



ANÁLISIS DE IMPACTO NORMATIVO

PROBLEMÁTICA Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Descripción

El presente documento ilustra el proceso de formulación y análisis de alternativas regulatorias en lo referente a los parámetros de calidad del combustible gasolina en Colombia

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	ANTECEDENTES	3
▣	Calidad del Aire	3
▣	Calidad de Combustibles - Gasolina	4
3.	Contexto General	6
3.1.	Contexto Internacional.....	6
3.2.	Característica Pesada de los Petróleos Crudos en Colombia.....	7
3.3.	Características del Proceso de Refinería	10
3.4.	Parámetros relevantes en materia ambiental – calidad de gasolina	12
▣	Efectos Ambientales Contenido de aromáticos.....	12
▣	Efectos Ambientales Número de Octano (RON).....	12
▣	Efectos Ambientales Contenido de Azufre.....	13
▣	Efectos Ambientales Parámetro Presión de Vapor	14
4.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	16
4.1.	Árbol de Problemas	16
4.2.	Descripción del Problema.....	16
5.	Definición de Objetivos.....	22
5.1.	Árbol de Objetivos	22
5.2.	Descripción de objetivos.....	23
6.	Selección De Alternativas	26
6.1.	Identificación de Alternativas.....	26
7.	Evaluación De Alternativas	28
7.1.	Identificación de criterios de evaluación	28
7.2.	Identificación y revisión de información disponible.....	29
7.3.	Justificación de la metodología utilizada	33
7.4.	Evaluación de las alternativas	34
8.	Elección De La Mejor Alternativa	37
8.1.	Justificación	37
9.	Consulta pública.....	37
9.1.	Resultados de las consultas públicas.....	38
10.	Implementación y monitoreo.....	38
10.1.	Implementación y cumplimiento	38
11.	Anexos.....	38
12.	Lista de Referencias	38

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Mejoramiento progresivo del contenido de azufre la gasolina en Colombia</i>	13
<i>Tabla 2. Reducción de Contaminantes para gasolina de bajo contenido de azufre.</i>	14
<i>Tabla 3. Niveles de Presión de Vapor recomendados por la carta mundial de combustibles</i>	15
<i>Tabla 4. Ponderacion de Criterios</i>	35
<i>Tabla 5. Matriz de evaluación de alternativas y criterios</i>	35
<i>Tabla 6. Matriz de decisión calificada</i>	36
<i>Tabla 7. Ponderación de criterios de evaluación</i>	36
<i>Tabla 8. Cálculo matricial de proporciones para suma ponderada</i>	36
<i>Tabla 9. Cálculo de proporciones de vector de pesos ponderados</i>	36
<i>Tabla 10. Resultado de la suma ponderada para calificación de alternativas</i>	37

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Evolución calidad de gasolina en Colombia</i>	5
<i>Figura 2. Calidad de diésel en el mundo – Contenido de Azufre</i>	6
<i>Figura 3. Calidad de Gasolina en el mundo - Contenido de Azufre</i>	7
<i>Figura 4. Producción Natural de Crudos Livianos y Pesados</i>	8
<i>Figura 5. Clasificación Internacional de Crudos según gravedad API</i>	9
<i>Figura 6. Calidad Regional de Petróleos Crudos – Proyección</i>	10
<i>Figura 7. Esquema de Refinería de Petróleos Crudos – Columna de Destilación</i>	11
<i>Figura 8. Árbol de Problema</i>	16
<i>Figura 9. Composición parque automotor colombiano</i>	20
<i>Figura 10.Árbol de Problema</i>	22
<i>Figura 11. Desempeño de los sistemas de control de NOx vs contenido de azufre de las gasolinas</i>	25
<i>Figura 12. World Fuel Charter Euro 6 - Recomendación</i>	26
<i>Figura 13. Secuenciación (bacheo) de combustibles para transporte en poliducto</i>	29
<i>Figura 14. Cronograma de mejoramiento de procesos en refinería - Calidad de Gasolina</i>	30
<i>Figura 15. Fracción de elementos metálicos presentes en el PM_{2,5} según tecnología de emisión - gasolina</i>	31
<i>Figura 16. Emisiones en masa de partículas en vehículos livianos tipo moto, según tecnología - gasolina</i>	32
<i>Figura 17. Reducción de contaminantes según tecnología, en función del contenido de azufre – vehículos a gasolina</i>	32

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de los combustibles para su uso como energéticos en medios de transporte y procesos industriales, se encuentra definida en función de un conjunto de parámetros físico-químicos y operativos, que califican su desempeño técnico y ambiental al final del proceso de combustión. Los Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible y de Minas y Energía deben definir los parámetros mínimos de calidad, en materia ambiental y técnica respectivamente, de los combustibles que se han de importar, producir, distribuir y consumir en todo el territorio nacional, de conformidad con lo establecido en el artículo 2.2.5.1.4.5 del Decreto 1076 de 2015.

En cumplimiento de esta responsabilidad, el Gobierno colombiano ha establecido las condiciones mínimas para que, desde el marco regulatorio, se controle la distribución de combustibles de la mejor calidad para Colombia, teniendo en cuenta las materias primas características del territorio nacional y propendiendo por favorecer el desarrollo del país mediante la implementación de esquemas sostenibles.

El marco regulatorio en esta materia debe ser reformulado continuamente, de acuerdo con las métricas internacionales y los avances tecnológicos de los procesos productivos tendientes a la minimización de los impactos ambientales generados durante la combustión, en respuesta a la preocupación de la comunidad internacional en torno de la problemática asociada con la calidad del aire y su influencia en el cambio climático y la salud pública.

En este sentido, el presente documento revisa los antecedentes normativos en materia de calidad de combustibles en Colombia, haciendo énfasis en los parámetros de calidad de gasolina que tienen incidencia en los niveles de contaminantes liberados en la atmósfera durante los procesos de combustión vehicular, a fin de identificar las oportunidades de mejora que deben ser consideradas en el marco de la actualización regulatoria en el territorio nacional.

2. ANTECEDENTES

Para el desarrollo de las temáticas objeto del presente documento es importante retomar la situación actual de la calidad del aire en el país, así como la evolución normativa en materia de calidad de combustibles, a continuación, se desarrollan los antecedentes para cada una de estas temáticas.

- **CALIDAD DEL AIRE**

En 2017 fue adoptada la Resolución 2254, la cual incorporó un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes considerando los lineamientos dados por la Organización Mundial de la Salud. Esta actualización de la norma de calidad del aire busca minimizar el riesgo sobre la salud humana que puede ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera, y por ello define también niveles más estrictos para la declaratoria de los estados de prevención, alerta y emergencia aplicables en el territorio nacional.

En línea con estas acciones, en 2018 se adoptó el CONPES 3943 "Política para el mejoramiento de la calidad del aire", cuyo objetivo general es reducir la concentración de contaminantes en el aire que afectan la salud y el ambiente. Para el cumplimiento del objetivo general de esta política, se establecen tres objetivos específicos desarrollados a través de líneas de acción que implican la realización de actividades por parte de diferentes entidades del nivel nacional. Los objetivos específicos son: reducir las emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles, reducir las emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes fijas y mejorar las estrategias de prevención, reducción y control de la contaminación del aire.

En armonía con esta política, la Ley 1955 de 2019 –Plan Nacional de Desarrollo [2018-2022]- estableció:

“Objetivo 2. Mejorar la calidad del aire, del agua y del suelo para la prevención de los impactos en la salud pública y la reducción de las desigualdades relacionadas con el acceso a recursos” se plantea la intervención: “MinAmbiente actualizará los estándares de emisión de fuentes móviles hasta llegar al EURO VI, y con MinMinas reglamentará el contenido de azufre en los combustibles para reducir la contaminación atmosférica en Colombia, (...)”. (L. 1955/2019)

De lo anterior, se resalta el señalamiento de las fuentes móviles como importantes actores en la problemática asociada a la calidad del aire en Colombia. Según los inventarios de emisiones que se han realizado en las grandes ciudades del país, el material particulado es emitido principalmente por la quema de combustibles fósiles en el sector transporte y en el sector industrial. Se estima que, en los centros urbanos, aproximadamente el 80 % de las partículas PM_{2.5} son generadas por las fuentes móviles mientras que el 20 % restante lo aportan las fuentes fijas (IDEAM, 2018).

Al profundizar en este aspecto se encuentra que, las emisiones generadas por las fuentes móviles dependen de múltiples factores, entre los cuales se destacan principalmente: i) tecnología de emisión del parque automotor, ii) calidad de los combustibles y iii) condiciones de mantenimiento preventivo del parque automotor. En el presente documento se desarrolla la problemática y alternativas regulatorias disponibles para enfrentar la problemática descrita, desde el aspecto ii) calidad de los combustibles, en lo relacionado con la gasolina distribuida en el territorio nacional

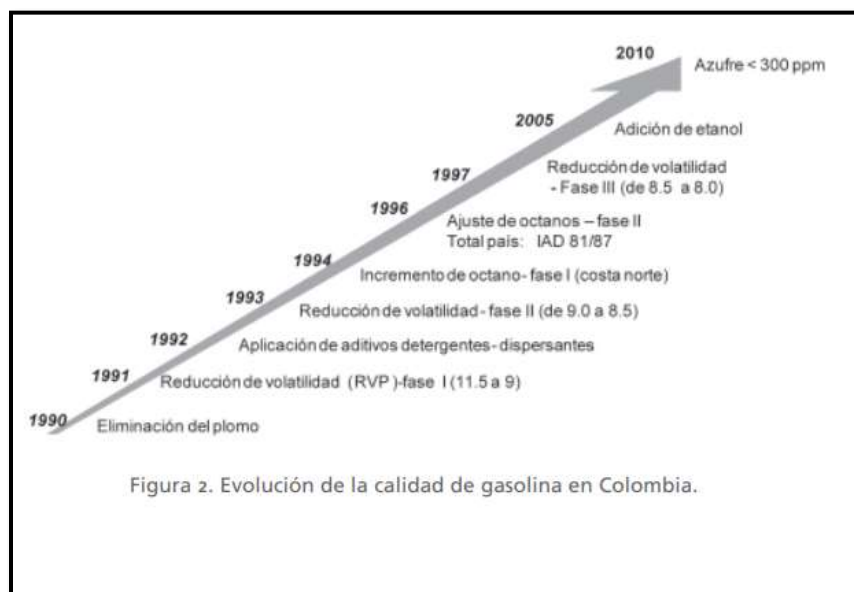
- **CALIDAD DE COMBUSTIBLES - GASOLINA**

La reglamentación colombiana en materia de calidad de combustibles surgió mediante la Resolución 898 de 1995 “Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores”.

El artículo 1 de la citada Resolución establece -entre otros aspectos-, los requisitos de calidad de las gasolinas colombianas. A partir de esta norma, se han efectuado varias modificaciones entre las que se encuentran la Resolución 1565 de 2004 “Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna”.

En los últimos 30 años se ha evolucionado en la calidad de las gasolinas colombianas en distintos parámetros, tal como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 1. Evolución calidad de gasolina en Colombia



Fuente: (Jorge Humberto Arango - Ecopetrol, 2009)

En armonía con esta evolución, el CONPES 3943 “Política para el mejoramiento de la calidad del aire”, definió líneas de acción específicas, dedicadas al plan de mejoramiento de los combustibles:

“Actualización de parámetros de calidad de los combustibles y biocombustibles. En primer lugar, es necesario continuar avanzando en la reducción en el contenido de azufre de los combustibles que se distribuyen al parque automotor del país. Para ello, en el primer trimestre de 2019, el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio el Ambiente y Desarrollo Sostenible adoptarán en conjunto los estándares normativos progresivos para lograr la reducción del contenido de azufre en los combustibles a nivel nacional de la siguiente manera: en 2020, diésel de 20 ppm y gasolina de 100 ppm; en 2021, diésel de 10 ppm a 15 ppm y gasolina de 50 ppm; antes de finalizar 2025, diésel de 10 ppm, y entre 2026 y 2030, gasolina de 10 ppm. Por su parte, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el primer semestre de 2019, adoptará por resolución los estándares de emisión para vehículos, acordes con la calidad del combustible distribuido, como una medida para restringir el ingreso al país de tecnologías vehiculares contaminantes.”

Adicionalmente, el Ministerio de Minas y Energía a través del contrato GGC 412 de 2018 con la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Antioquia, solicitó un estudio para la actualización de los parámetros de calidad, en el que las universidades recomendaron la actualización de las tablas 2A y 2B de la Resolución 1180 de 2006, tomando como referencia los resultados de calidad de gasolinas básicas y oxigenadas evaluados en Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga, Medellín, Bogotá, Pereira y Cali, los parámetros de calidad regulados en Brasil, Argentina y Perú, las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana-NTC y la tendencia de parámetros de calidad establecida por los organismos de contribución técnica reconocidos a nivel internacional tales como “American Society for Testing and Materials”- ASTM de Estados Unidos, “European Committee for Standardization”-(CEN por sus siglas en español) de Europa y WordWide Fuel Chapter-WWFC (Categoría 2, para gasolinas sin plomo).

De esta manera, la iniciativa reglamentaria propuesta mediante el presente análisis de impacto, retoma las recomendaciones del sector académico nacional, en relación con las condiciones locales de extracción y producción de derivados del crudo. A continuación se describe el contexto general en el ámbito de los combustibles fósiles en Colombia.

3. CONTEXTO GENERAL

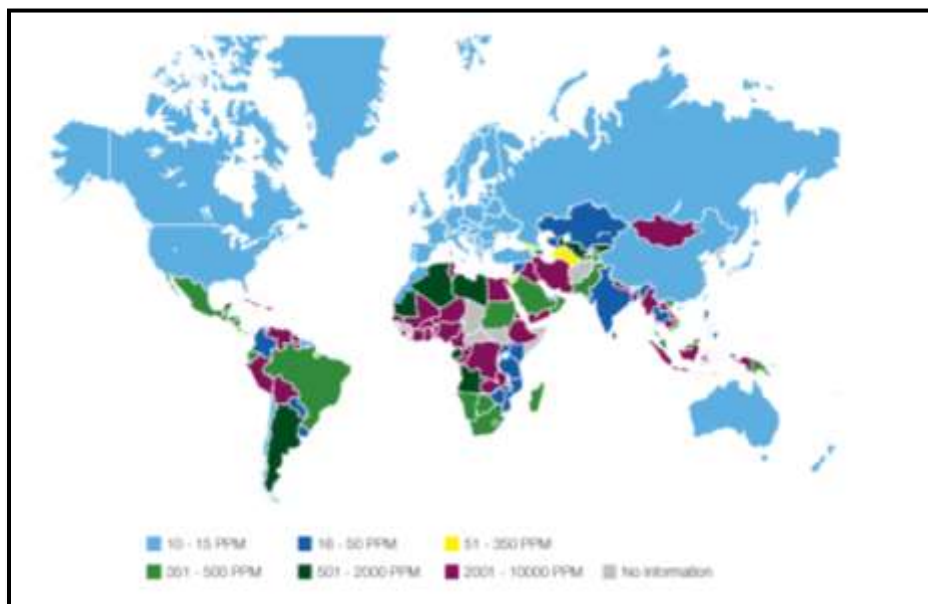
La calidad de los combustibles, se encuentra determinada tanto por la naturaleza físico-química de los petróleos crudos de los cuales son extraídos, como por las condiciones operativas y tecnológicas de los procesos implementados en la refinería, además de la infraestructura de la red de transporte por ductos. En el presente capítulo se realiza una descripción de estas características para la región colombiana, después de revisar el contexto internacional en la materia.

3.1. Contexto Internacional

La problemática de calidad del aire y el efecto que tienen en ella las fuentes móviles terrestres accionadas con combustibles fósiles ha sido identificada y abordada por los diferentes países del mundo desde 1980. En este sentido, las tecnologías vehiculares han sido diseñadas y progresivamente modificadas en función de su desempeño ambiental, marcando tendencias de reducción en las emisiones de contaminantes generadas durante los procesos de combustión.

Para ello, se hace necesario e indispensable, disponer de combustibles con características de calidad obtenidas mediante, cada vez más complejos procesos de refinación. Una de las características que más se ha estudiado, es el contenido de azufre, tanto para el combustible diésel como para la gasolina.

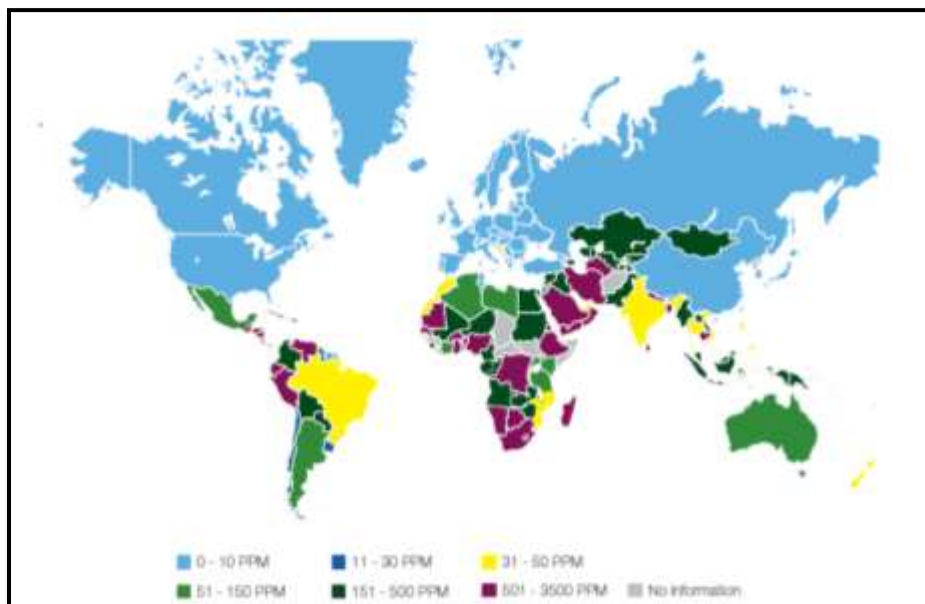
Figura 2. Calidad de diésel en el mundo – Contenido de Azufre



Fuente: (Europe, 2018)

En lo referente a la calidad del Diésel, el combustible colombiano se encuentra posicionado entre los más limpios del mundo, tal como se aprecia en la Figura 1. Sin embargo, en materia de calidad de gasolina el país presenta un rezago respecto de los combustibles considerados “más limpios del mundo”. Esta situación se ilustra en la siguiente figura.

Figura 3. Calidad de Gasolina en el mundo - Contenido de Azufre



Fuente: (Europe, 2018)

La Figura 3 evidencia el avance de los países del hemisferio norte en lo relativo al contenido de azufre de las gasolinas, en contraste con la diversidad de avances parciales de países como Chile, Brasil e India y el atraso de los demás países de Suramérica y África. En este sentido y teniendo en cuenta que Colombia auto-abastece su demanda de combustibles, el objeto del presente análisis de impacto es determinar los costos y beneficios asociados al mejoramiento de los parámetros de calidad de la gasolina refinada en el país y las alternativas de implementación que de ello se derivan.

Para avanzar en este objetivo es necesario revisar los factores que inciden en la calidad de la gasolina en Colombia. El punto de partida de este análisis es la calidad de los crudos disponibles, los cuales constituyen la materia prima del proceso de refinación, siendo este proceso la segunda característica predominante para la obtención de combustibles de alta calidad.

3.2. Característica Pesada de los Petróleos Crudos en Colombia

Existen dos características principales de los petróleos crudos, las cuales condicionan la calidad de los mismos y determinan los procesos necesarios en la refinería para la obtención y aprovechamiento de combustibles de calidad, éstas son: i) Gravedad API y ii) Contenido de azufre.

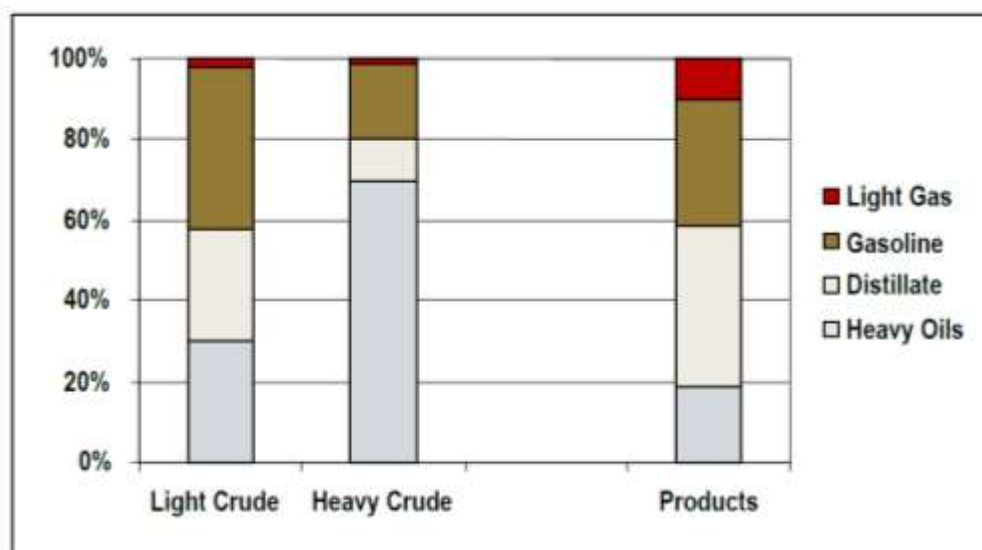
La densidad o gravedad API de un crudo indica qué tan liviano o pesado es en su totalidad. Los crudos más livianos tienen una mayor proporción de moléculas pequeñas, que las refinerías pueden convertir en gasolina, combustible pesado y diésel (...). Los crudos más pesados tienen

proporciones más altas de moléculas grandes, que las refinerías pueden i) utilizar en combustibles industriales pesados, asfalto y otros productos pesados (cuyos mercados son menos dinámicos y, en algunos casos, se están reduciendo), o ii) procesarlas en moléculas más pequeñas que se pueden utilizar en combustibles para transporte.

En la industria de refinación, la densidad de un crudo se expresa generalmente en términos de gravedad API, un parámetro de medición de unidades en grados ($^{\circ}$ API), por ejemplo, 35° API. La gravedad API varía en forma inversa a la densidad (es decir, cuánto más liviano es el material, más alta es la gravedad API). Por definición, el agua tiene una gravedad API de 10° (ICCT, 2011).

La Figura 4 ilustra acerca de la calidad de un típico crudo liviano (35° API) y un típico crudo pesado (25° API), en función de su producción natural de gases livianos, componentes de la gasolina y destilados (principalmente combustible pesado y diésel), y aceites pesados. La misma figura muestra, además, el perfil promedio de demanda de estas categorías de productos en los países desarrollados (*Products*).

Figura 4. Producción Natural de Crudos Livianos y Pesados



Fuente: (ICCT, 2011)

A partir de esta gráfica es posible concluir que cuanto más pesado el crudo, menor es la proporción aprovechable para destilados. Así mismo y de acuerdo con la información presentada en la Figura 5, se infiere que los petróleos crudos característicos de la región continental colombiana, son de clase “pesada”, lo cual hace más difícil su aprovechamiento para productos combustibles como el diésel, lo que adicionalmente conlleva mayores costos de refinería para lograr dicho aprovechamiento. Como se observa en la figura los crudos colombianos se encuentran entre los más pesados a nivel mundial.

Crude Oil	Country of Origin	Crude Oil Class	Properties	
			Gravity ("API")	Sulfur (wt.%)
Brent	U.K.		40.0	0.5
West Texas Intermediate	U.S.A.	Light Sweet	39.8	0.3
Arabian Extra Lt. Export	Saudi Arabia	Light Sour	38.1	1.1
Daqing	China		33.0	0.1
Forcados Export	Nigeria	Medium Medium Sour	29.5	0.2
Arabian Light Export	Saudi Arabia		34.0	1.9
Kuwait Export Blend	Kuwait	Medium Sour	30.9	2.5
Marlim Export	Brazil	Heavy Sweet	20.1	0.7
Cano Limon	Colombia		25.2	0.9
Oriente Export	Ecuador	Heavy Sour	25.0	1.4
Maya Heavy Export	Mexico		21.3	3.4

Figura 5. Clasificación Internacional de Crudos según gravedad API

Fuente: (ICCT, 2011)

Además de la gravedad API, una condición natural que determina la calidad de un crudo, así como la complejidad del proceso de refinación necesario para su aprovechamiento, es el contenido de azufre.

“Entre los hetero-elementos presentes en el petróleo crudo, el azufre es el que más afecta el proceso de refinación. Los niveles suficientemente altos de azufre en el flujo de refinación pueden: i) desactivar (“contaminar”) los catalizadores que aceleran las reacciones químicas deseadas en ciertos procesos de refinación, ii) provocar la corrosión en el equipo de refinería, y iii) generar la emisión a la atmósfera de compuestos de azufre, que no son agradables y pueden estar sujetos a estrictos controles reglamentarios” (ICCT, 2011).

El azufre de los combustibles para vehículos automotores ocasiona la emisión de compuestos indeseables e interfiere con los sistemas de control de emisiones que están destinados a regular las emisiones contaminantes tales como, los compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y material particulado. Esta condición es de particular relevancia para la combustión de la gasolina, teniendo en cuenta que, a diferencia del combustible diésel, la mejora de los parámetros de calidad no incide directamente en la reducción de las emisiones de material particulado, sino en la habilitación para el uso de tecnologías avanzadas, capaces de implementar dispositivos de reducción de emisiones de gases contaminantes, los cuales deterioran su desempeño a causa de la presencia del azufre.

En consecuencia, las refinerías deben tener la capacidad de extraer el azufre del crudo y los flujos de refinación en la medida que sea necesario para atenuar estos efectos no deseados. Cuánto más alto sea el contenido de azufre del crudo, más alto es el grado de control de azufre que se necesita y el costo que insume este procedimiento. Así mismo, cuanto menor es el contenido de azufre, es más alto el grado de especialización necesario para su detección, reducción y remoción.

El contenido de azufre del crudo y los flujos de refinación se mide generalmente en tanto por ciento (%) en peso o en partes por millón por peso (ppmw). En la industria de la refinería, el petróleo crudo se denomina con poco azufre (bajo nivel de azufre), si su nivel de azufre es inferior al valor umbral (por ejemplo, 0,5 % (5.000 ppmw)) y sulfuroso (alto nivel de azufre), si el nivel de azufre supera el umbral más alto. La mayoría de los crudos sulfurosos registran niveles de azufre de entre 1,0 y 2,0 %, pero en algunos casos se registran niveles de azufre de > 4 % (ICCT, 2011)

Con base en la información presentada en la Figura 5 (Tipo de Crudo Colombiano: Heavy Sweet), el contenido de azufre típico de las reservas de crudo disponibles en Colombia, se encuentra entre 0.9 %wt (en el umbral “sulfuroso”). La calidad promedio de los tipos mundiales de crudo (según gravedad API y contenido de azufre) para refinación ha ido decayendo paulatinamente. El contenido promedio de azufre ha aumentado más rápidamente y esta tendencia probablemente continuará en el mediano plazo. Para ilustrar esta tendencia, la Figura 6 muestra la calidad estimada del crudo, según la gravedad API y el contenido de azufre, en varias regiones del mundo para el año 2008 (presente) y 2030 (proyectado).

Figura 6. Calidad Regional de Petróleos Crudos – Proyección

Region	2008 (Actual)		2030 (Projected)	
	Gravity (°API)	Sulfur (wt%)	Gravity (°API)	Sulfur (wt%)
North America	31.2	1.21	28.7	1.66
Latin America	25.1	1.59	23.5	1.57
Europe	37.1	0.37	37.4	0.38
Commonwealth of Independent States	32.5	1.09	35.1	0.97
Asia-Pacific	35.4	0.16	35.7	0.16
Middle East	34.0	1.75	33.9	1.84
Africa	36.5	0.31	37.1	0.26
World Average	33.0	1.1	32.9	1.3

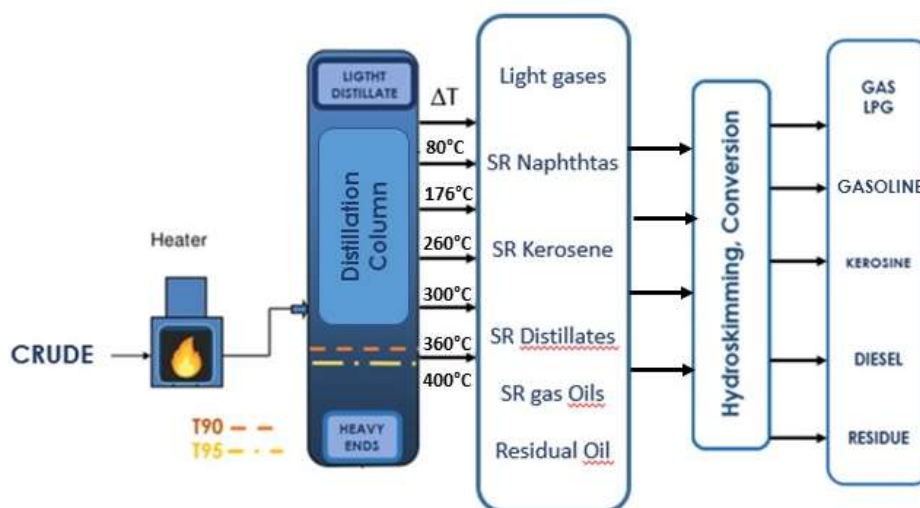
Fuente: (ICCT, 2011)

En este sentido se entiende que será cada vez más difícil realizar un aprovechamiento eficiente de los petróleos crudos a nivel mundial, por lo que se requerirá de mayores esfuerzos económicos para procesos y tecnologías de refinación que permitan obtener los productos de destilación con las condiciones de calidad deseadas.

3.3. Características del Proceso de Refinería

La Figura 7 presenta un esquema del proceso general de refinación a partir del cual se obtienen los productos deseados. Mediante cambios en la temperatura de destilación se extraen derivados del crudo formando una columna de separación, a partir de la cual se obtienen productos como gas (en el extremo liviano), gasolina, keroseno y diésel (en la zona media) y residuos para asfaltos y aceites bunker (en el extremo pesado).

Figura 7. Esquema de Refinería de Petr6leos Crudos – Columna de Destilaci6n



Fuente: Elaboraci6n propia a partir de (ICCT, 2011)

La separaci6n de todos los derivados del crudo, se realiza gradualmente a medida que se incrementa la temperatura de destilaci6n. De esta manera, como se ilustra en Figura 7, cuando el crudo se somete a temperaturas entre 15 °C y 80 °C se obtienen productos como gas y gas licuado de petr6leo. Al incrementar la temperatura pasando por 176 °C hasta 260 °C, se separan del crudo sustancias como naftas y keroseno (a partir de las cuales se obtienen productos como gasolinas y combustibles n6uticos); De esta manera, a medida que se avanza en el gradiente incremental de la temperatura, se separan del crudo compuestos cada vez m6s “pesados” en funci6n de sus mol6culas de carbono.

Hacia el final del proceso, se obtiene la fracci6n restante del crudo que no se ha evaporado a temperaturas entre 360°C y 500°C. Este punto de la columna de destilaci6n se conoce como T95 y se define como la temperatura a la cual el 95% del crudo se ha evaporado. En algunos pa6ses se controla el par6metro de T90, el cual, an6logamente corresponde a la temperatura de destilaci6n para la cual el 90% del crudo se ha evaporado. Al llegar a este punto del proceso, los compuestos remanentes son de naturaleza pesada, poco aprovechable y se destina para subproductos como asfaltos. Estos compuestos presentan como caracter6stica una alta propensi6n a la formaci6n de material particulado y holl6n al ser quemados.

En la actualidad, producto de los grandes avances tecnol6gicos de los procesos productivos, existen tecnolog6as de mejoramiento, transformaci6n, tratamiento y separaci6n aplicadas en las refiner6as de manera posterior a la destilaci6n general, las cuales permiten aprovechar en mayor medida los productos generados en todos los puntos de la columna de destilaci6n (especialmente del extremo pesado), determinan la calidad de las diferentes categor6as de productos refinados y viabilizan el control de par6metros espec6ficos tales como el contenido de azufre en todos los flujos de la refiner6a, el contenido de compuestos arom6ticos, arom6ticos polic6clicos (PAHs) mediante el rompimiento de las cadenas de poliarom6ticos y permiten convertir nafta en gasolina. Estos procesos influyen en la econom6a de la refiner6a y en el costo final de los productos derivados, cuanto m6s complejos los procesos y m6s refinados los par6metros, mayores ser6n los costos asociados.

En Colombia, se cuenta con dos refinerías de gran capacidad: i) Barrancabermeja y ii) Cartagena (Reficar), las cuales cuentan con configuraciones y tecnologías de proceso diferentes, en razón a la evolución tecnológica disponible en el momento de su implementación. En el año 2010 se implementó el proceso de hidrotratamiento para la refinería de Barrancabermeja, mientras que en el año 2016 se incluyó para Reficar procesos de hidrotratamiento e hidrocrackeo, los cuales proporcionan la capacidad de transformar los productos más pesados de los crudos, en destilados aprovechables controlando parámetros tales como la densidad, viscosidad, el contenido de poliaromáticos y el contenido de azufre, entre otros, los cuales influyen de manera directa en el desempeño ambiental de los combustibles en las fuentes móviles terrestres.

3.4. Parámetros relevantes en materia ambiental – calidad de gasolina

Una vez analizado el contexto nacional e internacional en conjunto con el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible determinó la relevancia en materia ambiental de 4 parámetros de calidad de gasolina cuya descripción se presenta a continuación, incluyendo la definición, los antecedentes normativos y el contexto nacional e internacional.

▪ EFECTOS AMBIENTALES CONTENIDO DE AROMÁTICOS

Los hidrocarburos aromáticos son moléculas que contienen por lo menos un anillo de Benceno. El contenido de aromáticos del combustible, afectará el proceso de combustión ya que puede incrementar los depósitos en el motor e incrementar las emisiones contaminantes en el tubo de escape, incluyendo CO₂.

Los aromáticos pesados y otros compuestos de alto peso molecular han sido asociados a la formación de depósitos en la cámara de combustión. Se dispone de aditivos diseñados para evitar la formación de estos depósitos, sin embargo, se ha evidenciado que, en algunos casos su aplicación genera incrementos en las emisiones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (ACEA, 2019). Por esta razón se hace necesario limitar el contenido máximo de contenido de aromáticos totales en la gasolina, acorde con la norma europea EN228.

▪ EFECTOS AMBIENTALES NÚMERO DE OCTANO (RON)

El número de Octano es una medida de la habilidad de la gasolina para resistir la auto-ignición. La auto-ignición puede causar inestabilidades o golpeteos en el motor (knocking) lo cual puede causar daños severos en los motores. Dos métodos de laboratorio son usados para medir el número de octano. Uno de ellos determina el número de Octano de Investigación o RON por sus siglas en inglés (Research Octane Number); el otro determina el número de Octano de Motor MON, por sus siglas en inglés (Motor Octane Number). RON se correlaciona con condiciones de golpeteos medios a bajas velocidades, mientras que MON se correlaciona con condiciones de golpeteos a altas temperaturas y con condiciones de aceleración parcial.

Los vehículos son diseñados y calibrados para ciertos rangos de octanaje. Cuando un consumidor usa gasolina con un octanaje más bajo del requerido, pueden presentarse golpeteos. Los motores equipados con sensores de golpeteo pueden manejar valores menores de octanaje retardando el tiempo de encendido de la chispa, pero esto puede incrementar el consumo de combustible, disminuir la capacidad de conducción, disminuir la potencia y aún causar golpeteos.

Incrementar el octanaje mínimo disponible en condiciones locales tiene el potencial de ayudar a los vehículos a mejorar significativamente la economía de combustible y en consecuencia disminuir las emisiones de CO₂. Este mejoramiento varía en función del diseño del tren motriz principal, el factor de carga y la estrategia de calibración de fábrica, entre otros factores.

▪ EFECTOS AMBIENTALES CONTENIDO DE AZUFRE

El contenido de azufre tiene influencia directa en la formación de material particulado en las emisiones del tubo de escape vehicular y posee características que afectan el correcto funcionamiento de los sistemas de control de emisiones (convertidores catalíticos), tal como se desarrolló en el numeral 2 del presente documento.

A nivel internacional, se ha definido como estándar internacional EURO 6 para vehículos a gasolina un contenido máximo de 10 ppm; En Colombia, la Resolución 898 de 1995, modificada por el Artículo Primero de la Resolución 1180 de 2006, contempla un contenido de azufre de 300 ppm, sin embargo, dentro de las metas del cuatrienio del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 se encuentra alcanzar un contenido de azufre de máximo 10 ppm para el combustible diésel.

En armonía con esta meta, se estableció el cronograma de mejoramiento de la calidad de la gasolina en Colombia en lo referente al contenido de azufre, el cual se resume a continuación.

Tabla 1. Mejoramiento progresivo del contenido de azufre la gasolina en Colombia

Hasta el 30 de diciembre de 2020	300 ppm
A partir del 31 de diciembre de 2020	100 ppm
A partir del 31 de diciembre de 2021	50 ppm
A partir del 31 de diciembre de 2030	10 ppm

Los efectos en la reducción del contenido de azufre para los contaminantes criterio se ilustran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Reducción de Contaminantes para gasolina de bajo contenido de azufre.

Table G-1: Impact of Sulphur on Emissions

STUDY	VEHICLE TECHNOLOGY	SULPHUR RANGE (PPM)		EMISSION REDUCTION,% (HIGH TO LOW SULPHUR)		
		high	low	HC	CO	NOx
AQIRP	Tier 0	450	50	18	19	8
EPEFE	EURO 2+	380	18	9 (43*)	9 (52*)	10 (20*)
AAMA/AIAM	LEV & ULEV	600	30	32	55	48
CRC	LEV	630	30	32	46	61
JARI	1978 Regulations	197	21	55	51	77
Alliance/AIAM	LEV/ULEV	100	30	21	34	27
	LEV/ULEV	30	1	7	12	16
JCAP	DI/NOx cat.	25	2			37

* Reduction achieved during European hot extra-urban driving cycle (EUDC) portion of test.
Source: US AQIRP, EPEFE, AAMA/AIAM, SAE 982726, JSAE 9838985

Fuente: (ACEA, 2019)

En este sentido se observa que, para todos los casos la reducción de contenido de azufre en la gasolina tiene efectos de reducción de hidrocarburos volátiles, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

▪ **EFFECTOS AMBIENTALES PARÁMETRO PRESIÓN DE VAPOR**

La presión de vapor, RVP por sus siglas en inglés, es la medida de la volatilidad de un combustible o el grado al cual éste se vaporiza a una temperatura dada. Para la gasolina, la presión de vapor tiene incidencia tanto en el desempeño de los vehículos automotores como en el ambiente. Primero, porque los motores a gasolina requieren que el combustible se evapore para quemarse, la gasolina debe alcanzar un valor mínimo de presión de vapor para asegurar que es lo suficientemente volátil para vaporizarse bajo condiciones de encendido frío.

Los motores también tienen un límite máximo de presión de vapor definido en función de evitar bloqueos en la línea de combustible. La mayor preocupación para la definición del valor máximo que debe tomar este parámetro es de carácter ambiental en lo referente a las emisiones evaporativas.

Esta característica debe ser regulada en función de la temperatura mínima a la cual se espera que opere el mercado vehicular. En este sentido, de acuerdo a la información presentada en la carta mundial de combustibles, recomienda para países con temperaturas típicas mínimas entre 5 y 15 °C, una presión de vapor máxima de 55 Kpa (8 psi). La regulación colombiana ya prevé un nivel de RVP de las gasolinas equivalente a los referentes internacionales.

Tabla 3. Niveles de Presión de Vapor recomendados por la carta mundial de combustibles a diferentes temperaturas

Class*	A	B	C	D	E
Ambient Temp. Range, °C	> 15	5 to 15	-5 to +5	-5 to -15	< -15
Vapour Pressure, kPa	45 - 60	55-70	65-80	75-90	85-105
T10, °C, max	65	60	55	50	45
T50, °C ¹	77-100	77-100	75-100	70-100	65-100
T90, °C	130-175	130-175	130-175	130-175	130-175
EP, °C max.	205	205	205	205	205
E70, % (V/V) ²	20-45	20-45	25-47	25-50	25-50
E100, % (V/V)	50-65	50-65	50-65	55-70	55-70
E150, % (V/V) min	75	75	75	75	75
E180, % (V/V) min	90	90	90	90	90
D.I., max	570	565	560	555	550

¹ For gasoline containing between 2.7% – 3.7% m/m oxygen, T50 should be between 65-100°C for all classes.

² For gasoline containing between 2.7%-3.7% m/m oxygen, E70 should be between 20 – 50% (V/V) for classes A and B and between 24 – 52% (V/V) for classes C, D and E.

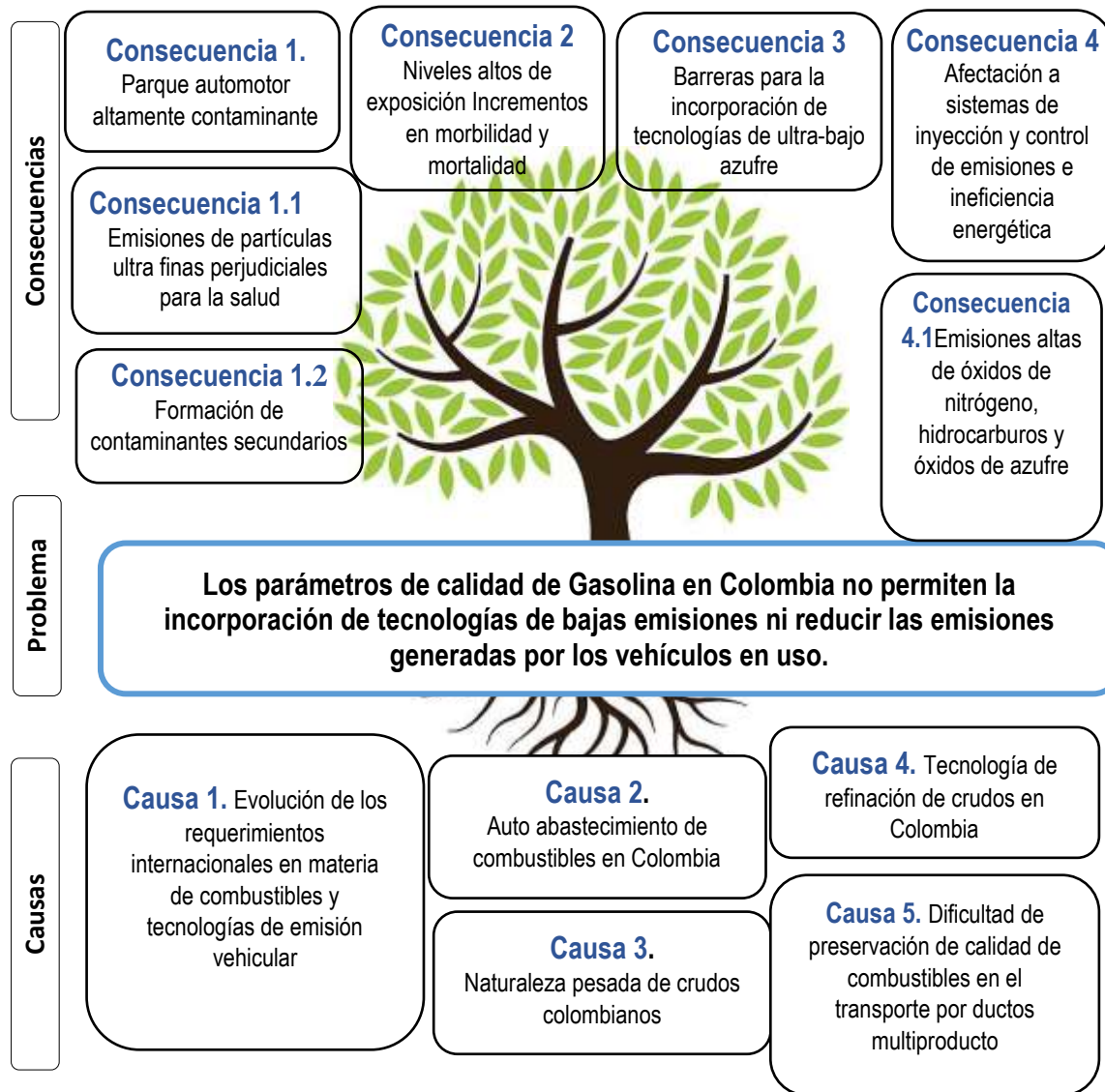
Fuente: (ACEA, 2019)

4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Dentro del desarrollo del análisis de impacto normativo, se encuentra la definición y descripción del problema al que dará respuesta la iniciativa regulatoria propuesta. En este sentido, se presentan a continuación las consideraciones bajo las cuales se realizó la definición del problema.

4.1. Árbol de Problemas

Figura 8. Árbol de Problema



4.2. Descripción del Problema

Los parámetros de calidad de gasolina con los que cuenta Colombia actualmente, no permiten la incorporación de vehículos con tecnologías de bajas emisiones ni reducir las emisiones generadas por los vehículos en uso. A continuación, se describen las causas y consecuencias de la problemática identificada.

Como se ha expuesto en el presente documento, la calidad de los combustibles disponibles definida como el conjunto de parámetros que caracterizan las condiciones físico-químicas y las capacidades operativas, determina el tipo de tecnología vehicular que es posible reglamentar en un país. Es decir, un país que no tenga disponibles gasolinas con características como: i) 10 ppm de azufre, ii) número de octano (RON) de 89, no podrá implementar tecnologías EURO 6 toda vez que los fabricantes de las mismas establecen como condición necesaria e indispensable para el óptimo funcionamiento y cumplimiento de estándares de emisión, el suministro de un combustible con las características mínimas mencionadas.

De esta manera, se entiende que mejorar la calidad del combustible es una condición indispensable para dar paso a la renovación tecnológica vehicular necesaria para mejorar la calidad del aire en Colombia.

Causas:

1. **Evolución de los requerimientos internacionales en materia de combustibles y tecnologías de emisión vehicular.** El mejoramiento de los parámetros de calidad de combustibles en el mundo, avanza de una manera acelerada en respuesta a los avances tecnológicos en materia de combustión y emisiones vehiculares, tendientes a la protección y cuidado de la salud pública.

En Colombia, la reglamentación de calidad de gasolina mediante Resolución 898 de 1995, modificada por el Artículo Primero de la Resolución 1180 de 2006, contempla un contenido de azufre de 300 ppm el cual es suficiente para incorporación de tecnologías de emisión hasta EURO 2, pero es insuficiente para la incorporación de tecnologías capaces de reducir hasta un 94% las emisiones contaminantes, tales como EURO 4 o EURO 6, para lo cual se requiere la reglamentación de un contenido de azufre de máximo 10 ppm.

2. **Auto abastecimiento de combustibles en Colombia.** Colombia es un país con reservas continentales de petróleo crudo y se encuentra en la capacidad de extraerlo y refinarlo, por lo cual es autosuficiente para abastecer la demanda de productos como combustibles fósiles para los diferentes sistemas de transporte, terrestre, fluvial y aéreo. En consecuencia, la calidad de los parámetros de combustibles que se logra al final del proceso de refinación está condicionada directamente por las características fisicoquímicas de las reservas de crudo disponibles y las cuales se presentaron de forma resumida en las Figura 4 y Figura 5; de otra manera, el país debería afrontar procesos de importación, asumiendo sobrecostos y desaprovechando las materias primas existentes en el territorio nacional.
3. **Naturaleza Pesada de Crudos Colombianos** Las reservas continentales de crudo disponibles en Colombia, son de naturaleza pesada tal como se expuso en el contexto general, lo cual implica mayor contenido de azufre, menor cantidad de material aprovechable para la generación de derivados tales como combustibles para uso vehicular y mayor dificultad para alcanzar niveles altos de calidad en parámetros de combustible tales como contenido de azufre, número de cetano y contenido de poliaromáticos (PAH). Así mismo, esta condición genera que los costos asociados a los procesos de refinación sean mucho más altos comparados con aquellos requeridos para refinar

crudos livianos (ver Figura 4); de esta manera, Colombia se sitúa dentro de los países con reservas de crudo más pesadas a nivel mundial.

- 4. Tecnología de refinación de crudos en Colombia** La reglamentación de calidad de combustibles vigente no contempla parámetros de calidad que se han viabilizado gracias a los avances tecnológicos desarrollados a nivel mundial para los procesos de refinación de petróleos crudos, los cuales permiten transformar las características químicas de los compuestos obtenidos durante la etapa de separación térmica (ver Figura 7).

Procesos como el hidrotreamiento e hidrocrqueo que han sido incorporados por Ecopetrol (2010 y 2016) dentro de los procesos de refinación, permiten en la actualidad controlar el nivel de propiedades tales como el contenido de aromáticos, octanaje, y permite mejorar el control del contenido de azufre en los distintos puntos del proceso de refinación.

Sin embargo, para alcanzar los niveles de ultra-bajo azufre que exigen las tecnologías vehiculares de bajas emisiones, se requiere de modificaciones significativas en la infraestructura física y de procesos de las refinarias, entre otros: cambios de catalizadores, incremento de severidad, límite de azufre en dieta de crudo, cambio en el fraccionamiento, inclusión de un nuevo reactor de hidrotreamiento de nafta (HNT), incremento de la severidad de HNT e incremento de H₂. Adicionalmente para alcanzar las 10 ppm en azufre y además garantizar los parámetros de RON y los niveles de aromáticos, se requiere de la implementación de una nueva planta de HNT, una nueva planta de H₂, una nueva planta de azufre, nuevas plantas de aminas, aguas agrias y una nueva planta de incremento de octano (ECOPETROL, 2019).

Pese a las mejoras ya alcanzadas en la calidad de los combustibles (diésel principalmente) por la implementación de proyecto de hidrotreamiento de diésel y gasolina en la refinaria de Barrancabermeja y modernización de la Refinería de Cartagena, subsisten dificultades relacionadas con el mantenimiento de los niveles de azufre en la cadena de distribución de los combustibles desde la refinaria hasta las estaciones de servicio, de la misma manera que la obsolescencia de la tecnología vehicular que no permite aprovechar la calidad del combustible producido (UPME, 2019).

- 5. Dificultad de preservación de calidad de combustibles en el transporte por ductos multiproducto** El transporte de productos refinados como la gasolina, el diésel, los diluyentes, y el turbo combustible para aviación se realiza en poliductos que inician en las refinarias y culminan en estaciones terminales ubicadas en los principales centros de consumo. Este transporte de combustibles se hace por parcelas o baches de producto bajo una secuencia determinada usando un buffer o producto separador, denominado cuña, para minimizar posibles afectaciones entre los combustibles transportados y marcar el cambio de productos similares. En la actualidad, CENIT usa como cuña, baches de queroseno hidro-tratado o hidro-craqueado (KHDT)-estos productos tienen contenidos máximos de 7 ppm de azufre.

Según las características físico-químicas de los productos a separar, el sistema de transporte específico y otros factores operativos, se define el volumen de cuña a utilizar con el fin minimizar

las afectaciones de calidad, una adecuada marcación del cambio de los productos y, el manejo operativo en las estaciones intermedias y finales de la red de poliductos, para realizar la entrega de combustibles dentro de parámetros regulados de calidad.

Este manejo operativo dado a los combustibles se puede definir como la administración de las mezclas naturales, que se generan al contacto de los baches de productos distintos al ser transportados, denominadas interfases y cuya neutralización genera cambios de las calidades de los productos recibidos en los puntos de entrada versus los entregados en los puntos de salida de la red de poliductos. Estas diferencias en las especificaciones de calidad son denominadas deltas de calidad y se hacen necesarias para viabilizar el transporte por ducto cuando se neutralizan las interfases generadas en los productos comercializables.

Para el año 2020, las especificaciones reglamentadas de máximo contenido de azufre de 100 ppm para la gasolina y 20 ppm para el Diésel, implicarán la implementación de procedimientos operativos diferentes con relación a la distribución y manejo de las interfases entre los productos ya que, su recuperación y la de producto no definido, generaría incumplimiento en las concentraciones máximas de azufre reglamentadas.

Es decir, es necesario modificar el manejo que se da a las interfases GMR-Nafta, GMR-GLP, B2E-Jet A-1 y al producto en tanques de relevo que actualmente se inyecta dosificado a los baches de gasolina y diésel. Cada uno de estos volúmenes de producto se convertirá en producto no conforme para el cual será necesario definir un manejo específico y un agente de la cadena que tendrá la responsabilidad de realizar dicho manejo. En la medida en que las metas propuestas por la senda se acerquen a los valores más retadores (período 2026 – 2030) se tendrá un mayor volumen de producto no conforme a lo largo de toda la red de poliductos.

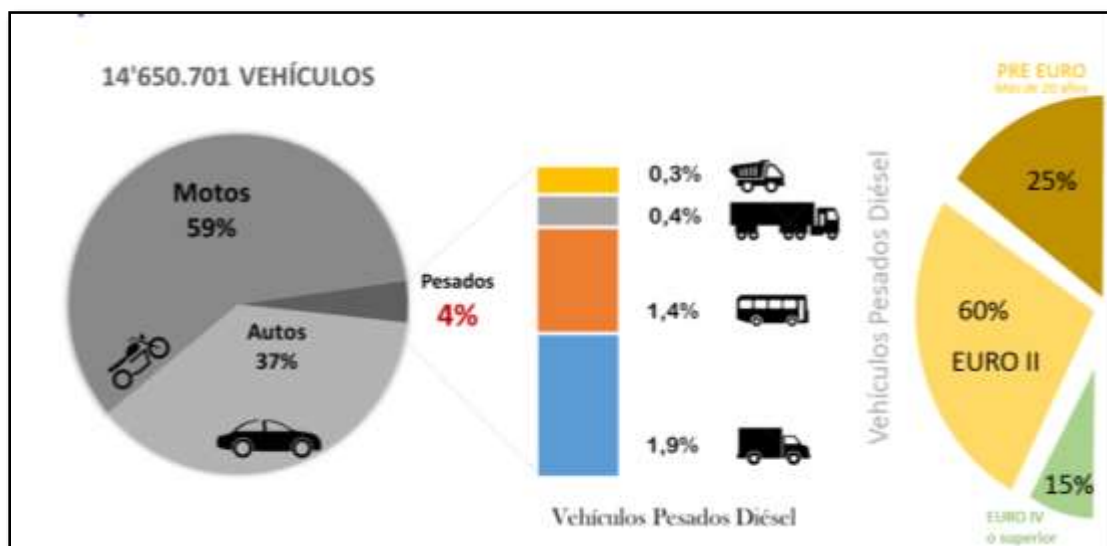
En este sentido, a partir del año 2020, con los límites establecidos de cumplimiento para contenido de azufre en el CONPES hasta 2030, se generará un volumen estimado entre 1,200 y 1,300 bpd de producto no conforme, distribuido a lo largo del país. Este volumen debe ser dispuesto por el agente que el regulador defina, ya que implica un costo para la cadena de suministro que debe remunerarse al agente que se defina como responsable. Dicho costo será función de los precios de los combustibles, la infraestructura requerida, la logística de disposición y del costo de oportunidad del producto no conforme.

Consecuencias:

- 1. Parque automotor altamente contaminante.** La composición del parque automotor colombiano en cuanto a su tecnología, se encuentra definido en función de la evolución de la reglamentación de la calidad del combustible, la cual entre los años 1995 a 2014 permitió el ingreso de tecnologías Pre-Euro y Euro 2 para el caso de los vehículos de encendido por chispa (gas natural y gasolina). Para el caso de las motocicletas, las cuales dominan la composición del parque automotor con un 59% de participación (ver Figura 9), la tecnología reglamentada

apenas satisface los estándares equivalentes a EURO 2. De esta manera, es urgente propiciar el ascenso tecnológico de este tipo de vehículos, los cuales empiezan a ser protagonistas como aportantes de material particulado en inventarios de emisiones de centros urbanos con alta densidad vehicular (AMVA 2017, SDA 2015).

Figura 9. Composición parque automotor colombiano



Fuente: Elaboración propia a partir de Runt 2019

- 1.1. **Emisiones de partículas ultra finas perjudiciales para la salud.** Por definición, son las partículas con diámetro aerodinámico inferior a $0.1 \mu\text{m}^1$. Los colombianos se encuentran expuestos a emisiones vehiculares provenientes de tecnologías vehiculares reglamentadas en 1998 en los países de origen (tecnologías EURO 2 y anteriores), las cuales no cuentan con sistemas de poscombustión y control de emisiones contaminantes que reduzcan de manera significativa los niveles de material particulado generados durante los procesos de combustión, que a su vez son incompletos y defectuosos a causa del deterioro por uso y condiciones de mantenimiento deficientes.

Para el caso de los vehículos de encendido por chispa específicamente aquellos a gasolina que poseen sistema de inyección directa (GDI) por sus siglas en inglés *Gasoline Direct Injection*, la generación de partículas ultrafinas es comparable con el equivalente de partículas ultrafinas generadas a partir de la combustión diésel (P. Comte, 2017). De esta comparación, el mismo autor registra que, se observan resultados notables que sugieren que las emisiones de

¹ Las redes de monitoreo de calidad de aire no están en capacidad de medir este tamaño de partícula, ya que miden PM 2.5.

partículas, entre 23 y 400 nm, generadas por los vehículos GDI, superan aquellas generadas por vehículos diésel que integran filtros de partículas (DPF). Sin embargo, las tecnologías vehiculares a gasolina también tienen la opción de incorporar filtros de partículas en sus sistemas de postcombustión, tecnología GPF.

1.2. Formación de Contaminantes Secundarios. Además de las emisiones de material particulado provenientes de la combustión de los automotores, se generan y acumulan principalmente en las vías y áreas circundantes, materiales de arrastre y desprendimiento de llantas y frenos que, sumados a las partículas totales suspendidas de origen natural y antrópico presentes en la atmósfera y que son arrastradas por celdas conectivas de mezcla de aires con gradientes de temperatura, se condensan en la cercanía de la superficie del suelo favoreciendo la formación de material re-suspendido. Adicionalmente, producto de la interacción de los gases de escape con las condiciones eólicas a determinadas temperaturas, se generan mezclas de compuestos químicos en la atmósfera que dan lugar a la formación de contaminantes secundarios, los cuales tienen efectos relativos y episódicos en la calidad del aire, que pueden tener afectaciones graves en salud (ozono troposférico, peroxi-acetil-nitrato, contaminantes climáticos de vida corta CCVC, entre otros).

2. **Niveles altos de exposición - Incrementos en morbilidad y mortalidad.** Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, los altos niveles de exposición a la contaminación atmosférica generan costos de atención en salud que ascienden a 12,2 billones de pesos anuales en Colombia (DNP, 2018), relacionados con el tratamiento de las enfermedades y defunciones asociadas al deterioro de la calidad del aire.
3. **Barreras comerciales para tecnologías de ultra-bajo azufre.** Los fabricantes, importadores y comercializadores de vehículos con tecnologías de bajas emisiones, no pueden acceder al mercado colombiano ya que no se cuenta con las condiciones de calidad de combustible que viabilice la incorporación y correcta operación de este tipo de tecnologías. El contenido de azufre y parámetro de número de octano – entre otros- reglamentados en la actualidad no viabilizan la implementación de tecnologías de bajas emisiones, por ej. Euro 6.
4. **Afectación a sistemas de inyección y control de emisiones.** Tal como se presentó en la Tabla 2, el azufre de los combustibles para vehículos automotores ocasiona la emisión de compuestos indeseables e interfiere con los sistemas de control de emisiones que están destinados a regular las emisiones contaminantes tales como, los compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y material particulado. En este sentido, se entiende que la reducción del contenido de azufre del combustible, es una condición necesaria para garantizar el óptimo funcionamiento de los sistemas de control de emisiones diseñados por los fabricantes de vehículos a nivel mundial y los cuales garantizan reducciones en la emisión de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y óxidos de azufre.
 - 4.1. **Emisiones altas de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y óxidos de azufre.** Las emisiones de estos contaminantes en el parque automotor en uso, son mayores respecto de las emisiones que se tendrían en un escenario con gasolina con menor contenido de azufre, según se ilustra en la Figura 16 y Figura 17 del presente documento.

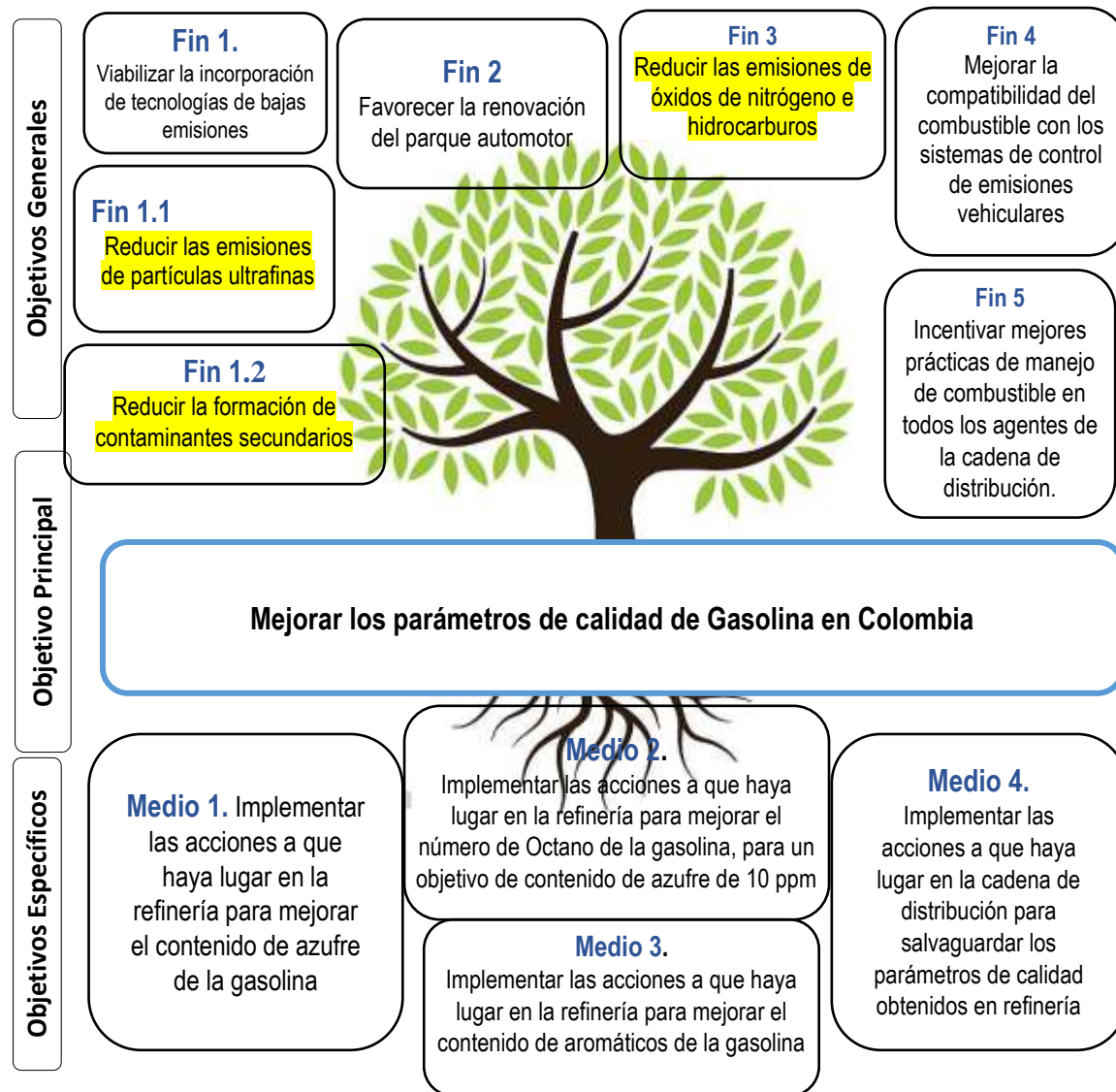
Conclusión

Se ha identificado la necesidad de implementar acciones que permitan acceder a combustibles con la calidad suficiente para viabilizar la incorporación de tecnologías vehiculares diseñadas para reducir las emisiones contaminantes generadas de los procesos de combustión, así como para impulsar el mejoramiento de la eficiencia energética y economía de combustibles. De esta manera, se podrá superar algunas de las barreras existentes en aras del mejoramiento de la calidad del aire, en lo que respecta a las emisiones generadas por las fuentes móviles terrestres en Colombia.

5. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

5.1. Árbol de Objetivos

Figura 10.Árbol de Problema



5.2. Descripción de objetivos

En concordancia con la información presentada en el árbol de objetivos a continuación se describen los fines y los medios para la obtención de los mismos.

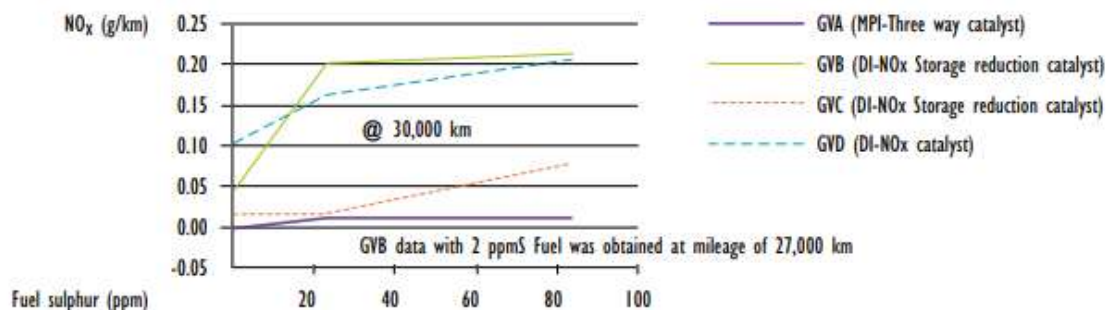
Objetivo Principal: Mejorar los parámetros de calidad gasolina en Colombia.

De conformidad con las metas establecidas en la Ley 1522 de 2019 por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia Pacto por la Equidad, Colombia debe avanzar en el mejoramiento de los parámetros de calidad de combustibles para garantizar el derecho de los ciudadanos a gozar de un ambiente sano. Con base en la problemática expuesta en el presente documento, se entiende que el mejoramiento de la calidad del combustible es una condición necesaria, aunque insuficiente, para avanzar en el mejoramiento de la calidad del aire, atendiendo a las necesidades identificadas para el sector constituido por las fuentes móviles terrestres. En este sentido, mejorar la calidad de la gasolina permitirá avanzar en la consecución de los fines específicos que se listan a continuación.

Fines:

1. **Viabilizar la incorporación de tecnologías vehiculares de bajas emisiones:** Mediante el mejoramiento de los parámetros de calidad del combustible diésel, hasta los niveles requeridos para la incorporación de tecnologías tales como Euro 6 se habilita el ingreso al país de las tecnologías vehiculares más avanzadas disponibles en el mercado internacional.
 - 1.1 **Reducir las emisiones de partículas ultrafinas:** La reducción del contenido de azufre del combustible tiene una incidencia directa en la reducción de los niveles de contaminantes y partículas finas tal como se expuso en el desarrollo del presente documento, el ascenso tecnológico propuesto por las tecnologías de emisión EURO 6 requiere de la disponibilidad de gasolina con contenidos de azufre de máximo 10 ppm. Para ello, es necesario integrar tecnologías y procesos adicionales en la industria de refinación nacional, lo cual requieren de importantes esfuerzos económicos, así como tiempos de implementación y ajuste de mediano plazo. Las alternativas de implementación derivadas serán estudiadas en el capítulo de análisis de alternativas del presente análisis de impacto normativo. Para ello, es necesario integrar tecnologías y procesos adicionales a la refinería nacional, al igual que en la logística de transporte y distribución de combustibles, las cuales requieren de importantes esfuerzos económicos y de plazos medianos de implementación y ajuste.
 - 1.2 **Reducir la formación de contaminantes secundarios:** Tal como se ilustró en la Tabla 2 del presente documento, de la disminución del contenido de azufre de la gasolina se derivan mejoras en las emisiones de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos -entre otros contaminantes- de la mano de una mejora en la eficiencia de los sistemas de control de emisiones, según se ilustra en la Figura 11. De esta manera se reducen las potenciales emisiones de precursores de contaminantes secundarios lo cuales se forman en la atmósfera, a partir de reacciones químicas de los distintos compuestos presentes en los gases de escape, durante el proceso de combustión.
2. **Favorecer la renovación del parque automotor:** La habilitación de la comercialización de nuevas tecnologías y en especial de aquellas de ultra bajas emisiones, favorecerá en el mediano-largo plazo la renovación del parque automotor orientando el uso de tecnologías más limpias. Para ello, el mejoramiento de la calidad de la gasolina es una condición indispensable.
3. **Reducir los niveles de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno generados durante la combustión vehicular:** Tal como se ilustró en la Tabla 2 del presente documento, estudios internacionales comprueban la reducción en las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno generada por el uso de gasolinas con bajos contenidos de azufre en comparación con gasolinas de alto contenido de azufre.
4. **Mejorar la compatibilidad del combustible con los sistemas de control de emisiones vehiculares.** Cuanto menor es el contenido de azufre, mejor es el desempeño y la eficiencia de los dispositivos de control de emisiones contaminantes. Esta situación se ilustra en la siguiente gráfica, para el caso de los óxidos de nitrógeno.

Figura 11. Desempeño de los sistemas de control de NOx vs contenido de azufre de las gasolinas



Fuente: (ACEA, 2019)

5. **Incentivar mejores prácticas de manejo de combustible en todos los agentes de la cadena de distribución.** De la reducción del contenido de azufre para el caso de la gasolina, se derivan retos importantes en lo referente al manejo que debe hacerse del combustible en todos los puntos de distribución y consumo. Cuanto menor es el contenido de azufre, más sensible se hace el combustible a perturbaciones tales como la humedad y los agentes orgánicos. En este sentido, el Gobierno Nacional debe avanzar en la implementación del programa de calidad en toda la cadena de distribución de combustibles líquidos que permitan concientizar a la ciudadanía en general acerca de las mejores prácticas para conservar las características de calidad de las gasolinas con ultra bajo contenido de azufre.

Medios:

Los medios propuestos para alcanzar los objetivos propuestos, se definen en acciones generales a continuación

1. Se adelantará un plan de trabajo ordenado programado y sistemático, considerando las fortalezas y limitaciones de la industria de refinación nacional.
2. Implementación de tecnologías y procesos requeridos en las refinerías para reducir el contenido de azufre en la gasolina colombiana en el plazo requerido para garantizar la sostenibilidad del proceso.
3. Implementación de tecnologías y procesos requeridos en la refinería para mejorar los parámetros de Octanaje RON y MON en el plazo requerido para garantizar la sostenibilidad del proceso.
4. Implementación de tecnologías y procesos requeridos en la refinería para garantizar el cumplimiento de los estándares de emisión de compuestos aromáticos recomendados en la carta mundial de combustibles.
5. Implementación de medidas de mitigación de afectación de la calidad de los combustibles en los ductos multiproducto que garanticen logísticas costo-efectivas para la satisfacción de la demanda nacional.

Lo anterior, teniendo en cuenta que el proceso de refinería es altamente complejo y las modificaciones estructurales necesarias para lograr las metas establecidas, toman tiempos que superan el corto plazo. Así mismo se requiere de inversiones progresivas y significativas en tecnología de punta, a fin

de garantizar los requisitos de aseguramiento de calidad y la continuidad en la prestación del servicio, sin poner en riesgo el abastecimiento de la demanda nacional.

6. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

A través de la articulación de los Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Minas y Energía, en aras de dar cumplimiento de lo previsto en el Artículo 2.2.5.1.4.5 del Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015, en lo concerniente al establecimiento de las especificaciones de calidad, en materia ambiental y técnica respectivamente, de los combustibles que se han de importar, producir, distribuir y consumir en todo el territorio nacional; a continuación se describen las alternativas regulatorias disponibles, para dar respuesta a la problemática desarrollada.

6.1. Identificación de Alternativas

De manera conjunta entre las carteras descritas, se identificó un conjunto de medios a través de los cuales se logrará el cumplimiento de los objetivos planteados y de esta manera se derivaron las alternativas aplicables para la resolución del problema. A partir de ello, en primer lugar, se consideran las disposiciones regulatorias establecidas por el Gobierno Nacional en materia de calidad de combustibles y en segundo lugar se establecen las condiciones bajo las cuales es posible alcanzar el cumplimiento de dichas disposiciones.

De esta manera, en concordancia con lo previsto en el Plan Nacional de Desarrollo, adoptado por el Gobierno Nacional mediante Ley 1955/2019:

“El Gobierno, en cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), aprobó el CONPES 3943 de 2018 de mejoramiento de la calidad del aire, en el que se plantean acciones enfocadas en el aseguramiento de la cadena y la calidad de los combustibles hasta alcanzar niveles Euro VI en diésel y Euro 6 en gasolina. Actualmente, a escala nacional se distribuyen combustibles diésel Euro IV (con máximo 50 ppm de azufre) y gasolina Euro 2 (con máximo 300 ppm de azufre).” (DNP, 2019)

La alternativa regulatoria está dada por mandato nacional y es regular calidad de parámetros de gasolina equivalentes con estándares Euro 6. Sobre el particular, en la carta mundial de combustibles (*World Fuel Charter* 6ta Ed, - 2019) se sugiere lo siguiente:

Figura 12. *World Fuel Charter Euro 6 - Recomendación*

PROPERTIES	UNITS	LIMITS	
		MIN	MAX
91 RON ¹	Research Octane Number	91.0	
	Motor Octane Number	82.5	
95 RON ¹	Research Octane Number	95.0	
	Motor Octane Number	85.0	
98 RON ¹	Research Octane Number	98.0	
	Motor Octane Number	88.0	
Oxidation stability	minutes	480	
Sulphur ²	mg/kg		10
Trace metal ³	mg/kg	No intentional addition	
Chlorine	mg/kg	No intentional addition	
Organic contaminants ⁴		No intentional addition	
Oxygen ⁵	% m/m		2.7 ⁶
Olefins	% v/v		10.0
Aromatics	% v/v		35.0
Benzene	% v/v		1.0
Volatility		See Tables, page 10-11	
Sediment (total particulate)	mg/l		1
Unwashed gums ⁷	mg/100 ml		30
Washed gums	mg/100 ml		5
Density	kg/m ³	715	770
Copper corrosion	rating		Class 1
Silver corrosion	rating		Class 1

Fuente: (ACEA, AUTOALLIANZ, EMA, JAMA, 2019)

La Figura 12 informa que, para alcanzar un estándar Euro 6 en gasolina, se requiere -en lo referente a los parámetros de interés ambiental ilustrados en el presente documento- como mínimo, contenido de 10 ppm de azufre, 91² RON (Research Octane Number) y 35% en contenido de aromáticos. En este sentido, los parámetros de calidad necesarios satisfacer la necesidad regulatoria están dados. El presente análisis de alternativas, se centra en la manera de alcanzar dichos parámetros de calidad, teniendo en cuenta el acceso a tecnología, disponibilidad de procedimientos de implementación a nivel mundial y la capacidad del ente refinador, para el caso colombiano, Ecopetrol; en este sentido, se plantean las siguientes alternativas regulatorias.

Alternativa 1: No regular – Esta alternativa considera el escenario en el que se mantiene el *status quo* y se evalúa en concordancia con las disposiciones establecidas por el Departamento Nacional de Planeación para la consideración de alternativas regulatorias en el marco de un análisis de impacto normativo.

Alternativa 2: Regular una mejora inmediata de los parámetros de calidad de gasolina: contenido de azufre (%AZUFRE), número de octano (#RON) y contenido de aromáticos, para alcanzar estándares equivalentes EURO 6.

² Es el ideal sugerido en la carta mundial de combustibles, sin embargo, el parámetro puede tener valores menores. La propuesta normativa contempla un valor de 89 para el momento en el que se logra disminuir el contenido de azufre a 10 ppm, de acuerdo con los resultados de las mesas de trabajo y proyecciones realizadas por Ecopetrol S.A.

Alternativa 3: Regular una mejora progresiva de los parámetros de calidad de gasolina: contenido de azufre (%AZUFRE), número de octano (#RON) y contenido de aromáticos, para alcanzar estándares equivalentes EURO 6.

Al encontrarse un número finito de alternativas aplicables, se considera que para el presente análisis se requiere de la aplicación de un método discreto de evaluación de alternativas, para el proceso de toma de decisión.

7. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para evaluar las alternativas propuestas se aplica un análisis multi-criterio, teniendo en cuenta que los impactos económicos previstos de la implementación de mejoras en las refinarias nacionales son significativos y que los beneficios ambientales y en salud obtenidos de la implementación de la mejora de la calidad de la gasolina, son identificados desde varias aproximaciones. A continuación, se listan los criterios considerados para la evaluación de las alternativas propuestas.

7.1. Identificación de criterios de evaluación

C1. Viabilidad Tecnológica de Implementación: Dado que la mejora de la calidad de los parámetros de calidad de la gasolina, depende directamente de la capacidad tecnológica implementada en el proceso de refinería, se hace necesario considerar, con base en el *status quo*, cuáles son los aspectos que se hace necesario modificar/reemplazar o incluir en la red de valor de la refinería.

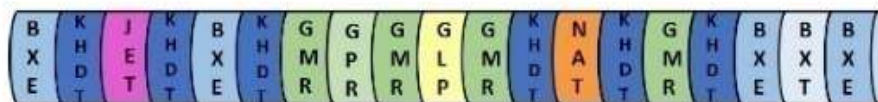
C2. Beneficios Ambientales de Implementación: Es conocido que la reducción del contenido de azufre en los combustibles fósiles, tiene una incidencia directa en la reducción de emisiones contaminantes en los procesos de combustión vehicular. En lo referente a la gasolina, se estima que la reducción del contenido de azufre, para alcanzar un máximo de 10 ppm, genera reducciones en hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, según se presentó en la Tabla 2 del presente documento.

C3. Costos asociados a la implementación: Los costos considerados para la presente evaluación normativa, corresponden a la inversión en tecnología que se requiere en las refineries del país, para lograr establecer el proceso productivo que garantice el cumplimiento de los parámetros de la gasolina producida, con los estándares EURO 6.

C4. Capacidad de transporte por poliductos, conservando parámetros sensibles de calidad: Los parámetros de calidad de los combustibles entregados en malla de refinería, son sometidos a las condiciones físicas y operacionales de las redes de distribución mediante poliductos en el territorio nacional y posteriormente a la custodia de los agentes de la cadena de distribución, hasta llegar al consumidor final en las estaciones de servicio. En ocasiones las condiciones de operación en los poliductos, desfavorecen la conservación de parámetros sensibles de calidad de los combustibles, entre otros factores, debido a que se comparte una única línea de distribución para los distintos tipos de combustibles, a saber, diésel, gasolina y jet fuel, entre otros. La secuenciación de combustibles a través del poliducto se conoce como *bacheo*, la

cual, como se mencionó previamente se realiza utilizando una sustancia *buffer* o separadora, cuya función es minimizar posibles afectaciones entre los combustibles transportados. Esta secuenciación se ilustra en la siguiente figura:

Figura 13. Secuenciación (bacheo) de combustibles para transporte en poliducto



Siglas: NF: Nafta, GMR: Gasolina Motor Regular, GPR: Gasolina Extra, BXE: Mezcla Diésel-biodiésel al X% en volumen, JET: turbo combustible Jet A-1. KHDT: Queroseno hidro-tratado o hidro-craqueado (Buffer).

Fuente: Cenit – Transporte y Logística de Hidrocarburos S.A.

En este sentido, se hace necesario considerar el estado de la red de distribución de combustibles en el territorio nacional, a fin de garantizar que el esfuerzo realizado en refinería para el mejoramiento de los parámetros de calidad de los combustibles, no se ve reducido a causa de la naturaleza del procedimiento de transporte al interior de la cadena de distribución.

7.2. Identificación y revisión de información disponible

A fin de identificar la calidad y la cantidad de información disponible para cada uno de los criterios de evaluación listados anteriormente, a continuación, se describe, para cada uno de ellos, la información con la que se cuenta para el momento de la elaboración del presente documento.

C1. Viabilidad Tecnológica de Implementación: Se cuenta con información primaria, suministrada por Ecopetrol S.A., en lo referente a los procesos que deben ser modificados/reemplazados/incluidos en las refinerías del país, a fin de satisfacer las necesidades planteadas por la presente iniciativa regulatoria. A continuación, se ilustra mediante una línea de tiempo, el resumen de actividades que deben ser implementadas en las refinerías, con los respectivos plazos.

Figura 14. Cronograma de mejoramiento de procesos en refinería - Calidad de Gasolina



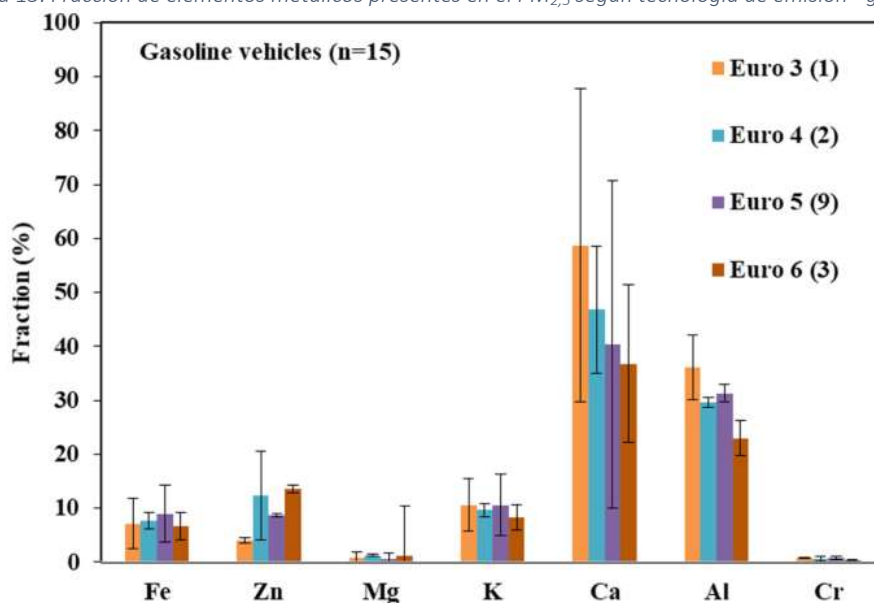
Fuente: Elaboración propia a partir de información suministrada por Ecopetrol S.A.

C2. Beneficios Ambientales de Implementación: Es conocido que la reducción del contenido de azufre en los combustibles fósiles, tiene una incidencia directa en la reducción de emisiones contaminantes en los procesos de combustión vehicular. En lo referente a la gasolina, se estima que la reducción del contenido de azufre, para alcanzar un máximo de 10 ppm, genera reducciones en hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno no de manera directa, sino como un efecto de la implementación de sistemas de control de emisiones más eficientes en las tecnologías vehiculares; esta información se ilustró en la Tabla 2 del presente documento, según informa la carta mundial de combustibles, en su versión publicada en 2019.

Toda vez que en la actualidad no se cuenta con una estimación de los costos de atención en salud, asociados directamente a los efectos de los hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono, no se dispone de información completa para establecer una relación costo-beneficio, derivada de la implementación del mejoramiento de calidad de gasolina. En este sentido, a continuación, se lista una revisión del estado del arte, que ilustra acerca de determinaciones fácticas de reducciones obtenidas en los contaminantes mencionados, así como en elementos metálicos presentes en la fracción PM_{2,5}, al implementar reducciones en el contenido de azufre de la gasolina.

- a. Concentración de metales en el material particulado $PM_{2.5}$. La siguiente figura ilustra, a propósito de la fracción de elementos metálicos encontrados en el proceso de caracterización del material particulado $PM_{2.5}$ para cada una de las tecnologías vehiculares evaluadas. Se observa una tendencia en la disminución de los elementos analizados, en función del ascenso tecnológico vehicular, viabilizado mediante los parámetros de calidad de la gasolina.

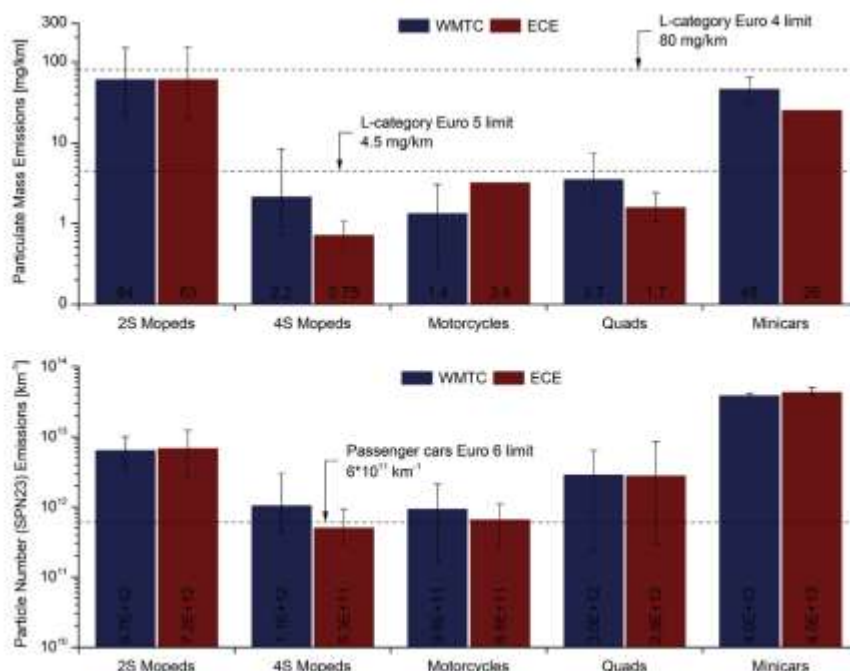
Figura 15. Fracción de elementos metálicos presentes en el $PM_{2.5}$ según tecnología de emisión - gasolina



Fuente: (Yuan-Chung Lin et al., 2020)

- b. Concentración y masa de partículas en motocicletas, motocicletas, mopeds, cuatrimotos y autos. En línea con lo anterior, la siguiente figura ilustra acerca de los efectos de reducción de la masa y número de partículas en los vehículos livianos tipo motocicleta, motociclo, mototriciclo, cuatrimoto y moped, en función de la tecnología de emisión en términos de estándares EURO.

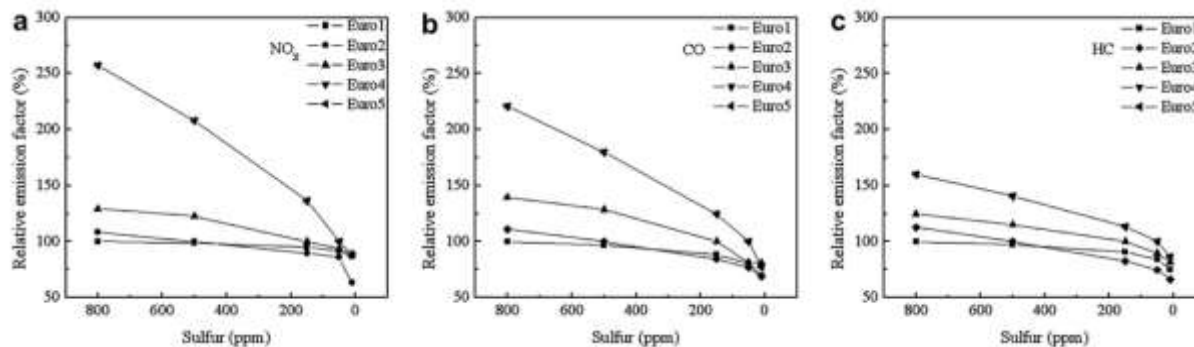
Figura 16. Emisiones en masa de partículas en vehículos livianos tipo moto, según tecnología - gasolina



Fuente: (A. Kontses et al., 2020)

- c. Concentración de contaminantes criterio en relación con el contenido de azufre en gasolina. Finalmente, la siguiente figura ilustra acerca de las reducciones de óxidos de nitrógeno NO_x, monóxido de carbono CO e hidrocarburos HC, a partir de la reducción del contenido de azufre en vehículos con motor de encendido por chispa que operan con gasolina.

Figura 17. Reducción de contaminantes según tecnología, en función del contenido de azufre – vehículos a gasolina



Fuente: (Huan Liu et al., 2008)

C3. Costos Asociados a la implementación: Los costos considerados para la presente evaluación normativa, corresponden a la inversión en ascenso tecnológico y procedimental requerido en las refinерías del país, para lograr establecer el proceso productivo que garantice el cumplimiento de los parámetros de la

gasolina producida, con los estándares EURO 6, para 2030. De acuerdo con los costos estimados por Ecopetrol, para el mejoramiento de la capacidad instalada en las refinerías, con objeto del mejoramiento de los parámetros de calidad de diésel y gasolina, se requiere de inversiones que superan los 1.200. MUSD³. Para el presente análisis se asume una fracción de la inversión total, la cual se atribuye específicamente al mejoramiento de la calidad de la gasolina, en un aproximado de 860 MUSD⁴

C4. Capacidad de transporte por poliductos, conservando parámetros sensibles de calidad.

Se cuenta con información primaria, proveniente de CENIT⁵, como agente distribuidor, es el competente para emitir conceptos en relación con las características de la red de transporte que se verán afectadas con la implementación de una modificación de los parámetros de calidad de los combustibles en el país. Según concluye (CENIT, 2019), a propósito de las implicaciones derivadas del mejoramiento de la calidad de los parámetros físico-químicos de la gasolina en Colombia:

En este sentido, asegurar el cumplimiento de los objetivos anteriormente expuestos, particularmente, de reducción de contenido de azufre en el horizonte 2020 – 2030, tiene implicaciones en términos de cambios en el modelo operativo que se tiene implementado en la red de transporte, cambios en el criterio de corte de baches de producto, ajustes en la infraestructura y la generación de producto no conforme como resultado de un contenido de azufre por fuera de la especificación objetivo.

De lo anterior, se observa que, la generación de producto no conforme en los puntos de corte del bacheo para transporte multi-producto en el poliducto, generará costos adicionales para el proceso de transporte, los cuales se encuentran en estudio.

7.3. Justificación de la metodología utilizada

Como se mencionó previamente, al no disponer de información relacionada con los costos de atención en salud derivados de los contaminantes, tales como HC, CO y NOX, derivados del proceso de combustión vehicular, no se cuenta con la información mínima requerida para establecer una relación costo-beneficio de manera directa. Sin embargo, se cuenta con información de múltiples criterios, tanto cualitativos como cuantitativos, que permiten establecer insumos de calidad para seleccionar un método de evaluación de alternativas multicriteriales. En la materia, uno de los instrumentos económicos para la gestión ambiental propuestos a nivel mundial, es el Análisis Multicriterial [AMC]; según expone Falconi, referente internacional en valoración ambiental multicriterio:

Para posibilitar un estudio integral –económico, social, ambiental– es necesario disponer de las herramientas de gestión ambiental adecuadas. El análisis multicriterio busca integrar las diferentes dimensiones de una realidad en un solo marco de análisis para dar una visión integral y de esta manera tener un mejor acercamiento a la realidad. En principio, el análisis multicriterio es una herramienta adecuada para tomar decisiones que incluyen conflictos sociales, económicos y

³ Millones de Dólares

⁴ Esta cifra corresponde a estimados preliminares, los cuales son susceptibles de actualización, por lo cual no tienen un carácter vinculante.

⁵ Empresa de transporte de hidrocarburos, oleoductos, poliductos y gasoductos

objetivos de conservación del medio ambiente, y además cuando confluyen una pluralidad de escalas de medición (físicas, monetarias, cualitativas, etc.). (Falconi, 2003)

En armonía con lo anterior, se seleccionó una metodología de análisis multicriterio para evaluar cada una de las alternativas planteadas en el presente documento.

7.4. Evaluación de las alternativas

A partir de la información disponible revisada en el capítulo anterior del presente documento y atendiendo las sugerencias consolidadas en la metodología de evaluación AMC ilustrada por Falconi, quien a su vez cita a (Munda, 1995), se siguieron los pasos resumidos a continuación:

1. *Definición y estructuración del problema a investigar.*
2. *Definición de un conjunto de criterios de evaluación.*
3. *Elección entre métodos discretos o continuos: si se conocen el número de alternativas y criterios, se utiliza un método discreto; si éstas son infinitas, se utiliza uno continuo.*
4. *Identificación de las preferencias del decisor: se tienen que respetar las preferencias subjetivas de las personas que intervienen en el proceso de decisión.*
5. *Elección del procedimiento de agregación de los criterios. Respecto a este último punto, hay diferentes procedimientos para la agregación de los criterios: i. **Programación lineal multi-objetivo:** al haber más de un objetivo no se puede optimizar todos a la vez, por lo que se trata de encontrar la solución más satisfactoria según las preferencias subjetivas del decisor. ii. **Punto Ideal:** Un punto ideal es una alternativa hipotética que es la mejor en todos los criterios; se observa cuan lejos se está del punto ideal y se elige la alternativa más cercana. iii. **Utilidad Multi-atributo (MAUT):** con algún procedimiento se agregan los criterios y se lo que se convierte en mono-objetivo; la función de agregación establece implícitamente compensaciones entre los criterios. iv. **Métodos de superación (Outranking):** se definen las relaciones de: preferencia, indiferencia e incomparabilidad; no hay compensación entre los criterios. Pueden definirse umbrales de indiferencia y vetos en los criterios. v. **Proceso analítico jerárquico:** se realizan las comparaciones según una estructura jerárquica de acuerdo a la importancia de los criterios. (Falconi, 2003)*

De lo anterior, el primer y segundo punto han sido desarrollados y consolidados en la *Figura 8. Árbol de Problema* y numeral 7.1 *Identificación de criterios de evaluación* (p. 28) del presente documento, respectivamente; en cuanto al tercer punto, en razón del número limitado de alternativas contempladas para el presente análisis de impacto normativo, se define que el método de selección requerido es de carácter discreto. Para avanzar en la aplicación de la metodología propuesta, es necesario proceder con los pasos 4 y 5 del listado anterior, para lo cual, en primer lugar, una vez concluida la exposición de criterios y alternativas de evaluación, se procede a establecer el peso ponderado (o intensidad) de cada uno de los criterios evaluados (jerarquización), bajo el entendido de que algunos de ellos inciden directamente en la inviabilidad de implementación de las alternativas, mientras que otros criterios, condicionan parcialmente algunos aspectos de su implementación. Esta ponderación se ilustra en la siguiente matriz.

Tabla 4. Ponderación de Criterios

Criterio	Objetivo del Criterio	Peso /Intensidad	Observaciones
C1. Viabilidad tecnológica y legal de implementación	Maximizar	5	Se otorga la máxima puntuación ya que de este criterio depende la posibilidad de materializar la implementación de la alternativa
C2. Beneficios Ambientales	Maximizar	5	Se otorga la máxima puntuación ya que el objetivo principal de la iniciativa regulatoria es maximizar los beneficios ambientales de la modificación de los parámetros de calidad de la gasolina
C3. Costos de Implementación	Minimizar	4	Se otorga 4 puntos debido a la incidencia de los costos en la viabilidad de la implementación de las alternativas, en función del corto, mediano y largo plazo.
C4. Capacidad de respuesta en logística de distribución	Maximizar	3	Se otorga una puntuación media debido a que este criterio es adaptable a la alternativa seleccionada, con implicaciones en costos de transporte para conservar los parámetros de calidad de la gasolina.

De la tabla anterior, se observa que, se asigna una intensidad mayor a los criterios que favorecen en mayor medida la implementación de las alternativas de mejoramiento de calidad de la gasolina en Colombia y con ello, maximizan las posibilidades de mejoramiento de la calidad del aire en el territorio nacional.

Con base en lo anteriormente descrito, se da paso a la construcción de la matriz de decisión, en la que se valora, para las distintas alternativas, cada uno de los criterios de evaluación definidos. Para este proceso se definió una escala de puntuación de 1 a 5, en la que 1 representa una relación mínima entre el criterio y la alternativa y 5 representa la relación máxima entre el criterio y la alternativa.

Tabla 5. Matriz de evaluación de alternativas y criterios

ALTERNATIVA	C1	C2	C3	C4
Alternativa 1: No regular – mantiene el <i>status quo</i> .	1 Viabilidad de implementación mínima, va en contra de las disposiciones de Ley (L. 1955/2019 y L.1972/2019)	1 Los beneficios ambientales son mínimos o inexistentes en esta alternativa	1 El costo de implementación es el mínimo posible.	5 La capacidad de respuesta en logística de transporte ante esta alternativa es la mejor, dado que no se necesita modificación frente al <i>status quo</i>
Alternativa 2: Regular una mejora inmediata de los parámetros de calidad de gasolina: contenido de azufre (%AZUFRE), número de octano (#RON) y contenido de aromáticos, para alcanzar estándares equivalentes EURO 6.	1 Viabilidad de implementación mínima, dado que, en el mercado no se dispone de ofertas de implementación tecnológica inmediata para las refinerías del país, sin detener la producción nacional.	5 Los beneficios ambientales son los máximos disponibles, según se ilustró en el presente documento.	5 El costo de implementación es el máximo, incluyendo importaciones de producto para abastecimiento de demanda nacional, además de ajustes en refinería	1 La capacidad de respuesta en logística de transporte en el plazo inmediato es mínima, con implicaciones es costos por producto no conforme.

<p>Alternativa 3: Regular una mejora progresiva de los parámetros de calidad de gasolina: contenido de azufre (%AZUFRE), número de octano (#RON) y contenido de aromáticos, para alcanzar estándares equivalentes EURO 6.</p>	<p>5</p> <p>La viabilidad de implementación de esta alternativa, es la máxima disponible.</p>	<p>4</p> <p>Los beneficios ambientales son los máximos, pero no se alcanzan en el corto plazo</p>	<p>3</p> <p>El costo estimado de implementación tecnológica es alto ~860MUSD</p>	<p>4</p> <p>La capacidad de respuesta en logística de transporte en el mediano y largo plazo es buena, con implicaciones en costos por producto no conforme.</p>
--	--	--	---	---

Finalmente, se da paso a la ejecución del quinto paso establecido en la metodología de evaluación AMC aplicada, el cual consiste en la selección de un método de agregación de los criterios planteados y ponderados anteriormente. Para ello, se seleccionó el proceso analítico jerárquico revisado por (Falconi, 2003), el cual implica la aplicación de una suma ponderada de la matriz de decisión ilustrada anteriormente. Este procedimiento permite establecer cual es la alternativa que presenta mayor puntaje, tomando en cuenta las calificaciones asignadas en la matriz de decisión y los pesos ponderados definidos previamente para cada uno de los criterios contemplados en la evaluación. A continuación, se resume el planteamiento y procedimiento de resolución de la matriz.

Tabla 6. Matriz de decisión calificada

Alternativas A _j	C1	C2	C3	C4
A1	1	1	1	5
A2	1	5	5	1
A3	5	4	3	4

Tabla 7. Ponderación de criterios de evaluación

VECTOR DE PONDERACIÓN DE CRITERIOS C _i				
Criterios	C1	C2	C3	C4
Peso ponderado	5	5	4	3

Tabla 8. Cálculo matricial de proporciones para suma ponderada

Alternativas A _j	C1	C2	C3	C4
A1	0,14	0,10	0,65	0,50
A2	0,14	0,50	0,13	0,10
A3	0,71	0,40	0,22	0,40

Tabla 9. Cálculo de proporciones de vector de pesos ponderados

VECTOR DE PROPORCIÓN DE PONDERACIÓN DE CRITERIOS C _i				
Criterios	C1	C2	C3	C4
Proporción Peso ponderado	0,294	0,294	0,235	0,176

Tabla 10. Resultado de la suma ponderada para calificación de alternativas

Alternativas A _j	Resultado
A1	0,313
A2	0,237
A3	0,449

8. ELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Con base en los resultados obtenidos de la agregación de criterios mediante proceso analítico jerárquico, derivado de la implementación de una metodología de evaluación AMC (Análisis Multi-Criterio) de tipo discreto, se determinó que la mejor proporción de beneficios se obtiene mediante la implementación de la alternativa:

Alternativa 3: Regular una mejora progresiva de los parámetros de calidad de gasolina: contenido de azufre (%AZUFRE), número de octano (#RON) y contenido de aromáticos, para alcanzar estándares equivalentes EURO 6.

8.1. Justificación

La alternativa regulatoria seleccionada, presenta la mejor proporción de beneficios disponibles, considerando aspectos de viabilidad de implementación legal/tecnológica, beneficios ambientales, costos de implementación en refinerías y capacidad de respuesta en la logística de transporte y distribución de combustibles en el territorio nacional. Esta elección integra las realidades socio-económicas de Colombia, en cuanto a su capacidad de satisfacer la demanda nacional de combustibles líquidos de manera predominantemente autónoma, en armonía con la sostenibilidad de los procesos productivos y la diversificación de la canasta energética nacional.

La selección de una mejora progresiva de los parámetros de calidad de la gasolina en Colombia, obedece a los criterios anteriormente descritos y favorece el mejoramiento de la calidad del aire en el mediano y largo plazo. Esta implementación es una parte fundamental de la Estrategia Nacional de Calidad del Aire ENCA, liderada por el Gobierno Nacional, la cual se acompaña de acciones prioritarias tales como el mejoramiento de los parámetros de calidad del diésel y la actualización de la regulación de estándares permisibles de contaminantes, tanto para los vehículos en uso como para los vehículos de nuevo ingreso al país.

9. CONSULTA PÚBLICA

El desarrollo de la presente iniciativa normativa se desarrolló con la participación activa de los interesados, lo cual fue garantizado mediante los procesos de consulta pública nacional descritos a continuación.

9.1. Resultados de las consultas públicas

- Consulta pública definición del problema: Marzo 20-Junio 5 de 2020 enlace disponible en <https://www.minenergia.gov.co/foros?idForo=24182580&idLbl=Resultados+de+la+Busqueda>
Comentarios recibidos: Matriz Adjunta
- Consulta Pública Articulado de Resolución Calidad de Gasolina: Agosto de 2020, Consulta Pública Análisis de Impacto Normativo: Agosto de 2020

10. IMPLEMENTACIÓN Y MONITOREO

La Resolución regirá a partir de su publicación en el diario oficial.

10.1. Implementación y cumplimiento

El monitoreo de las condiciones de calidad del combustible se hace de acuerdo a los términos establecidos por el Ministerio de Minas y Energía en el marco de sus competencias.

11. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de comentarios AIN 1

12. LISTA DE REFERENCIAS

- A. Kontses, L. N. (2020). Particulate emissions from L-Category vehicles towards Euro 5. *ELSEVIER*, 12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109071>
- ACEA, AUTOALLIANZ, EMA, JAMA. (28 de 10 de 2019). Recuperado el 25 de 03 de 2020, de https://www.acea.be/uploads/publications/WWFC_19_gasoline_diesel.pdf
- ACEA, J. E. (2019). *World Fuel Charter* (5th ed.).
- ANLA. (2018). *Propuesta para la Definición de una Tasa Ambiental de Descuento para Colombia*.
- DNP. (2019). *Presidencia de la República*. Obtenido de Bases del Plan Nacional de Desarrollo: <https://id.presidencia.gov.co/especiales/190523-PlanNacionalDesarrollo/documentos/BasesPND2018-2022.pdf>
- Europe, F. (2018). *Fuels Europe Statistical Report*.
- Falconi, F. (2003). *Instrumentos Económicos para la gestión Ambiental: Decisiones Monocriteriales vs Decisiones Multicriteriales*. México: FODEPAL.
- Huan Liu, K. H. (19 de 03 de 2008). Analysis of the impacts of fuel sulfur on vehicle emissions in China. *ELSEVIER*, 8. doi:[doi:10.1016/j.fuel.2008.03.019](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.03.019)
- ICCT. (2016). *Technical Background on India BS VI Fuel Specifications*.

Jorge Humberto Arango - Ecopetrol. (2009). Calidad de los Combustibles en Colombia.

P. Comte, J. C. (2017). Current Status and New Concepts of Gasoline Vehicle Emission, Gasomep.

UPME. (2019). *PLAN INDICATIVO DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS*.

Yuan-Chung Lin, Y.-C. L.-C.-C. (03 de 06 de 2020). Chemical characterization of PM2.5 emissions and atmospheric metallic element concentrations in PM2.5 emitted from mobile source gasoline-fueled vehicles. *ELSEVIER*(139942), 9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139942>