



# 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 diésel en Colombia

**Gobierno de Colombia – MinAmbiente-MinEnergía**



## Tabla de Contenido

1.	Introducción.....	3
2.	Antecedentes .....	4
▯	Calidad del Aire .....	4
▯	Tecnología de emisión del parque automotor .....	4
▯	Calidad de Combustibles .....	5
▯	Condiciones de Mantenimiento Preventivo .....	8
3.	Contexto General.....	8
3.1.	Contexto Internacional.....	8
3.2.	Característica Pesada de los Petróleos Crudos en Colombia .....	10
3.3.	Características del Proceso de Refinería .....	13
3.4.	Parámetros relevantes en materia ambiental .....	15
▯	Efectos Ambientales Contenido de Poli-aromáticos (pah) .....	15
▯	Efectos Ambientales Número de Cetano .....	17
▯	Efectos Ambientales Contenido de Azufre .....	19
▯	Efectos Ambientales Parámetro T95 .....	20
4.	Definición del Problema .....	22
4.1	Árbol de Problemas .....	22
4.2.	Descripción del Problema.....	22
5.	Definición de Objetivos .....	28
5.1.	Árbol de Objetivos .....	28
5.2.	Descripción de objetivos.....	29
6.	Selección De Alternativas .....	31
6.1.	Identificación de Alternativas .....	31
7.	Evaluación De Alternativas.....	32
7.1.	Identificación de costos y beneficios .....	32
7.2.	Identificación y revisión de información disponible .....	32
7.3.	Justificación de la metodología utilizada .....	37
7.4.	Evaluación de las alternativas .....	37
▯	Efectos económicos Monoglicéridos.....	45
▯	Efectos económicos de los poliaromáticos .....	45
▯	Efectos económicos del contenido de agua.....	46
8.	Elección De La Mejor Alternativa .....	46
8.1.	Justificación .....	46
9.	CONSULTA PÚBLICA.....	47
9.1.	Resultados de las consultas públicas .....	47
10.	Implementación y monitoreo .....	47
10.1.	Implementación y cumplimiento .....	47
11.	ANEXOS .....	47
12.	Referencias .....	47



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Mejoramiento progresivo del contenido de azufre en el combustible diésel en Colombia	20
Tabla 2. Matriz de alternativas, costo y beneficio	34
Tabla 3. Evaluación de alternativas regulatorias parámetro T95	37
Tabla 4. Estimación de emisiones reducidas anualmente,	40
Tabla 5. Costos estimados de inversión requerido en refinerías para mejoramiento de combustibles.	41
Tabla 6. Estimación del beneficio acumulado anual por reducción de PM <sub>2,5</sub>	42
Tabla 7. Relación Costo-Beneficio	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolución Tecnologías EURO- Vehículos Pesados	5
Figura 2. Tecnologías de control de emisiones diésel y niveles de contenido de azufre requeridos	6
Figura 3. Evolución calidad de diésel en Colombia - Contenido de Azufre	7
Figura 4. Evolución calidad de diésel en el mundo - Contenido de Azufre	9
Figura 5. Relación de reducción de emisiones de MP y NO <sub>x</sub> – Tecnologías Euro	10
Figura 6. Aprovechamiento de Crudos Livianos y Pesados	11
Figura 7. Clasificación Internacional de Crudos según gravedad API	11
Figura 8. Calidad Regional de Petróleos Crudos – Proyección	13
Figura 9. Esquema de Refinería de Petróleos Crudos – Columna de Destilación	14
Figura 10. Influencia del contenido de PAH en las emisiones de PAH	16
Figura 11. Comportamiento mensual del contenido de poliaromáticos – Refinería de Barrancabermeja	17
Figura 12. Comportamiento de los contaminantes en función del número de cetano	18
Figura 13. Resultados Análisis desempeño Número de Cetano vs BX	19
Figura 14. Reducción de emisiones de PM <sub>2.5</sub> vs Reducción contenido de Azufre - Vehículos Diesel	19
Figura 15. Resumen comparativo de parámetros de calidad del Diésel a nivel internacional	21
Figura 16.Árbol de Problema	22
Figura 17.Reservas de Petróleo Colombiano	24
Figura 18. Composición parque automotor colombiano – Tecnologías de Emisión EURO	25
Figura 19.Árbol de Objetivos	28
Figura 20. Resultado Modelo Leap PM <sub>2,5</sub> , implementación de EURO VI a partir de 2021,.	39
Figura 21. Resultado Modelo Leap NO <sub>x</sub> , implementación de EURO VI a partir de 202	41
Figura 22. Anualidad de la relación costo beneficio – Fuente: Elaboración Propia	44



## 1. INTRODUCCIÓN

La calidad de los combustibles se encuentra definida en función de un conjunto de parámetros físico-químicos y operativos que determinan su desempeño 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 definido 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<sup>1</sup> del país dentro de esquemas sostenibles.

Este marco regulatorio debe ser reformulado continuamente de acuerdo a las métricas internacionales y a los avances tecnológicos de los procesos productivos tendientes a la minimización de los impactos ambientales generados durante la combustión, respondiendo a las preocupaciones de la comunidad internacional en torno a los temas relacionados 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 y presenta, en primera instancia, la definición del problema dentro del proceso de estructuración del análisis de impacto normativo derivado del concepto técnico ambiental que sugiere la necesidad de actualizar parámetros priorizados y reglamentar parámetros adicionales debido a su incidencia en la calidad del aire.

Posteriormente, se identifican y analizan las alternativas regulatorias disponibles, a fin de puntualizar en los costos y beneficios derivados de su implementación y de esta manera orientar la selección de la mejor alternativa para Colombia, en materia de parámetros de calidad de combustibles, específicamente para diésel y sus mezclas con biocombustibles.

---

<sup>1</sup> "El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (Brundtland, 1987).



## 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 líneas.

### ▪ CALIDAD DEL AIRE

En 2017 fue adoptada la Resolución 2254, la cual incorporó un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes en el aire establecidos en la derogada Resolución 610 de 2010, considerando los lineamientos dados por la Organización Mundial de la Salud en sus objetivos intermedios. 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, además, niveles más estrictos para la declaratoria de los estados de prevención, alerta y emergencia.

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 sectores y entidades del nivel nacional. Los objetivos específicos de la política 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.

Para ello, se ha identificado según los inventarios de emisiones que se han realizado en las grandes ciudades del país, que el material particulado (en centros urbanos) 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<sub>2.5</sub> son generadas por las fuentes móviles mientras que el 20 % restante lo aportan las fuentes fijas (SIAC<sup>2</sup>).

Las emisiones generadas por las fuentes móviles dependen múltiples variables, entre las cuales se destacan principalmente tres, a saber: i) tecnología de emisión del parque automotor, ii) calidad de los combustibles y iii) condiciones de mantenimiento preventivo. En concordancia con lo anterior, el presente documento enfatiza en la calidad de los combustibles de los cuales se abastecen las fuentes móviles en el territorio nacional.

### ▪ TECNOLOGÍA DE EMISIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR

Las emisiones generadas durante la combustión vehicular, dependen de la tecnología de los dispositivos que participan en lo procesos de combustión y poscombustión y de su compatibilidad con los combustibles fósiles utilizados en la industria automotriz. Gobiernos estatales de las comunidades

---

<sup>2</sup> Sistema de Información Ambiental de Colombia

internacionales, tales como, América (EE.UU.) y Europa (EU), han reglamentado en los últimos 30 años, el uso de tecnologías vehiculares tendientes a la reducción de las emisiones contaminantes generadas por el parque automotor, entre las cuales se listan las tecnologías EPA y EURO, las cuales constantemente sufren procesos evolutivos de innovación, basada en investigación y desarrollo.

De lo anterior, se dispone a nivel mundial de una serie de familias tecnológicas vehiculares capaces de reducir las emisiones contaminantes, en comparación con tecnologías anteriores, como se ilustra en la Figura 1-para el caso de tecnologías EURO en vehículos pesados (diésel)-.

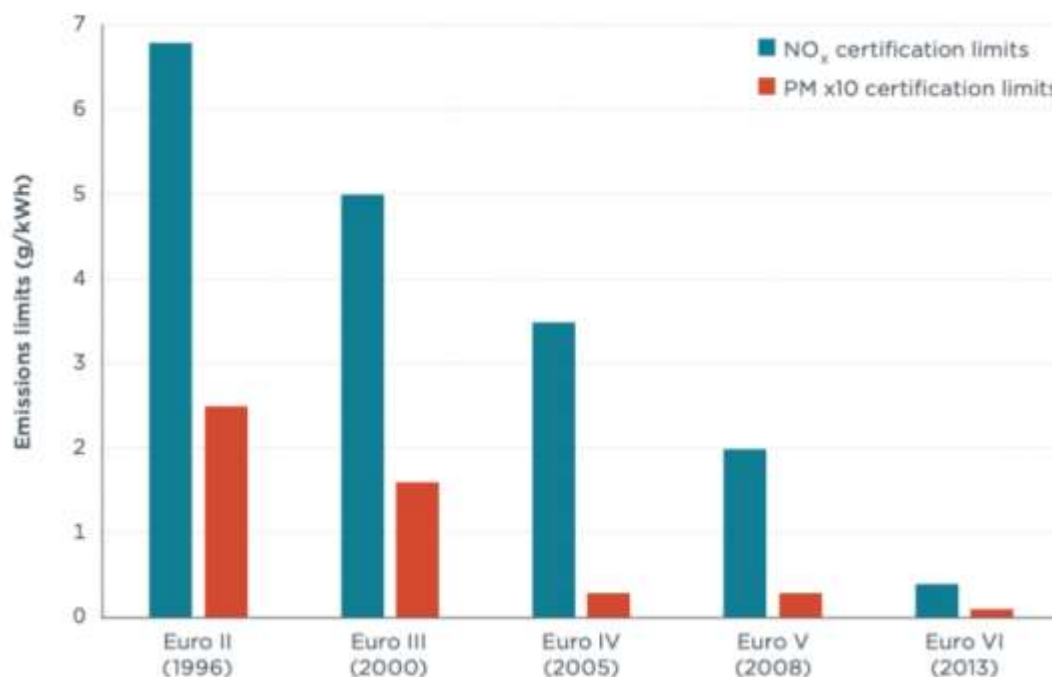


Figura 1. Evolución Tecnologías EURO- Vehículos Pesados  
Fuente: (Francisco Posada, ICCT, 2019)

La implementación de este tipo de tecnologías en un país o nación, depende de la capacidad que se tiene para suministrar de manera homogénea en el territorio, combustibles con estándares de calidad específicos para cada tecnología. La carta mundial de combustibles (*World Fuel Charter - WFC*) orienta a nivel mundial, acerca de los estándares de calidad que se deben satisfacer para los diversos parámetros de combustible, para viabilizar el uso de las distintas tecnologías. WFC disponible para consulta en <https://www.acea.be/publications/article/worldwide-fuel-charter-2019-gasoline-and-diesel-fuel>.

#### ▪ CALIDAD DE COMBUSTIBLES

Adicional a lo anterior, reducir la cantidad de azufre en los combustibles puede disminuir las emisiones de los vehículos al reducir directamente el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y sulfato de partículas - precursor de material particulado (PM)- que se queman. Menos azufre en el combustible también significa un mejor rendimiento de los sistemas de postratamiento del vehículo y permite el uso de



nuevas tecnologías de control de emisiones como DPF (Filtro de Partículas Diesel). De hecho, usando los combustibles con bajo contenido de azufre se pueden reducir drásticamente las emisiones de todos los contaminantes, y esto en gran medida reduce el impacto de los vehículos en la salud humana, el medio ambiente y el clima global (ICCT, 2020).

En particular en lo referente a la calidad del diésel, en cuanto a su contenido de azufre, se tienen las siguientes condiciones habilitantes para el uso de dispositivos de control de emisiones característicos de las tecnologías vehiculares menos contaminantes (posteriores a EURO IV).

Technology	Pollutants targeted	Fuel sulfur levels	Benefits
<b>Diesel oxidation catalyst (DOC)</b>	PM, hydrocarbon (HC), carbon monoxide (CO)	Below 150 ppm required. Below 50 ppm recommended.	Reductions of 90%-100% for HC and 88%-99% for CO. Reductions of 15%-31% for PM with use of less than 50 ppm fuel.
<b>Diesel particulate filter (DPF)</b>	PM, HC, CO	Below 50 ppm required. Below 15 ppm highly recommended.	Reductions of 90%-99% for PM with use of less than 15 ppm. Efficiency drops to ~50% with 50 ppm. Reductions of 58%-82% for HC and 90%-99% for CO.
<b>Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) absorber</b>	NO <sub>x</sub>	Below 15 ppm required.	Reductions of 78%-94% for NO <sub>x</sub>
<b>Selective catalytic reduction (SCR)</b>	NO <sub>x</sub>	Below 50 ppm required.	Reductions of 80%-90% for NO <sub>x</sub>

Figura 2. Tecnologías de control de emisiones diésel y niveles de contenido de azufre requeridos  
Fuente: (ICCT, 2020)

La reglamentación Colombiana en materia de calidad de combustibles tiene su origen en 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 caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores”.

El artículo 4 de la citada resolución establece la calidad del combustible diésel y los biocombustibles para mezclas, el cual ha sido objeto de varias modificaciones entre las que se encuentran la Resolución 9 0963 de 2014 y la Resolución 4 0619 de 2017.

Adicional a lo anterior, el Gobierno Nacional expidió la Ley 1205 de 2008, también conocida como la Ley del Diésel, que busca la distribución de combustibles que minimicen el impacto ambiental y que su calidad se ajuste a los parámetros internacionales, para lo cual establece un cronograma de mejoramiento del diésel que permite alcanzar un máximo de 50 ppm en contenido de azufre, con el propósito de mejorar la calidad de vida y garantizar el derecho constitucional al goce de un ambiente sano. Esta progresión se presenta a continuación.



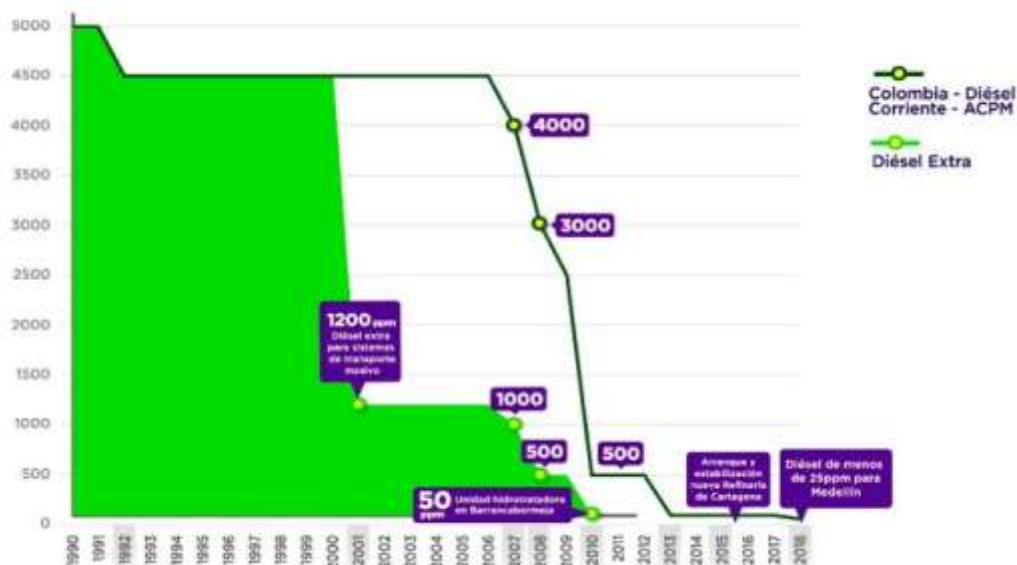


Figura 3. Evolución calidad de diésel en Colombia - Contenido de Azufre

Fuente: Ecopetrol

De otro lado, la Resolución 2604 de 2009, en cumplimiento de las disposiciones contenidas en la Ley 1083 de 2006, determinó como combustibles limpios, el diésel hasta de 50 ppm de azufre y sus mezclas de diésel con biodiesel, entre otros.

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 en julio de 2019 se promulgó la Ley 1972 – “Por la cual se por medio de la cual se establece la protección de los derechos a la salud y al medio ambiente sano estableciendo medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes de fuentes móviles y se dictan otras disposiciones”. Esta Ley dispone -entre otras cosas- que para el año 2035 en Colombia, todos los vehículos diésel que circulen, deberán cumplir con estándares de emisión equivalentes a EURO VI.

De esta manera, la iniciativa reglamentaria propuesta en el presente análisis de impacto, responde a las necesidades y lineamientos trazados por el Gobierno nacional en esta materia. En este sentido,





en el siguiente capítulo se informa, acerca del contexto general, internacional y específico de la extracción, producción y refinación de los combustibles fósiles, a propósito de los parámetros de calidad.

#### ▪ **CONDICIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Sumado a lo descrito anteriormente, es fundamental aplicar prácticas de mantenimiento preventivo al parque automotor, concordantes con las tecnologías de emisión vehicular correspondientes, para lo cual los fabricantes de vehículos emiten recomendaciones específicas. Los dispositivos de control de emisiones requieren de seguimiento e inspección periódica, a fin de verificar que las condiciones de diseño que permiten la reducción de las emisiones de contaminantes a la atmósfera, se mantienen en el tiempo. En este sentido, se implementan mecanismos de control y seguimiento de emisiones para los vehículos en uso, conocidos internacionalmente como programas de inspección y mantenimiento (I/M), los cuales son regulados por los gobiernos centrales y locales en todo el mundo.

En Colombia este programa es implementado desde la revisión técnico mecánica y de emisiones contaminantes desarrollada en los centros de diagnóstico automotor, los cuales se encuentran regulados por los Ministerios de Transporte y Ambiente.

### **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 para su transformación en diversas materias primas. 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, desde entonces las tecnologías vehiculares han sido diseñadas y progresivamente modificadas para mejorar su desempeño ambiental, marcando tendencias de reducción en las emisiones de contaminantes generadas durante los procesos de combustión. De esta manera se ha generado presión sobre la industria de automotores, para el diseño de tecnologías ambientalmente sostenibles y que no tengan afectación sobre la salud de las personas.

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



La Figura 4 presenta el proceso evolutivo que se ha tenido en algunos países, en lo referente a la reglamentación del contenido de azufre del combustible diésel. Allí se observa como Japón, Estados Unidos y la Unión Europea, para el año 2011 ya tenían políticas de calidad de diésel de 10 ppm.

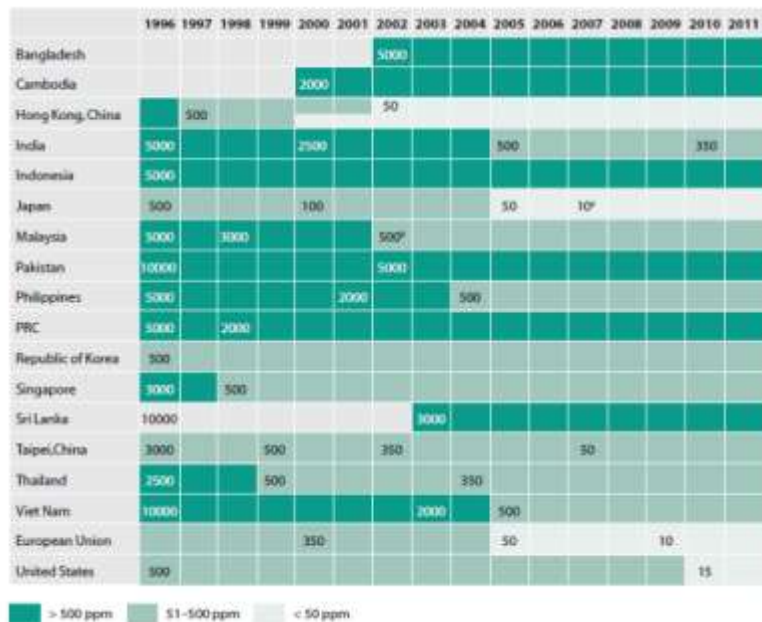


Figura 4. Evolución calidad de diésel en el mundo - Contenido de Azufre  
Fuente: Asian Development Bank – Cleaner Fuels

Estas acciones se encuentran orientadas, a satisfacer los requerimientos técnicos para la implementación y correcta operación de las tecnologías más avanzadas en materia de reducción de emisiones contaminantes, principalmente de material particulado y óxidos de nitrógeno por sus efectos adversos en salud. A continuación, se presenta el ejemplo de las tecnologías desarrolladas por la Unión Europea, en función de la reducción de emisiones mencionada.

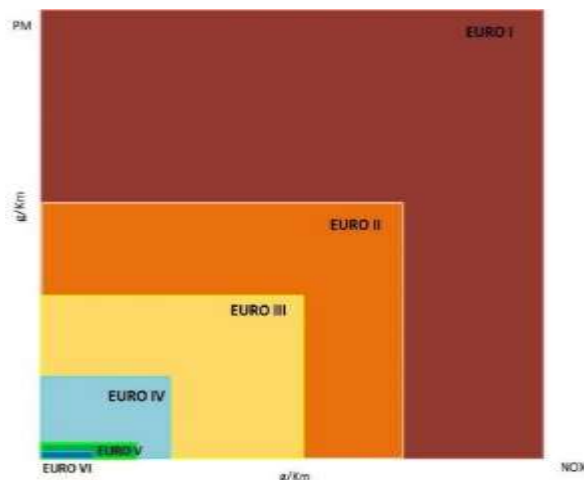


Figura 5. Relación de reducción de emisiones de MP y NOx – Tecnologías Euro  
Fuente: Elaboración Propia

En la actualidad se controla, además del contenido de azufre, parámetros como número de cetano, contenido de poliaromáticos, temperatura de destilación T95, densidad, viscosidad, entre otros. Para el caso nacional, teniendo en cuenta que la demanda de combustibles es en su mayoría satisfecha con productos extraídos y procesados en el territorio nacional, es necesario detallar las condiciones de naturaleza de los crudos disponibles, así como el estado tecnológico de los procesos de refinación implementados.

### 3.2. CARACTERÍSTICA PESADA DE LOS PETRÓLEOS CRUDOS EN COLOMBIA

Existen dos características principales de los petróleos crudos, las cuales definen su nivel de calidad y la complejidad de los procesos necesarios en su refinación para el aprovechamiento mediante manufactura de diferentes materias primas. Estos parámetros 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 pequeñas moléculas, 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<sup>3</sup>.*

La Figura 6 muestra la calidad de un crudo liviano -light crude- (35°API) y un crudo pesado -heavy crude- (25°API), en función de su aprovechamiento para gases livianos, componentes de la gasolina y destilados (principalmente combustible pesado y diésel) y aceites pesados. La figura también muestra el perfil promedio de demanda de estas categorías de productos en los países desarrollados (*Products*). A partir de la información presentada en la misma figura, es posible concluir que cuanto más pesado el crudo, menor es la proporción aprovechable para destilados.

<sup>3</sup> Introducción a la Refinación de Petróleo y Producción de Gasolina y Diésel con bajo contenido de Azufre. (ICCT, 2011).

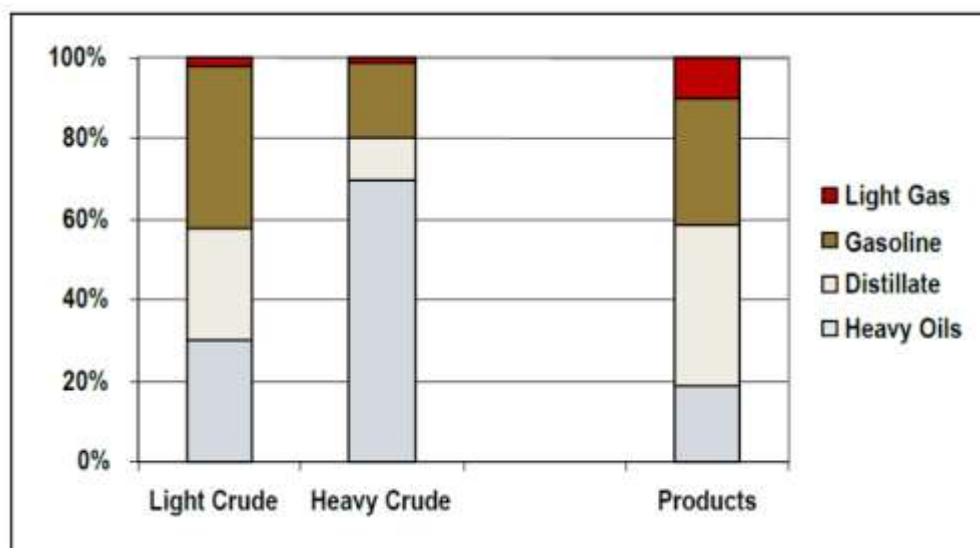


Figura 6. Aprovechamiento de Crudos Livianos y Pesados  
Fuente: (ICCT, 2011)

Así mismo y de acuerdo con la información presentada en la

Figura 7, se infiere que los petróleos crudos característicos de la región continental colombiana, son de clase “pesados”, 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 7 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.	Light Sweet	40.0	0.5
West Texas Intermediate	U.S.A.		39.8	0.3
Arabian Extra Lt. Export	Saudi Arabia	Light Sour	38.1	1.1
Daqing	China	Medium Medium Sour	33.0	0.1
Forcados Export	Nigeria		29.5	0.2
Arabian Light Export	Saudi Arabia	Medium Sour	34.0	1.9
Kuwait Export Blend	Kuwait		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 7. Clasificación Internacional de Crudos según gravedad API

Fuente: (ICCT, 2011)

Al igual que la gravedad API, una condición natural que determina la calidad de un crudo, así como la complejidad del proceso en la refinería 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. 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”<sup>4</sup>.*

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 emisiones contaminantes, tales como, los compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y material particulado.

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.

*“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 %.”<sup>5</sup>.*

Con base en la información presentada en la

Figura 7 (Tipo de Crudo Colombiano: Heavy Sweet), el contenido de azufre típico de las reservas de crudo disponibles en la región continental de Colombia, se encuentra alrededor de 0.9 % wt (en el umbral “sulfuroso”).

La calidad promedio de los crudos mundiales (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 un futuro inmediato.

Para ilustrar esta tendencia, la Figura 8 muestra las proyecciones mundiales, según la gravedad API y el contenido de azufre, para el año 2008 y 2030 (proyectado).

---

<sup>4,5</sup> Introducción a la Refinación de Petróleo y Producción de Gasolina y Diésel con bajo contenido de Azufre. ICCT, 2011.



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

Figura 8. Calidad Regional de Petróleos Crudos – Proyección  
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 refinería para obtener los productos de destilación con las condiciones de calidad deseadas.

### 3.3. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE REFINERÍA

La Figura 9 presenta un esquema del proceso general de refinería, a partir del cual se obtienen los diversos productos derivados del crudo. Mediante cambios en la temperatura de destilación se extraen distintos productos, formando una columna de separación, a partir de la cual se obtienen materias primas, tales 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).

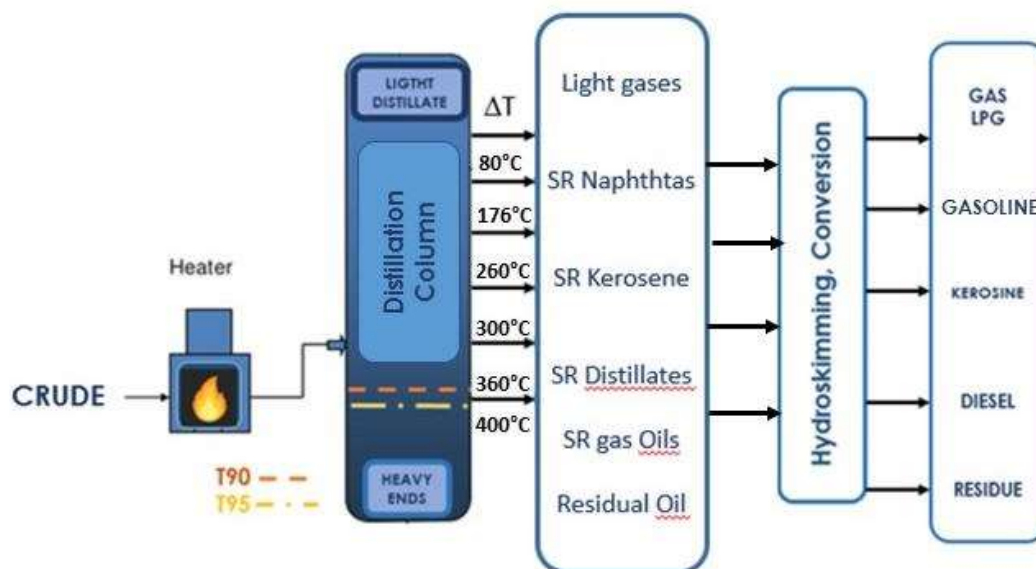


Figura 9. Esquema de Refinería de Petróleos Crudos – Columna de Destilación  
Fuente: Elaboración propia a partir de (ICCT, 2011)

La separación de todos los derivados del crudo, se realiza gradualmente a medida que se incrementa la temperatura de destilación. De esta manera, como se ilustra en la Figura 9, cuando el crudo se somete a temperaturas entre 15 °C y 80 °C se obtienen productos como gas y gas licuado de petróleo. Al incrementar la temperatura hasta 260 °C, se separan del crudo sustancias como naftas y keroseno (a partir de las cuales se obtienen productos como gasolinas y combustibles náuticos). De esta manera, a medida que se avanza en el gradiente incremental de la temperatura, se separan del crudo compuestos cada vez más “pesados” en función de sus moléculas de carbono.

Hacia el final del proceso, se obtiene la fracción restante del crudo que no se ha evaporado a temperaturas entre 360°C y 500°C. Este punto de la columna de destilación se conoce como T95 y se define como la temperatura a la cual el 95% del crudo se ha evaporado. En algunos países se controla el parámetro de T90, el cual, análogamente corresponde a la temperatura de destilación 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 productos como asfaltos. Estos compuestos presentan como característica una alta propensión a la formación de material particulado y hollín al ser quemados.

En la actualidad, producto de los grandes avances tecnológicos de los procesos productivos, existen tecnologías de mejoramiento, transformación, tratamiento y separación aplicadas en las refinerías de manera posterior a la destilación general, los cuales, permiten aprovechar en mayor medida los productos generados en todos los puntos de la columna de destilación (especialmente del extremo pesado), determinan la calidad de las diferentes categorías de productos refinados y viabilizan el control de parámetros específicos, tales como el contenido de azufre en todos los flujos de la refinería, el contenido de compuestos aromáticos policíclicos (PAHs) mediante el rompimiento de las cadenas de poliaromáticos y permiten convertir nafta en gasolina. Estos procesos influyen en la





economía de la refinería y en el costo final de los productos derivados, cuanto más complejos los procesos y más refinados los parámetros, mayores serán los costos asociados.

En Colombia, se cuenta con dos refinerías: 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**

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 del combustible diésel cuya descripción se presenta a continuación, incluyendo la definición, los antecedentes normativos y el contexto nacional e internacional.

#### **▪ EFECTOS AMBIENTALES CONTENIDO DE POLI-AROMÁTICOS (PAH)**

Los aromáticos son moléculas que contienen por lo menos un anillo de Benceno. El contenido de aromáticos del combustible, afectará el proceso de combustión, la formación de material particulado y la emisión de hidrocarburos aromáticos poli-cíclicos (PAH).

Los poli-aromáticos son cadenas de hidrocarburos con anillos poli-cíclicos, los cuales se presentan a causa de crudos pesados; tienen efectos cancerígenos en humanos<sup>6</sup> debido a su toxicidad y deben ser mantenidos en niveles tendientes a cero.

Estudios internacionales<sup>7</sup> han demostrado que la reducción del contenido de poli-aromáticos en el combustible, tiene una influencia directa de reducción en las emisiones de material particulado en vehículos pesados y en vehículos livianos en mayor medida (hasta 6% menos de MP al reducir contenido de PAH de 9% a 1%).

El mismo estudio concluye que, existe una relación directamente proporcional entre el contenido de PAH del combustible y el nivel de emisiones de PAH generados durante el proceso de combustión. Esta relación se ilustra en la Figura 10.

---

<sup>6</sup> OMS (2000)

<sup>7</sup> EPEFE (1993-1995)

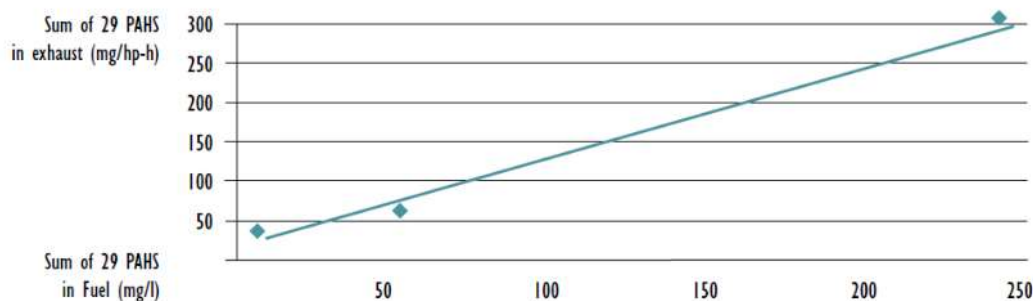


Figura 10. Influencia del contenido de PAH en las emisiones de PAH  
Fuente: (ACEA, 2013)

Conforme avanzan las tecnologías de refinación del petróleo, se cuenta con procesos especializados que permiten mejorar la calidad de los combustibles obtenidos. Dentro de estos procesos, es pertinente mencionar entre otros, aquellos con la capacidad de transformación de moléculas pesadas, tales como el hidro-tratamiento, craqueo catalítico fluidizado (FCC) e hidro-craqueo, los cuales permiten, mediante la aplicación de hidrógeno, romper los anillos de poli-aromáticos presentes en los combustibles una vez realizada la separación térmica o destilación.

En la carta mundial de combustibles (WFC), se sugiere valores de 2% como máximo ideal para el contenido de poli-aromáticos, sin embargo, debido a la naturaleza pesada de los crudos característicos de las diferentes regiones del mundo (expuestas en presente documento), un valor aceptable en el WFC se ha definido en 8% el cual corresponde al estándar de emisión EURO VI.

La normatividad ambiental colombiana (Resolución 9 0963 de 2014) en la actualidad no contempla un rango o valor máximo permisible para este parámetro. El único antecedente en esta materia se encuentra contenido en la Resolución 4 0619 de 30 de junio de 2017 la cual modificó el artículo 4 de la Resolución 898 de 1995 de manera transitoria y como medida de aseguramiento de suministro de combustible, estableciendo un parámetro de contenido de poliaromáticos en promedio mensual máximo de 8% en masa, con picos máximos de 11%. Esta medida se emitió de manera transitoria, hasta un nuevo pronunciamiento en la materia por parte del Gobierno Nacional.

Ecopetrol incorporó en 2010 procesos de hidro-tratamiento en la refinería de Barrancabermeja y para 2016 se implementó en la refinería de Cartagena procesos de hidro-tratamiento e Hidro-craqueo, los cuales permiten controlar con certeza el contenido máximo de poli-aromáticos presente en el diésel entregado en malla de refinería de manera independiente del proceso de destilación o separación térmica presentado en la Figura 9. Las tecnologías bajo las cuales operan estos procesos no se encontraban disponibles en el mundo en 1995, año en el cual se expidió en Colombia la Resolución 898, naciente reglamentación de parámetros de calidad de combustibles.

En este sentido, se hace necesario incluir dentro de la reglamentación existente, la regulación del parámetro de contenido máximo de poliaromáticos para Colombia. Estudios realizados mediante

convenio entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad de Antioquia<sup>8</sup>, presentan entre sus conclusiones:

*“Se sugiere para la nueva reglamentación, que modificará la Resolución 9 0963 de 2014, dejar el valor de “hidrocarburos aromáticos totales” como “reportar”, lo cual se sustenta en: a) en términos de la exigencia de aromaticidad, la normativa de referencia europea (EN 590-14) es más restrictiva que la misma de Estados Unidos (ASTM D975-15 y ASTM D7467-15) y no define la exigencia del contenido de “hidrocarburos aromáticos totales”; en su defecto la norma EN 590-14 establece como parámetro a exigir el contenido de “hidrocarburos aromáticos policíclicos” hasta un valor del 8,0 % (m/m) “*

Adicionalmente, al evaluar el comportamiento del contenido típico de poliaromáticos presentado durante la producción 2018, (Figura 11) se observa que, la obtención de valores de poliaromáticos entre 8% y 9 % es de aproximadamente 1 punto porcentual.

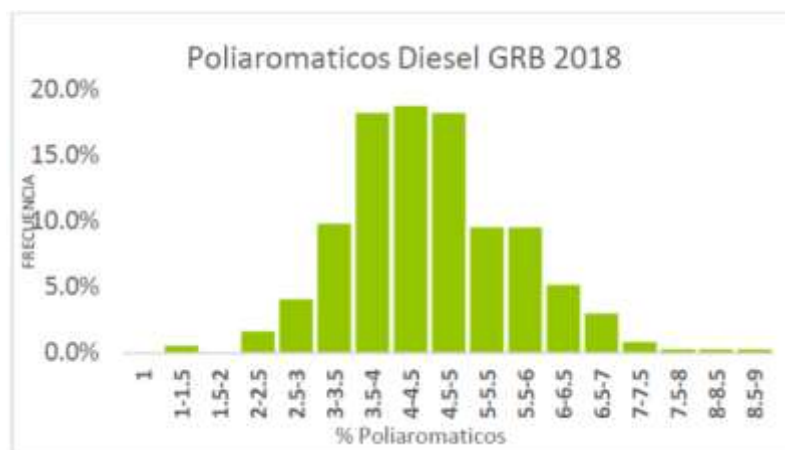


Figura 11. Comportamiento mensual del contenido de poliaromáticos – Refinería de Barrancabermeja  
Fuente: Ecopetrol

Esta situación se presenta debido a la diversidad de características físico-químicas de las reservas de crudo explotadas a lo largo del territorio nacional ya que la configuración de la refinería se realiza en función de las calidades de los crudos de entrada (dieta de la refinería). En este sentido, teniendo en cuenta la complejidad de los procesos de transformación y la tendencia pesada de los crudos explotados, es natural que se presenten picos esporádicos (productos de refinería con valor máximo de 10% de poliaromáticos) en refinería que, al mezclarse con volúmenes almacenados de producto conforme, no afectan el cumplimiento promedio del parámetro en general.

#### ▪ EFECTOS AMBIENTALES NÚMERO DE CETANO

El número de cetano proporciona una medida del comportamiento del encendido por compresión del combustible diésel; números altos de cetano permiten una ignición más rápida. En materia ambiental, el número de cetano tiene una influencia significativa en la disminución de la concentración

<sup>8</sup> Contrato interadministrativo GGC No. 376 de 2015 celebrado entre la Universidad de Antioquia y el Ministerio de Minas y Energía. Objeto de estudio: Definir los intervalos y límites de algunos parámetros de calidad establecidos para el combustible diésel y sus mezclas con biocombustibles.



de Óxidos de Nitrógeno (NOx) e Hidrocarburos (HC)<sup>9</sup> presentes en las emisiones de escape. Depende de la calidad de los petróleos crudos y existen métodos alternativos para incrementar o mejorar este parámetro, tales como el uso de aditivos y las mezclas con biocombustibles. A continuación, se ilustra el comportamiento de las emisiones de PM, CO y NOX, en función del número de cetano.

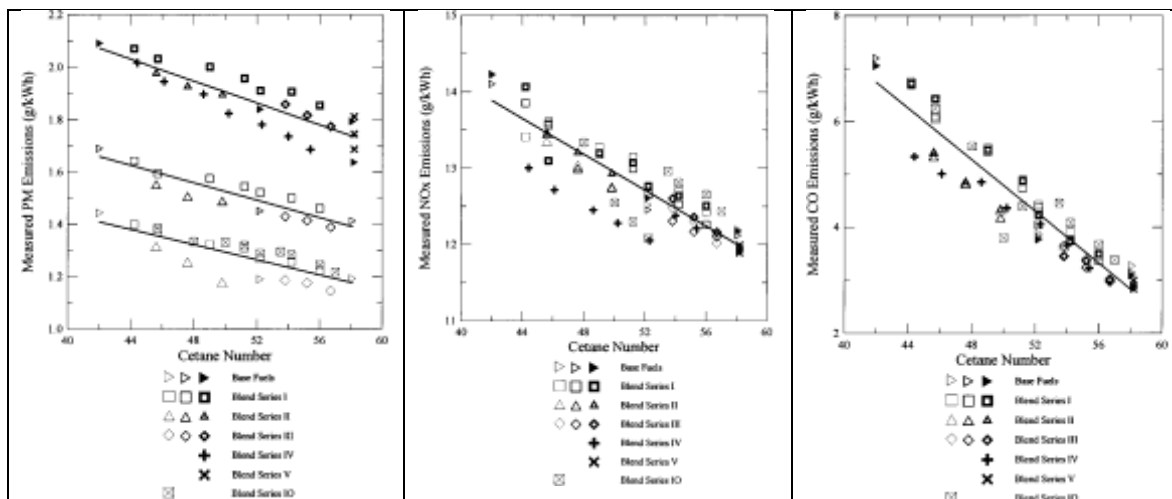


Figura 12. Comportamiento de los contaminantes en función del número de cetano

Fuente: Researchgate: [https://www.researchgate.net/figure/Particulate-matter-emissions-vs-cetane-number\\_fig3\\_231275108](https://www.researchgate.net/figure/Particulate-matter-emissions-vs-cetane-number_fig3_231275108)

Tecnologías vehiculares de muy baja emisión contaminante, tales como EURO VI, requieren de una combinación de parámetros de combustible para el funcionamiento óptimo de las mismas. El número de cetano ideal para la implementación de tecnologías EURO VI es de 51 de acuerdo a lo sugerido en la carta mundial de combustibles (WFC). Sin embargo, a nivel regulatorio es una condición que depende de la naturaleza de los crudos de la región, razón por la cual en Estados Unidos se encuentra regulado de forma diferente para cada estado federado con valores mínimos de 40. En Colombia, el número de cetano se encuentra reglamentado en 45, de acuerdo con lo definido en la Resolución 9 0963 de 2014.

Estudios realizados por la academia colombiana<sup>10</sup> acerca de la calidad de los combustibles procesados y distribuidos a nivel nacional, presentan estadísticas que sugieren que la capacidad actual del país en cuanto al número de cetano, sin aplicar aditivos es de 46, debido a la naturaleza pesada de los crudos. No obstante, el número de cetano mejora al momento de realizar la mezcla del diésel con biocombustibles. Esto ha sido evidenciado en un estudio de caracterización desarrollado por un laboratorio acreditado bajo ISO/IEC17025 para muestras de combustibles y biocombustibles colombianos en 2019, este comportamiento se ilustra en la Figura 13.

<sup>9</sup> EPEFE (1993-1995)

<sup>10</sup> Universidad de Antioquia – Ministerio de Minas y Energía (2016)

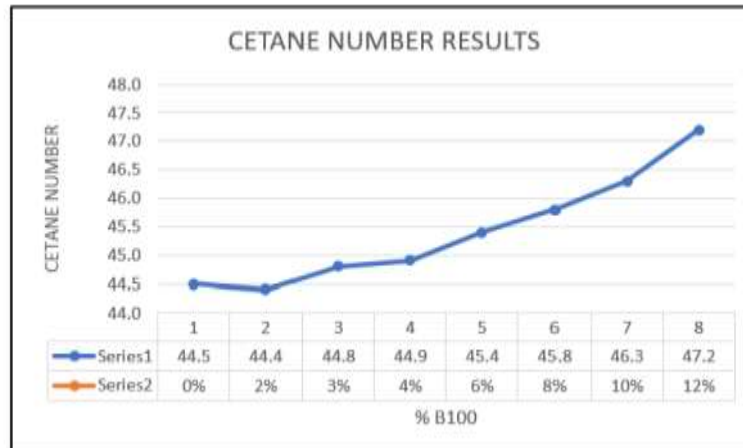


Figura 13. Resultados Análisis desempeño Número de Cetano vs BX  
Fuente: Informe Resultados ASTM D 613 – Carmin Cargo Control 2019

#### ■ 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 presente documento. A continuación, se ilustra el efecto de la disminución del contenido de azufre en la implementación de tecnologías EURO que reducen la emisión de material particulado PM<sub>2,5</sub>

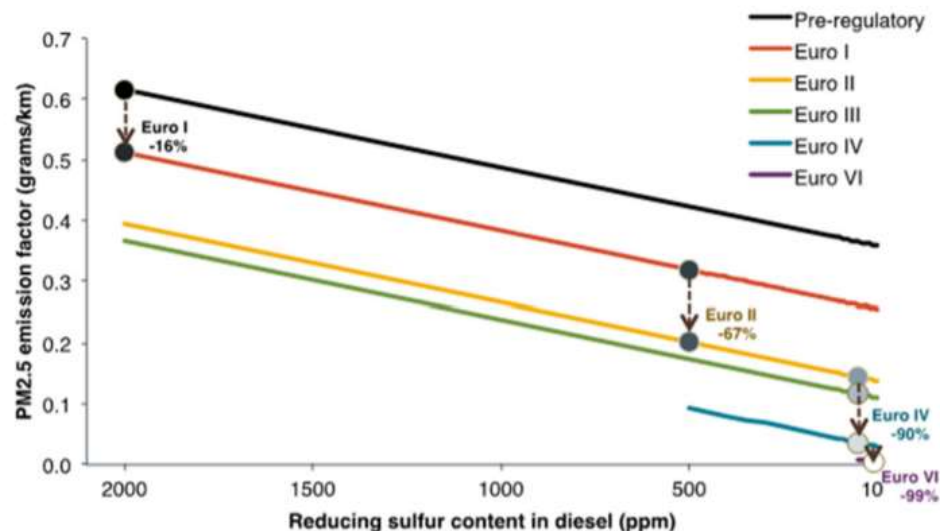


Figura 14. Reducción de emisiones de PM2.5 vs Reducción contenido de Azufre - Vehículos Diesel  
Fuente: (CCAC, Climate & Clean Air Coalition, 2016)

A nivel internacional, se ha definido como estándar internacional EURO VI un contenido máximo de 10 ppm; En Colombia, la Resolución 9 0963 de 2014 estableció un máximo de contenido de azufre



de 50 ppm, sin embargo, el documento CONPES 3943 de 2018 “Política para el mejoramiento de la calidad del aire, estableció el cronograma de mejoramiento de la calidad del diésel en Colombia en lo referente al contenido de azufre, planteando alcanzar un contenido de 10 ppm para 2025, lo cual se adoptó como meta del cuatrienio del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Ley 1955 de 2019.

*Tabla 1. Mejoramiento progresivo del contenido de azufre en el combustible diésel en Colombia*

Hasta el 31 de diciembre de 2019	50 ppm
A partir del 1° de enero de 2020	20 ppm
A partir del 1° de enero de 2023	15 ppm
A partir del 1° de diciembre de 2025	10 ppm

#### ▪ EFECTOS AMBIENTALES PARÁMETRO T95

T95 se define como la temperatura de destilación para la cual el 95% del crudo se ha evaporado, de acuerdo con la información presentada en el numeral 3 del presente documento. En el extremo pesado de la columna de destilación, se encuentra el punto en el cual se separan los compuestos a partir de los cuales se sintetiza el diésel, antes del punto de ebullición final. En este extremo se presenta la mayor propensión del combustible para la formación de hollín y material particulado en las emisiones de tubo de escape vehicular.

Cuanto menor sea la temperatura a la cual se evapora el 95% del crudo (T95), menores fracciones pesadas pasarán a los productos destilados.

Por esta razón el efecto de este parámetro en las emisiones vehiculares ha sido ampliamente estudiado a nivel internacional. Algunos de los estudios<sup>11</sup> indican que las emisiones contaminantes de material particulado, generadas por el tubo de escape de vehículos con motor diésel de la categoría pesados, no se ven influenciados de manera significativa ante variaciones de T95 entre 375°C y 320°C, sin embargo, se observó una tendencia de disminución de Óxidos de Nitrógeno (NOx) acompañada de un incremento en las emisiones de Hidrocarburos (HC) al aplicar esta disminución. (ACEA, 2013).

En consecuencia, a nivel internacional la evaluación del parámetro T95 se realiza de manera conjunta con parámetros como número de cetano (debido a su efecto en emisiones de óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> e hidrocarburos HC), contenido de azufre (debido a su efecto en emisiones de material particulado) y contenido de poli-aromáticos PAH (debido a sus efectos tóxicos).

A continuación, se presenta un resumen de las características de combustible evaluadas para la T95 a nivel internacional. En muchos países se regula la T90 en lugar de la T95.

---

<sup>11</sup> EPEFE (1993-1995)





Fuel parameter	BS VI	Euro VI	EPA conventional diesel	CARB designated equivalent limit	Japan	South Korea	Worldwide Fuel Charter (Category 4)
Sulfur, ppm, max.	10	10	15	15	10	10	10
Cetane Number (CN), min	51	51	Cetane index $\geq 40$ or aromatics $\leq 35\%$	53	45	52 <sup>a</sup>	55
Density @ 15°C, kg/m <sup>3</sup>	820-860	845 (max)	NS	NS	NS	815-835	820-840
95% Distillation Boiling Point (T <sub>95</sub> ), °C, max.	370	360	NS	NS	360 <sup>b</sup>	360 <sup>b</sup>	340
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), mass %, max.	11	8	NS	3.5	NS	5	2
Flash Point, Abel, °C, min.	35	55	NS	NS	45	40	55

NS = Not specified

<sup>a</sup>48 from November 15 to February 18

<sup>b</sup>Maximum 90% distillation boiling point (T<sub>90</sub>) specified in Japanese and South Korean standards

Figura 15. Resumen comparativo de parámetros de calidad del Diésel a nivel internacional

Fuente: ICCT: Technical Background on India BS VI Fuel Specifications (2016)

En Colombia la Resolución 9 0963 de 2014 estableció un parámetro T95 de 360 °C modificando el artículo 4° de la Resolución 898 de 1995 la cual no consideraba este parámetro. En razón del aseguramiento del suministro de combustible, se emitió la Resolución 4 0619 de 30 de junio de 2017, la cual modificó el artículo 4 de la Resolución 898 de 1995 de manera transitoria, estableciendo un parámetro de T95 de hasta 370 °C *“hasta el 30 de junio de 2019 siempre que se garantice que el contenido de poliaromáticos presente un promedio mensual máximo de 8% en masa, con picos máximos de 11% en masa. A partir del 1 de julio de 2019, se contará con un periodo de tres (3) meses para cambiar los inventarios a la calidad que defina el regulador”*.

Dentro de las consideraciones evaluadas para el establecimiento del parámetro T95, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible hace énfasis en la inclusión del control del parámetro de poliaromáticos el cual se viabiliza gracias a la implementación de tecnologías de hidrotratamiento e hidrocrackeo en los procesos productivos de las refinerías del país. Este control habilita la posibilidad del establecimiento del parámetro T95 en 370 °C, asegurando que el contenido de aromáticos pesados o poliaromáticos PAH y el contenido de azufre, se mantienen controlados en cumplimiento de estándares internacionales de calidad. Adicionalmente, el mejoramiento del número de cetano, genera garantías en lo referente al control de los niveles de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos, tal como se desarrolla en el presente documento.

Una vez descritos los parámetros ambientales de interés para el mejoramiento de la calidad de diésel, frente a la normatividad vigente se concluye que, dichos parámetros son susceptibles de actualización, mediante lo cual se da paso a la definición del problema que se desea resolver con la iniciativa regulatoria, objeto del presente AIN.

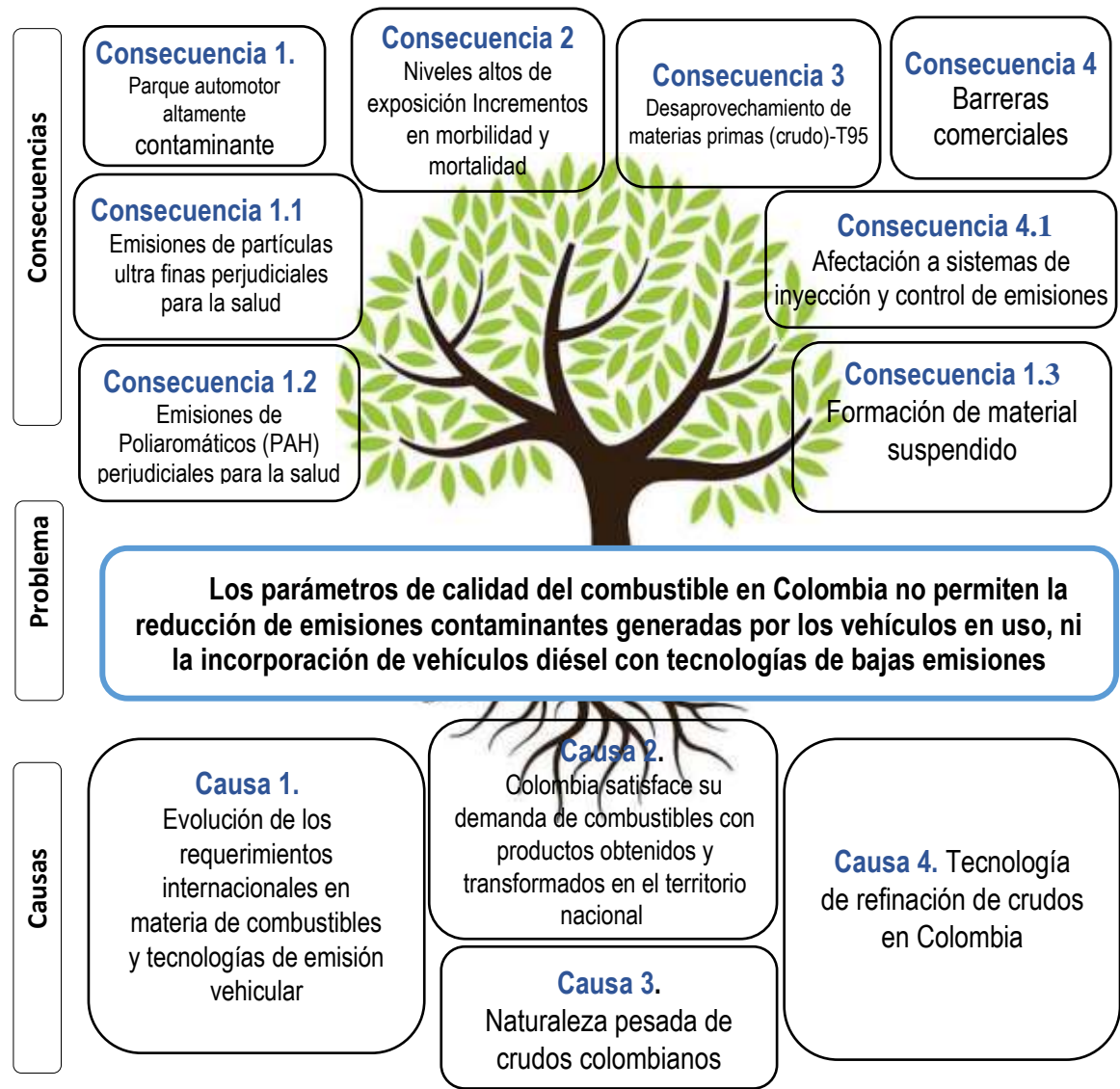


4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

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 16.Árbol de Problema



4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los parámetros de calidad de diésel con los que cuenta Colombia actualmente, no permiten la incorporación de vehículos diésel con tecnologías de bajas emisiones. A continuación, se describen las causas y consecuencias de la problemática identificada.



## Problema:

Los parámetros de calidad del combustible en Colombia no permiten la reducción de emisiones contaminantes generadas por los vehículos en uso, ni la incorporación de vehículos diésel con tecnologías de bajas emisiones.

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 disponible un combustible diésel con características como: i) 10 ppm de azufre, ii) máximo 8% de contenido de poliaromáticos y iii) un número de cetano idealmente cercano a 51, no podrá implementar tecnologías EURO VI 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 combustible diésel establecida mediante Resolución 9 0963 de 2014, contempla un contenido de azufre de 50 ppm el cual es suficiente para incorporación de tecnologías de emisión hasta EURO IV, pero es insuficiente para la incorporación de tecnologías capaces de reducir hasta un 94% las emisiones contaminantes, tales como EURO VI, para lo cual se requiere la reglamentación de un contenido de azufre de máximo 10 ppm.

2. **Colombia satisface su demanda de combustibles con productos obtenidos y transformados en el territorio nacional.** 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 mayor parte de su 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 refinería está condicionada directamente por las características fisicoquímicas de las reservas de crudo disponibles y las cuales se presentaron de forma resumida en la
- 3.
- 4.

5. Figura 7 y Figura 8; de otra manera, el país debería afrontar procesos de importación, asumiendo sobrecostos y desaprovechando las materias primas existentes en el territorio nacional. A continuación, se ilustra la relación de reservas de crudo proyectadas para Colombia.

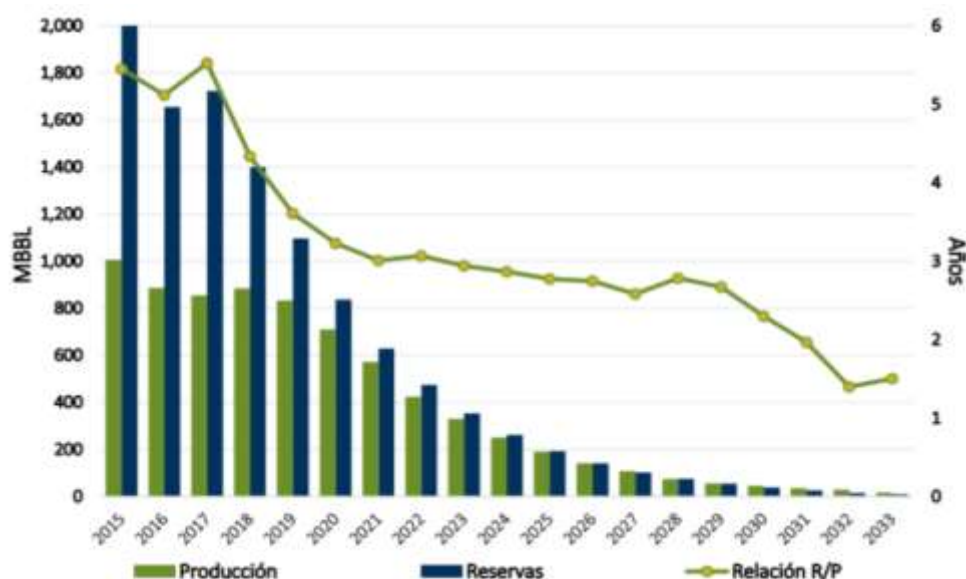


Figura 17. Reservas de Petróleo Colombiano

Fuente: (UPME, 2019)

6. **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; de esta manera, Colombia se sitúa dentro de los países con reservas de crudo más pesadas a nivel mundial.
7. **Tecnología de refinación de crudos en Colombia** La reglamentación de calidad de combustibles vigente (emitida en 2014), no contempla parámetros y altos niveles de calidad que son regulables en la actualidad gracias a los avances tecnológicos desarrollados a nivel mundial para los procesos refinación de petróleos crudos, los cuales permiten transformar las características químicas de los compuestos obtenidos durante la etapa de separación térmica.



Procesos como el hidrotratamiento e hidrocrackeo que han sido incorporados por Ecopetrol (2010 y 2016) para los procesos de refinería nacional, permiten en la actualidad controlar el nivel de contaminantes tóxicos tales como, el contenido de poliaromáticos, el cual no se considera en la reglamentación vigente y permite mejorar el control del contenido de azufre en los distintos puntos del proceso de refinería.

Pese a las mejoras alcanzadas en la calidad de los combustibles por la implementación de proyecto de hidrotratamiento de diésel y gasolina en la refinería de Barrancabermeja y modernización de la Refinería de Cartagena, subsisten dificultades relacionadas con el mantenimiento de los niveles de azufre en la movilización de los combustibles desde la refinería 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).

## 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 II y tan solo a partir de 2015 posibilitó la incorporación de tecnologías EURO IV. (Ver Figura 18).

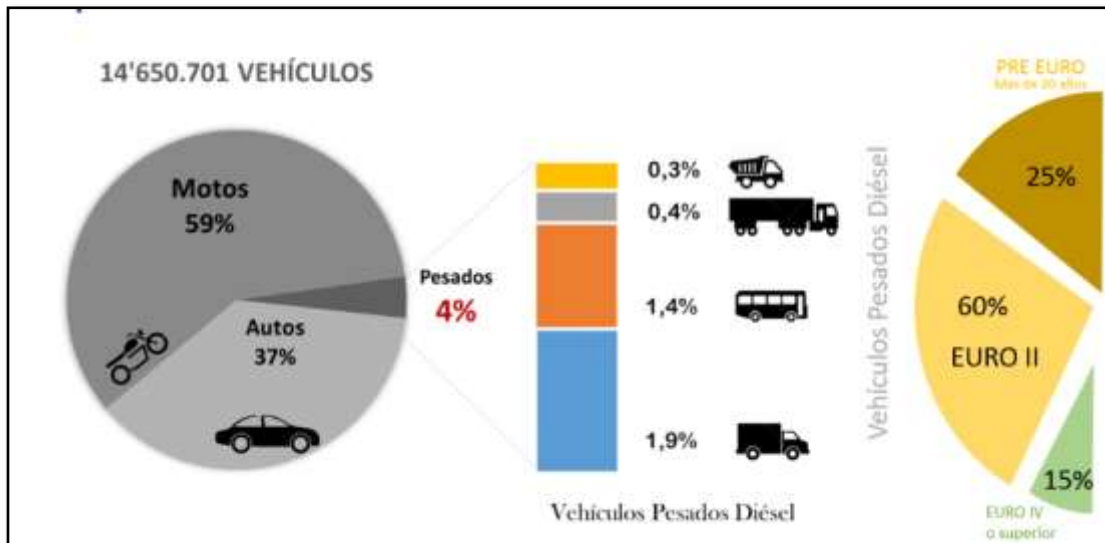


Figura 18. Composición parque automotor colombiano – Tecnologías de Emisión EURO

Fuente: Elaboración propia a partir de Runt 2019

- 1.1. Emisiones de partículas ultra finas perjudiciales para la salud.** Los colombianos se encuentran expuestos a emisiones vehiculares provenientes de tecnologías vehiculares reglamentadas en 1998 en los países de origen (tecnologías EURO II 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.

A partir de la información obtenida de los inventarios nacionales de emisiones, se ha determinado que las partículas finas (menores a  $2,5 \mu\text{m}$  de diámetro) y ultrafinas (menores a  $0,1 \mu\text{m}$ ), generadas en un 78% por las fuentes móviles, tienen mayor incidencia en las afectaciones en salud. (IDEAM 2018)

**1.2. Emisiones de Poliaromáticos (PAH) perjudiciales para la salud.** Tal como se presentó en el contexto general, el contenido de poliaromáticos del combustible diésel, es un parámetro prioritario en materia ambiental en razón del potencial cancerígeno determinado por la OMS<sup>12</sup>. La reglamentación de calidad de combustibles vigente, no establece un nivel permisible de contenido de poliaromáticos que propicie el ascenso tecnológico del parque automotor y que garantice el control de los compuestos tóxicos contenidos en el combustible diesel a los que se encuentra expuesta la población, sin embargo, la Resolución 4 0619 de 30 de junio de 2017 estableció de manera temporal un parámetro de contenido de poliaromáticos en promedio mensual máximo de 8% en masa, con picos máximos de 11%, el cual llega a su vencimiento en el mes de junio de 2019. Es responsabilidad de los Ministerios de Ambiente y Minas y Energía, establecer oportunamente la reglamentación permanente.

**1.3. Formación de Material Suspendido.** Las partículas viajan por el aire y son mezcladas en la atmosfera mediante procesos de transporte que son gobernados por las condiciones meteorológicas en un determinado instante de tiempo. Ciertas condiciones meteorológicas favorecen la suspensión de las partículas en el aire a alturas sobre la superficie del suelo que inciden directamente sobre el aire que respira la población humana. Los altos niveles de contaminación provenientes del parque automotor favorecen la formación y re-suspensión de material particulado afectando la salud de las personas durante períodos de exposición altamente nocivos.

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. **Desaprovechamiento de materias primas (T 95).** La configuración del parámetro de temperatura de destilación T95 ( $360^\circ\text{C}$ ) establecida en la reglamentación actual (Resolución 9 0963 de 2014) favorece el desaprovechamiento de cerca de 4200 barriles anuales de crudo<sup>13</sup>, materia prima nacional de la cual se puede obtener beneficios productivos mediante una regulación más estricta de parámetros como número de cetano y contenido de azufre y la inclusión de la reglamentación del contenido de poliaromáticos sumado a una T95 de ( $370^\circ\text{C}$ ). Por esta razón, la Resolución transitoria 4 0619 de 30 de junio de 2017 [MinAmbiente

<sup>12</sup> OMS (2000). WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000

<sup>13</sup> Fuente: Ecopetrol 2019



y MinMinas y Energía] reglamentó un parámetro T95 (370°C) controlando el contenido de poliaromáticos (8% con picos máximos de 11%); esta Resolución fue modificada por la Resolución 40575 de 2019 en el sentido de prolongar la vigencia de esta disposición, hasta tanto el Gobierno Nacional se pronuncie en la materia, por lo cual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Minas y Energía deben reglamentar en la materia de manera definitiva.

4. **Barreras comerciales.** 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 cetano reglamentados en la actualidad no viabilizan la implementación de tecnologías de bajas emisiones, por ej. Euro VI.

7.1 **Afectación a sistemas de inyección y control de emisiones.** Tal como se presentó en el contexto general, 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 de hasta el 94% del material particulado.

## Conclusión

Se ha identificado la necesidad de implementar acciones que permitan acceder a combustibles con la calidad suficiente para: i) viabilizar la incorporación de tecnologías vehiculares diseñadas para reducir hasta en 95% las emisiones contaminantes de material particulado, generadas de los procesos de combustión (estándares equivalentes EURO VI); ii) reducir las emisiones contaminantes generadas por el parque automotor en uso. De esta manera, se podrá superar algunas de las barreras existentes en aras del mejoramiento de la calidad del aire y la salud de la población, en lo que respecta a las emisiones generadas por las fuentes móviles terrestres en Colombia.

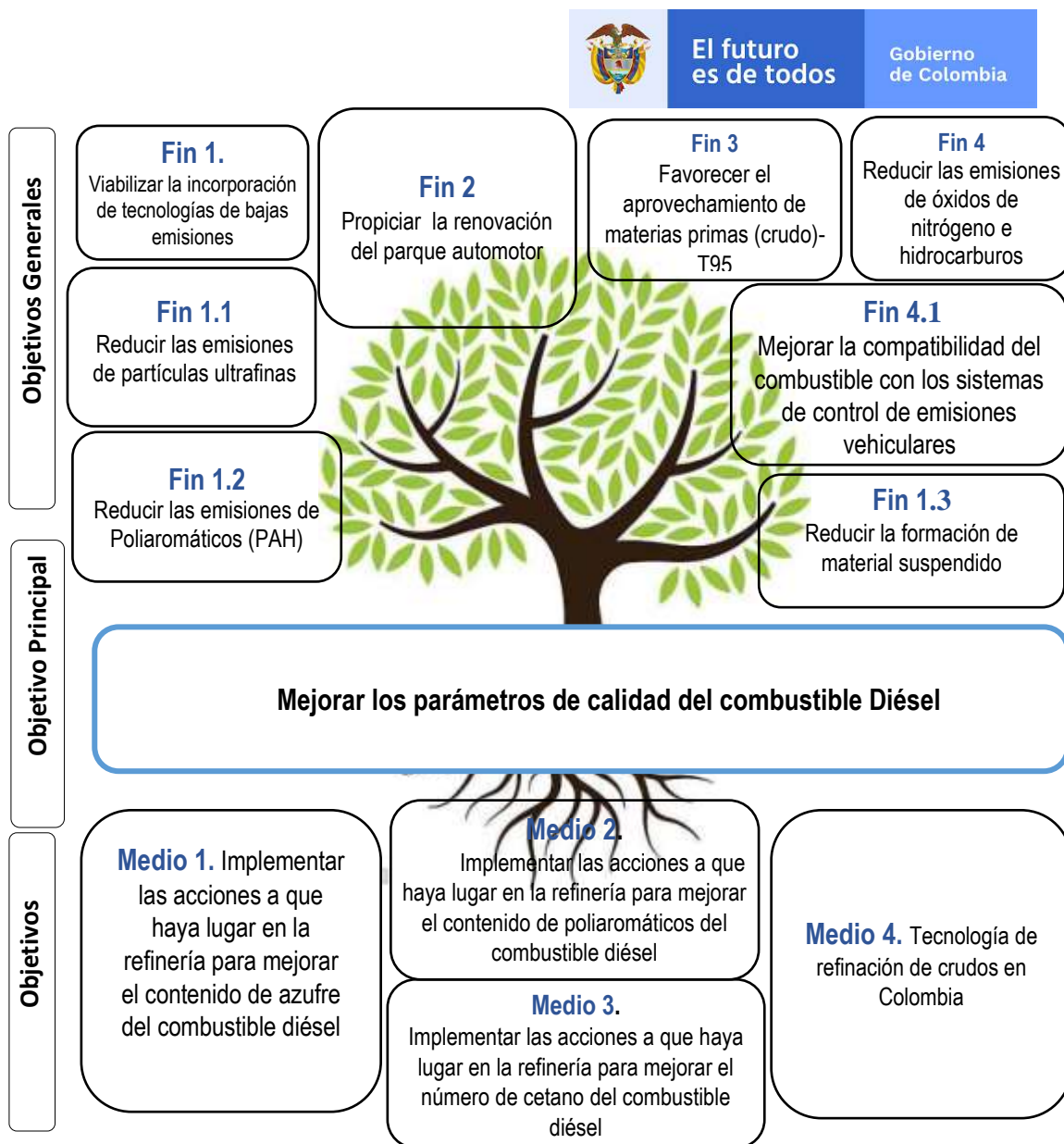


## 5. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

### 5.1. ÁRBOL DE OBJETIVOS

*Figura 19.Árbol de Objetivos*





## 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 del combustible diésel.

En concordancia 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 y Ley 1972 de 2019, 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 del combustible diésel 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 VI se habilita el ingreso al país de las tecnologías vehiculares más avanzadas disponibles en el mercado internacional.
2. Reducir los niveles de material particulado generados durante la combustión vehicular: La reducción del contenido de azufre del combustible diésel, tiene una incidencia directa en la reducción de los niveles de material particulado, el ascenso tecnológico propuesto por las tecnologías de emisión EURO VI requiere de la disponibilidad de un combustible diésel con contenidos de azufre de máximo 10 ppm. Para ello, teniendo en cuenta la condición natural de las reservas de crudo disponibles en Colombia, la cual se expuso en el desarrollo de los antecedentes del presente documento, es necesario integrar tecnologías y procesos adicionales a la refinería nacional, las cuales requieren de importantes esfuerzos económicos y de plazos medianos de implementación y ajuste.
3. Reducir los niveles de hidrocarburos poliaromáticos PAHs generados durante la combustión vehicular: La reducción de los niveles de hidrocarburos poliaromáticos generados durante la combustión vehicular se encuentra directamente condicionado por el contenido de poliaromáticos presente en el producto destilado. En este sentido, se hace necesario controlar el nivel de PAHs a la salida del proceso de refinería y para ello se requiere de la implementación de procesos y tecnologías adicionales. En la actualidad, el parámetro se controla mediante una medida temporal que reglamenta una excepción para la temperatura de destilación T95 tal como se expuso en el desarrollo de los antecedentes del presente documento; sin embargo, no hace parte de la reglamentación permanente.
4. Reducir los niveles de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno generados durante la combustión vehicular: El nivel de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno generados durante el proceso de combustión vehicular se encuentra determinado entre otros factores, por el parámetro de número de cetano, el cual determina la eficiencia del proceso de combustión. En este sentido, el mejoramiento de la condición actual del número de cetano, representará una reducción de las emisiones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno.
5. Mejorar el aprovechamiento de materias primas (reservas de crudos) para la refinación de combustibles fósiles en el país.
6. Favorecer la renovación del parque automotor.



## Medios:

1. Implementación de tecnologías y procesos requeridos en la refinería para reducir el contenido de azufre en el combustible diésel colombiano en el plazo requerido para garantizar la sostenibilidad del proceso.
2. Implementación de tecnologías y procesos requeridos en la refinería para reducir el contenido de poliaromáticos en el combustible diésel colombiano en el plazo requerido para garantizar la sostenibilidad del proceso.
3. Implementación de tecnologías y procesos requeridos en la refinería para aumentar el número de cetano del combustible diésel colombiano en el plazo requerido para garantizar la sostenibilidad del proceso.
4. Reglamentación de mejoras en los parámetros de calidad del biodiesel para sus mezclas con combustible diésel.

## 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

A continuación, se presentan las alternativas regulatorias consideradas para la iniciativa normativa de actualización de estándares de calidad de combustible diésel en el territorio nacional.

**Alternativa 1:** No regular – Esta alternativa considera el escenario en el que se mantiene el *status quo*.

**Alternativa 2:** Regular una mejora inmediata de los parámetros de calidad de combustible diésel: contenido de azufre (%AZUFRE) y número de cetano (#CETANO), además de la inclusión de la regulación del parámetro de contenido de aromáticos policíclicos ó poliaromáticos (%PAH), en niveles aceptables para la incorporación de tecnologías EURO V.

**Alternativa 3:** Regular una mejora inmediata de los parámetros de calidad de combustible diésel: contenido de azufre (%AZUFRE) y número de cetano (#CETANO), además de la inclusión de la regulación del parámetro de contenido de aromáticos policíclicos ó poliaromáticos (%PAH), en niveles aceptables para la incorporación de tecnologías EURO VI.

**Alternativa 4:** Regular una mejora progresiva de los parámetros de calidad de combustible diésel: contenido de azufre (%AZUFRE) y número de cetano (#CETANO), además de la inclusión de la



regulación del parámetro de contenido de aromáticos policíclicos o poliaromáticos (%PAH) en niveles aceptables para la incorporación de tecnologías EURO V.

**Alternativa 5:** Regular una mejora progresiva de los parámetros de calidad de combustible diésel, contenido de azufre (%AZUFRE) y número de cetano (#CETANO), además de la inclusión de la regulación del parámetro de contenido de aromáticos policíclicos o poliaromáticos (%PAH) en niveles aceptables para la incorporación de tecnologías EURO VI.

Para el parámetro T95 se evalúa la conveniencia de regular 370 grados (como se encuentra actualmente) o reducirlo a 360 grados.

## 7. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para evaluar las alternativas propuestas se aplica un análisis costo-beneficio, teniendo en cuenta que los impactos económicos previstos de la implementación de mejoras en las refinerías nacionales son significativos.

### 7.1. IDENTIFICACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS

**Costos:** Los costos considerados para el presente análisis son económicos. Para la transformación de las características de calidad del combustible, se requiere de la inversión en mejoramiento e innovación de las tecnologías de proceso de las refinerías del país. Son los principales costos identificados para el mejoramiento de la calidad de combustibles.

**Beneficios:** Para el análisis de la presente norma, se identificaron principalmente los siguientes beneficios: ambientales y sociales. A continuación, se exponen las alternativas planteadas y la matriz de costos, beneficios y desventajas asociadas a cada una de ellas.

### 7.2. IDENTIFICACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE

A continuación, se revisa para cada una de las alternativas descritas, la información disponible respecto de los costos, beneficios y desventajas asociados a su implementación.

En relación con los costos de implementación de modificaciones en las refinerías del país, se cuenta con datos de estimación económica mínima proyectada por Ecopetrol S.A., los cuales consideran el proceso de adaptación de infraestructura, así como el diseño y acople de nuevas unidades de procesamiento en distintos puntos de la refinería.

Así mismo, para la estimación de los beneficios derivados de la implementación de la reducción del contenido de azufre en el combustible diésel, se cuenta con estimaciones de costos de atención por afectaciones en salud, atribuidas a los niveles de material particulado PM<sub>2.5</sub> en el aire. A partir de esta información, la Oficina de Negocios Verdes Sostenibles del Ministerio de Ambiente, proyectó el costo de la depreciación del recurso aire a causa del PM<sub>2.5</sub> (\$/g), con base en el cual se calcula el beneficio esperado de las reducciones de éste contaminante, asociado a la reducción del contenido de azufre -además del mejoramiento de los parámetros de número de cetano y contenido de



poliaromáticos- que se proyecta en las alternativas regulatorias consideradas para el presente análisis de impacto.

En lo referente a la reducción de emisiones esperada a partir de la implementación de la medida de mejoramiento de calidad del combustible diésel, se tiene como insumos de información -entre otras- el inventario nacional de emisiones publicado por IDEAM en 2018 y los datos de inventario de parque automotor nacional registrados en la base de datos RUNT para septiembre de 2019; adicionalmente, se empleó una herramienta para modelar, el comportamiento de las emisiones provenientes del parque automotor en los escenarios correspondientes a las alternativas regulatorias consideradas en el presente documento. El modelo LEAP-IBC (Long range Energy Alternatives Planning System - Integrated Benefits Calculator) es una herramienta integrada de modelación y planeación que ayuda a los gobiernos a evaluar conjuntamente contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero. La herramienta está diseñada para caracterizar las emisiones, explorar escenarios alternativos de reducción de emisiones y comparar resultados. Esta herramienta, elaborada por el Instituto Ambiental de Estocolmo, está a disposición del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el marco de la participación de Colombia como socio de la Coalición Clima y Aire Limpio. Otros países de la región que utilizan esta herramienta para la evaluación de escenarios de reducción de emisiones son Chile, México y Perú.

Finalmente, se cuenta con información de antecedentes nacionales e internacionales que permiten establecer un marco teórico base, para analizar las ventajas, desventajas y costos asociados a las alternativas regulatorias consideradas en el presente documento. Esta información se ilustra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Matriz de alternativas, costo y beneficio

ALTERNATIVA	COSTOS	BENEFICIOS	DESVENTAJAS
<b>A1: No regular</b>	Ninguno	Ninguno	Se conservan las tendencias históricas de costos en salud por enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica
<b>A2: Mejora inmediata<sup>14</sup></b> de parámetros: %AZUFRE, #CETANO, + %PAH; para alcanzar estándar <b>EURO V</b>	No se cuenta con la capacidad de determinar los costos asociados a esta alternativa <sup>14</sup> .	Viabilización del ingreso al país de tecnologías vehiculares que garantizan reducción del 92% de las emisiones contaminantes de material particulado y de 72% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, respecto de las tecnologías predominantes características del parque automotor colombiano.	-Inminente desabastecimiento del 44,44% del diésel demandado a nivel nacional anualmente, debido a la inexistente infraestructura para suplir mediante importaciones la cantidad de producto que no satisficaría la regulación <sup>15</sup> . -Disminución total o parcial de la producción de gasolina, jet A1 y GLP en la refinaria de Barrancabermeja <sup>14</sup>
<b>A3: Mejora inmediata de</b> parámetros: %AZUFRE, #CETANO, + %PAH; para alcanzar estándar <b>EURO VI</b>	No se cuenta con la capacidad de determinar los costos asociados a esta alternativa <sup>14</sup> .	Viabilización del ingreso al país de tecnologías vehiculares que garantizan reducción del 96% de las emisiones contaminantes de material particulado y de 94% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, respecto de las tecnologías predominantes características del parque automotor colombiano.	-Inminente desabastecimiento del 44,44% del diésel demandado a nivel nacional anualmente, debido a la inexistente infraestructura para suplir mediante importaciones la cantidad de producto que no satisficaría la regulación <sup>14</sup> . -Disminución total o parcial de la producción de gasolina, jet A1 y GLP en la refinaria de Barrancabermeja.
<b>A4: Mejora progresiva<sup>16</sup></b> de parámetros: %AZUFRE, #CETANO, + %PAH; para alcanzar estándar <b>EURO V</b>	Inversiones aproximadas de US\$20,8 Millones en proyectos de mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura de procesamiento en la refinaria de Barrancabermeja tales como: -Instalación de segundo reactor y cambio de catalizador en la planta HCM ( <i>mild hydrocracker</i> ).	Viabilización del ingreso al país de tecnologías vehiculares que garantizan reducción del 92% de las emisiones contaminantes de material particulado y de 72% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, respecto de las tecnologías predominantes características del parque automotor colombiano.	El nivel de emisiones alcanzado no viabiliza la implementación de la tecnología vehicular más avanzada disponible EURO VI. La valuación económica comparativa de los costos de mantenimiento y operación asociados a una tecnología EURO V vs tecnologías EURO VI, sugiere que los vehículos que incorporan tecnologías EURO VI son 7%

<sup>14</sup> Inmediato hace referencia a un tiempo de implementación de seis meses para el escenario planteado.

<sup>15</sup> Fuente: Ecopetrol 2019

<sup>16</sup> Progresivo hace referencia al mediano plazo (4 a 6 años) en el escenario planteado

	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Instalación de nuevas facilidades de proceso durante el mantenimiento turnaround de la planta de hidrotratamiento de diésel (Prime D).</li> <li>-Incremento de la severidad de la reacción de hidrotratamiento de diésel en Prime D.</li> <li>-Cambio de catalizador en la planta de hidrotratamiento Prime D.</li> <li>-Incremento de la recuperación de hidrógeno Fase I GRB, la cual incluye: <ul style="list-style-type: none"> <li>-Mantenimiento C-556</li> <li>-Maximización carga unidades PSA.</li> <li>-Optimización del sistema de transporte por poliductos para el aseguramiento de la calidad de los combustibles durante el transporte<sup>14</sup>.</li> </ul> </li> </ul>		más eficientes que aquellos que incorporan tecnologías EURO V <sup>17</sup> .
<p><b>A5:</b> Mejora progresiva de parámetros: %AZUFRE, #CETANO, + %PAH; para alcanzar estándar <b>EURO VI</b></p>	<p>Inversiones aproximadas de US\$20,8 Millones en proyectos de mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura de procesamiento en la refinería de Barrancabermeja tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Instalación de segundo reactor y cambio de catalizador en la planta HCM (<i>mild hydrocracker</i>).</li> <li>-Instalación de nuevas facilidades de proceso durante el mantenimiento turnaround de la planta de hidrotratamiento de diésel (Prime D).</li> <li>-Incremento de la severidad de la reacción de hidrotratamiento de diésel en Prime D.</li> <li>-Cambio de catalizador en la planta de hidrotratamiento Prime D.</li> </ul>	<p>Viabilización del ingreso al país de tecnologías vehiculares que garantizan reducción del 96% de las emisiones contaminantes de material particulado y de 94% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, respecto de las tecnologías predominantes características del parque automotor colombiano.</p> <p>La implementación progresiva del mejoramiento de los parámetros de calidad mencionados, garantiza la seguridad del suministro de combustible diésel a nivel nacional.</p>	

<sup>17</sup> [https://theicct.org/sites/default/files/publications/P-8%20White%20Paper\\_final.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/P-8%20White%20Paper_final.pdf)





	<p>-Incremento de la recuperación de hidrógeno Fase I GRB, la cual incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-Mantenimiento C-556</li><li>-Maximización carga unidades PSA.</li><li>-Optimización del sistema de transporte por poliductos para el aseguramiento de la calidad de los combustibles durante el transporte.</li></ul> <p>Adicionalmente, se requerirá de inversiones estimadas por un total de US\$32,4 millones, para adecuar la infraestructura de tratamiento de diésel, para asegurar máximo 10 ppm de azufre:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-Desembotellamiento y ampliación de la capacidad de tratamiento en la unidad Prime D, hidrotratadora de diésel.</li><li>-Nuevo cambio de catalizador, adecuado a las innovaciones tecnológicas para lograr las especificaciones de 10 ppm de azufre, en la planta de hidrotratamiento Prime D.</li></ul>		
--	--	--	--



### 7.3. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA

Debido a los altos costos asociados a la actualización de los procesos de refinación de crudo en el país, además de, la disponibilidad de información relacionada con los costos de atención en salud derivados de la problemática de calidad del aire, en particular de las afectaciones en salud a causa de la contaminación por material particulado, se estima conveniente aplicar un análisis costo-beneficio. Teniendo en cuenta que la información disponible para el cálculo tanto de los costos como de los beneficios es de calidad (información primaria obtenida de Ecopetrol S.A y valoración económica ambiental MinAmbiente), esta metodología de análisis constituye una herramienta de toma de decisión confiable.

### 7.4. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En este capítulo se evalúan las alternativas regulatorias consideradas para la norma objeto del presente análisis de impacto. En primer lugar, se discute lo relativo al parámetro T95, seguido de un análisis de las alternativas regulatorias disponibles en materia de, contenidos de azufre y de poli-aromáticos, así como del parámetro número de cetano.

En este sentido, con ocasión de la publicación de la Ley 1972 de 2019, la cual establece que la tecnología vehicular que debe reglamentarse a nivel nacional es EURO VI, la alternativa regulatoria inicialmente considerada, EURO V, será revisada en el presente análisis a fin de ilustrar algunos argumentos técnicos concordantes con lo dispuesto en la citada Ley.

#### 7.4.1 T-95

Para la evaluación del parámetro T95, se hace el siguiente análisis.

Tabla 3. Evaluación de alternativas regulatorias parámetro T95

ALTERNATIVA	COSTO	BENEFICIO
T95 <sub>360°C</sub>	\$27 M USD Anuales*	No se genera un cambio en emisiones contaminantes
T95 <sub>370°C</sub>	\$ 0	No se genera un cambio en emisiones contaminantes

\*Millones de dólares anuales

Dado que no se genera un impacto ambiental de ninguna de las alternativas disponibles, se evalúa únicamente el costo asociado a cada una de ellas. En este escenario se evidencia que el valor del parámetro que presenta mejor relación costo-beneficio es: T95<sub>370°C</sub>

#### 7.4.2 POLI-AROMÁTICOS, CONTENIDO DE AZUFRE Y NÚMERO DE CETANO

Para la evaluación de las alternativas de reglamentación del conjunto de parámetros: poli-aromáticos, contenido de azufre y número de cetano, con base en la información disponible se proyectó un análisis econométrico de los beneficios ambientales esperados de la implementación de las mejoras en el combustible diésel, comparando con los costos de implementación de las



modificaciones estructurales necesarias en las refinerías del país para alcanzar los estándares planteados.

Para ello, a partir de la información disponible en la base de datos del Registro Único Nacional de Tránsito RUNT, mediante la herramienta LEAP, se proyectó una línea base, con las emisiones de  $PM_{2.5}$  generadas por las fuentes móviles terrestres que utilizan combustible diésel, con fecha de corte septiembre 2019. Posteriormente, también mediante el modelo LEAP, se estimó año a año, las reducciones esperadas en la emisión de  $PM_{2.5}$  con respecto a la línea base, producto de la implementación de tecnologías EURO VI a partir de 2021 en todo el territorio nacional con una gradualidad en el reemplazo de tecnologías EURO III y anteriores, hasta obtener el escenario dispuesto en la Ley 1972:2019 para 2035, en el que sólo se contempla la circulación de vehículos diésel que cumplan con estándares equivalentes a EURO VI.

Con esta información de reducción anual de  $PM_{2.5}$ , mediante un análisis econométrico, se proyectó el beneficio en costos de atención en salud, esperado de la implementación de la medida. De forma paralela, para las mismas anualidades, se estimaron los costos asociados a la inversión requerida en infraestructura física y tecnológica, en las refinerías del país, a fin de determinar una relación costo-beneficio. A continuación, se presenta el procedimiento aplicado así como los resultados obtenidos.

#### - Estimación de beneficios en reducción de emisiones de $PM_{2.5}$ mediante modelo LEAP para las alternativas EURO V y EURO VI

Con base en datos del RUNT de 2018, estimaciones realizadas por la UPME en 2017 y estimaciones realizadas internamente sobre la proporción de tecnologías dentro del total de flota diésel, se determinó la cantidad de vehículos (excluyendo motos) categorizados en: Camiones pesados (camiones de peso mayor a 3.5 toneladas), camiones ligeros (camiones menores a 3.5 toneladas), buses y automóviles. Para propósitos del ejercicio, se asume que todos los camiones y buses utilizan diésel y que todos los automóviles utilizan gasolina. Se realizó un ejercicio tomando como base datos históricos desde 2010 y proyectando a 2030 la flota nacional. De acuerdo con el modelo, para 2020, el número estimado de vehículos que circulan en el país (excluyendo motocicletas) es de 6.150.000 (muy cercano a la última actualización del RUNT, de 6.193.000) y que, de estos vehículos, aproximadamente 600.000 utilizan diésel. Se proyecta que estos valores a 2030 serán de 9.036.000 y 731.000 respectivamente.

Las emisiones de  $PM_{2.5}$  y  $NO_x$  del transporte de carretera, para el cual se utilizó el Nivel de cálculo 2 del EMEP/EEA 2016 que considera el tipo de tecnología vehicular:

$$E = \sum_i N_{i,j,k} \times D_i \times FE_{i,j,k}$$

Donde:

E = emisiones de  $PM_{2.5}$  o  $NO_x$  en el sector transporte de carretera



k = tecnología vehicular (Euro I, Euro II, etc. y cilindraje)<sup>18</sup>

$N_{i,j,k}$  = Número de vehículos que usan el combustible j, en la categoría vehicular i y tecnología k

- $D_k$  = Distancia promedio anual recorrida por vehículo en la categoría vehicular i, suponiendo que el kilometraje es el mismo sin importar la tecnología k.
- $FE_{i,j,k}$  = Factor de emisión de PM<sub>2.5</sub> o NO<sub>x</sub>, por tipo de combustible j, en la categoría vehicular i, y tecnología k, disponibles por defecto en el EMEP/EEA 2016 para las siguientes categorías: vehículos pesados y buses. (g/veh-km)<sup>19</sup>.

A continuación, se presenta la parametrización de distancias recorridas para las tipologías vehiculares, las cuales varían de acuerdo a la ciudad que reporta el inventario de emisiones. Sin embargo, el valor seleccionado corresponde a un promedio representativo de los centros urbanos con mayor densidad vehicular.

Variable	Buses	Camiones ligeros	Camiones pesados
Kilómetros recorridos por vehículo por año:	48039	48069	48069

Bajo las consideraciones anteriormente descritas, se obtuvo el siguiente resultado gráfico del comportamiento esperado para las emisiones de PM<sub>2.5</sub> (Toneladas) resultantes de la aplicación de la medida.

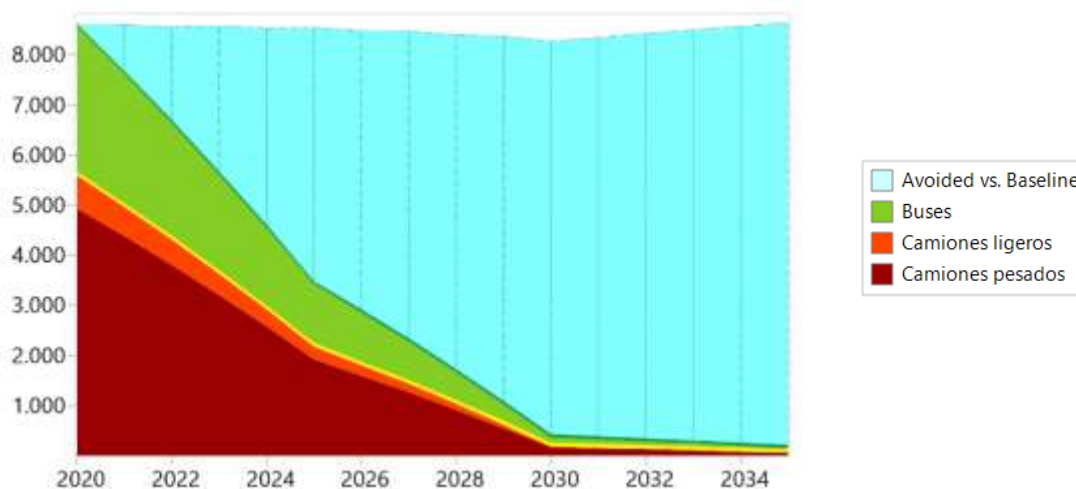


Figura 20. Resultado Modelo Leap PM<sub>2.5</sub>, implementación de EURO VI a partir de 2021, con reemplazo de tecnología para el 100% del parque automotor en 2035 - Según Ley 1972 de 2019. Unidades del eje vertical: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de RUNT 2019/09.

En la figura se aprecia una reducción de 94,5% de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> respecto de la línea base (normatividad vigente a 2019). Con el fin de avanzar en la estimación de los beneficios en costos

<sup>18</sup> La tecnología vehicular se asumió de acuerdo con el año modelo de los vehículos registrados en el RUNT.

<sup>19</sup> Los factores de emisión fueron tomados de las tablas 3-21, 3-22, 3-23 y 3-24 del EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016.



de atención en salud derivados de la implementación de esta medida, se determinó la reducción anual de las emisiones, de la siguiente manera.

*Tabla 4. Estimación de emisiones reducidas anualmente, por la reglamentación de calidad de combustible EURO VI y su consecuente ascenso tecnológico - según Ley 1972 de 2019. – Salida Modelo LEAP*

Año	Reducción PM <sub>2.5</sub> (Toneladas)
2020	2,8998
2021	928,1964
2022	1.872,39
2023	2.917,71
2024	3.938,89
2025	5.065,93
2026	5.568,01
2027	6.137,38
2028	6.676,29
2029	7.285,71
2030	7.843,28
2031	7.960,93
2032	8.078,00
2033	8.194,49
2034	8.310,41
2035	8.425,76

*Fuente: Elaboración propia*

Esta reducción se calculó con las siguientes consideraciones de diseño para la parametrización del modelo LEAP.

- Toda la flota Euro I (y anteriores) gradualmente retirada entre 2020 y 2025 y reemplazada por Euro VI.
- Toda la flota Euro II gradualmente retirada entre 2025 y 2030 y reemplazada por Euro VI.
- Todos los vehículos nuevos entrantes son Euro VI a partir de 2021.
- No ingresa flota Euro V.

Para el caso de los óxidos de nitrógeno, la misma simulación arrojó los siguientes resultados, en cuanto a la su reducción para el escenario planteado.

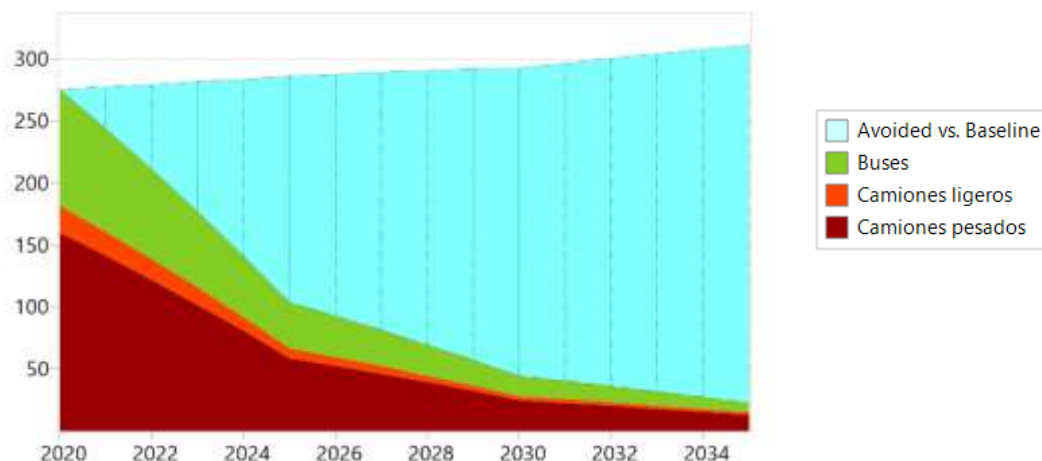


Figura 21. Resultado Modelo Leap NO<sub>x</sub>, implementación de EURO VI a partir de 2021, con reemplazo de tecnología para el 100% del parque automotor en 2035 - Según Ley 1972 de 2019. Unidades del eje vertical: Miles de Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de RUNT 2019/09.

En la figura se aprecia una reducción de 87% de las emisiones de NO<sub>x</sub> respecto de la línea base (normatividad vigente a 2019).

- **Estimación de Costos de Implementación en refinerías para implementación de combustible con parámetros de calidad equivalentes a EURO VI.**

A partir de información preliminar estimada por Ecopetrol S.A, se establecieron anualidades de inversión mínimas requeridas para la actualización de los procesos e infraestructura en las refinerías del país, para la implementación de las medidas de adecuación de parámetros de calidad del combustible diésel, para garantizar distribución de este combustible con estándares equivalentes a EURO VI, en los términos específicos desarrollados en el presente documento. Una vez determinadas las anualidades, se realizó un proceso de “discounting” para determinar el valor presente neto de las inversiones, usando una tasa ambiental de descuento TAD del 3% (ANLA, 2018) y una TRM de 4020 pesos colombianos. Los resultados de este proceso se presentan a continuación.

Tabla 5. Costos estimados de inversión requerido en refinerías para mejoramiento de combustibles.

Año	Costo *VP M\$ COP
2019	\$ -
2020	\$ 51.909
2021	\$ 117.277
2022	\$ 158.375
2023	\$ 336.277
2024	\$ 684.868
2025	\$ 620.312
2026	\$ 531.642
2027	\$ 344.158



2028	\$ 40.053
2029	\$ 26.024
2030	\$ -
2031	\$ -
2032	\$ -
2033	\$ -
2034	\$ -
2035	\$ -

Fuente: Elaboración propia a partir de Ecopetrol S.A.

\*: Valor presente de inversión, en millones de pesos colombianos

**Nota:** Los valores estimados en la tabla consideran los ajustes necesarios para el mejoramiento de los procesos de refinación de diésel (estimación de MinAmbiente a partir de costos totales para mejoramiento de calidad de diésel y gasolina suministrados por Ecopetrol S.A), los cuales deben realizarse de forma gradual a fin de no afectar la continuidad en la prestación del servicio. Los valores están sujetos a cambios y no son vinculantes.

Con base en esta información y mediante la valoración económica del recurso aire aplicada por la oficina de negocios verdes sostenibles del Ministerio de Ambiente, la depreciación del recurso aire asciende a 57.23 \$/g de PM<sub>2.5</sub>. Bajo estas premisas, se realizó el cálculo de los beneficios económicos derivados de la implementación de la medida, mediante un proceso de “discounting” con una TAD de 3% según (ANLA, 2018).

Tabla 6. Estimación del beneficio acumulado anual por reducción de PM<sub>2.5</sub>

Año Calendario	Reducción PM <sub>2.5</sub> (Toneladas)	Beneficio acumulado	Beneficio Valor Presente M\$COP
2019	0	\$ -	\$ 0,00
2020	2,8998	\$ 165.955.554	\$ 161,12
2021	928,1964	\$ 53.286.635.526	\$ 50.227,76
2022	1872,3902	\$ 160.443.526.672	\$ 146.828,56
2023	2917,7121	\$ 327.424.190.155	\$ 290.912,15
2024	3938,8883	\$ 552.846.767.564	\$ 476.890,48
2025	5065,9292	\$ 842.769.895.680	\$ 705.806,52
2026	5568,0077	\$ 1.161.426.976.351	\$ 944.346,42
2027	6137,3755	\$ 1.512.668.976.216	\$ 1.194.114,86
2028	6676,2881	\$ 1.894.752.944.179	\$ 1.452.170,36
2029	7285,7124	\$ 2.311.714.264.831	\$ 1.720.132,52
2030	7843,2779	\$ 2.760.585.059.048	\$ 1.994.305,38
2031	7960,9265	\$ 3.216.188.882.643	\$ 2.255.770,17
2032	8077,9986	\$ 3.678.492.742.521	\$ 2.504.874,56
2033	8194,4942	\$ 4.147.463.645.587	\$ 2.741.962,07
2034	8310,4134	\$ 4.623.068.604.469	\$ 2.967.371,82
2035	8425,756	\$ 5.105.274.620.349	\$ 3.181.438,36

Fuente: Elaboración propia





De lo anterior, se ha consolidado la información necesaria para determinar la relación costo-beneficio de implementación de la medida. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 7. Relación Costo-Beneficio

Año	Reducción PM <sub>2.5</sub> (Toneladas)	Beneficio acumulado	Beneficio Valor Presente M\$COP	Costo M\$ USD	Costo VP M\$ COP
2019	0	\$-	\$ 0,00	0,00	\$ -
2020	2,8998	\$ 165.955.554	\$ 161,12	13,30	\$ 51.909
2021	928,1964	\$ 53.286.635.526	\$ 50.227,76	30,95	\$ 117.277
2022	1872,3902	\$160.443.526.672	\$ 146.828,56	43,05	\$ 158.375
2023	2917,7121	\$327.424.190.155	\$ 290.912,15	94,15	\$ 336.277
2024	3938,8883	\$552.846.767.564	\$ 476.890,48	197,50	\$ 684.868
2025	5065,9292	\$842.769.895.680	\$ 705.806,52	184,25	\$ 620.312
2026	5568,0077	\$1.161.426.976.351	\$ 944.346,42	162,65	\$ 531.642
2027	6137,3755	\$1.512.668.976.216	\$ 1.194.114,86	108,45	\$ 344.158
2028	6676,2881	\$ 1.894.752.944.179	\$ 1.452.170,36	13,00	\$ 40.053
2029	7285,7124	\$ 2.311.714.264.831	\$ 1.720.132,52	8,70	\$ 26.024
2030	7843,2779	\$ 2.760.585.059.048	\$ 1.994.305,38	0,00	\$ -
2031	7960,9265	\$ 3.216.188.882.643	\$ 2.255.770,17	0,00	\$ -
2032	8077,9986	\$3.678.492.742.521	\$ 2.504.874,56	0,00	\$ -
2033	8194,4942	\$ 4.147.463.645.587	\$ 2.741.962,07	0	\$ -
2034	8310,4134	\$ 4.623.068.604.469	\$ 2.967.371,82	0	\$ -
2035	8425,756	\$ 5.105.274.620.349	\$ 3.181.438,36	0	\$ -

Fuente: Elaboración propia

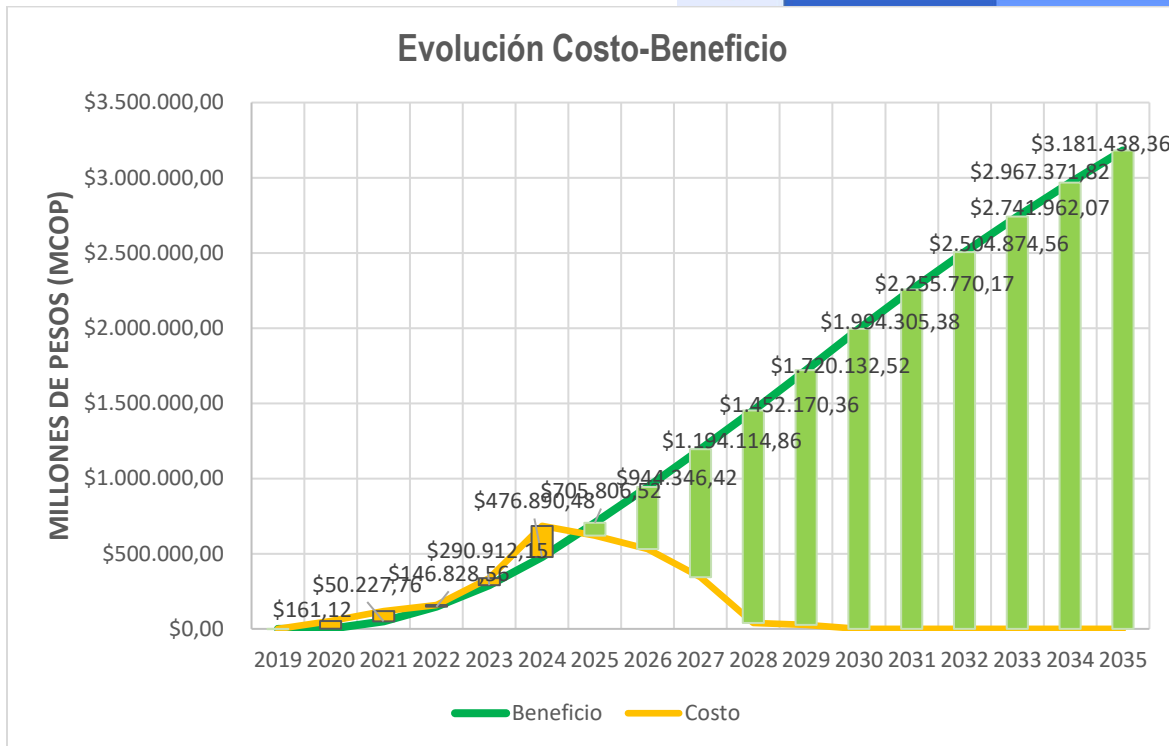


Figura 22. Anualidad de la relación costo beneficio – Fuente: Elaboración Propia

Al evaluar el valor presente neto de los costos y beneficios, se obtuvo el siguiente resultado.

\$	2.910.896	\$ 22.627.313,10	\$ 19.716.417,52
VPN COSTO		VPN BENEFICIO	RELACIÓN BENEFICIO-COSTO

Como se observa, los costos son menores a los beneficios, por tanto, la relación es favorable para la implementación de la alternativa regulatoria de calidad de diésel, que presenta estándares equivalentes a EURO VI.

De manera complementaria, el proyecto normativo considera el mejoramiento de la calidad de biocombustibles distribuidos en el territorio nacional. En este sentido el siguiente acápite resume las consideraciones relacionadas con los parámetros presentados en el proyecto normativo, en referencia con los biocombustibles.

#### - Consideraciones calidad de Biocombustibles – Efectos económicos

En materia de calidad de Biocombustibles, la norma propuesta direcciona el mejoramiento de algunos parámetros que tienen influencia directa en el desempeño de los combustibles como mezcla fósil-bio y que determinan el desempeño mecánico y ambiental del parque automotor. Este mejoramiento implica inversiones en costo y gasto para entrega y distribución de los productos comercializados. A continuación, se describen algunos de los efectos derivados.



## ▪ EFECTOS ECONÓMICOS MONOGLICÉRIDOS

Los monoglicéridos están compuestos por una molécula de glicerol y se usa tanto biológica como industrialmente. Están presentes en la naturaleza en niveles muy bajos (0,1-0,2%) en algunos aceites de semillas como el aceite de oliva, el aceite de colza y el aceite de semilla de algodón. Adicionalmente, la producción industrial se logra principalmente mediante una reacción de glicerólisis entre triglicéridos y glicerol.

La formación de estos sólidos por inadecuadas condiciones de almacenamiento del combustible tiene dos causas:

- 1) La presencia de agua.
- 2) La presencia de estéril glucósidos en el biodiesel.

Como medida complementaria a la implementación de las buenas prácticas, se presenta la instalación de la unidad de proceso requerida para eliminar el HAZE<sup>20</sup> en el biodiesel (Torre de destilación).

Para remover el HAZE del Biodiesel, disminuir los monoglicéridos y de esta forma, cumplir el parámetro de sostenibilidad, se requiere hacer inversiones de alrededor de 302 COP/Gal<sup>21</sup> por 5 años, para una planta de capacidad de 100,000 toneladas.

	Valor (U\$)	Costo U\$ / Ton	\$/ galón
Inversión Equipos	\$6.974.005		
Depreciación 5 años		\$12,68	\$120
Costo Operativo		\$16,60	\$157
Mermas No recuperables		\$2,69	\$25
<b>TOTAL</b>		<b>\$31,97</b>	<b>\$302,35</b>

Fuente: EY

## ▪ EFECTOS ECONÓMICOS DE LOS POLIAROMÁTICOS

Para alcanzar el nivel propuesto en el presente acto administrativo, se deben emprender cambios operativos en la Refinería de Barrancabermeja. Este nivel de poliaromáticos más exigente requerirá limitar el uso de algunos componentes del diésel, que son producidos en las unidades de cracking catalítico que tienen mayores niveles de poliaromáticos, en la preparación (blending) del diésel. Estos componentes en lugar de ser utilizados para la producción de diésel deberán ser direccionados a la producción de fueloil. Esto significa una menor producción de diésel por aproximadamente 60 mil barriles al año.

<sup>20</sup> SEDIMENTOS DE BIODIESEL O HAZE: es un sólido que se forma a temperaturas cercanas al punto de nube del biodiésel. Estos sedimentos se miden por el parámetro de Contaminación Total. Recuperado de: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/425/1/6102538-2016-2-IQ.pdf>

<sup>21</sup> Cifra suministrada por Fedebiocombustibles a MinEnergía.



Se estima que estos cambios operativos tendrán un impacto económico aproximado de 2,7 millones de dólares al año.

#### ▪ EFECTOS ECONÓMICOS DEL CONTENIDO DE AGUA

Para alcanzar el nivel máximo de contenido de agua de 0,035% vol se deben realizar inversiones y cambios operativos en la Refinería de Barrancabermeja. Este nivel más exigente requerirá inversiones fijas y costos operativos adicionales en insumos químicos y mantenimiento para establecer un nuevo proceso de secado del diésel. Se estima que este proceso de secado tendrá un impacto económico aproximado de 1,7 millones de dólares al año.

### 8. ELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Una vez evaluada la relación costo-beneficio de las alternativas se concluye que aquella que satisface tanto las necesidades, como las capacidades de la nación es la alternativa 5, sumada a incrementar el parámetro  $T_{95}$  a un valor de  $370\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{95_{370^{\circ}\text{C}}}$ ).

**Alternativa 5:** Regular una mejora progresiva de los parámetros de calidad de combustible diésel, contenido de azufre (%AZUFRE) y número de cetano (#CETANO), además de la inclusión de la regulación del parámetro de contenido de aromáticos policíclicos o poliaromáticos (%PAH) en niveles aceptables para la incorporación de tecnologías EURO VI.

Incrementar el parámetro  $T_{95}$  a un valor de  $370\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{95_{370^{\circ}\text{C}}}$ )

#### 8.1. JUSTIFICACIÓN

La selección de alternativas regulatorias se basó en la evaluación de las relaciones costo-beneficio y en la viabilidad de implementación en los tiempos establecidos. La alternativa de reglamentación de estándares EURO V no satisface el mandato dictado mediante la Ley 1972 de 2019, por tanto, se descarta. En lo referente a la implementación de estándares de calidad de diésel equivalentes a EURO VI, la opción de implementación inmediata carece de fundamento tecnológico, toda vez que no se dispone de una oferta en el mercado, capaz de implementar las inclusiones/modificaciones/adecuaciones necesarias en todos los flujos de la refinería de manera inmediata, sin suponer riesgo de desabastecimiento de la demanda nacional.

De esta manera se evidencia que la alternativa regulatoria seleccionada exhibe una relación costo-beneficio favorable y satisface los requisitos de implementación técnica, para mejoramiento de los parámetros de calidad de diésel en el corto-mediano plazo, en la medida requerida para viabilizar tanto la incorporación de tecnologías de bajas emisiones, como la reducción de las emisiones contaminantes generadas por el parque automotor en uso.



## 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: Mayo 28-Junio 13 de 2019  
<https://www.minenergia.gov.co/foros?idForo=24112045>  
Comentarios recibidos: Ninguno
- Consulta Pública Articulado de Resolución Calidad de Diésel: Mayo 28-Junio 13 de 2019  
<https://www.minenergia.gov.co/foros?idForo=24112045>  
Comentarios recibidos: Anexo 1. Matriz de comentarios consulta 28052019/13062019
- Consulta Pública Análisis de Impacto Normativo Final: 2-17 de Julio 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

## 12. REFERENCIAS

- UPME. (2019). *Plan indicativo de abastecimiento de combustibles líquidos*.
- ACEA, e. J. (2013). *World fuel charter*. 5th ed.
- ICCT, e. P. (2011). *Introducción a la refinación de petróleo y producción de gasolina y diesel con bajo contenido de azufre*.
- ICCT, (2016) *technical background on india bs vi fuel specifications*
- Resolución 898 de 1995
- Resolución 9 0963 de 2014
- Resolución 4 0319 de 2017
- *Informe resultados astm d 613 – carmin cargo control 2019*
- OMS (2000). *Who regional office for europe, copenhagen, denmark, 2000*
- Epefe - *european programme on emissions, fuels and engine technology (part of the european auto-oil 1 programme, 1993-1995)*



- *IDEAM, 2018. Informe del estado de la calidad del aire 2017.*  
*DNP, 2018. Conpes 3943 “política para el mejoramiento de la calidad del aire”.*
- *ANLA. (2018). Propuesta para la definición de una tasa ambiental de descuento para Colombia.*
- *CCAC, climate & clean air coalition. (2016). Cleaning up the global on-road diesel fleet.*
- *Francisco Posada, ICCT. (2019). Casap 2019, del papel a la realidad: estrategias para maximizar los beneficios de norma Euro VI de emisiones vehiculares. Barranquilla.*
- *ICCT. (2020). Motor vehicle diesel fuel quality compliance and enforcement in China: a look at the status quo and international best practices.*



# 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

Johanna Cristina Jiménez Fonseca

2020



## 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.....	15
4.1.	Árbol de Problemas .....	15
4.2.	Descripción del Problema.....	15
5.	Definición de Objetivos.....	21
5.1.	Árbol de Objetivos .....	21
5.2.	Descripción de objetivos.....	22
6.	Selección De Alternativas .....	24
6.1.	Identificación de Alternativas .....	24
7.	Evaluación De Alternativas .....	26
7.1.	Identificación de criterios de evaluación .....	26
7.2.	Identificación y revisión de información disponible.....	27
7.3.	Justificación de la metodología utilizada .....	30
7.4.	Evaluación de las alternativas .....	31
8.	Elección De La Mejor Alternativa .....	34
8.1.	Justificación .....	34
9.	Consulta pública.....	34
9.1.	Resultados de las consultas públicas.....	35
10.	Implementación y monitoreo .....	35
10.1.	Implementación y cumplimiento .....	35
11.	Anexos.....	35
12.	Lista de Referencias .....	35

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Mejoramiento progresivo del contenido de azufre la gasolina en Colombia.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2. Reducción de Contaminantes para gasolina de bajo contenido de azufre. ....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3. Niveles de Presión de Vapor recomendados por la carta mundial de combustibles.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 4. Ponderacion de Criterios.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5. Matriz de evaluación de alternativas y criterios.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 6. Matriz de decisión calificada.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 7. Ponderación de criterios de evaluación.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 8. Cálculo matricial de proporciones para suma ponderada.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 9. Cálculo de proporciones de vector de pesos ponderados.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 10. Resultado de la suma ponderada para calificación de alternativas.....</i>	<i>34</i>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Evolución calidad de gasolina en Colombia.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2. Calidad de diésel en el mundo – Contenido de Azufre.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3. Calidad de Gasolina en el mundo - Contenido de Azufre.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 4. Producción Natural de Crudos Livianos y Pesados.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 5. Clasificación Internacional de Crudos según gravedad API.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 6. Calidad Regional de Petróleos Crudos – Proyección.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 7. Esquema de Refinería de Petróleos Crudos – Columna de Destilación.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 8. Árbol de Problema.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 9. Composición parque automotor colombiano.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 10.Árbol de Problema.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 11. Desempeño de los sistemas de control de NOx vs contenido de azufre de las gasolinas.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 12. World Fuel Charter Euro 6 - Recomendación.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 13. Secuenciación (bacheo) de combustibles para transporte en poliducto.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 14. Cronograma de mejoramiento de procesos en refinería - Calidad de Gasolina.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 15. Fracción de elementos metálicos presentes en el PM<sub>2,5</sub> según tecnología de emisión - gasolina.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 16. Emisiones en masa de partículas en vehículos livianos tipo moto, según tecnología - gasolina.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 17. Reducción de contaminantes según tecnología, en función del contenido de azufre – vehículos a gasolina.....</i>	<i>29</i>

## 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<sub>2.5</sub> 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

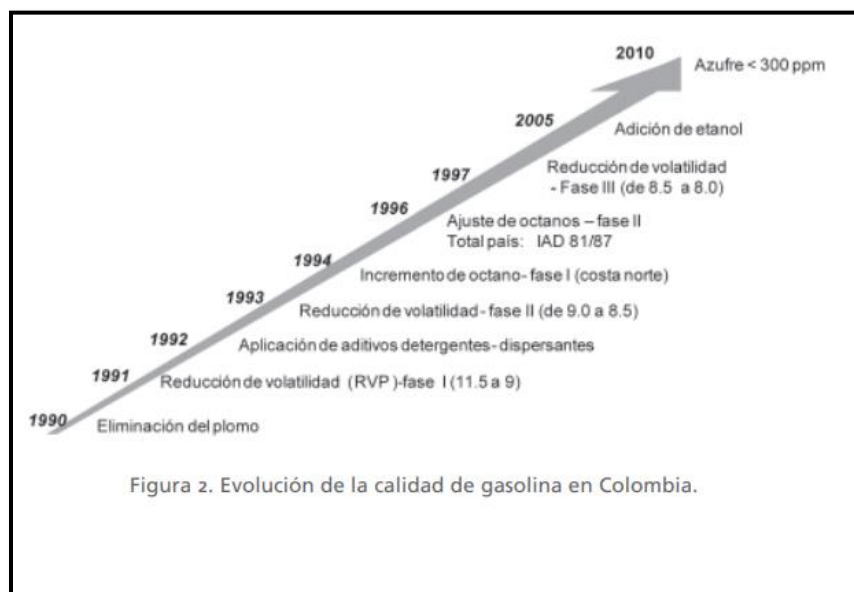
- **CALIDAD DE COMBUSTIBLES - GASOLINA**

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

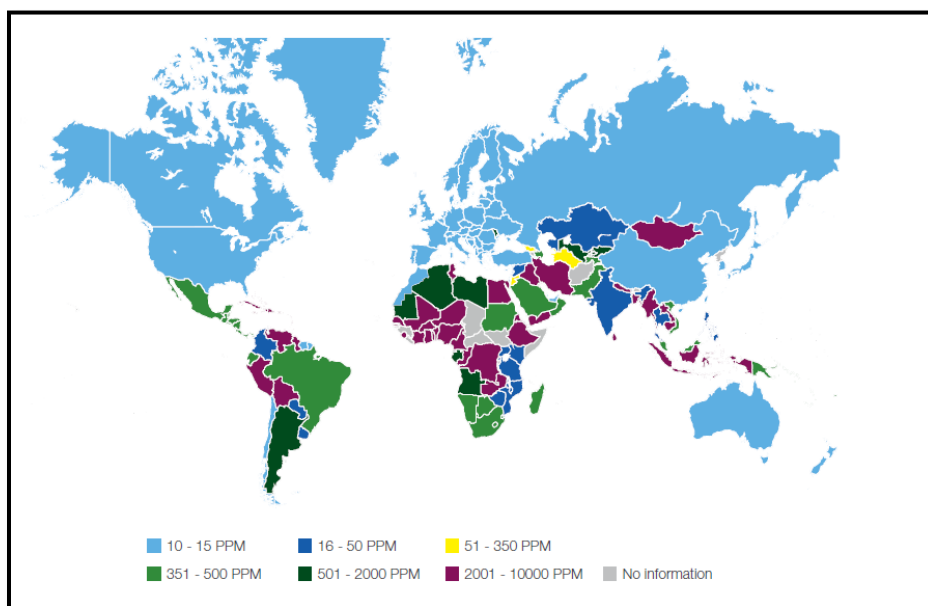
La calidad de los combustibles, se encuentra determinada tanto por la naturaleza físico-química de los petróleos crudos de los cuales son extraídos, como por las condiciones operativas y tecnológicas de los procesos implementados en la refinería, además de la infraestructura de la red de transporte por 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.

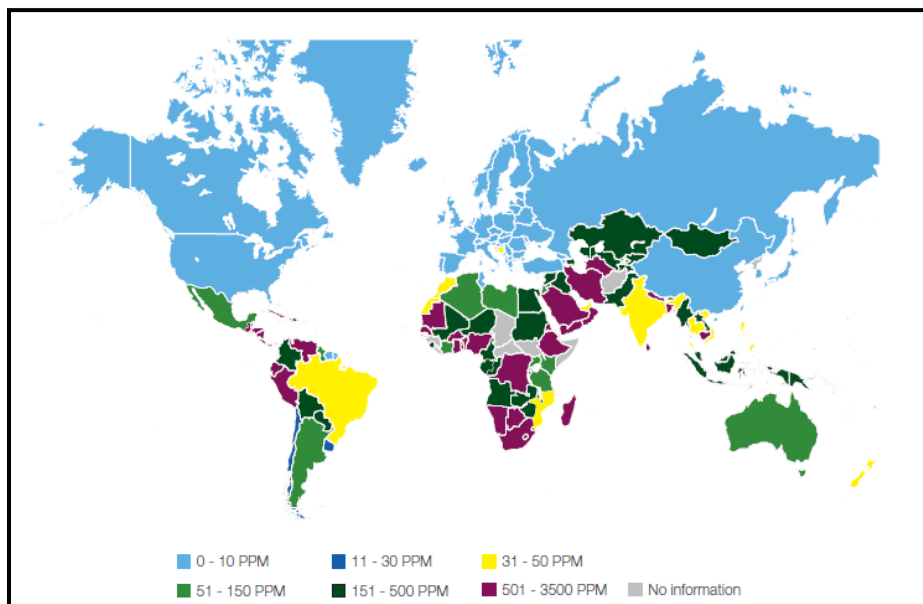
Figura 2. Calidad de diésel en el mundo – Contenido de Azufre



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*

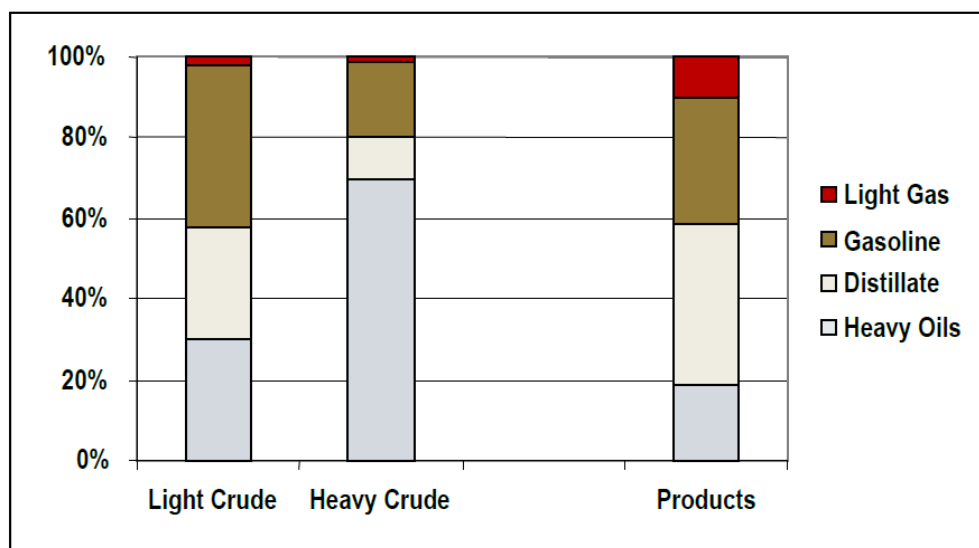


proporciones más altas de moléculas grandes, que las refinerías pueden i) utilizar en combustibles industriales pesados, asfalto y otros productos pesados (cuyos mercados son menos dinámicos y, en algunos casos, se están reduciendo), o ii) procesarlas en moléculas más pequeñas que se pueden utilizar 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 ( $^{\circ}\text{API}$ ), por ejemplo,  $35^{\circ}\text{API}$ . 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  $10^{\circ}$  (ICCT, 2011).

La Figura 4 ilustra acerca de la calidad de un típico crudo liviano ( $35^{\circ}\text{API}$ ) y un típico crudo pesado ( $25^{\circ}\text{API}$ ), 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 refinación 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.	Light Sweet	40.0	0.5
West Texas Intermediate	U.S.A.		39.8	0.3
Arabian Extra Lt. Export	Saudi Arabia	Light Sour	38.1	1.1
Daqing	China	Medium Medium Sour	33.0	0.1
Forcados Export	Nigeria		29.5	0.2
Arabian Light Export	Saudi Arabia	Medium Sour	34.0	1.9
Kuwait Export Blend	Kuwait		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

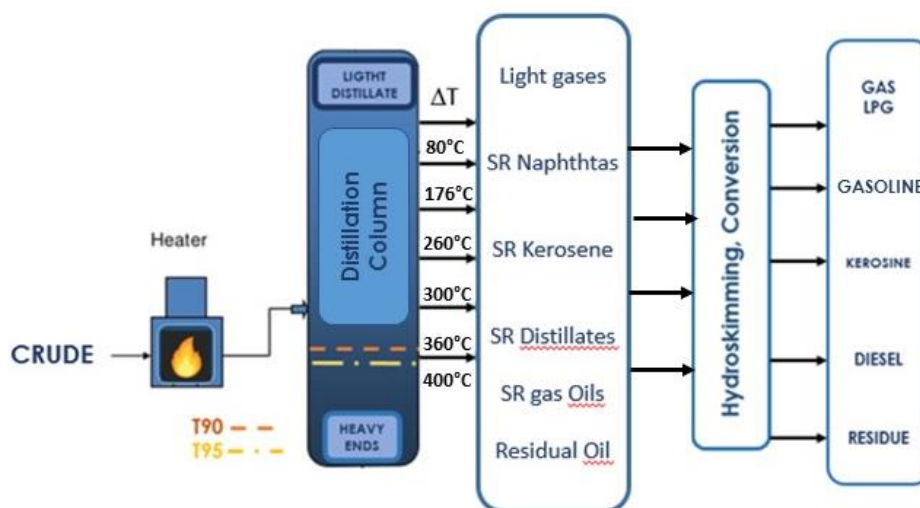
Fuente: (ICCT, 2011)

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 Petróleos Crudos – Columna de Destilación



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

La separación de todos los derivados del crudo, se realiza gradualmente a medida que se incrementa la temperatura de destilación. 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 petróleo. 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 náuticos); De esta manera, a medida que se avanza en el gradiente incremental de la temperatura, se separan del crudo compuestos cada vez más “pesados” en función de sus moléculas de carbono.

Hacia el final del proceso, se obtiene la fracción restante del crudo que no se ha evaporado a temperaturas entre 360°C y 500°C. Este punto de la columna de destilación se conoce como T95 y se define como la temperatura a la cual el 95% del crudo se ha evaporado. En algunos países se controla el parámetro de T90, el cual, análogamente corresponde a la temperatura de destilación 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 característica una alta propensión a la formación de material particulado y hollín al ser quemados.

En la actualidad, producto de los grandes avances tecnológicos de los procesos productivos, existen tecnologías de mejoramiento, transformación, tratamiento y separación aplicadas en las refinerías de manera posterior a la destilación general, las cuales permiten aprovechar en mayor medida los productos generados en todos los puntos de la columna de destilación (especialmente del extremo pesado), determinan la calidad de las diferentes categorías de productos refinados y viabilizan el control de parámetros específicos tales como el contenido de azufre en todos los flujos de la refinería, el contenido de compuestos aromáticos, aromáticos policíclicos (PAHs) mediante el rompimiento de las cadenas de poliaromáticos y permiten convertir nafta en gasolina. Estos procesos influyen en la economía de la refinería y en el costo final de los productos derivados, cuanto más complejos los procesos y más refinados los parámetros, mayores serán los costos asociados.

En Colombia, se cuenta con dos refinерías 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 CO<sub>2</sub>.

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 CO<sub>2</sub>. 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.

#### ▪ EFECTOS 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 <sup>1</sup>	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) <sup>2</sup>	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

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

<sup>2</sup> 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)

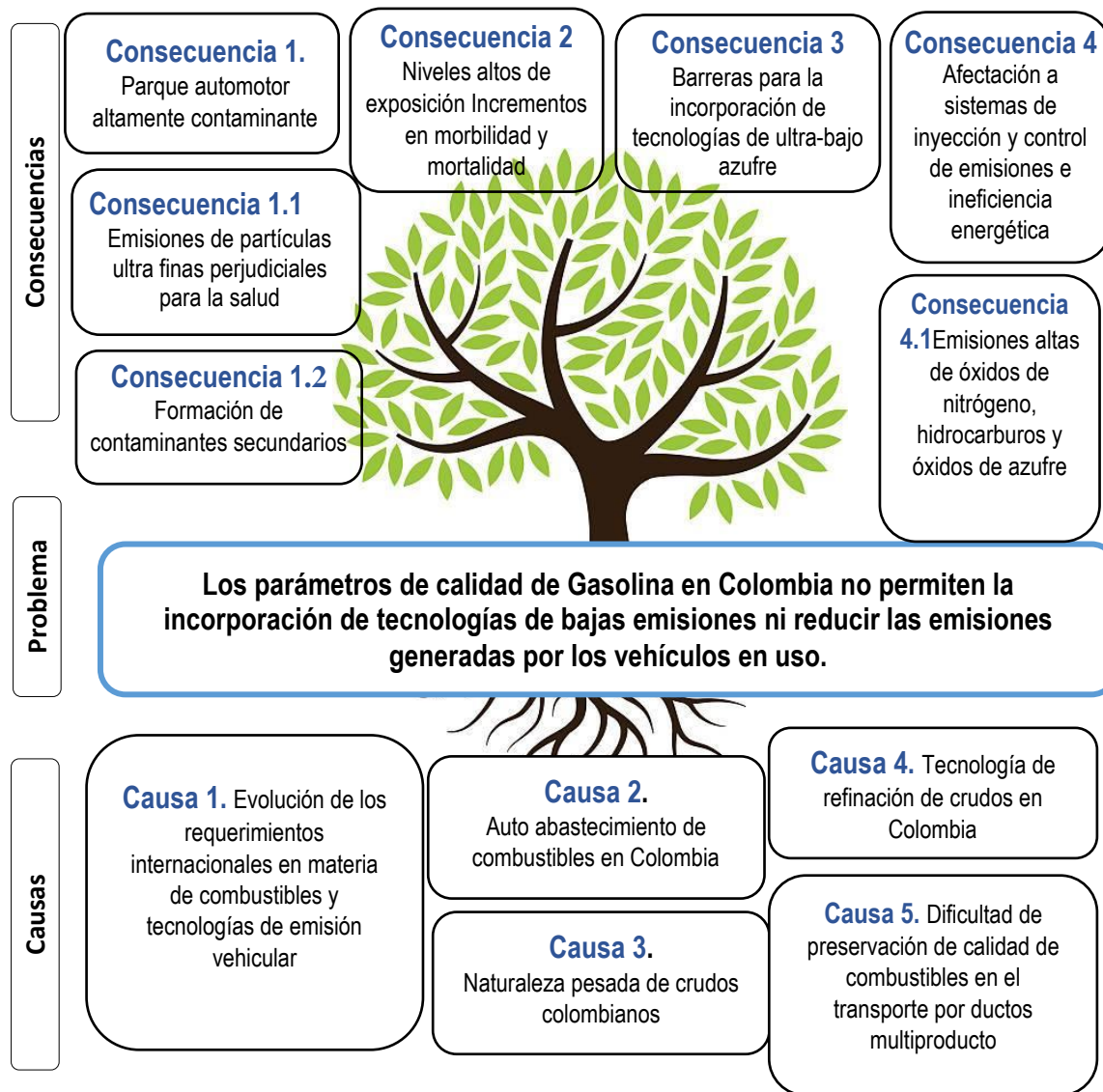


## 4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

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 físicoquímicas 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 hidrotratamiento e hidrocrackeo 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 refinerías, 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 hidrotratamiento de nafta (HNT), incremento de la severidad de HNT e incremento de H<sub>2</sub>. 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 H<sub>2</sub>, 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 hidrotratamiento de diésel y gasolina en la refinería 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 refinería 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 refinerías 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.

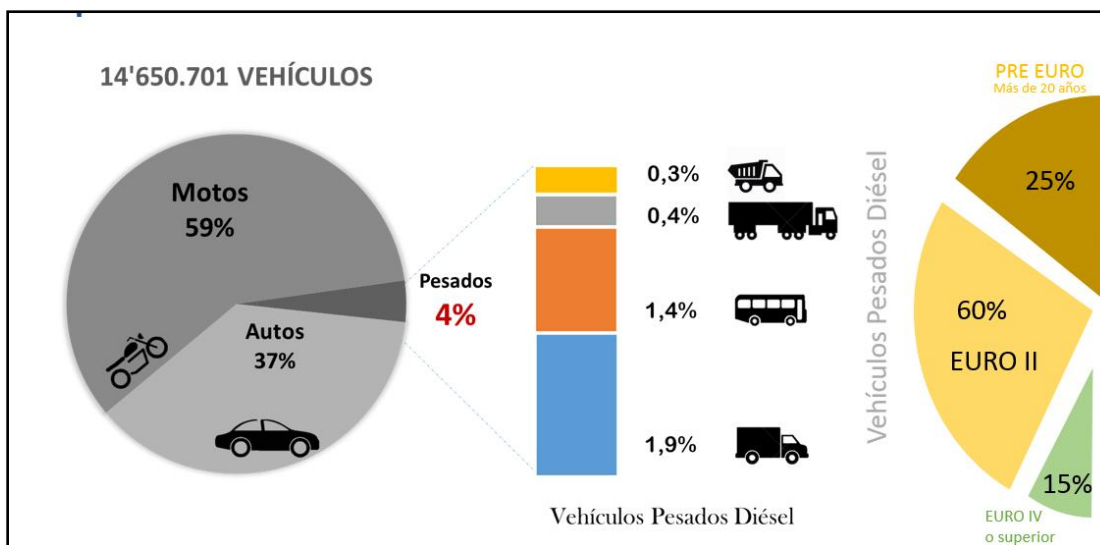
En este sentido, a partir del año 2020, con los límites establecidos de cumplimiento para contenido de azufre en el CONPES hasta 2030, se generará un volumen estimado entre 1,200 y 1,300 bpd de producto no conforme, distribuido a lo largo del país. Este volumen debe ser dispuesto por el agente que el 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  $0.1 \mu m^1$ . 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 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

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

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.



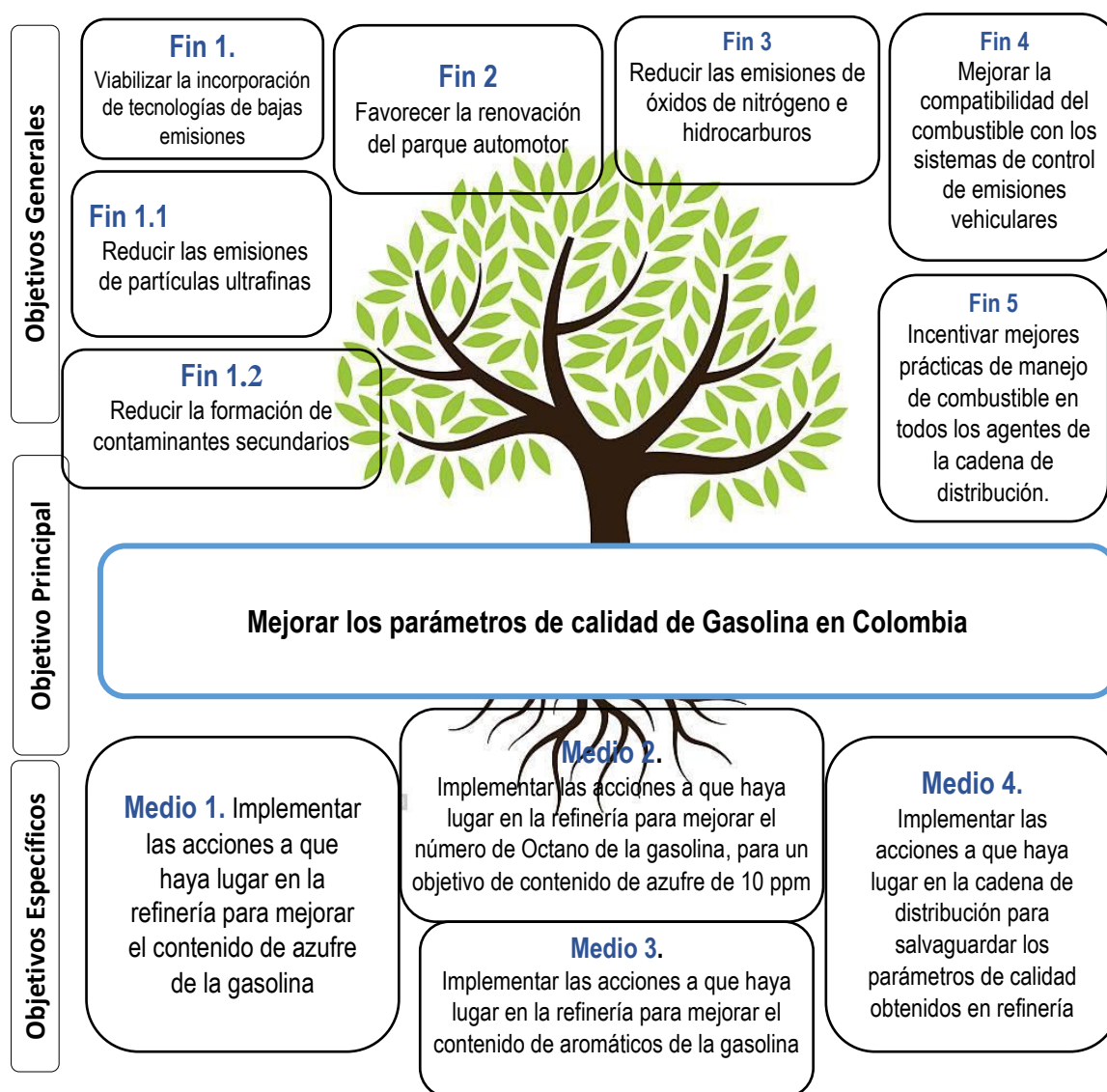
## Conclusión

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.

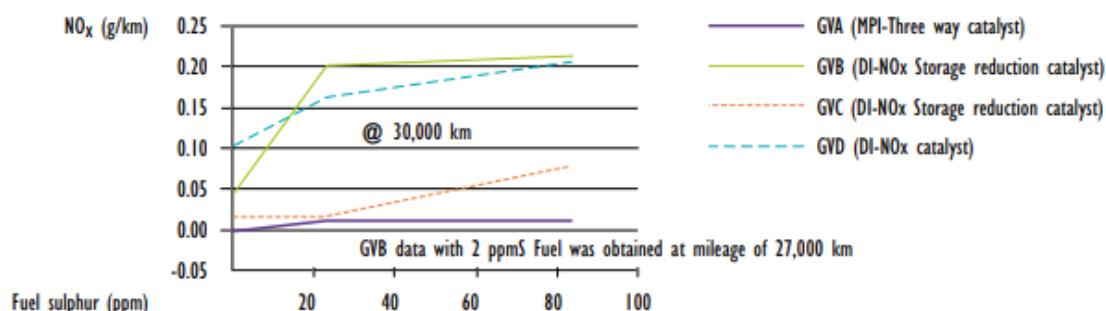
De conformidad con las metas establecidas en la Ley 1522 de 2019 por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia Pacto por la Equidad, Colombia debe avanzar en el mejoramiento de los parámetros de calidad de combustibles para garantizar el derecho de los ciudadanos a 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 NO<sub>x</sub> 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 <sup>1</sup>	Research Octane Number		91.0	
	Motor Octane Number		82.5	
95 RON <sup>1</sup>	Research Octane Number		95.0	
	Motor Octane Number		85.0	
98 RON <sup>1</sup>	Research Octane Number		98.0	
	Motor Octane Number		88.0	
Oxidation stability	minutes		480	
Sulphur <sup>2</sup>	mg/kg			10
Trace metal <sup>3</sup>	mg/kg		No intentional addition	
Chlorine	mg/kg		No intentional addition	
Organic contaminants <sup>4</sup>			No intentional addition	
Oxygen <sup>5</sup>	% m/m			2.7 <sup>6</sup>
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 <sup>7</sup>	mg/100 ml			30
Washed gums	mg/100 ml			5
Density	kg/m <sup>3</sup>		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, 91<sup>2</sup> 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.

<sup>2</sup> 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 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.

**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.

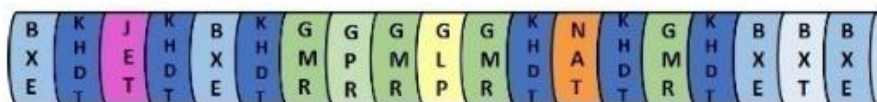
**C2. Beneficios Ambientales de Implementación:** Es conocido que la reducción del contenido de azufre en los combustibles fósiles, tiene una incidencia directa en la reducción de emisiones contaminantes en los procesos de combustión vehicular. En lo referente a la gasolina, se estima que la reducción 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 *batcheo*, 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 (*batcheo*) 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



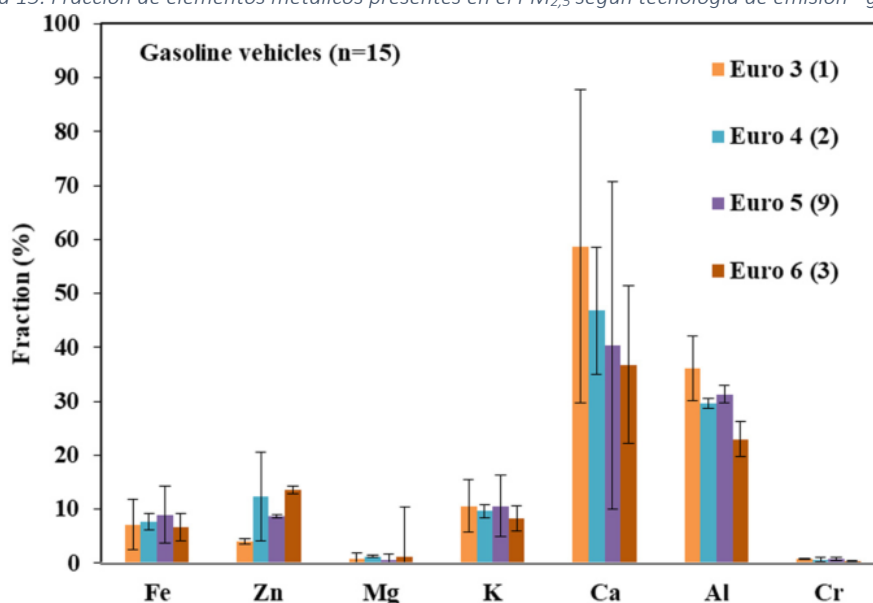
Fuente: Elaboración propia a partir de información suministrada por Ecopetrol S.A.

**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



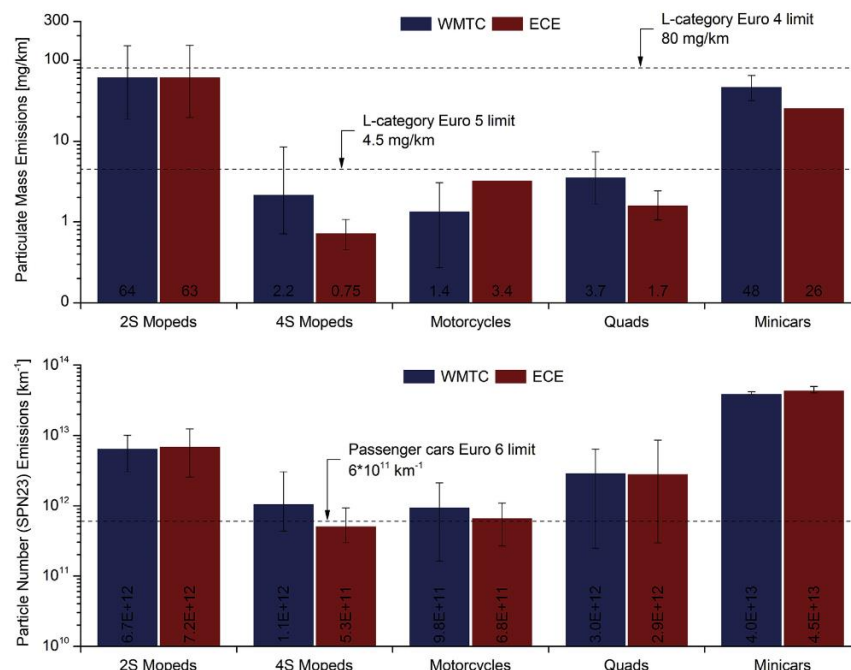
Fuente: (Yuan-Chung Lin et al., 2020)

- 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.

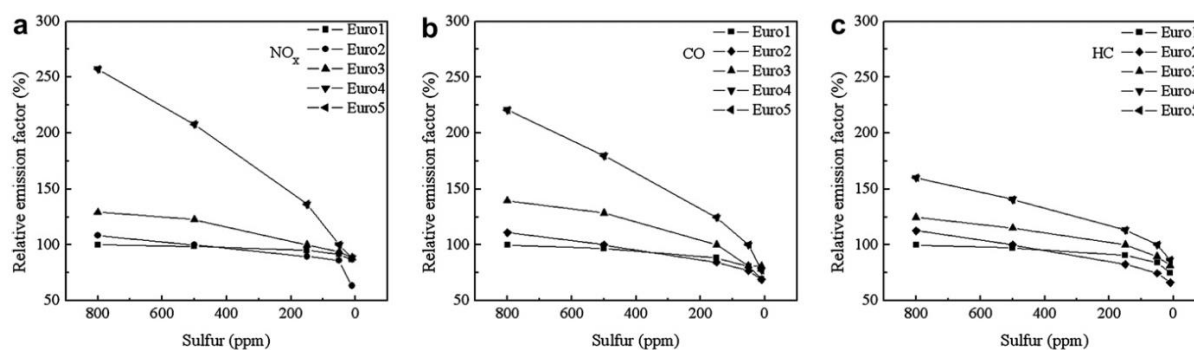
Figura 16. Emisiones en masa de partículas en vehículos livianos tipo moto, según tecnología - gasolina



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<sub>x</sub>, 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 refinerías 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. MUSD<sup>3</sup>. 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 MUSD<sup>4</sup>

**C4. Capacidad de transporte por poliductos, conservando parámetros sensibles de calidad.** Se cuenta con información primaria, proveniente de CENIT<sup>5</sup>, 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*

<sup>3</sup> Millones de Dólares

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

<sup>5</sup> Empresa de transporte de hidrocarburos, oleoductos, poliductos y gasoductos

*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 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. 26) 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
<b>C1.</b> 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
<b>C2.</b> 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
<b>C3.</b> 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.
<b>C4.</b> 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
<b>Alternativa 1:</b> No regular – mantiene el <i>status quo</i> .	<b>1</b> Viabilidad de implementación mínima, va en contra de las disposiciones de Ley (L.1955/2019 y L.1972/2019)	<b>1</b> Los beneficios ambientales son mínimos o inexistentes en esta alternativa	<b>1</b> El costo de implementación es el mínimo posible.	<b>5</b> 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>
<b>Alternativa 2:</b> 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.	<b>1</b> 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.	<b>5</b> Los beneficios ambientales son los máximos disponibles, según se ilustró en el presente documento.	<b>5</b> El costo de implementación es el máximo, incluyendo importaciones de producto para abastecimiento de demanda nacional, además de ajustes en refinería	<b>1</b> La capacidad de respuesta en logística de transporte en el plazo inmediato es mínima, con implicaciones es costos por producto no conforme.

<b>Alternativa 3:</b> 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.	<b>5</b> La viabilidad de implementación de esta alternativa, es la máxima disponible.	<b>4</b> Los beneficios ambientales son los máximos, pero no se alcanzan en el corto plazo	<b>3</b> El costo estimado de implementación tecnológica es alto ~860MUSD	<b>4</b> La capacidad de respuesta en logística de transporte en el mediano y largo plazo es buena, con implicaciones en costos por producto no conforme.
---	---	---	--	--

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 <sub>j</sub>	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 <sub>i</sub>				
Criterios	C1	C2	C3	C4
Peso ponderado	5	5	4	3

Tabla 8. Cálculo matricial de proporciones para suma ponderada

Alternativas A <sub>j</sub>	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 <sub>i</sub>				
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
<b>A1</b>	0,313
<b>A2</b>	0,237
<b>A3</b>	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 (%<sub>AZUFRE</sub>), número de octano (#<sub>RON</sub>) 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: 12 Marzo 20- 26 Marzode 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 12-26 de 2020
- Consulta Pública Análisis de Impacto Normativo: Agosto 12-26 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](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 PM<sub>2.5</sub> emissions and atmospheric metallic element concentrations in PM<sub>2.5</sub> emitted from mobile source gasoline-fueled vehicles. *ELSEVIER*(139942), 9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139942>