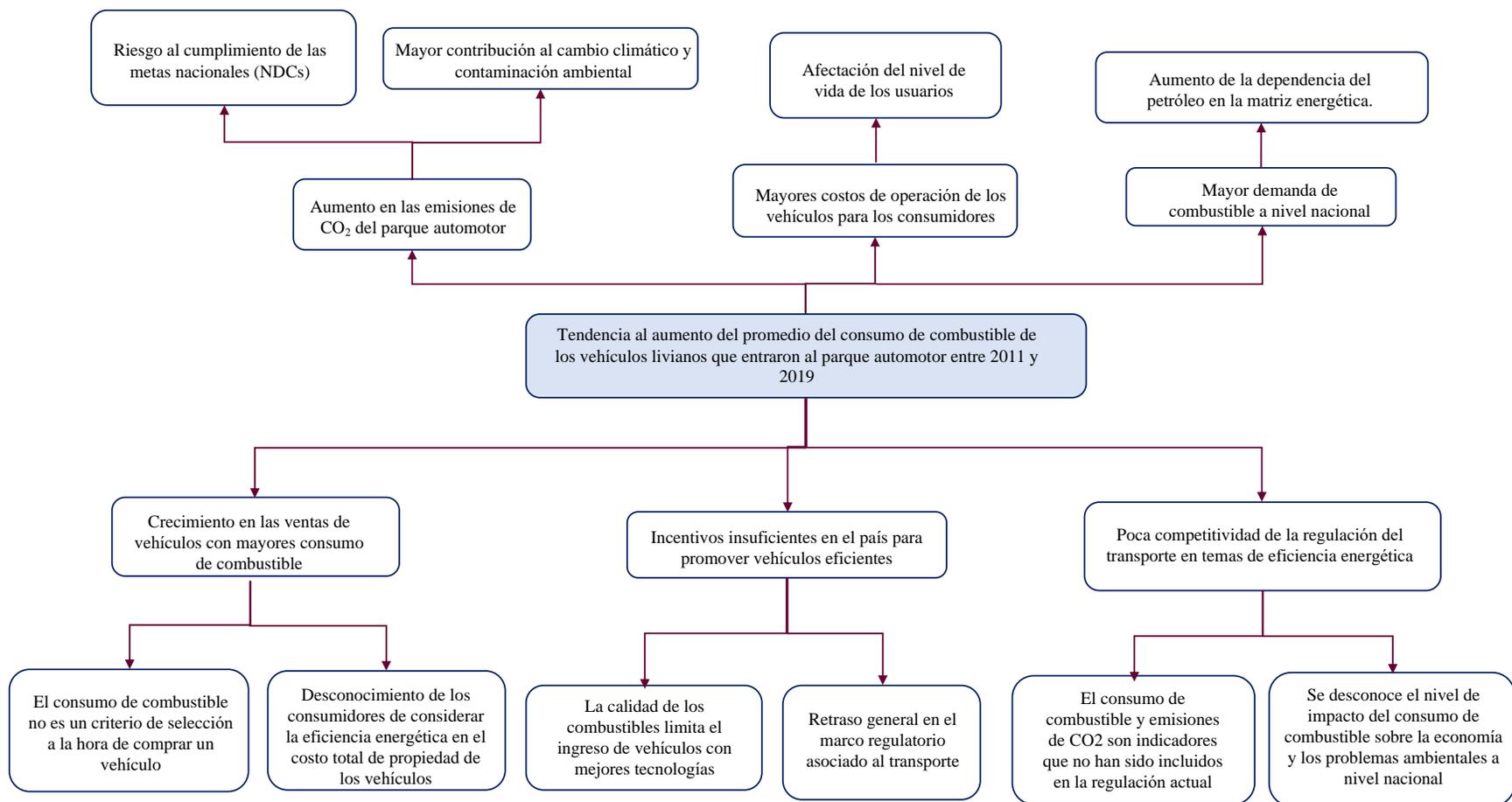


Figura 13. Árbol del problema.



5.3.1 *Causas directas*

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de la Matriz de Vester, fueron identificadas las siguientes causas críticas del problema:

- Poca competitividad de la regulación del transporte en temas de eficiencia energética. El argumento de esta causa se presenta en la sección 5.1.1, ver problemas P4 y P5.
- Crecimiento en las ventas de vehículos con mayores consumos de combustible. En la sección de Antecedentes Técnicos y en la sección 5.1.1, problema P6, se encuentra una justificación de esta causa.
- Incentivos insuficientes en el país para promover vehículos eficientes. El sustento de esta causa se presenta en la sección 5.1.1, ver problemas P5-P8.

5.3.2 *Causas indirectas*

De igual forma, fueron identificadas las siguientes causas indirectas:

- Hasta ahora el consumo de combustible no ha sido un criterio importante de selección a la hora de comprar un vehículo. En la sección 5.1.1, problema P9 se presenta una justificación.
- Desconocimiento de los consumidores de considerar la eficiencia energética en el costo total de propiedad de los vehículos. El sustento de esta causa se presenta en la sección 5.1.1, ver problemas P9.
- La calidad de los combustibles limita el ingreso de vehículos con mejores tecnologías. En la sección de Antecedentes Técnicos se explica por qué los combustibles bajos en azufre incentivan también el ingreso de vehículos eficientes.
- Retraso general en el marco regulatorio asociado al transporte. La argumentación de esta causa indirecta se presenta en la sección 5.1.1, ver problemas P5-P8.
- El consumo de combustible es un indicador que no ha sido incluido en la regulación actual. El argumento de esta causa se presenta en la sección 5.1.1, ver problema P2.
- Se desconoce el nivel del impacto del consumo de combustible sobre la economía y los problemas ambientales a nivel nacional. En la sección 5.1.1, problema P2 se encuentran los argumentos que definen esta causa indirecta.



5.4 Consecuencias del problema

Por otro lado, fueron identificados las siguientes consecuencias del problema:

5.4.1 *Consecuencias directas*

- Aumento en las emisiones de CO₂ del parque automotor
El sustento de esta consecuencia se presenta en la sección de Antecedentes Técnicos y la 5.1.1, ver problema P8.
- Mayores costos de operación de los vehículos para los consumidores
Un vehículo con una eficiencia energética poco competitiva requerirá mayor cantidad de combustible para recorrer la misma distancia que otro vehículo con mejor rendimiento, por lo tanto, los usuarios deberán gastar más dinero en la operación a lo largo de toda la vida útil.
- Mayor demanda de combustible a nivel nacional
Actualmente, Colombia tiene un parque automotor de alrededor 17 millones de vehículos, incluyendo motocicletas. Teniendo en cuenta que los vehículos nuevos que se comercializan en nuestro país están mostrando un incremento en el consumo promedio de combustible, esto representa un incremento en la demanda de combustible y por lo tanto un aumento en la dependencia al petróleo. La fluctuación global de los costos de este último impacta al interior del país en los precios de los combustibles.

5.4.2 *Consecuencias indirectas*

- Riesgo al cumplimiento de las metas nacionales (NDCs)
Colombia se comprometió a una reducción de un 51% de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) proyectadas para 2030, proceso que tiene el propósito final de lograr la carbono neutralidad al 2050. De acuerdo al Inventario de Emisiones de GEI 2018, presentado en el Tercer Informe Bienal de Actualización de Cambio Climático de Colombia, el sector transporte es responsable del 12,5% de las emisiones de CO₂ equivalente. En el mismo informe se presenta también el aporte del sector a las emisiones de carbono negro, donde se indica que el transporte es responsable de alrededor del 17% de las emisiones del sector energía [5]. En el marco



de la NDC, la eficiencia energética ha sido planteada como un medio transversal a los subsectores de la energía eléctrica, hidrocarburos y minería.

- Mayor contribución al calentamiento global y cambio climático y a la contaminación ambiental.

En relación a la consecuencia anterior descrita, y considerando que la tendencia estimada del consumo promedio de combustible de los vehículos nuevos que se comercializan en nuestro país se encuentra al alza desde hace varios años, y dado que, por estequiometría de la combustión, las emisiones de CO₂ de los vehículos se encuentran en relación directa con su consumo de combustible. Se dan las condiciones para una mayor contribución al calentamiento global y cambio climático (ver sección de Antecedentes Técnicos). Así mismo, la probabilidad de generación de una mayor cantidad de emisiones contaminantes como el NO_x y el PM_{2.5} se incrementa, elevando también la probabilidad de ocurrencia de períodos de mala calidad de aire que trae consigo efectos adversos para la salud humana. Lo anterior es importante si se considera que en el año 2018 se reportaron 8 mil muertes asociadas a mala calidad del aire, mismas que le cuestan al país 12,2 billones de pesos anuales (incluye morbilidad y mortalidad) [4].

- Afectación del nivel de vida de los usuarios.

Los consumidores de vehículos son sensibles a los costos de los combustibles, en consecuencia, diversos estudios sugieren que a medida que la población adquiera conocimiento y una mayor educación sobre economía del combustible, valoran plenamente el ahorro de combustible en la decisión de compra de vehículos [48].

- Aumento de la dependencia del petróleo en la matriz energética

Entre los años 2015 y 2019, el uso del petróleo como fuente de energía en la matriz energética de Colombia ha tenido un aumento cercano al 13%, y particularmente, en el sector transporte, el aumento ha sido de aproximadamente 15% [33].

En la Figura 13, se presenta el árbol de problemas general una vez obtenida la valoración arrojada por la matriz de Vester.



5.5 Identificación de los grupos afectados

En la Tabla 1, se presenta la matriz de impacto a los actores involucrados en el proceso de mejorar la eficiencia energética de vehículos livianos. En ella se evidencian cómo esto impacta en los diferentes tipos de actores, y se muestra una valoración semi-cualitativa del nivel de influencia e interés sobre cada uno de ellos. Para cada actor se identifican seis formas de participación en el proceso de diseño e implementación de una regulación de este tipo, con una ponderación distinta según la importancia considerada por el grupo evaluador.

- Rol determinado por el Estado
- La regulación afecta sus intereses
- Trabaja en el sector transporte
- Tiene conocimiento o información asociada a la regulación
- Tiene poder político y/o económico
- Tiene capacidad de financiar la iniciativa

Como se muestra en la siguiente tabla, la puntuación máxima es de 21, por lo que aquellos con un puntaje igual o arriba de 15, representan actores que tienen igual o más del 70% de influencia o interés en el desarrollo de una regulación de mejora de eficiencia energética vehicular.

Tabla 1. Matriz de impacto sobre la regulación de eficiencia energética.

Actor	Tipo de impacto	Rol determinado o por el Estado	Regulación afecta sus intereses	Trabaja en el sector	Tiene conocimiento o información asociada a la norma	Tiene poder político y/o económico	Tiene capacidad de financiar la iniciativa	Influencia / interés de la regulación de eficiencia energética vehicular
		4	6	5	2	3	1	21
Sector Público – Gobierno Central								
Ministerio de Minas y Energía	Cooperante	4	6	5	2	3		20
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Cooperante	4	6	5	2			17
Ministerio de Transporte	Cooperante	4	6	5	2	3		20
Agencia Nacional de Seguridad Vial	Cooperante		6	5				11
Ministerio de Industria, Comercio y Turismo	Cooperante	4	6		2	3		15
Departamento Nacional de Planeación	Cooperante		6			3		9
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	Cooperante	4	6		2	3		15
Instituto Nacional de Metrología de Colombia	Cooperante	4						4



Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación	Cooperante		5			5
Unidad de Planeación Minero-Energética	Cooperante	6		2	3	11
Organización Mundial del Comercio	Cooperante	4	6	2		12
Sector Público – Gobiernos Seccionales						
Unidades de Transporte de Áreas metropolitanas	Cooperante	6	5			11
Secretarías de Movilidad Metropolitanas	Cooperante	6	5			11
Sector Académico						
Universidad de Antioquia	Cooperante		5	2		7
Universidad EAFIT	Cooperante		5	2		7
Universidad Pontificia Bolivariana	Cooperante		5	2		7
Universidad Nacional de Colombia	Cooperante		5	2		7
Universidad Tecnológica de Pereira	Cooperante		5	2		7
Sector Privado						
ANDEMOS	Cooperante afectado	6	5	2	3	16
ANDI	Cooperante afectado	6	5	2	3	16
FELACO	Cooperante afectado	6	5	2	3	16
Ecopetrol	Cooperante afectado	6	5		3	14
Asociación Colombiana de Gas Natural - Naturgas	Cooperante afectado	6	5		3	14
Gremios del sector transporte		6	5	2		13
Asociación Colombiana de Fabricantes de Autopartes		6			3	9
Asociación de Importadores de Vehículos Usados	Afectados	6			3	9
Empresas ensambladoras		6	5	2		13
Empresas importadoras		6	5	2		13
Empresas autopartistas		6	5	2		13
Sector Organizaciones civiles e investigación						
WRI	Cooperante		5	2		7
Wuppertal Institute	Cooperante		5	2		7
C40	Cooperante		5	2		7
Centro Mario Molina	Cooperante		5	2		7
Consejo Internacional de Transporte Limpio	Cooperante		5	2		7
Sector Cooperación Internacional						
FIIAPP	Cooperante	6	5		1	12
UNEP	Cooperante	6	5		1	12
CEPAL	Cooperante	6	5		1	12
GIZ	Cooperante	6	5		1	12



Sociedad civil			
Sociedad civil	Beneficiario	6	6

De esta evaluación se concluye que los actores enumerados a continuación, son los actores dónde se encontrará la discusión para el establecimiento de una regulación de mejora de la eficiencia energética vehicular. Los actores privados como la industria automotriz y de ensamblaje, así como importadores de vehículos fueron identificados como los actores cooperantes-afectados con la presente propuesta. Se señala que el gremio ha sido agrupado en asociaciones gremiales, sin embargo, no se descarta la participación y la representación de todo el sector privado.

- Ministerio de Minas y Energía
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
 - Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
- Ministerio de Transporte
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo
- ANDEMOS – en representación del gremio
- ANDI – en representación del gremio
- FENALCO – en representación del gremio

Se señala que la sociedad civil sería el principal grupo beneficiario de una regulación de este tipo. Sin embargo, para el proceso de diseño e implementación tienen baja influencia e interés, por lo que su puntaje es el más bajo de todos los grupos afectados.

5.6 Definición de objetivos

A partir del problema identificado, se identifica el árbol de objetivos presentado en la Figura 14. Por lo tanto, se propone que a través de una intervención gubernamental se puedan lograr los siguientes objetivos que permitan resolver la situación actual.

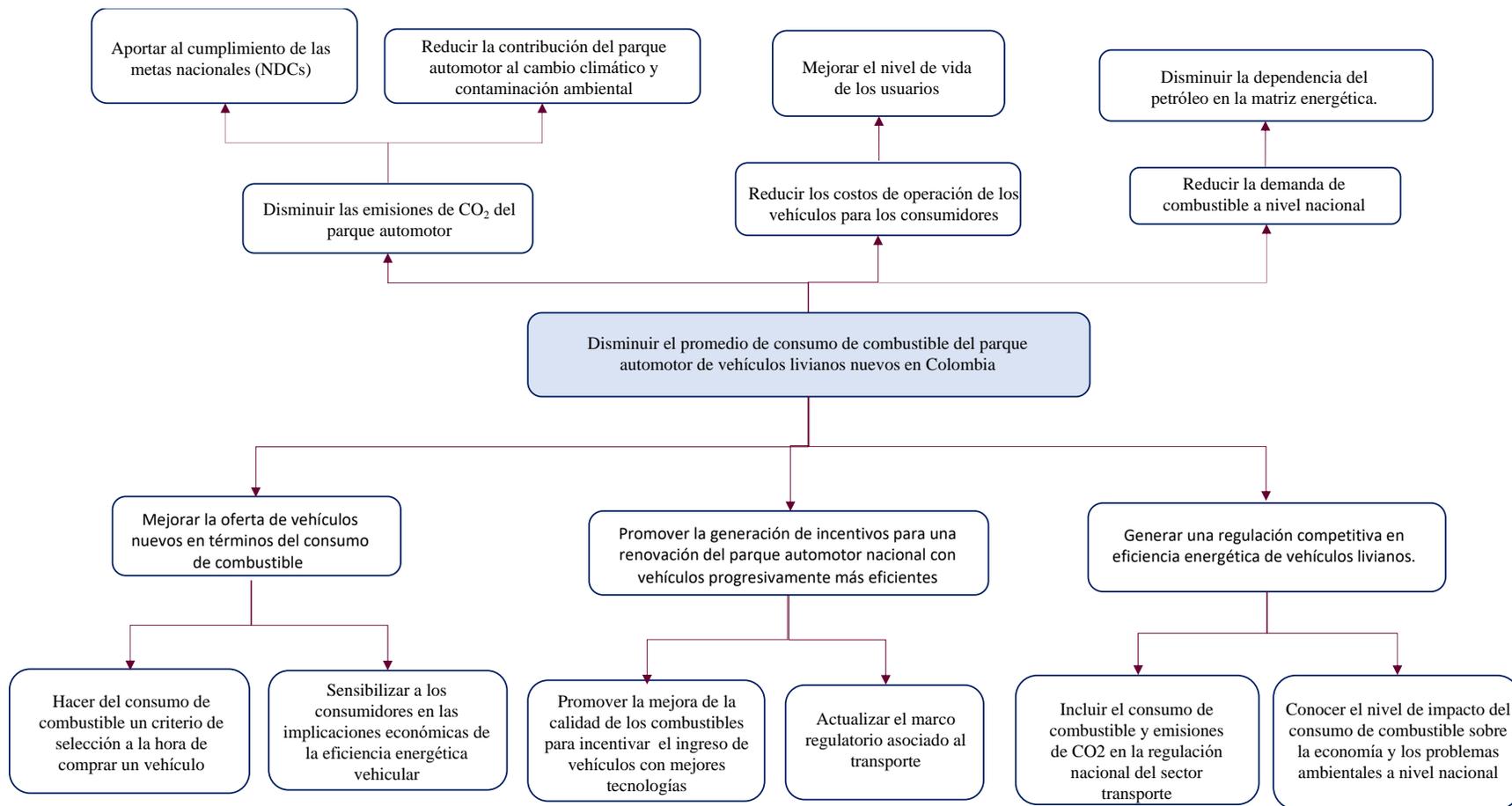


Figura 14. Árbol de objetivos

5.6.1 *Objetivo general*

Disminuir el promedio del consumo de combustible del parque automotor de vehículos livianos nuevos de Colombia (7,1Lge/100km).

5.6.2 *Objetivos específicos*

- Generar una regulación competitiva en eficiencia energética de vehículos livianos.
- Mejorar la oferta de vehículos nuevos en términos del consumo de combustible
- Promover la generación de incentivos para una renovación del parque automotor nacional con vehículos progresivamente más eficientes.

Mediante los objetivos propuestos, se plantea entonces dar solución a las causas directas del problema principal, generando así beneficios que permiten mitigar las consecuencias directas identificadas, tal y como se presenta a continuación en la Tabla 2 y en la Tabla 3.

Tabla 2. Relación entre las causas y objetivos de la intervención

Causa directa del problema	Objetivos específicos propuestos para la intervención	Descripción y medios
Poca competitividad de la regulación del transporte en temas de eficiencia energética.	Generar una regulación competitiva en eficiencia energética de vehículos livianos.	<p>Una regulación competitiva de eficiencia energética significa ofrecer la oportunidad de revertir las externalidades negativas por la ausencia de la misma, en este caso, su omisión ha provocado una carencia de información acerca del nivel eficiencia del parque automotor y de los impactos reales que una eficiencia baja produce. Por lo que, para dar competitividad, se plantea como objetivo la recopilación de información especializada, adicional a dar inicio con una regulación que permita mejorar mínimamente la eficiencia del parque automotor actual estimada. A medida que se avance en el proceso regulatorio, con mejor información se podrán mejorar las subsecuentes actualizaciones de este.</p> <p>Se generarán mecanismos regulatorios orientados a disminuir el consumo de combustible promedio. Para alcanzar este objetivo, se identifican los siguientes medios:</p> <ul style="list-style-type: none">- <i>Incluir el reporte del consumo de combustible y emisiones de CO₂ y sus parámetros mínimos o máximos en la regulación nacional del sector transporte.</i> Reportar el consumo de combustible y el CO₂ de los vehículos que van a ingresar al mercado nacional es un factor clave para que progresivamente se cuenten con datos expedidos específicamente para el país. Estos datos deben ser



Causa directa del problema	Objetivos específicos propuestos para la intervención	Descripción y medios
Crecimiento en las ventas de vehículos con mayores consumos de combustible.	Mejorar la oferta de vehículos nuevos en términos del consumo de combustible	<p>comparables entre sí, por lo que deben reportados bajo una misma prueba de ensayo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Conocer el nivel de impacto del consumo de combustible sobre la economía y los problemas ambientales a nivel nacional.</i> La regulación debe ajustarse a las condiciones del país, de tal manera que se genere información sobre los beneficios socioeconómicos y ambientales. <p>Mejorar la oferta significa comercializar vehículos con menores consumos de combustible, por ejemplo, aquellos de menor tamaño y peso, con mejores tecnologías de motorización, eléctricos, e híbridos, entre otros. Los medios que permitirían dar alcance al cumplimiento de los objetivos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Promover el consumo de combustible como un criterio de selección a la hora de comprar un vehículo.</i> Los Ministerios pueden complementar con medidas de información al consumidor para que estos demanden vehículos más eficientes. - <i>Sensibilizar a los consumidores en las implicaciones económicas de la eficiencia energética vehicular.</i> Visibilizar el beneficio económico asociado a los costos de operación, es un factor fundamental para mejorar progresivamente la demanda.
Incentivos insuficientes en el país para promover vehículos eficientes.	Promover la generación de incentivos para una renovación del parque automotor nacional con vehículos progresivamente más eficientes.	<p>Alinear la regulación de las emisiones de CO₂ y de la mejora en la calidad de los combustibles resultan ser incentivos cruciales para abordar integralmente la eficiencia energética del transporte, y la descarbonización del sector. La regulación de emisiones proporciona un marco para la evaluación del consumo de combustible bajo un método de ensayo estandarizado y las tecnologías vehiculares de última generación requieren combustible de calidad para funcionar correctamente.</p> <p>Para lograr este objetivo, se identifica la necesidad de cumplir con los siguientes medios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Promover la mejora de la calidad de los combustibles para incentivar el ingreso de vehículos nuevos con mejores tecnologías de motorización.</i> Las tecnologías modernas de vehículos de combustión interna cuentan con requerimientos mínimos de calidad de combustibles para garantizar la durabilidad y eficiencia de sus sistemas. La introducción tecnológica de la flota debe estar respaldada por una mejora progresiva en la calidad de los combustibles en el país.



Causa directa del problema	Objetivos específicos propuestos para la intervención	Descripción y medios
		- <i>Actualizar el marco regulatorio asociado en el sector transporte.</i> El sector requiere ser tratado holísticamente, también debe promoverse la competitividad de las normas principalmente para el control de las emisiones de vehículos nuevos y en circulación, además de la promoción de movilidad eléctrica, la reducción del tráfico, el uso de otros modos de transporte, etc.

Tabla 3. Consecuencias y beneficios de la intervención

Consecuencia directa del problema	Beneficio identificado de la intervención	Descripción
Aumento en las emisiones de CO ₂ del parque automotor	Disminución de las emisiones de CO ₂ del parque automotor.	Se espera una disminución del promedio de consumo de combustible por kilómetro recorrido de los vehículos livianos. Como consecuencia, las emisiones de CO ₂ derivadas de la operación del parque automotor se reducirían a medida que entren vehículos más eficientes.
Mayores costos de operación de los vehículos para los consumidores	Reducción de los costos de operación de los vehículos para los consumidores.	Los consumidores emplearán una menor cantidad de combustible para recorrer las mismas distancias, reduciendo así los costos de operación a lo largo de la vida útil del vehículo.
Mayor demanda de combustible a nivel nacional	Reducción de la demanda de combustible a nivel nacional	Actualmente en Colombia, el sector transporte por carretera es uno de los principales consumidores de combustibles fósiles. Por lo tanto, considerando que mediante la intervención se espera mejorar el rendimiento de combustible del parque automotor, se espera que haya una reducción progresiva de la demanda de energéticos fósiles a nivel nacional, disminuyendo así la dependencia al petróleo.

5.7 Alternativas para mejorar la eficiencia energética de los vehículos livianos

Sin intervención alguna, habría un aumento en la demanda de combustible, lo que significa limitar la oportunidad de ahorrarle costos al país por la extracción, refinación y transporte de combustibles, y la oportunidad de evitarse las externalidades negativas que conlleva el consumo y quema de estos mismos, impactos que paga la sociedad con costos más elevados por la energía, disminuyendo la seguridad energética nacional, y alejándose cada vez más de



las metas climáticas comprometidas por la generación de emisiones. Según estimaciones propias, basadas en una regresión lineal de la tendencia actual del promedio anual de emisiones de CO₂ por kilómetro para Colombia (Figura 6), este podría alcanzar aproximadamente los 173 gCO₂/km en 2025, un valor muy cercano a lo que reportaba la Unión Europea para su flota a finales de la década de los 90 y principios de los 2000 [49]. Este nivel de emisiones se traduce en rendimientos de 7,4lge/100km y de 13,54 km/l, cifras próximas al límite superior de lo que se reporta para los países de economías emergentes y sin regulaciones. Estos rendimientos representarían un aumento del 5% respecto al obtenido para el año 2019 en el país. Por lo tanto, mantener el *status quo*, significa un retroceso en las tendencias globales y regionales sobre la disminución del consumo de combustible o del aumento en la eficiencia energética del parque automotor de livianos, además de transmitir costes adicionales a la sociedad por reducir la seguridad energética, razón por la cual, el *status quo* no es considerado una alternativa.

Por lo tanto, para alcanzar los objetivos que se propuestos en la intervención, fueron identificadas cuatro alternativas mediante las cuales se puede dar solución a la situación. Estas fueron clasificadas como medidas regulatorias y no regulatorias, que se describen a continuación:

5.7.1 *Medidas regulatorias*

a) Estándares numéricos

Definir parámetros de rendimiento de combustible sobre flotas, marca, o basado en intervalos de peso o subclases de vehículos. Su implementación permite hacer disponible en el mercado nacional, una oferta de vehículos livianos compuesta por equipos cada vez más eficientes en el corto, mediano y largo plazo, propiciando una reducción del consumo de combustible del parque automotor que ingresará al país los próximos años. Cuenta con los siguientes precedentes:

- Es la medida más utilizada en el mundo, las economías y los mercados más grandes han optado por establecer estándares. La Iniciativa mundial de Economía del Combustible (GFEI, por sus siglas en inglés) ha reportado que, 10 gobiernos (incluido el colectivo de la Unión Europea) han establecido normas para vehículos y comerciales ligeros. Estos mercados, cubren más del 80% de las ventas globales de



vehículos de pasajeros, e influyen en las decisiones comerciales de los principales fabricantes de vehículos de todo el mundo [18].

- La tendencia del mercado va en esta dirección y aumenta significativamente la competitividad del sector. La armonización de las políticas del país con las internacionales, y el seguimiento de los flujos comerciales de vehículos son necesarios para garantizar que los países en desarrollo no se conviertan en los receptores de vehículos poco eficientes.
- Puede tomar muchas formas en términos de implementación [l/100 km], [mpg], [km/l] ó [gCO₂/km].
- Difieren en rigor según el contexto del mercado local y las políticas del país.
- Reduce los costos totales de propiedad de los propietarios de los vehículos más eficientes.
- Permite alcanzar los objetivos de cambio climático y consumo de combustible al 2030.
- Permite impactar positivamente la calidad del aire y el cambio climático.
- **Operativización de la alternativa:** Poner en marcha esta alternativa implica que desde el gobierno nacional se emita una regulación de cumplimiento obligatorio en términos del rendimiento de combustible de los vehículos nuevos que entran al parque automotor colombiano. Para implementar esta regulación deben articularse los Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de Comercio Industria y Turismo, y de Transporte. Adicionalmente los comercializadores de vehículos deberán reportar periódicamente, al ente responsable, la información técnica, que incluya el rendimiento de combustible, de los vehículos que se venden.

b) Medidas fiscales

El "Feebate" es una combinación de impuestos e incentivos. Significa establecer impuestos a los vehículos menos eficientes y bonificaciones a los más eficientes, diferenciados por rendimiento o emisión de CO₂. Esta alternativa generará que los consumidores se vean atraídos por los vehículos con mayor eficiencia y comiencen a demandarlos constantemente,



generando una reducción progresiva del consumo de combustible. Cuenta con los siguientes precedentes:

- Se pasa a establecer un estándar mínimo de rendimiento que se va actualizando a medida que la flota cambia (punto de corte o pivote).
- Al cambiar conforme cambia el parque automotor, ofrece un incentivo continuo a fabricantes e importadores para la mejora de la oferta.
- Las emisiones de CO₂ de los automóviles están directamente relacionadas con el consumo de combustible de los vehículos, por lo que un impuesto al CO₂ es viable para vehículos nuevos o trámites anuales. (Ejemplo: impuesto verde al NO_x vehicular en Chile o Bonus Malus en Francia).
- Es autofinanciable, se obtienen ingresos para financiar esta y otras medidas para mejorar la eficiencia.
- Reduce los costos de inversión y de operación de los propietarios de los vehículos más eficientes.
- Incentivan la compra de vehículos más eficientes o cero emisiones (Ejemplo: híbridos, eléctricos).
- **Operativización de la alternativa:** la implementación de esta alternativa implica que desde el gobierno nacional se promulgue una regulación para definir la política de impuestos o incentivos a la compra de vehículos livianos nuevos, de acuerdo con su rendimiento de combustible. También dicha regulación deberá incluir que dichos impuestos o incentivos se paguen no solamente al momento de la matrícula del vehículo, sino también, periódicamente durante la vida útil del vehículo.

5.7.2 *Medidas no regulatorias*

a) Incentivos a la industria

Incluye mandatos oficiales con objetivos tecnológicos concretos, así como apoyo al financiamiento de programas I+D (Investigación y Desarrollo). Esta alternativa permite que los fabricantes e importadores se vean motivados a comercializar vehículos más eficientes, como resultado de recibir estímulos que pueden tomar distintas formas (tributarios, financieros, tecnológicos etc.) pero que, en todos los casos, se busca la



reducción progresiva del consumo de combustible de los vehículos que van a comercializarse. A continuación, se destacan algunas de sus características:

- Los programas nacionales de transformación tecnológica permiten incentivar la modernización de la industria automotriz y por lo tanto la oferta del mercado. Existen ejemplos como el Programa ROTA 2030 de Brasil que, a cambio de beneficios tributarios, los fabricantes deben invertir en la eficiencia energética de los vehículos y cumplir con un etiquetado. Otro ejemplo es el rescate económico post COVID de la Unión Europea, que entrega incentivos económicos a la compra de vehículos eficientes según los estándares establecidos.
- Se fijan objetivos de eficiencia y de emisiones voluntarias, y a través de ellos se establecen incentivos para modernización.
- Una meta de mediano y largo plazo que busca preparar a la industria para una transformación.
- Presenta co-beneficios sobre la competitividad del sector.
- El resultado es una oferta de vehículos con mayor eficiencia en el motor en el largo plazo.
- Cuenta con altos costos de financiamiento, por lo tanto, la transformación es muy lenta e incide únicamente en la fabricación nacional.
- **Operativización de la alternativa:** para esta alternativa se considera que el gobierno nacional a través de los Ministerios de Hacienda, Ambiente y Desarrollo Sostenible, de Comercio Industria y Turismo, y de Transporte podrá implementar programas de transformación tecnológica que le permitan a los ensambladores de vehículos livianos del país acceder a beneficios tributarios y capacitación en I+D mediante la inversión de recursos en sus cadenas de producción y abastecimiento para ofrecer vehículos de mejor eficiencia energética.

b) Incentivos al consumidor

Los vehículos de cero emisiones, principalmente los vehículos eléctricos de batería son las opciones tecnológicas más eficientes y rentables para lograr reducciones de emisiones del tubo de escape. Los incentivos al consumidor se traducen en subsidios o facilidades



de financiamiento para adquirir este tipo de vehículos que son altamente eficientes. por lo que su implementación fomentaría la comercialización de vehículos nuevos con un menor consumo de combustible, reduciendo el promedio de consumo de la flota. Existen también incentivos asociados a la exención de impuestos anuales o a la compra. Cuenta con los siguientes precedentes:

- A medida que crecen las ventas, debe limitarse el acceso a este tipo de incentivos por dos razones: 1) con el tiempo los vehículos cero emisiones decrecen en precio de compra y 2) en caso de existir estándares, estos vehículos tienen la posibilidad de elevar el puntaje para el cumplimiento de promedios corporativos, y no se puede depender únicamente de vehículos eléctricos.
- Cuenta con altos costos de financiamiento, y aun con incentivos, no toda la sociedad puede aspirar a la compra de vehículos eléctricos, debido a que la inversión necesaria resulta mucho más elevada que la de un vehículo a combustión, por lo que incide de manera muy lenta en la mejora de la eficiencia energética de la flota.
- Se requiere habilitar las condiciones (infraestructura de carga) para BEV en todo el país.
- El resultado, es una oferta y demanda de vehículos cero emisiones, sin embargo, de no masificarse proporcionan una mejora marginal al promedio de la eficiencia energética de la flota, en una ventana de tiempo muy amplia.
- **Operativización de la alternativa:** dicha alternativa podrá implementarse desde el gobierno nacional o los gobiernos departamentales o municipales. Inicialmente, se podrían poner en marcha planes de subsidio a las tasas de interés para la adquisición de vehículos de bajas y cero emisiones. También puede ofrecerse reducción en impuesto de matrícula y beneficios en la movilidad y de parqueo de dichos vehículos. Estas medidas deben ir de la mano con el fortalecimiento de la infraestructura de carga para los vehículos eléctricos de batería.



CAPÍTULO 2

En este capítulo se presenta la metodología propuesta para seleccionar la alternativa más apropiada y pertinente que permita solucionar el problema involucrando el mayor número de actores o grupos de interés posibles y minimizando el impacto sobre estos desde diferentes dimensiones.

6.1 Alternativas consideradas en la evaluación

A partir de los resultados obtenidos en la elaboración del árbol de problemas y la construcción de la Matriz de Vester, la solución del problema identificado en la sección 5.1.1, “*Mercado de vehículos nuevos con altas ineficiencias*” podría llevarse a cabo mediante la implementación de un conjunto de medidas de tipo regulatorias y no regulatorias. Sin embargo, bajo el marco metodológico del Análisis de Impacto Normativo (AIN), es necesario priorizar las medidas mediante un método matemático afín a la naturaleza del problema, los actores involucrados y los datos disponibles, no sin antes haber identificado los criterios de evaluación y las medidas o alternativas a evaluar.

Fueron identificadas medidas de tipo regulatorio como la implementación de estándares numéricos y la implementación de medidas fiscales, y medidas no regulatorias, como la implementación de incentivos a la industria y la implementación de incentivos al consumidor. En la sección 5.7 se presenta una descripción más detallada de las alternativas consideradas en el análisis de impacto normativo descrito en el presente documento.

6.2 Metodología de selección de alternativa

Los métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM) son una rama de los modelos de investigación de operaciones, los cuales se encargan del proceso de toma de decisiones en presencia de múltiples objetivos [34]. Estos métodos se caracterizan por permitir la selección de la mejor opción posible entre un conjunto de alternativas con base en información conocida de sus criterios, los cuales pueden ser de naturaleza técnica, económica, ambiental, sociopolítica o incluso de riesgo. Son altamente efectivos en la identificación de una solución eficiente, considerando que la evaluación integral y simultánea de las alternativas dentro del contexto de un análisis de impacto normativo involucra diferentes criterios que dichos algoritmos pueden integrar.



Entre los métodos de toma de decisiones multicriterio más utilizados se encuentran: *Analytical Hierarchy Process* (AHP), *Elimination Et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE) y *Techinque for the Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), los cuales permiten sentar las bases para la elaboración de estrategias de inclusión de alternativas que tengan como propósito la solución de un problema [35].

Se considera como mejor opción posible el método AHP para ser implementado en la evaluación de las alternativas propuestas, ya que está en capacidad de realizar la valoración y establecer una jerarquía cuando no se tiene una matriz de decisión que parte de valores numéricos objetivos o parámetros conocidos, tal como es el caso usual de un análisis de impacto normativo. Este método permite realizar una valoración de los juicios y experticia de una mesa de evaluadores y/o involucrados mediante una escala de preferencia con la cual es posible construir una matriz de decisión por comparación cruzada tanto para la cuantificación del peso de los criterios como para la valoración de las alternativas. En el ANEXO 1, se presenta la descripción del algoritmo que caracteriza el método y la justificación de su elección.

Con el propósito de recolectar la información asociada a la preferencia que los evaluadores y actores tienen respecto a los criterios y las alternativas que serán consideradas en el Análisis de Impacto Normativo (AIN) asociado a la implementación de una regulación de eficiencia energética en vehículos livianos en Colombia, se construyen dos encuestas mediante las cuales fue posible llevar a cabo la comparación cruzada.

6.3 Definición de criterios de evaluación de alternativas

Los criterios que se proponen tener en cuenta para evaluar las alternativas identificadas se presentan en la Tabla 4 y se describen a continuación:

Tabla 4. Criterios de evaluación

C1. Actualiza el mercado automotor nacional respecto a tendencias mundiales de eficiencia energética
C2. Promueve la comercialización de vehículos más eficientes en Colombia.
C3. Posee sustento técnico para su desarrollo basado en casos de éxito y experiencias internacionales
C4. Promueve el cumplimiento de los objetivos nacionales de cambio climático, calidad del aire y reducción de consumo de combustible.



C1. Actualiza el mercado automotor nacional respecto a tendencias mundiales de eficiencia energética

Las políticas para mejorar la economía de combustible son apropiadas en países con fabricación de vehículos, ya que tienen el potencial de influir en el tipo de vehículos comercializados, además de mejorar significativamente la calidad de la flota del país.

La Iniciativa mundial de Economía del Combustible (GFEI, por sus siglas en inglés) ha reportado que, 10 gobiernos (incluido el colectivo de la Unión Europea) han establecido normas para vehículos livianos y comerciales ligeros. Estos mercados, cubren más del 80% de las ventas globales de vehículos de pasajeros, e influyen en las decisiones comerciales de los principales fabricantes de vehículos de todo el mundo (GFEI, 2020). Así mismo, la Unión Europea ha implementado medidas fiscales basadas en emisiones de CO₂ y específicamente, UK, Francia, las Islas Mauricio y Canadá han implementado el programa “*feebate*”. Alinear el país a estas normativas, asegura la competitividad del sector y acerca a Colombia al cumplimiento de las metas nacionales de cambio climático y de consumo de combustible.

C2. Promueve la comercialización de vehículos más eficientes en Colombia.

Los avances tecnológicos para ahorro el de combustible se han ralentizado en los últimos años principalmente por tres razones [18]:

- a) Los vehículos son cada vez más grandes y potentes, debido a ello, los motores eficientes no se han adaptado con suficiente rapidez para compensar el tamaño. El aumento del tamaño y la potencia de los vehículos ha estancado hasta en un 40 % las mejoras en el consumo de combustible que, de otro modo, se habrían producido gracias a los avances técnicos en vehículos y motores.
- b) El potencial restante de la mejora de la eficiencia energética en los motores se vuelve cada vez más costoso y técnicamente difícil de alcanzar.
- c) Promover la comercialización de vehículos eficientes, implica también la promoción de modelos de menor tamaño y eléctricos, esta distorsión del mercado, es posible solventarla principalmente implementando estándares vehiculares y en menor medida, promoviendo los incentivos la compra de vehículos eficientes.



C3. Posee sustento técnico para su desarrollo basado en casos de éxito y experiencias internacionales

La Agencia Internacional de Energía (IEA) se ha dedicado a observar la experiencia internacional asociada, entre las recomendaciones para alinear la eficiencia de los vehículos ligeros y las emisiones de CO₂ se encuentran:

- a) La implementación de estándares de economía de combustible y objetivos de electrificación para respaldar las ambiciones anunciadas de cero emisiones.
- b) Implementar políticas para contrarrestar el crecimiento del peso y la potencia de los vehículos.
- c) Procurar la armonización de estándares más allá del nivel nacional.
- d) Asegurarse de que las reglamentaciones se basen en el rendimiento en la vida real “*Real Driving Emissions*” (RDE).
- e) Aprovechar el potencial de los vehículos de cero emisiones.
- f) Garantizar que los mercados emergentes y las economías en desarrollo no se conviertan en vertederos de vehículos con motor de combustión interna.
- g) Promover la adopción de combustibles bajos en carbono, especialmente la electrificación.

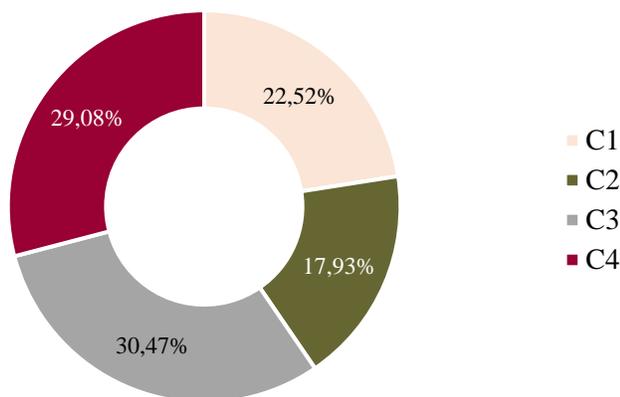
C4. Promueve el cumplimiento de los objetivos nacionales de cambio climático, calidad del aire y reducción de consumo de combustible.

La armonización de las políticas del país con las internacionales, y el seguimiento de los flujos comerciales de vehículos son necesarios para garantizar que los países en desarrollo no se conviertan en los receptores de vehículos poco eficientes (o con alto consumo de combustible) y por lo tanto altamente contaminantes. La implementación de políticas de eficiencia energética, especialmente los estándares, proporcionan una base para el compromiso de lograr objetivos sociales y ambientales más amplios, incluidos los objetivos climáticos y la contaminación local.

6.4 Peso de los criterios

Con el fin de cuantificar el peso de los criterios descritos en la sección 6.3, se emplea el método de toma de decisiones multicriterio *Analytic Hierarchy Process* – AHP, cuya metodología se describe en el ANEXO 1. Este método consiste en la comparación cruzada por par de criterios a partir de la información recolectada de los actores directamente involucrados en el proceso de formulación del Análisis de Impacto Normativo (AIN) y de la regulación de eficiencia energética para vehículos livianos en Colombia. Para ello, fue elaborada una encuesta mediante la plataforma *Forms* de *Microsoft Office*, remitida a dichos actores que conforman una mesa de trabajo de alrededor de 15 personas entre el período comprendido del 12 al 26 de abril de 2022.

En la Figura 15, se presenta el peso de los criterios cuantificado mediante el método en mención. Se observa que, el criterio 3 (C₃), denominado “*Posee sustento técnico para su desarrollo (basado en casos de éxito y experiencias internacionales)*” es el criterio de mayor relevancia en el proceso de priorización de las alternativas con un peso del 30,47%, y el criterio 2 (C₂), denominado “*Promueve la comercialización de vehículos más eficientes en Colombia*” el de menor relevancia, con un peso de 17,93%.



C₁: Actualiza el mercado automotor nacional respecto a tendencias mundiales de eficiencia energética; C₂: Promueve la comercialización de vehículos más eficientes en Colombia; C₃: Posee sustento técnico para su desarrollo (basado en casos de éxito y experiencias internacionales); C₄: Promueve el cumplimiento de los objetivos nacionales de cambio climático, calidad del aire y reducción de consumo de combustible en el corto, mediano y largo plazo (años 2030 - 2050).

Figura 15. Peso de los criterios.



6.5 Análisis de toma de decisiones multicriterio

6.5.1 Recolección de información

Con el fin de establecer la jerarquía de las alternativas presentadas en la sección 5.7 y así conocer la mejor entre ellas, se emplea el método de toma de decisiones multicriterio *Analytic Hierarchy Process* – AHP. Este método requiere la recolección de información mediante una encuesta, la cual fue elaborada por medio de la plataforma *Forms* de *Microsoft Office* y remitida entre el período comprendido del 12 al 26 de abril de 2022, a una muestra representativa del mercado de vehículos en Colombia conformada por 80 actores distribuidos entre instituciones del gobierno central, gobiernos seccionales, sector académico, sector privado, organizaciones civiles e investigación, y organizaciones de cooperación internacional, presentados en la Tabla 1.

Durante este período se recopilieron 65 respuestas, lo cual correspondió una participación del 81,3% en la encuesta de comparación cruzada de alternativas del total de participantes que asistieron al “*Taller participativo para la socialización del inicio de procedimiento normativo en eficiencia energética para vehículos livianos*”, ejercicio llevado a cabo el 6 de abril de 2022 y liderado por el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Centro Mario Molina de Chile y la Universidad Tecnológica de Pereira, con el acompañamiento del Ministerio de Transporte. Del total de encuestados, el 49,2% correspondieron al sector privado, 32,2% correspondieron al gobierno central, 8,5% al sector académico, 3,4% a organizaciones civiles e investigación, 3,4% a organizaciones de cooperación internacional, y 3,4% a gobiernos seccionales, representados principalmente por las Secretarías de Movilidad Metropolitanas. La distribución de las respuestas a la encuesta se presenta en la Figura 16.

Para llevar a cabo el proceso de priorización de las alternativas, el método de toma de decisiones multicriterio AHP valora la respuesta de cada encuestado en función del número de criterios, siguiendo el procedimiento que se presenta en el ANEXO 1. Se realiza una comparación cruzada por par de alternativas a la luz de cada criterio, de forma tal que permita realizar una valoración global de cada alternativa.

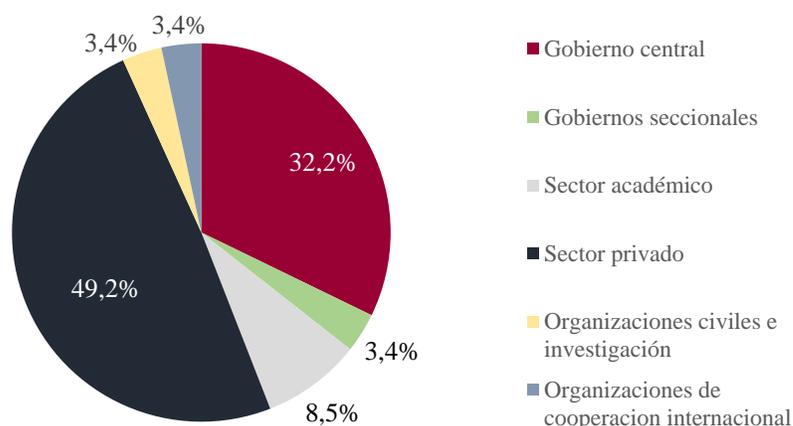


Figura 16. Distribución de respuestas a la encuesta de comparación cruzada de alternativas por actor relacionado.

Tabla 5. Estructura de la matriz de decisión.

	Criterio 1	Criterio 2	.	.	.	Criterio m	Valoración
Alternativa 1	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	.	.	.	$a_{1,m}$	v_1
Alternativa 2	$a_{2,1}$	.	.	.	.	$a_{2,m}$	v_2
.
.	.	.	.	$a_{i,j}$	.	.	.
.
Alternativa n	$a_{n,1}$	.	.	.	.	$a_{n,m}$	v_n

Considerando los elementos de la matriz de decisión y los pesos de los criterios, la valoración global de las alternativas es llevada a cabo mediante la ec.(1), que se presenta a continuación.

$$v_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}w_j \tag{1}$$

Se presentan a continuación dos tipos de análisis de resultados, “por encuestado” y “por tipo de actor involucrado”. El primero forma parte del rigor metodológico de AHP, que considera todo el universo de encuestados, de tal manera que, pudiese realizarse una valoración global

de cada alternativa mediante una comparación cruzada por pares de alternativas a la luz de cada criterio, debido a que es un proceso jerárquico, la respuesta de cada encuestado tiene el mismo peso. El segundo análisis se llevó a cabo bajo la misma estructura metodológica que el primero, pero en este caso los encuestados son agrupados por tipo de actor, para esta valoración, fue la respuesta grupal por tipo de actor a la que se le atribuyó el mismo peso.

6.5.2 *Análisis por encuestado*

En la Tabla 6, se presentan los resultados de la valoración global de las alternativas una vez se ha aplicado el método de toma de decisiones multicriterio AHP, donde la respuesta de cada encuestado tiene el mismo peso. Se concluye que la alternativa que mejor podría responder a la solución del problema “*Tendencia al aumento del promedio del consumo de combustible de los vehículos livianos que entraron al parque automotor entre 2011 y 2019*”. es la alternativa 1 denominada “*Estándares numéricos*”, una medida de tipo regulatoria, con un nivel de preferencia del 40%, como se evidencia en la Figura 17. Así mismo, se identifica que entre la alternativa de estándares numéricos y medidas fiscales se tiene una preferencia del 63,6%, lo que evidencia una mejor percepción hacia la implementación de medidas regulatorias en comparación con medidas no regulatorias.

Tabla 6. Matriz de decisión.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Estándares numéricos	0,437	0,213	0,401	0,486
Medidas fiscales	0,255	0,211	0,284	0,186
Incentivos a la industria	0,137	0,254	0,131	0,160
Incentivos al consumidor	0,171	0,321	0,183	0,168

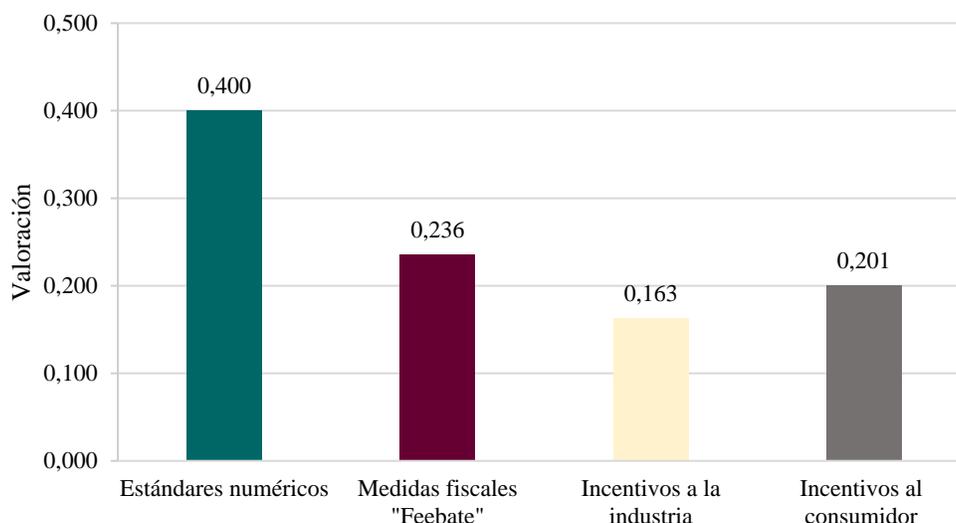


Figura 17. Valoración global de las alternativas / Ranking.

6.5.3 Análisis por tipo actor involucrado

En la Figura 18, se presenta la valoración ponderada de las alternativas por tipo de actor, donde la respuesta grupal por actor tiene el mismo peso. Esta valoración se lleva a cabo aplicando el método AHP teniendo en cuenta el número de encuestados por tipo de actor o grupo de interés. Se observa que 4 de los 6 tipos de actores que participaron de la encuesta, tienen una preferencia mayor al 50% por las dos medidas regulatorias consideradas, la implementación de *Estándares Numéricos* y la implementación de *Medidas Fiscales "Feebate"*. Por otro lado, se identifica que el sector privado a diferencia del gobierno central, el sector académico, las organizaciones civiles y de investigación, así como de las organizaciones de cooperación internacional, presentan un nivel de preferencia mayor al 50% por medidas de tipo no regulatorio como los incentivos a la industria y los incentivos al consumidor.

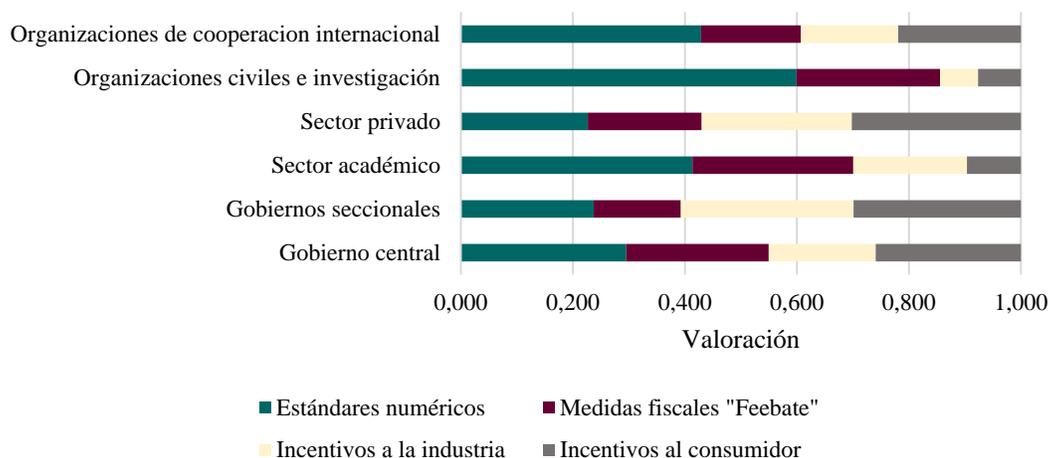


Figura 18. Valoración ponderada de las alternativas por tipo de actor.

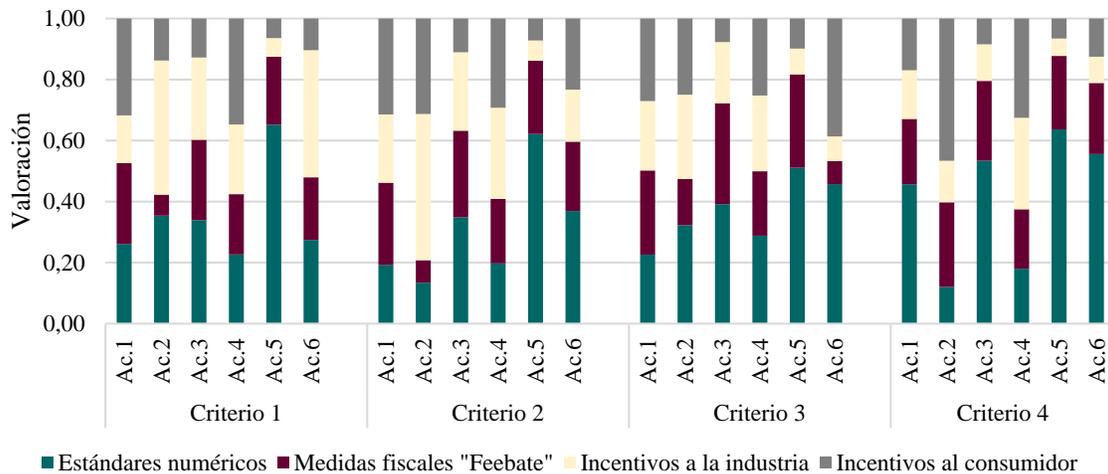
De acuerdo con la información presentada en la Figura 18, se calcula una media ponderada de las componentes de los vectores columna por alternativa para cada actor presentados en la Tabla 5 (crear referencia cruzada). Se observa que la alternativa estándares numéricos presenta el mayor nivel de preferencia cuando el análisis es llevado a cabo considerando el mismo peso por actor involucrado. Contrastando los resultados obtenidos del análisis llevado a cabo por encuestado, es decir, considerando el universo de encuestados sin distinción por actor, donde estándares numéricos fue también valorada como la alternativa de mayor nivel de preferencia, se reafirma la selección de esta alternativa como solución al problema “Tendencia al aumento del promedio del consumo de combustible de los vehículos livianos que entraron al parque automotor entre 2011 y 2019”.

Tabla 7. Ponderación de las alternativas por tipo de actor

	Estándares numéricos	Medidas fiscales "Feebate"	Incentivos a la industria	Incentivos al consumidor
Ac.1	0,295	0,254	0,191	0,259
Ac.2	0,237	0,155	0,309	0,299
Ac.3	0,414	0,287	0,203	0,097
Ac.4	0,227	0,203	0,268	0,302
Ac.5	0,599	0,256	0,068	0,076
Ac.6	0,429	0,178	0,174	0,219
Promedio	0,367	0,222	0,202	0,209

En la Figura 19, se presenta la valoración desagregada de las alternativas por criterio y tipo de actor. Esta valoración se lleva a cabo aplicando el método AHP teniendo en cuenta el número de encuestados por criterio y tipo de actor o grupo de interés. Se observa que el gobierno central tiende a preferir medidas de tipo regulatoria, entre las que se encuentran los estándares numéricos y las medidas fiscales, a la luz de los cuatro criterios considerados.

A diferencia del gobierno central, los gobiernos seccionales tienden a preferir medidas de tipo no regulatorias, entre las que se encuentran, los incentivos a la industria y los incentivos al consumidor. Al igual que el gobierno central, el sector académico, las organizaciones civiles y de investigación, así como de las organizaciones de cooperación internacional, tienden a preferir medidas regulatorias. Por otro lado, el sector privado, tiende a preferir la implementación de medidas no regulatorias aun cuando la valoración de los diferentes criterios se lleva a cabo bajo el enfoque de 4 criterios diferentes. Lo anterior, refuerza los resultados obtenidos en la valoración ponderada de las alternativas por tipo de actor presentada en la Figura 18 y en la Tabla 7.



Ac.1: Gobierno central; Ac.2: Gobiernos seccionales; Ac.3: Sector académico; Ac.4: Sector privado; Ac.5: Organizaciones civiles e investigación; Ac.6: Organizaciones cooperantes internacionales.

Criterio 1: Actualiza el mercado automotor nacional respecto a tendencias mundiales de eficiencia energética; Criterio 2: Promueve la comercialización de vehículos más eficientes en Colombia; Criterio 3: Posee sustento técnico para su desarrollo (basado en casos de éxito y experiencias internacionales); Criterio 4: Promueve el cumplimiento de los objetivos nacionales de cambio climático, calidad del aire y reducción de consumo de combustible en el corto, mediano y largo plazo (años 2030 - 2050).

Figura 19. Valoración desagregada de las alternativas por criterio y tipo de actor.



6.6 Diseño de la implementación y monitoreo

La medida de eficiencia energética en vehículos livianos en Colombia seleccionada para solucionar el problema identificado en este análisis es la implementación de estándares numéricos que permitan generar una oferta en el mercado nacional compuesta progresivamente por vehículos más eficientes en el mediano y largo plazo.

Esta alternativa pretende implementar a través de un instrumento legal que puede ser: un decreto, una norma técnica o un reglamento técnico. Las entidades que estarán a cargo del diseño e implementación de esta regulación son: el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Transporte, y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, entre otros actores que se analizarán en el proceso normativo. Este instrumento generará un comportamiento en los actores involucrados en la cadena de valor de la comercialización de vehículos livianos en Colombia, para que gradualmente se mejore la eficiencia energética del parque automotor del país.

Para garantizar el cumplimiento del instrumento legal que se defina implementar, se deben diseñar los protocolos apropiados para la recopilación de información y verificación del cumplimiento anual (datos provenientes de las pruebas certificadas y ventas de vehículos). Para ello se podrían adoptar de manera general los siguientes mecanismos de seguimiento, los cuales deberán reportar los representantes de marca, importadores y fabricantes.:

- Revisión de la conformidad de la prueba dinámica de emisiones de los vehículos entrantes al mercado, que incluya el CO₂ y el consumo de combustible.
- Reporte de ventas de vehículos comercializados por clases y por marca.

Aun cuando todavía falta definir el detalle de la implementación de la medida, se adelanta que los indicadores de seguimiento y evaluación podrían ser los siguientes:

- Indicador 1 – Promedio anual de emisiones de CO₂ ponderado por las ventas del parque automotor, cuya unidad de medida son gramos de CO₂ por kilómetro (gCO₂/km)
- Indicador 2 – Promedio anual de consumo de combustible ponderado por las ventas del parque automotor, cuya unidad de medida son los galones de gasolina equivalente por cada 100 km (Gal/100 km). Para que sea comparable a nivel internacional, puede expresarse también en litros por cada 100 km.



Se señala que los indicadores tienen que ser recabados de manera anual, la información deberá provenir de la ANLA, ya que es quien recibe los certificados de emisiones. El nivel de cumplimiento deberá ser una tarea compartida con el Ministerio de Minas y Energía. Para que la medida tenga éxito ambos indicadores deberán disminuir su orden de magnitud, ya que lo que se busca es que los vehículos disminuyan el nivel de emisiones emitidas por kilómetro y que los vehículos consuman menos combustible para recorrer la misma distancia, en este caso, por experiencia y convención internacional esta distancia se parametriza en 100 km (indicador 2).

Para verificar el cumplimiento de la medida se utilizará el promedio ponderado del rendimiento para cada marca, el cual se calculará de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Rendimiento_{i_j} = \frac{f_m * \sum_{h=1}^{n_{i_j}} Rendimiento_sin\ emisiones_{i_j_h} + \sum_{h=1}^{m_{i_j}} Rendimiento_con\ emisiones_{i_j_h}}{n_{i_j}}$$

Donde:

$Rendimiento_{i_j}$: rendimiento energético en $\left(km/galón_{ge} \right)$ del responsable i para los vehículos que emitieron válidamente certificados de homologación individual en el año j ;

$Rendimiento_sin\ emisiones_{i_j}$: rendimiento energético en $\left(km/galón_{ge} \right)$ para cada vehículo;

$Rendimiento_con\ emisiones_{i_j}$: rendimiento energético en $\left(km/galón_{ge} \right)$ para cada vehículo;

n_{i_j} : cantidad de vehículos, para los cuales el responsable i emitió válidamente certificados de emisiones en el año j ;

Se señala que con ello, además de evaluarse el cumplimiento, podrá evaluarse el impacto de la medida, una vez se cuente con un periodo suficiente de implementación. No obstante, al ser evaluada anualmente, se espera que la tendencia en el cumplimiento permita verificar una disminución de los ordenes de magnitud de los indicadores, luego del primer año que entre en vigencia la regulación.

CAPÍTULO 3

7.1 Proceso participativo

La presente propuesta incluye en sus procesos el levantamiento de información a través de un proceso participativo con los principales actores afectados, el objetivo de este es asegurar una visión estratégica consensuada sobre la mejora de eficiencia energética. A continuación, se presenta un esquema que resume el proceso participativo que se propone para acompañar los procesos de diseño de la normativa. Se señala que el alcance del presente documento, se acota a la Etapa 2 mostrada en la siguiente figura, dejando el resto para etapas posteriores del diseño de la regulación.

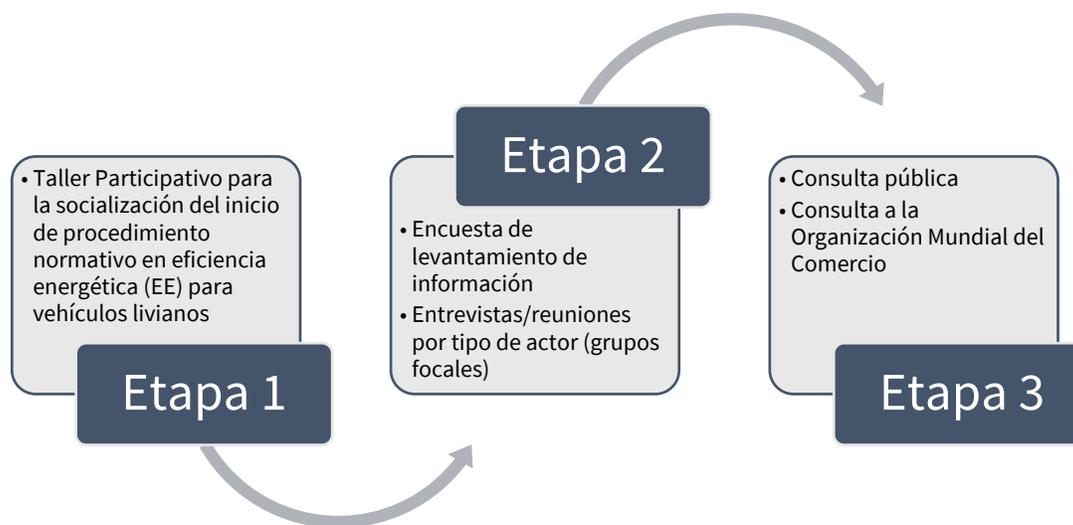


Figura 20. Proceso participativo para acompañar la regulación de mejora de eficiencia energética vehicular.

7.2 Taller Participativo de Socialización del AIN

Con el propósito de sensibilizar a los diferentes actores claves en Colombia frente a la necesidad de mejorar la eficiencia energética de los vehículos que actualmente se ofertan en Colombia, el MME, y MADS con el acompañamiento técnico del Centro Mario Molina – Chile y de la Universidad Tecnológica de Pereira y MT, organizó el “*Taller participativo para la socialización del inicio de procedimiento normativo en eficiencia energética para vehículos livianos*”. Este taller se realizó a través de la plataforma ZOOM el día 6 de abril de 2022 a las 8:00 am y tuvo el apoyo y acompañamiento de las siguientes entidades y programas:



1. Ministerio de Minas y Energía de Colombia - Minenergía.
2. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia – Minambiente
3. Unión Europea.
4. FIIAPP: Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas.
5. Centro Mario Molina de Chile - CMM.
6. Universidad Tecnológica de Pereira - UTP, a través del grupo de investigación en Gestión Energética - GENERGÉTICA.
7. Acompañamiento de Ministerio de Transporte- Mintransporte

El Ministerio de Minas y Energía del gobierno de la República de Colombia, se encarga de formular y adoptar políticas dirigidas al aprovechamiento sostenible de los recursos mineros y energéticos para contribuir al desarrollo económico y social del país [36].

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible del gobierno de la República de Colombia, es el ente rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán las interacciones con los recursos naturales renovables y del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible [37]

La Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas es una fundación del sector público que gestiona proyectos de cooperación internacional en el marco de la Agenda 2030. Es un actor de la cooperación española y europea, cuyo trabajo se basa en el intercambio de conocimientos, el aprendizaje entre pares y entre Administraciones públicas homólogas de diferentes países. Está presente en más de 100 países, acompaña a instituciones y países socios en procesos de reforma de políticas públicas orientados por sus prioridades y por las agendas compartidas [38].

El Centro Mario Molina Chile es una asociación civil, independiente y sin fines de lucro, creada en 2004 para dar continuidad y consolidar las actividades que, durante su vida, el Dr. Mario Molina desarrolló. Su propósito es encontrar soluciones prácticas, realistas y de fondo a los problemas relacionados con la protección del medio ambiente, el uso de la energía y la prevención del cambio climático, a fin de fomentar el desarrollo sustentable [39].



La Universidad Tecnológica de Pereira es un ente universitario autónomo del orden nacional, con régimen especial, con personería jurídica, autonomía administrativa, académica, financiera y patrimonio independiente, vinculado al Ministerio de Educación Nacional, cuyo objeto es la educación superior, la investigación y la extensión [40]. Cumpliendo con los objetivos de investigación y extensión, la Universidad a través del Grupo de Investigación en Gestión Energética - GENERGÉTICA, ha apoyado a diversas entidades gubernamentales en Colombia como ente consultivo e investigador en temas relacionados con Eficiencia Energética, Vehículos de Baja y Cero Emisiones, Energías Renovables, Movilidad y Transporte.

7.2.1 *Resumen del taller participativo*

La apertura del taller estuvo a cargo del Viceministro del Ministerio de Minas y Energía, el Lic. Miguel Lotero Robledo, quien presentó una breve introducción de los desafíos que tiene el país para el cumplimiento de la meta hacia el desarrollo sostenible, así como rectificar la apuesta que está realizando Colombia de reducir sus emisiones de GEI en un 51% para el año 2050, resultado de ello es el documento Estrategia climática a largo plazo de Colombia No.8.

Posteriormente, el viceministro de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial, Nicolás Galarza, explicó que se está trabajando con un enfoque que busca construir un marco normativo y una transición a una economía de carbono neutro, que no sea una carga impositiva, alineando este marco normativo con dos estrategias, la estrategia de largo plazo E2050 y los acuerdos de país. Así mismo, mencionó que, en el país, la NDC ha puesto 7 medidas específicas en el sector transporte que pueden llegar a representar hasta 5,7 MtCO_{2e}, destacando de nuevo la meta de las NDCs de reducir 74 MtCO_{2e}. Por otro lado, expuso que, una de las grandes metas es llegar a tener 600.000 vehículos eléctricos rodando en las carreteras de Colombia al año 2030, resaltando que, actualmente, circulan más de 7500 vehículos. También mencionó que, articulando los ministerios se espera avanzar finalmente con el etiquetado vehicular como una medida de impacto hacia mejoras importantes de la eficiencia energética del sector.

Seguidamente, el jefe de la Oficina de Asuntos Regulatorios y Empresariales del Ministerio de Minas y Energía, Julián A. Rojas Rojas, se refirió a las 4 estrategias para la reactivación



de la industria energética después del COVID-19, entre las que se encuentran, el uso fuentes de energía renovable y fuentes alternativas, movilidad sostenible, seguridad energética y diversificación minera. Subrayó que, la estrategia de movilidad sostenible es la estrategia que se está trabajando en el taller. Resaltó además que, en los últimos 4 años, se realizaron tareas específicas en el Plan de Desarrollo Nacional, el cual consigna la necesidad de avanzar en políticas y regulaciones de etiquetado energético. Así mismo, contextualizó la composición del parque automotor colombiano, segregándolos por tipo, tamaño y origen, y subrayando que el 80,9% de los vehículos son importados de países que también están avanzando en sus regulaciones energéticas. Finalmente, expuso que, la mejor manera de regular es escuchando las sugerencias y anotaciones de todos los actores involucrados, razón por la cual, espacios como el taller realizado son de suma importancia para establecer la viabilidad de las acciones. Posteriormente, el ingeniero Juan Esteban Tibaquirá, docente investigador de la Universidad Tecnológica de Pereira, presentó el árbol de problemas y explicó que este esquema hace parte del desarrollo la metodología de análisis de impacto normativo que se viene trabajando. El docente e investigador explicó que este análisis permite evaluar las diferentes alternativas consideradas, evaluar los actores impactados con las medidas y tomar la mejor decisión con la cual solucionar el problema que se identifica.

Para la identificación del problema, mencionó que fue utilizada la metodología de la *Matriz Vester*, mediante la cual se analizaron 10 problemas, de los cuales se identificó el problema central, y a partir de la cual, se identificaron las causas y las consecuencias directas e indirectas que fueron presentadas en el taller.

Finalmente, el ingeniero Gianni López, director del Centro Mario Molina y Líder del equipo consultor, enfocó su presentación en las alternativas para mejorar la eficiencia energética de vehículos livianos en Colombia, contextualizando la relación que tiene el sector transporte con el cambio climático, los Gases de Efecto Invernadero (GEI) hasta el año 2020 y su proyección al 2050 si no se realizan cambios sustanciales en el sector. Así mismo, presentó el potencial de mitigación de estas emisiones si se introducen vehículos eléctricos en la flota de transporte. El ingeniero, resaltó la necesidad de acción urgente para evitar la crisis del clima, ya que, sostuvo que, aun adoptando medidas para mitigar este tipo de emisiones, no serán suficiente para evitar el aumento de la temperatura del planeta en 1,5°C. Concluyó que,



entre las acciones más efectivas para disminuir las emisiones de GEI, se encuentra el uso de transporte público y el uso de movilidad no motorizada.

Para alcanzar las metas de eficiencia energética a nivel global, mencionó que es necesario realizar mejoras en los vehículos entre las que se encuentran la inyección directa, el uso de turbo o la conducción a velocidad de crucero cuando se viaja por autopista. Sin embargo, mencionó que también es propicio incentivar el uso de nuevas tecnologías como los vehículos eléctricos e híbridos.

Por otro lado, estableció la relación de la eficiencia energética con la composición de la flota, es decir, el tipo de vehículo, el modelo, y sus dimensiones. Aseguró que, y de acuerdo con datos verificables, que el mercado de Latinoamericano de vehículos está experimentando un aumento en la tendencia de compra de vehículos SUV, los cuales tienen mayores dimensiones, mayor peso, mayor consumo de combustible, y, por tanto, menor eficiencia.

Para frenar la compra de vehículos poco eficientes, mencionó que existen dos alternativas, sustentadas en experiencias pasadas en Chile, medidas regulatorias y no regulatorias. Las medidas regulatorias son normativas que conciernen al fabricante de vehículos, y su objetivo es definir parámetros de rendimiento de combustible sobre la marca, o basados en rangos de peso o subclases de vehículos. Estas medidas permiten alcanzar los objetivos en menor tiempo, ahorros significativos a los propietarios, así como mayor competitividad en el sector, a pesar de representar costos adicionales para el estado y la industria. Por otro lado, las medidas no regulatorias, comprenden incentivos a la industria y al consumidor, que, mediante descuentos fiscales y beneficios económicos promueven la adquisición y venta de vehículos más eficientes de bajas y cero emisiones. Por último, presentó los cuatro criterios sobre con los cuales se llevaría a cabo la valoración por comparación cruzada de las alternativas mediante un método de toma de decisiones multicriterio y con base en la respuesta a una encuesta que sería remitida a todos los participantes.

Para llevar a cabo el taller participativo, Lourdes Becerra, Centro Mario Molina, explicó la dinámica de trabajo, la cual consistió en una discusión abierta en 3 mesas de trabajo independientes, con el fin de realizar un levantamiento de inquietudes y comentarios sobre el camino que se debería seguir para realizar un procedimiento normativo en eficiencia energética de vehículos livianos y las observaciones que dieran a lugar en las distintas



intervenciones que se realizaron en la jornada del taller. Con el fin de consolidar la información, se realizaron 4 preguntas y se consignaron las respuestas de los participantes. A continuación, se presenta el resultado del ejercicio.

7.2.2 *Desarrollo de las mesas de trabajo*

Mesa 1

¿Qué estrategias se podrían desarrollar o se vienen desarrollando para mejorar la EE de los vehículos livianos en Colombia?

- Incentivos de cero emisiones. Restricción de circulación no acorde con eficiencia energética
- Carga rápida fuera de las ciudades principales
- Ventajas y beneficios arancelarios
- Diferenciación entre vehículos eléctricos híbridos y otras tecnologías de motorización
- Promover la electrificación en las políticas públicas para la infraestructura de carga

¿Qué barreras existen para mejorar la EE de los LDV en Colombia?

- Regulación en el octanaje de gasolina (calidad de combustible)
- Educación y concientización del consumidor

¿Consideran necesario mejorar la eficiencia energética de los vehículos livianos en Colombia? ¿Cuáles serían los impactos de hacerlo o no?

- El país no cuenta con ciclo de conducción.
- Oportunidad de contribución a las NDC de Colombia
- Precio final al consumidor. Incremento en el precio de venta de vehículos nuevos

Otros comentarios relevantes:

- Se compartirá el documento para comentarios.
- Para crear política de eficiencia energética: 1. Tiempo del programa, 2. Adopción de tecnologías *off cycles*.



Mesa 2

¿Qué estrategias se podrían desarrollar o se vienen desarrollando para mejorar la EE de los vehículos livianos en Colombia?

- ¿Distribuidores responsables de incorporar vehículos de buena o mala calidad? Es responsabilidad de la Resolución 0910 de 2008 que rige actualmente, exigiendo Euro 2. Se propone agilizar la entrada en vigor de la nueva regulación.
- 17,5 años de obsolescencia del parque automotor. No es problema de la cadena de producción de vehículos.
- Se está regulando sobre lo que viene y no sobre el parque rodante actual. Controlar la eficiencia del parque rodante actual. Se recomienda ejercer control sobre la eficiencia energética del parque automotor actual.
- Restricción en la movilidad segmentada o diferenciada por tipo de vehículos. Beneficios a los menos contaminantes.
- Incentivar compra de vehículos eléctricos mejorando infraestructura de carga y reduciendo costos de los vehículos eléctricos.
- Mayores incentivos y beneficios a los vehículos más eficientes, especialmente a los híbridos.

¿Qué barreras existen para mejorar la EE de los LDV en Colombia?

- La calidad de las vías y las pendientes los cuales inciden en el consumo de combustible.
- Las medidas se deberían implementar según los deseos del mercado y no por decreto.
- El mercado pide SUV, se tiene que motivar el uso de otros vehículos con bajos impuestos, aranceles, impuesto de rodamiento y matrícula.
- Infraestructura de estaciones de carga.
- Alto costo de los vehículos eléctricos
- ¿Cómo medir la eficiencia energética de los vehículos eléctricos?
- Para ingresar vehículos más eficientes, también se debe tener en cuenta los niveles de emisiones.



- Política de combustibles no es la más idónea. Desde hace apenas 4 años se están reduciendo las partes por millón de azufre. En 14 años no se ha mejorado la calidad de la gasolina.
- Calidad de la gasolina no ha tenido el mismo desarrollo que el diésel.
- Mala calidad del combustible afecta sistemas de control de emisiones.
- Impacto fiscal, incentivos.
- Para importación de vehículos híbridos, hipo-consumo e IVA
- Involucrar Ministro de Hacienda.
- Desde el punto de vista de las emisiones (Norma de emisiones que no ha salido)
- Buscar una combinación entre ciclo europeo y ciclo de Estados Unidos, considerando el factor altura
- Aún no sale la nueva regulación sobre estándar de emisión vehicular en Colombia
- No hay exceso de vehículos, hay una infraestructura vial pobre. Vías 4G ayudarán a mejorar esta eficiencia energética.
- No medírnos con países con topografía plana
- Infraestructura vial en ciudades
- Reductores de velocidad no aportan a la eficiencia energética

¿Consideran necesario mejorar la eficiencia energética de los vehículos livianos en Colombia? ¿Cuáles serían los impactos de hacerlo o no?

- Sí, es necesarios, y debemos ser ágiles en la publicación y actualización de normas. ¿Regulación Euro 2 a Euro 4 cuándo sale?
- Sí, es necesario mejorarla. Hacerlo de manera viable y concertada con los distribuidores de vehículos.
- Sí, es necesario. De manera escalonada, según la disponibilidad de los combustibles requeridos
- Tener en cuenta estándares de emisión de la región. Alineación con la región para no generar un bloqueo comercial con otros países



¿Cuál es la perspectiva del mercado de vehículos livianos en los próximos años, considerando tendencias actuales de incremento de ventas de los SUV a sedanes y hatchback de menor tamaño?

- La tendencia del mercado es un tema de interés del usuario.
- La venta de vehículos de mayor tamaño radica en el pensamiento de que estos son más robustos, resistentes a la mala malla vial de Colombia.
- Trabajar en la infraestructura vial.

Mesa 3

¿Qué estrategias se podrían desarrollar o se vienen desarrollando para mejorar la EE de los vehículos livianos en Colombia?

- Administración de flota vehicular vigente, generar política pública para rotar el parque automotor.
- Impuesto al rodamiento, más viejo el vehículo menos impuesto se paga (base gravable)
- Restricción al rodamiento no solo por dígito, sino también por edad.
- Incentivos a la compra de vehículos eléctricos e híbridos (reforma tributaria 2016).
- Prioridad de cambio de flota, medianos y pequeños. Calidad de los combustibles.
- Desarrollo de vehículos híbridos (tecnología inyección directa), GNV. Vehículos del sector público.
- Inclinación hacia motores eléctricos.
- Reducción del peso de los vehículos.
- Conciencia del consumidor
- Eliminar los contingentes a los vehículos híbridos del Decreto 1116 y darles paso a todas las tecnologías híbridas en Colombia.

¿Qué barreras existen para mejorar la EE de los LDV en Colombia?

- Calidad de los combustibles. Bajo octanaje y cetano.
- Etanol, microorganismos que degradan la calidad del combustible.



- Falta de implementación del QA/QC en la cadena de abastecimiento de los combustibles
- Movilidad urbana - Afecta el consumo de combustible.
- No tenemos claro la infraestructura de carga para la incorporación de vehículos eléctricos, tipo de cargador, indicador ideal. Distancia ideal para las estaciones de carga.

¿Consideran necesario mejorar la eficiencia energética de los vehículos livianos en Colombia? ¿Cuáles serían los impactos de hacerlo o no?

- Gasto social por la degradación de la calidad del aire. Cuatro mil millones de dólares por enfermedades respiratorias y muertes prematuras.
- Mayor costo por los combustibles consumidos.
- Vehículos usados están subiendo de precio.

Otros comentarios relevantes

- Un tema muy importante que afecta de manera muy evidente el consumo de combustible y emisión de gases es el tema de la movilidad urbana
- Tema de etiquetado
- Vehículos híbridos altamente eficientes y otros no tanto.
- Plan de acción para la implementación de estrategias de eficiencia energética.
- Mejorar la eficiencia energética en todos los escenarios.

7.2.3 Discusión

Durante el desarrollo del taller, representantes del gremio mencionaron que entre las estrategias que se podrían desarrollar para mejorar la eficiencia energética de los vehículos livianos en Colombia, se encuentra el impulso de la movilidad eléctrica y el aumento de incentivos a los vehículos menos contaminantes y castigos a los más contaminantes. Si bien está relacionado, el objeto del presente es la eficiencia energética. Se resalta que todos los participantes coinciden en que es necesario mejorar la eficiencia del parque automotor y que, de no hacerlo, podría tener consecuencias graves para el país, desde un punto de vista ambiental y económico.



Entre las principales barreras, se identificó el retraso en la calidad de los combustibles, así como la adopción de estándares de emisiones, ya que estas políticas están directamente vinculadas con la mejora de la eficiencia energética vehicular. Se destacó la percepción de algunos participantes del gremio automotriz quienes expusieron que los modelos a ofertar deberían ser los demandados por el mercado, dejando entrever una resistencia a la implementación de estándares que modifiquen el tipo de vehículos comercializados.

7.3 Encuesta de levantamiento de información

Se diseñó una encuesta sobre las distintas alternativas de medidas para regular la eficiencia energética, cuya finalidad fue la de levantar información sobre las preferencias del sector automotriz y otros actores participantes en el Taller Participativo de Socialización del AIN. Esta fue elaborada mediante la plataforma Forms de Microsoft Office, remitida a dichos actores entre el 12 al 26 de abril de 2022. Se contó con una muestra representativa del mercado de vehículos en Colombia conformada por 80 actores distribuidos entre instituciones del gobierno central, gobiernos seccionales, sector académico, sector privado, organizaciones civiles e investigación, y organizaciones de cooperación internacional. La información sirvió de base para identificar la medida más promisoría para atacar el problema central identificado. En la sección 5.5 se exhiben los resultados de la encuesta, así como el contenido seleccionado.

7.4 Reuniones con el gremio automotriz

El análisis de “Identificación de los grupos afectados” (Sección 4.5) expuso que el principal grupo impactado de la presente propuesta de regulación es el gremio automotriz, es con el sector privado dónde se concentrarán las principales discusiones sobre la fijación de parámetros de la regulación de la eficiencia energética vehicular. Estos actores incluyen la industria automotriz y de ensamblaje nacional, así como importadores de vehículos. Se señala que, para efectos del análisis, el sector ha sido agrupado en asociaciones gremiales, sin embargo, no se descarta la participación y la representación de todo el sector privado.

Como ya se mencionó, con la finalidad de contar con una visión estratégica consensuada sobre la mejora de eficiencia energética, se llevaron a cabo una ronda de reuniones con los representantes gremiales del país, agrupados de la siguiente forma:



- Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (ANDEMOS) – 04 de Mayo del 2022
- Federación Nacional de Comerciantes (FENALCO) - 26 de mayo del 2022
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) – 05 de junio del 2022

A continuación, se describen las principales ideas rescatadas durante esta ronda de reuniones, se exponen las posturas y comentarios de todos los gremios agrupadas en una tabla, ya que se recibieron comentarios similares. Se destaca que la información levantada sirvió para mejorar el planteamiento de la propuesta de regulación.

Tabla 8. Resumen de las discusiones sostenidas con el gremio automotriz colombiano dentro del proceso participativo.

Postura / inquietud / comentario	Réplica del grupo de trabajo
Los vehículos que actualmente ingresan al país ya cumplen con una normativa de emisiones más exigente que la actual en Colombia.	La presente propuesta de regulación se enfoca en la eficiencia energética, consumo de combustible y aunque es complementario, no es suficiente con cumplir las normas de emisión, ya que existen otros factores que inciden en el consumo de combustible. Además, la normativa actual de emisiones en Colombia es relativamente laxa, los parámetros exigidos salieron de vigencia en otros países mercados hace poco más de 20 años.
No existe la calidad de combustible para ingresar mejores tecnologías al país.	Existen otros factores que inciden en el consumo de combustible, cómo el tamaño de los vehículos y el tipo de tecnología que se oferta. La regulación de eficiencia que se diseñen considerará esta salvedad.
Los vehículos que ingresan deben responder a la demanda de los consumidores.	Las autoridades pueden intervenir en el tipo de vehículos que se comercializan en el país, en función del bien común y del beneficio social.
¿Cómo conocen las autoridades el nivel de eficiencia energética de los vehículos entrantes al país? si no se expide el dato en la regulación actual de Colombia.	Las autoridades de los Ministerios de Minas, Transporte y el MADS, en conjunto con la iniciativa global de Economía de Combustible a la cual está adscrita Colombia, construyeron una línea base de datos, con información del nivel de consumo de combustible de los vehículos ingresados al país desde 2011 al 2019, usando como base, la información reportada en otros países dónde sí se expide el dato obligatoriamente y cuentan con un mercado de características similares, es decir, ingresan las mismas marcas y modelos. Complementar con sección de Antecedentes Técnicos.
La encuesta recibida sobre la votación de las alternativas de regulación es tendenciosa para	Las alternativas expuestas son las identificadas por la experiencia internacional, incluida la región latinoamericana, las ventajas y desventajas son las



favorecer una propuesta de regulación con estándares numéricos.	documentadas sin favorecer más o menos alguna alternativa. La metodología utilizada para construir la encuesta fue la <i>Analytic Hierarchy Process</i> , que hace una comparación de todas las medias entre sí, por lo que si una es muy prometedora con respecto al resto, podría percibirse cómo tendencioso, pero no lo es.
Las autoridades han retrasado la regulación de emisiones del transporte y mejora de combustibles.	La autoridad reconoce el rezago en la regulación mencionada, sin embargo, esto no limita la expedición de la presente propuesta ya que existen muchas formas de mejorar la eficiencia energética sin depender necesariamente del combustible. Además, es de suma relevancia contar con datos de consumo de combustible, provenientes del gremio, a partir de pruebas de laboratorio.
El gremio no estuvo de acuerdo con la primera propuesta de problema central, que afirmaba que los vehículos entrantes al mercado colombiano son poco eficientes.	Se modificó el planteamiento, ya que se encontró razonable la postura de desconocer que es “poco o altamente eficientes” al no tener parámetros nacionales. El nuevo planteamiento, buscó evidenciar el problema de la falta de regulación con datos sobre la línea base, que demuestran que en los últimos años, el promedio de consumo de combustible ponderado por las ventas ha ido en aumento.
Comentario: se recomienda diversas políticas que han adoptado otros países para mejorar el rendimiento energético, tales como el etiquetado.	Se acoge el comentario, y se exhibe que las autoridades están trabajando en distintos frentes que incluyen las políticas recomendadas por el gremio.
Comentario: las autoridades no han llevado a cabo todas las acciones comprometidas para mejorar integralmente el impacto ambiental del sector automotriz.	Se acoge el comentario, y se exhibe que las autoridades están trabajando en distintos frentes que incluyen las políticas recomendadas por el gremio
Comentario: deberíamos enfocarnos sobre los vehículos en circulación, ya que la flota tiene una edad promedio de 17 años.	La implementación de medidas sobre los vehículos en circulación es muy importante, pero no son objeto de esta regulación. Al asegurar la entrada de vehículos nuevos al parque con mayor eficiencia en el motor, se asegura mayor eficiencia durante todos los años que duren circulando esos vehículos en el país, la edad de la flota en Colombia según ANDEMOS es de 17 años promedio (2020). Complementar en la sección de Antecedentes Técnicos.
Comentario: se sugiere una gradualidad en la implementación de la regulación, con el fin de dar oportunidad a la industria de adaptarse.	Se acoge comentario, la propuesta considerará una gradualidad de exigencia en función del contexto del mercado automotriz colombiano.



7.5 Consulta pública determinación de problema de la eficiencia energética en vehículos livianos en el país

En cumplimiento de lo señalado en el numeral 8 del artículo 8 de la Ley 1437 de 2011, en concordancia con lo previsto en el inciso 2 del artículo 2.1.2.1.14 del Decreto 1081 de 2015, sustituido por el artículo 1 del Decreto 1273 de 2020 y las resoluciones 4 0310 y 4 1304 de 2017, se publicó para participación ciudadana el documento que presenta la determinación de problema de la eficiencia energética en vehículos livianos en el país, entre los días del 26 de julio al 31 de julio de 2022.

En este periodo de tiempo se recibieron 17 comentarios, los cuales fueron revisados y cuya matriz de comentarios y respuestas se publica en la página del Ministerio de Minas y Energía.

CONCLUSIONES

- Se estima que el sector transporte es responsable de cerca del 40% del consumo final de energía del país, además de que es uno de los sectores económicos con menor eficiencia energética. Esto ha hecho que, en los últimos años, el consumo de combustible de los vehículos livianos nuevos va en aumento, y en consecuencia, las emisiones de CO₂ emitidas por este sector. Por lo que mejorar la eficiencia energética de los vehículos, se traduce en beneficios para la sociedad y para la seguridad económica del país, puesto que representa la posibilidad de disminuir el consumo de combustible sólo por el hecho de acceder a vehículos más eficientes.
- Colombia, tiene un retraso regulatorio en la eficiencia de los vehículos que ingresan al parque automotor, entre el 2018-2019 las ventas han aumentaron un promedio de 14%, por lo que promover la entrada de vehículos más eficientes, conlleva a que progresivamente este porcentaje ingrese con tecnología más amigable con el medio ambiente y de esta forma, se aporte también al país en el cumplimiento de sus compromisos climáticos internacionales.
- La adopción de estándares de eficiencia energética es apropiada cuando se trata de dar competitividad tecnológica a la oferta de vehículos, aquellos países con fabricación nacional, tienen mayor potencial de influir en el mercado. A nivel regional, sólo países como México y Chile cuentan con normativa de estándares de eficiencia vehiculares, y países como Perú, Ecuador, Brasil Argentina y Uruguay



cuentan con políticas complementarias para promover la eficiencia, en específico el etiquetado vehicular.

- Actualmente, Colombia no cuenta con un marco normativo que monitoree y controle la eficiencia energética en los vehículos, ni con políticas complementarias que la promuevan, lo cual se ve reflejado en la tendencia creciente que actualmente siguen las emisiones de CO₂ promedio de la flota. Es por lo que el Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Transporte se ven en la tarea de desarrollar acciones para garantizar un nivel de eficiencia energética para vehículos livianos de pasajeros en Colombia acorde con las tendencias regionales e internacionales a mediano y largo plazo.
- A partir de un análisis mediante la matriz de Vester se identifica la existencia una *“Tendencia al aumento del promedio del consumo de combustible de los vehículos livianos que entraron al parque automotor entre 2011 y 2019”* como el problema central a resolver. Cuyas causas directas se identifican como: 1) poca competitividad de la regulación del transporte en temas de eficiencia energética; 2) crecimiento en las ventas de vehículos con mayores consumos de combustible y 3), incentivos insuficientes en el país para promover vehículos eficientes. Así mismo, se identifica que este problema genera las siguientes consecuencias directas: 1) aumento en las emisiones de CO₂ del parque automotor; 2) mayores costos de operación de los vehículos para los consumidores y 3), mayor demanda de combustible a nivel nacional.
- Para dar solución a este problema se consideraron cuatro (4) alternativas, dos de tipo regulatorio y dos de tipo no regulatorio, las cuales fueron evaluadas mediante los siguiente criterios: 1) actualiza el mercado automotor nacional respecto a tendencias mundiales de eficiencia energética; 2) promueve la comercialización de vehículos más eficientes en Colombia; 3) posee sustento técnico para su desarrollo basado en casos de éxito y experiencias internacionales; 4) promueve el cumplimiento de los objetivos nacionales de cambio climático, calidad del aire y reducción de consumo de combustible.



- El problema y las alternativas de análisis fueron presentadas y socializadas en el “Taller participativo para la socialización del inicio de procedimiento normativo en eficiencia energética para vehículos livianos”, en el cual los participantes coinciden en que es necesario mejorar la eficiencia del parque automotor y que, de no hacerlo, podría tener consecuencias graves para el país, desde un punto de vista ambiental y económico.
- Las alternativas y el peso de los criterios fueron evaluados mediante encuestas realizadas a diferentes actores de la cadena de valor del sector transporte. Se concluye que la alternativa que mejor podría responder a la solución del problema “Mercado automotor de vehículos livianos nuevos de alto consumo de combustible respecto a otros países del mundo” es la alternativa de “Estándares numéricos”.

REFERENCIAS

- [1] Gobierno de Colombia, “Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC),” Bogotá, 2020.
- [2] Ministerio de Minas y Energía, “Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía. PROURE 2020,” 2020.
- [3] UPME, “Plan Energético Nacional 2020-2050,” 2019.
- [4] Ministerio de Energía, “Eficiencia Energética Vehículos Livianos. Taller de socialización.,” 2022.
- [5] Gobierno de Colombia, “Tercer informe bienal de actualización de cambio climático de Colombia,” Bogotá, 2021.
- [6] M. Albrahim, A. al Zahrani, A. Arora, R. Dua, · Bassam Fattouh, and · Adam Sieminski, “An overview of key evolutions in the light-duty vehicle sector and their impact on oil demand,” *Energy Transitions 2019 3:1*, vol. 3, no. 1, pp. 81–103, Sep. 2019, doi: 10.1007/S41825-019-00017-7.
- [7] DG Climate Action, “Data gathering and analysis to improve the understanding of 2nd hand car and LDV markets and implications for the cost effectiveness and social equity of LDV CO2 regulations ,” Bruselas, 2016.
- [8] Global Fuel Economy Initiative, “GFEI Targets,” 2022. <https://www.globalfueleconomy.org/> (accessed May 15, 2022).
- [9] Ministerio de Comercio Industria y Turismo, “Decreto 1595 de 2015,” Bogotá, 2015.
- [10] Ministerio de Comercio Industria y Turismo, “Decreto 1468 de 2020,” Bogota, 2020.



- [11] OCDE, “Recomendación del consejo sobre Política y Gobernanza Regulatoria,” 2012.
- [12] Organización Mundial del Comercio, “Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio,” 2019.
- [13] Consorcio HINICIO-CAEM, “Marco legal y metodológico del Análisis de Impacto Normativo,” Bogotá, 2019.
- [14] Departamento Nacional de Planeación, “Guía Metodológica para la Elaboración de Análisis de Impacto Normativo (AIN),” Bogotá, 2021.
- [15] McKinsey & Company, “ICE businesses: Navigating the energy-transition trend within mobility,” Mar. 2022. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/ice-businesses-navigating-the-energy-transition-trend-within-mobility> (accessed May 22, 2022).
- [16] International Council on Clean Transportation, “Growing momentum: Global overview of government targets for phasing out sales of new internal combustion engine vehicles,” Nov. 2020. <https://theicct.org/growing-momentum-global-overview-of-government-targets-for-phasing-out-sales-of-new-internal-combustion-engine-vehicles/> (accessed May 22, 2022).
- [17] International Energy Agency, “Trends and developments in electric vehicle markets,” 2021. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/trends-and-developments-in-electric-vehicle-markets> (accessed May 22, 2022).
- [18] Global Fuel Economy Initiative, “Vehicle efficiency and electrification: A global status report,” 2020.
- [19] Transport Energy Strategies, “40+ Countries Developing Light-Duty Vehicle Fuel Economy Standards” May 2019. <https://www.transportenergystrategies.com/2019/05/03/40-countries-developing-light-duty-fuel-economy-standards/> (accessed May 22, 2022).
- [20] Congreso de Colombia, “Ley 1955 de 2019,” Bogotá, 2019.
- [21] Departamento Nacional de Planeación *et al.*, “CONPES 3943. Política para el mejoramiento de la calidad del aire,” Bogotá, 2018.
- [22] Ministerio de Minas y Energía and Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Resolución 40103 de 2021,” Bogotá, 2021.
- [23] Congreso de Colombia, “Ley 697 de 2001,” Bogotá, 2001.
- [24] European Parliament and Council of the European Union, “Directive 1999/94/EC,” 2008.



- [25] International Energy Agency, “Fuel economy in the European Union,” 2021. <https://www.iea.org/articles/fuel-economy-in-the-european-union> (accessed May 15, 2022).
- [26] International Energy Agency, “Fuel economy in the United States,” 2021. <https://www.iea.org/articles/fuel-economy-in-the-united-states> (accessed May 15, 2022).
- [27] International Energy Agency, “Fuel Economy in Major Car Markets,” Mar. 2019. <https://www.iea.org/reports/fuel-economy-in-major-car-markets> (accessed May 19, 2022).
- [28] Ministerio de Energía de Chile, “Estándar mínimo de Eficiencia Energética para vehículos livianos motorizados,” Santiago, Feb. 2022.
- [29] Ministerio de Comercio Industria y Turismo, “Pacto por el desarrollo productivo. Política industrial en marcha,” 2021.
- [30] Ministerio de Comercio Industria y Turismo, “Estrategia transversal,” 2022. <https://www.mincit.gov.co/minindustria/estrategia-transversal> (accessed May 22, 2022).
- [31] J.-F. Gagné, “Energy Technology Perspectives 2015: Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action,” Tallinn, 2015.
- [32] Delphi Technologies, “Worldwide emissions standards. Passenger cars and light duty vehicles,” 2020.
- [33] International Energy Agency, “Colombia,” 2019. <https://www.iea.org/countries/colombia> (accessed May 16, 2022).
- [34] J. R. San Cristóbal, “Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The Vikor method,” *Renewable Energy*, vol. 36, no. 2, pp. 498–502, 2011, doi: 10.1016/j.renene.2010.07.031.
- [35] E. Ilbahar, S. Cebi, and C. Kahraman, “A state-of-the-art review on multi-attribute renewable energy decision making,” *Energy Strategy Reviews*, vol. 25, no. February, pp. 18–33, 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.04.014.
- [36] Minenergía, “Misión y Visión,” 2022. <https://www.minenergia.gov.co/mision-y-vision> (accessed Apr. 11, 2022).
- [37] Minambiente, “Objetivos y Funciones,” 2022. <https://www.minambiente.gov.co/sobre-el-ministerio/> (accessed Apr. 11, 2022).
- [38] FIIAPP Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas, “Acerca de FIAAP,” 2022. <https://www.fiiapp.org/acerca-de-fiiapp-main/> (accessed Apr. 11, 2022).



- [39] Centro Mario Molina - CMM, “Quienes somos,” 2022. <https://centromariomolina.org/acerca-de-nosotros/quienes-somos/> (accessed Apr. 11, 2022).
- [40] Universidad Tecnológica de Pereira, “Universidad Tecnológica de Pereira,” 2022. <https://www.utp.edu.co/> (accessed Apr. 11, 2022).
- [41] J. J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, and J. H. Zhao, “Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 9, pp. 2263–2278, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2009.06.021.
- [42] J. J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, and J. H. Zhao, “Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 9, pp. 2263–2278, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2009.06.021.
- [43] M. Fontana Viñuanes, “Métodos de decisión multicriterio AHP y PROMETHEE aplicados a la elección de un dispositivo móvil,” Universidad de Sevilla, 2015.
- [44] M. H. Shahsavari and E. Khomehchi, “Optimum selection of sand control method using a combination of MCDM and DOE techniques,” *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 171, no. July, pp. 229–241, 2018, doi: 10.1016/j.petrol.2018.07.036.
- [45] Resolución 1111 DE 2013, por la cual se modifica la Resolución 910 de 2008. Bogotá Colombia. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30033833>
- [46] Blumberg K., Walsh M., “Gasolina y diésel de bajo azufre: la clave para disminuir las emisiones vehiculares”. https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/Bajo_Azufre_ICCT_2003.pdf
- [47] Ministerio de Minas y Energía, de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Parámetros y Requisitos de calidad del combustible”. Resolución-40103-2021. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/Resolucion-40103-2021-minminas.pdf>
- [48] Sallee James M., West Sarah, Fan Wei, “Do consumers recognize the value of fuel economy? Evidence from used car prices and gasoline price fluctuations”. National Bureau of Economic Research, Working Paper 21441, 2015.



ANEXO 1

Justificación del método seleccionado

La selección de la mejor opción posible entre un conjunto de alternativas con base en información conocida de un conjunto de criterios de diferente naturaleza es el aspecto de los métodos de toma de decisiones multicriterio que revela la ventaja más marcada con respecto a otros métodos y técnicas que sólo consideran la evaluación de uno o múltiples criterios de una única naturaleza. Las principales fases que componen la toma de decisiones multicriterio son [35]:

1. Establecer un sistema de evaluación de criterios con base en la información conocida de sus atributos.
2. Desarrollar sistemas alternativos que permitan consolidar los criterios.
3. Evaluar las alternativas en función de los criterios establecidos.
4. Realizar la selección.

Es necesario identificar cuáles métodos de MCDM presentan las mejores características, a partir de las cuales, pueda realizarse la selección apropiada de uno como herramienta para la evaluación de alternativas, cuyo propósito es la solución de un problema que involucra la puesta en marcha de una regulación. Considerando que los métodos de toma de decisiones multicriterio se pueden clasificar en tres grandes familias, a continuación, se presenta para cada una los distintos métodos de toma de decisiones multicriterio en las cuales pueden ser clasificados considerando las características de su algoritmo [41]:

- Elementales: como su nombre lo infiere, estos métodos presentan baja complejidad en su implementación.
 - Dominancia.
 - *Weighted Sum Model* (WSM).
 - *Weighted Product Model* (WPM).
- Síntesis a criterio único: son aquellos métodos que tienen la capacidad de establecer la jerarquía de las alternativas.
 - *Analytic Hierarchy Process* (AHP).



- *Techinque for the Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).*
- *VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje (VIKOR).*
- Superación: estos métodos establecen relaciones de superación o dominancia entre las alternativas, pero no necesariamente presentan la jerarquía de estas.
 - *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE I – II).*
 - *ELimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE).*

Los aspectos que definen y facilitan la selección del método se presentan a continuación mediante una comparación objetiva entre estos. En la Tabla 9, se realiza la caracterización de los algoritmos bajo dichos aspectos:

- Jerarquía: capacidad del algoritmo para determinar el orden de importancia de las alternativas en una escala ordenada y subordinante según un indicador.
- Atributo: capacidad para asignar la cualidad o caracterización de positivo/negativo, deseable/indeseable o costo/beneficio a los criterios de evaluación. Los criterios con atributo positivo, deseable o de beneficio son aquellos que mejoran la categorización de las alternativas cuanto mayor sea su valor.
- Complejidad del algoritmo: se asigna la cualidad de complejidad baja, media y alta al algoritmo considerando aspectos relacionados con el número de cálculos y matrices necesarias para llevar a cabo la evaluación.

En la Tabla 9, se presentan las características particulares para cada uno de los algoritmos, identificadas como favorables y desfavorables en función de establecer un análisis comparativo entre métodos.

Tabla 9. Caracterización de los algoritmos de MCDM.

Método de toma de decisiones, [MCDM]	Jerarquía	Atributo	Complejidad del algoritmo
	Dominancia	No	No
Elementales	WSM	Sí	No
	WPM	Sí	No
			Baja



Síntesis a criterio único	AHP	Sí	No	Media
	TOPSIS	Sí	Sí	
	VIKOR	Sí	Sí	
Superación	ELECTRE	No	No	Alta
	PROMETHEE I	No	Sí	
	PROMETHEE II	Sí	Sí	

En la Tabla 10, se presentan algunas ventajas y desventajas de los algoritmos de los métodos de toma de decisiones multicriterio considerados como posibles alternativas en el análisis de impacto normativo.

Tabla 10. Identificación de ventajas y desventajas de algoritmos de MCDM.

MCDM	Características favorables	Características desfavorables
Dominancia		
WSM	Sencillez en la implementación	Poca implementación en problemas de planeamiento
WPM		
AHP	Ampliamente utilizado	Incluye análisis de consistencia con el cual es posible evaluar qué tan objetiva es la respuesta Alta componente subjetiva
TOPSIS	Baja componente subjetiva	Considera tanto la solución más favorable como la menos favorable para determinar el índice de decisión No es posible realizar análisis extendido de dominancia por par de alternativas
VIKOR		Selecciona las mejores alternativas con base en el menor número de características desfavorables exhibidas
ELECTRE		Análisis de dominancia por para de alternativas Requieren de la construcción de un gran número de matrices
PROMETHEE I	Baja componente subjetiva	Ampliamente utilizado No es posible realizar análisis extendido de dominancia por par de alternativas
PROMETHEE II		particularmente en problemas reales de planeamiento

Se descarta el método de Dominancia para ser implementado en la evaluación de las alternativas por no presentar la posibilidad de establecer una jerarquía y por ser un método no muy ampliamente utilizado. El método PROMETHEE I tiene como salida la matriz de



dominancia por par de alternativas, mientras que el PROMETHEE II tiene como salida el vector de jerarquía. Estos dos tipos de respuestas son complementarias y tienen su origen en un mismo algoritmo. Son bastante robustos y muy confiables, sin embargo, requieren de una matriz de decisión numérica que no existe, dada la naturaleza del problema asociado al análisis de impacto normativo, donde es requerido recolectar la percepción subjetiva de una mesa de expertos e involucrados. Asimismo, con base en el conocimiento que se tiene de los métodos se infiere además que:

- El método TOPSIS es el más sensible ante los cambios de escenario. Es decir, las posiciones de las alternativas en la jerarquía varían más fácilmente ante estos. Por otro lado, el método PROMETHEE I y II manifiestan menores cambios de las posiciones de las alternativas en la jerarquía ante dichos cambios.
- Es posible descartar la implementación del método WSM, WPM y ELECTRE, ya que requieren de una matriz de decisión numérica que no se tiene, dada la naturaleza del problema.
- Mediante la implementación simultánea del método TOPSIS, PROMETHEE I y II, es posible evaluar las alternativas, validar la respuesta y obtener respuestas complementarias, como la jerarquía de alternativas y la matriz de dominancia por par de alternativas siempre y cuando sea posible tener una matriz de decisión numérica independiente de una escala de valoración de juicios altamente subjetiva.

La valoración cuantitativa de la percepción de preferencia entre dos criterios o dos alternativas se lleva a cabo mediante la escala de preferencia de Saty³. De acuerdo con la preferencia que tiene el encuestado entre dos opciones posibles, este asigna un valor numérico a su nivel de preferencia según lo considere, con base en la escala prescrita.

Analytic Hierarchy Process (AHP)

Propuesto por Thomas L. Saty a finales de los años sesenta, es comúnmente empleado por ser un método práctico para la toma de decisiones en varios aspectos como el social, económico, industrial, ecológico, entre otros [42]. Es utilizado ampliamente en la evaluación

³ Propuesta por Thomas L. Saty, desarrollador del método de toma de decisiones Analytic Hierarchy Process – AHP.

de problemas asociados al carácter renovable y sustentable de la energía. La estructura de cálculo del método tiene como propósito descomponer un problema complejo en una estructura jerárquica.

Este método permite la evaluación de FNCE de interés bajo criterios específicos como: facilidad de acceso, durabilidad, disponibilidad, sustentabilidad, inversiones adicionales en el tiempo, madurez tecnológica, confiabilidad de la tecnología, huella de carbono, requerimiento de recursos, impacto ambiental de la tecnología utilizada en su aprovechamiento, aceptabilidad y uso suplementario de los recursos. El algoritmo se presenta a continuación [43]:

- a. Construir la matriz de comparación de criterios, C , donde cada valor c_{ij} representa la importancia relativa del criterio i respecto al criterio j , donde se cumple que $c_{ij} \cdot c_{ji} = 1$. Se recomienda realizar la comparación según los índices de la Tabla 11.

Tabla 11. Valores de asignación de intensidad para comparación por pares.

Valor	Nivel de preferencia	Significado
1	Igualmente preferible	Contribuyen en igual medida al objetivo
3	Moderadamente preferible	Preferencia leve de un elemento sobre otro
5	Fuertemente preferible	Preferencia fuerte de un elemento sobre otro
7	Muy fuertemente preferible	Predominancia demostrada
9	Extremadamente preferible	Predominancia clara y absoluta
2,4,6,8	Preferencia intermedia	Preferencia media

- b. Convertir los criterios cualitativos en criterios cuantitativos usando el espacio de referencia bipolar o alternativamente, la designación presentada en la Figura 21.

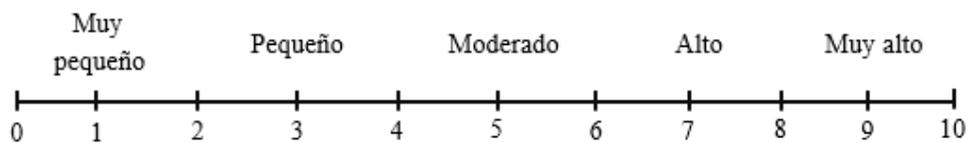


Figura 21. Espacio de referencia bipolar.



- c. Obtener la matriz de comparación normalizada, \hat{C} , donde cada elemento \hat{c}_{ij} se calcula según la ec.(1).

$$\hat{c}_{ij} = c_{ij} / \sum_{k=1}^n c_{kj} \quad (2)$$

- d. Calcular el peso relativo de cada criterio realizando el promedio de cada fila. La determinación de los pesos relativos se basa en la comparación por pares de los elementos de cada nivel.

- e. Construir la matriz de comparación de alternativas, A^j , para cada uno de los criterios. El valor a_{ik}^j representa la importancia relativa de la alternativa i respecto a la alternativa k considerando el criterio j .

- f. Obtener las matrices de comparación de alternativas normalizadas, \hat{A}^j , donde el elemento \hat{a}_{ik}^j se obtiene mediante la ec.(2)

$$\hat{a}_{ik}^j = a_{ik}^j / \sum_{l=1}^m a_{lk}^j \quad (3)$$

- g. Calcular las evaluaciones de cada alternativa respecto a cada criterio como el valor medio de cada columna de las matrices \hat{A}^j , obteniendo los vectores columna s_i^j .

- h. Obtener las puntuaciones globales de cada alternativa mediante la ec.(3) donde las columnas de la matriz S corresponden a los vectores s_i^k .

$$v = S_{m \times n} W_{n \times 1} \quad (4)$$

- i. Ordenar las alternativas de mayor a menor según su puntuación global, v .

Posteriormente, es necesario estimar la inconsistencia con el fin de determinar si existe o no concordancia entre los pares comparados. El procedimiento matemático para calcular la inconsistencia inicia con la normalización y cálculo de los pesos relativos para cada matriz. Si la matriz C satisface la propiedad de consistencia, es decir $c_{ik} = c_{ij}c_{jk}$, se establece que la matriz es recíproca y por tanto, se cumple la igualdad $CW = \lambda_{máx}W$, donde $\lambda_{máx}$ denota el



valor propio de C de mayor magnitud y W denota el vector de pesos. Por otra parte, $\lambda_{m\acute{a}x}$ se puede estimar como el valor promedio de los λ_i , los cuales son calculados mediante la ec.(4).

$$\lambda_i = \frac{C_i W}{w_i} = \frac{1}{w_i} \sum_{j=1}^n c_{ij} w_j \quad (5)$$

donde, C_i corresponde a la fila i -ésima de la matriz de comparación de criterios. Para establecer la consistencia, se define el índice de consistencia CI , índice denotado por la ec.(5).

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (6)$$

donde, n es el número de criterios.

Para propósitos de interpretación, se define la razón de consistencia (CR) denotada por la ec.(6).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

donde, RI se define como el índice de consistencia aleatoria cuyos valores se encuentran definidos en la Tabla 12.

Tabla 12. Índice de consistencia aleatoria [44].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Algunos autores proponen el cálculo de este índice como se presenta en la ec.(7).

$$RI = 1,98 \frac{n - 2}{n} \quad (8)$$

El límite superior para CR es 0,1. Si $CR > 0,1$, el cálculo tiene que ser repetido con el fin de buscar una mejor consistencia.