



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.....	28
6.	Selección De Alternativas.....	30
6.1.	Identificación de Alternativas.....	30
7.	Evaluación De Alternativas	31
7.1.	Identificación de costos y beneficios	31
7.2.	Identificación y revisión de información disponible.....	31
7.3.	Justificación de la metodología utilizada	36
7.4.	Evaluación de las alternativas.....	36
▫	Efectos económicos Monoglicéridos.....	44
▫	Efectos económicos de los poliaromáticos	44
▫	Efectos económicos del contenido de agua	45
8.	Elección De La Mejor Alternativa	45
8.1.	Justificación	45
9.	CONSULTA PÚBLICA	46
9.1.	Resultados de las consultas públicas.....	46
10.	Implementación y monitoreo.....	46
10.1.	Implementación y cumplimiento.....	46
11.	ANEXOS	46
12.	Referencias.....	46



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	33
Tabla 3. Evaluación de alternativas regulatorias parámetro T95	36
Tabla 4. Estimación de emisiones reducidas anualmente,	39
Tabla 5. Costos estimados de inversión requerido en refinerías para mejoramiento de combustibles.	40
Tabla 6. Estimación del beneficio acumulado anual por reducción de PM _{2,5}	41
Tabla 7. Relación Costo-Beneficio	42

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 _x – 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 _{2.5} 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 _{2,5} , implementación de EURO VI a partir de 2021,.	38
Figura 21. Resultado Modelo Leap NO _x , implementación de EURO VI a partir de 202	40
Figura 22. Anualidad de la relación costo beneficio – Fuente: Elaboración Propia	43



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 desarrollo¹ 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.

¹ “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 $PM_{2.5}$ son generadas por las fuentes móviles mientras que el 20 % restante lo aportan las fuentes fijas (SIAC²).

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

² 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)-.

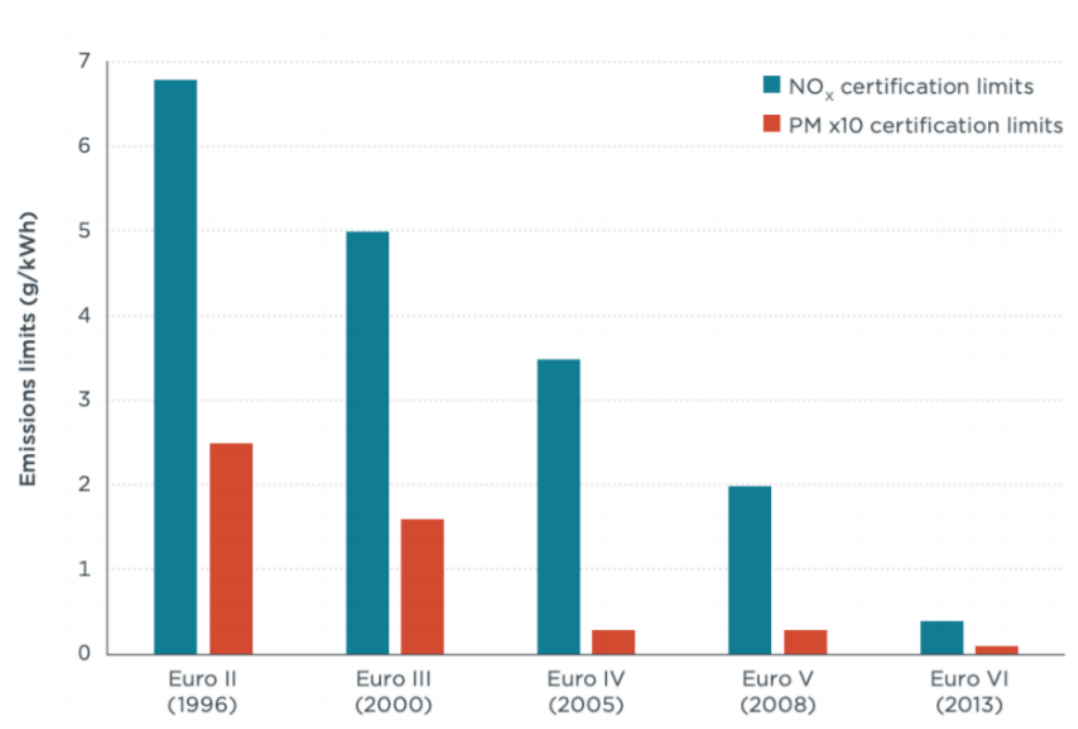


Figura 1. Evolución Tecnologías EURO- Vehículos Pesados
Fuente: (Francisco Posada, ICCT, 2019)

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 (SO₂) 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
Diesel oxidation catalyst (DOC)	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.
Diesel particulate filter (DPF)	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.
Nitrogen oxides (NO_x) absorber	NO _x	Below 15 ppm required.	Reductions of 78%-94% for NO _x
Selective catalytic reduction (SCR)	NO _x	Below 50 ppm required.	Reductions of 80%-90% for NO _x

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.

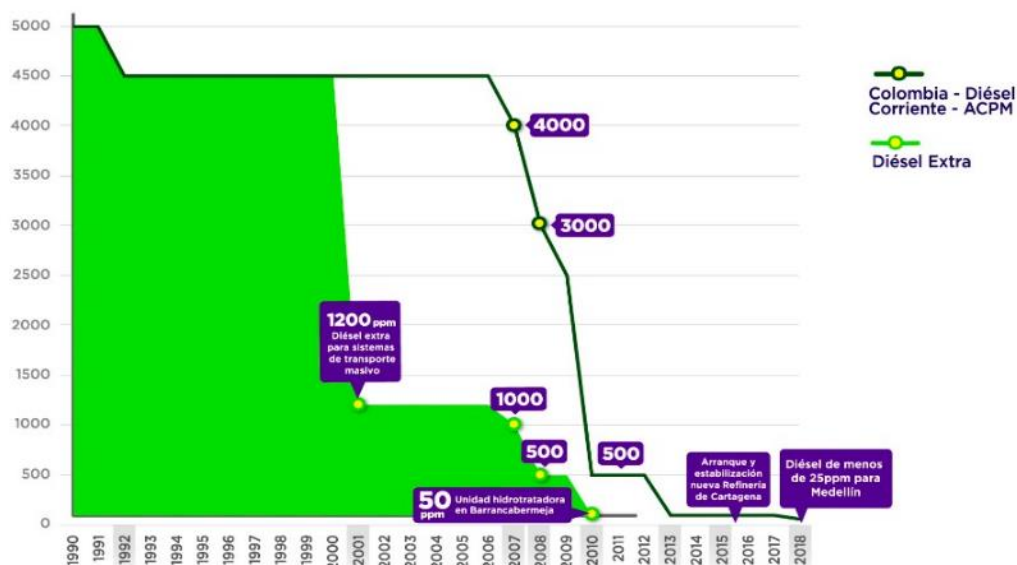


Figura 3. Evolución calidad de diésel en Colombia - Contenido de Azufre

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 biodiésel, 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.

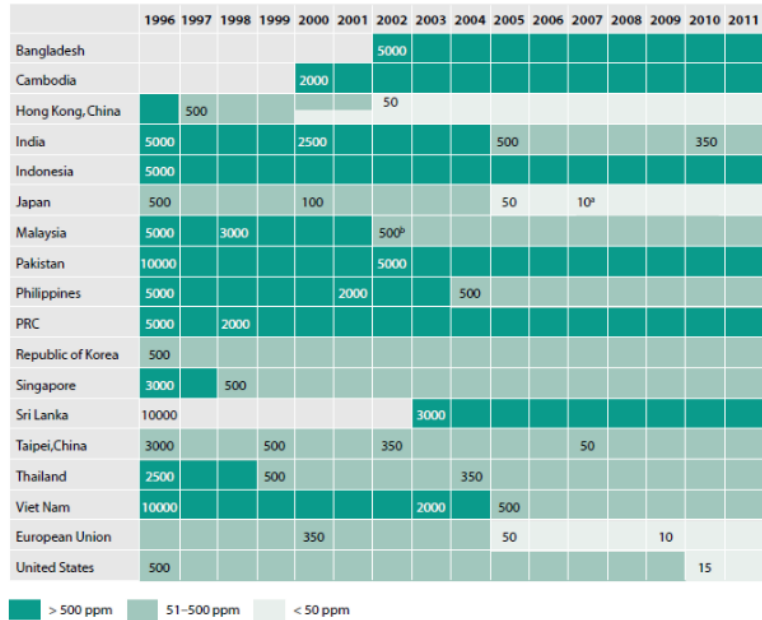


Figura 4. Evolución calidad de diésel en el mundo - Contenido de Azufre
Fuente: Asian Development Bank – Cleaner Fuels

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.

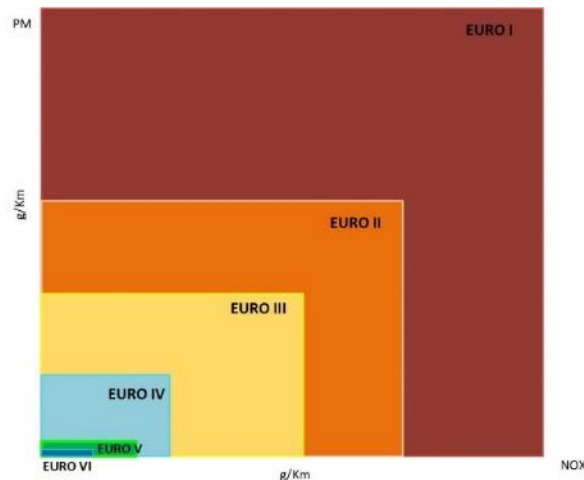


Figura 5. Relación de reducción de emisiones de MP y NOx – Tecnologías Euro
Fuente: Elaboración Propia

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 transporte³.

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.

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

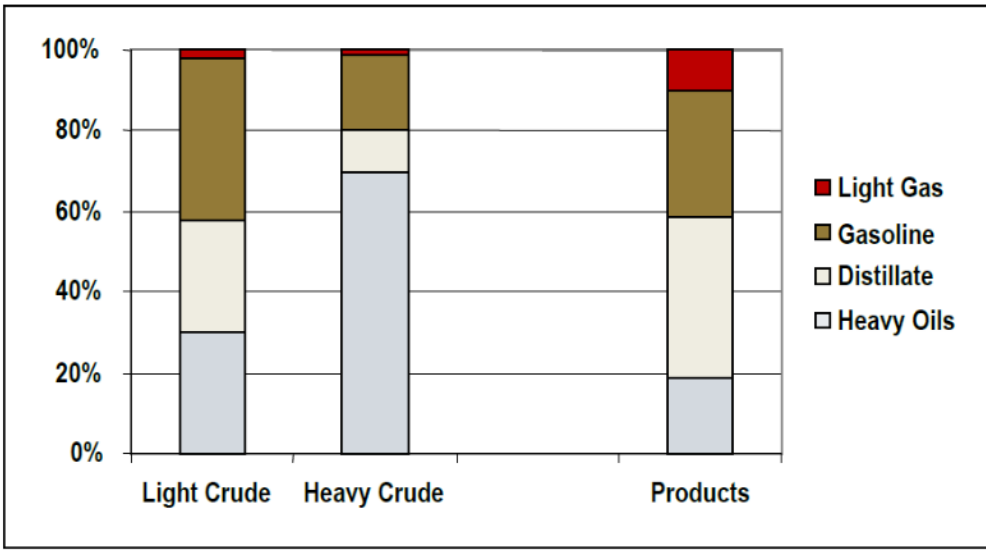


Figura 6. Aprovechamiento de Crudos Livianos y Pesados
Fuente: (ICCT, 2011)

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.	Light Sweet	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”⁴.

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 %.”⁵.

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).

^{4,5} 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).

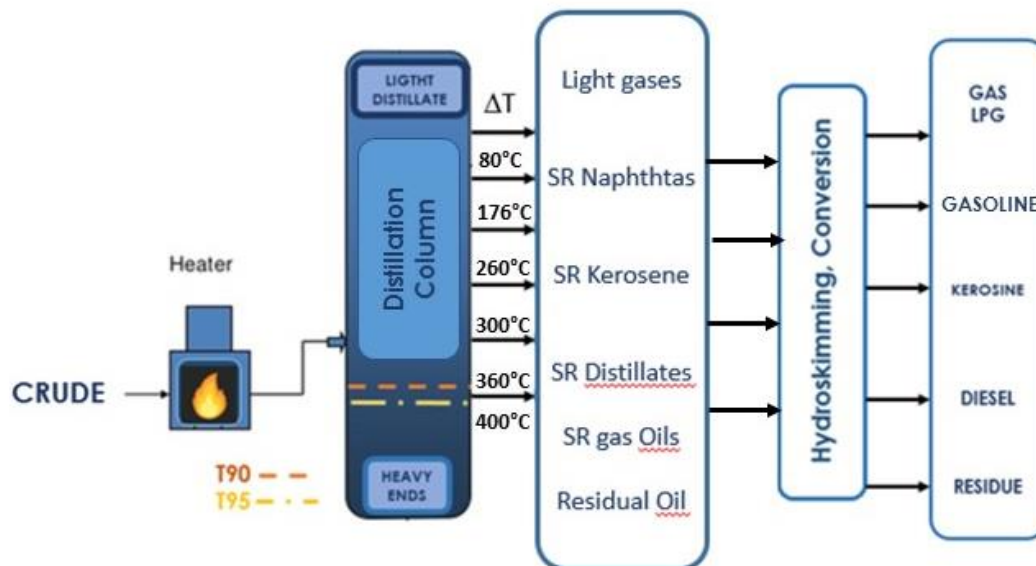


Figura 9. Esquema de Refinería de Petróleos Crudos – Columna de Destilación
Fuente: Elaboración propia a partir de (ICCT, 2011)

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 hidrotreamiento para la refinería de Barrancabermeja, mientras que en el año 2016 se incluyó para Reficar procesos de hidrotreamiento 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 humanos⁶ debido a su toxicidad y deben ser mantenidos en niveles tendientes a cero.

Estudios internacionales⁷ 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.

⁶ OMS (2000)

⁷ EPEFE (1993-1995)

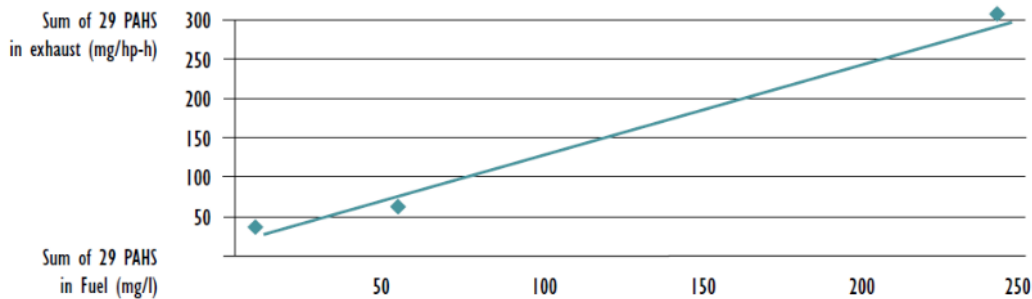


Figura 10. Influencia del contenido de PAH en las emisiones de PAH
Fuente:(ACEA, 2013)

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 Antioquia⁸, 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.

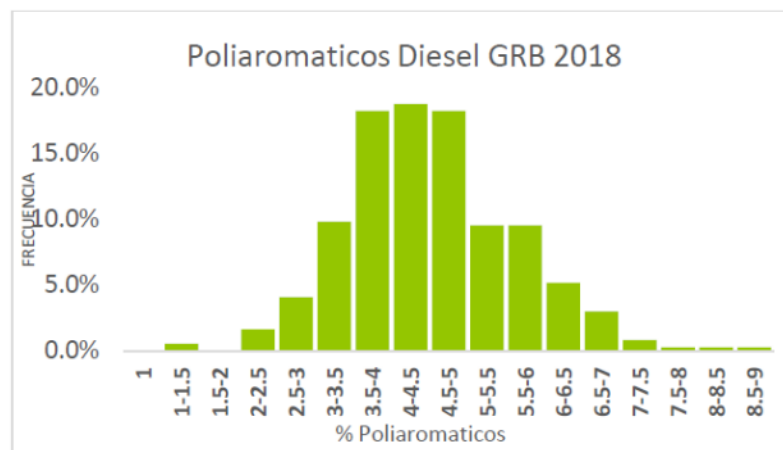


Figura 11. Comportamiento mensual del contenido de poliaromáticos – Refinería de Barrancabermeja
Fuente: Ecopetrol

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

⁸ 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)⁹ 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.

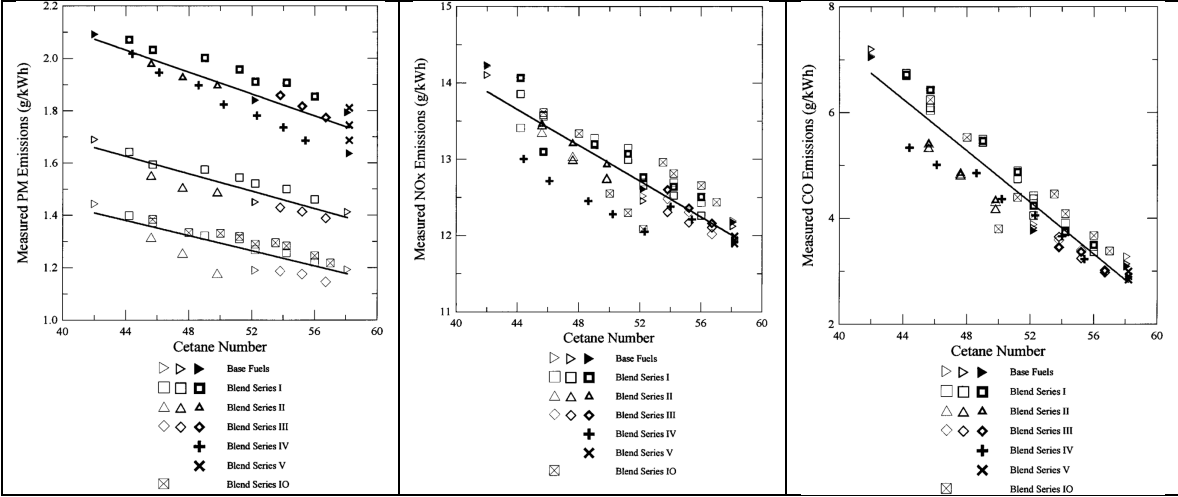


Figura 12. Comportamiento de los contaminantes en función del número de cetano
Fuente: Researchgate: https://www.researchgate.net/figure/Particulate-matter-emissions-vs-cetane-number_fig3_231275108

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 colombiana¹⁰ 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.

⁹ EPEFE (1993-1995)

¹⁰ Universidad de Antioquia – Ministerio de Minas y Energía (2016)

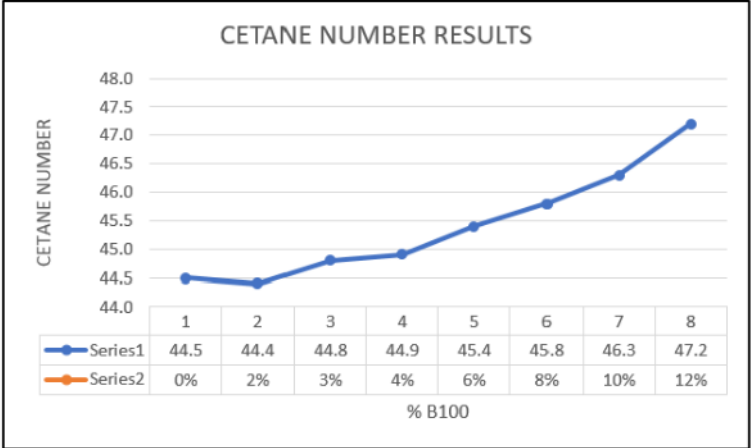


Figura 13. Resultados Análisis desempeño Número de Cetano vs BX
Fuente: Informe Resultados ASTM D 613 – Carmin Cargo Control 2019

▪ **EFFECTOS 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_{2,5}

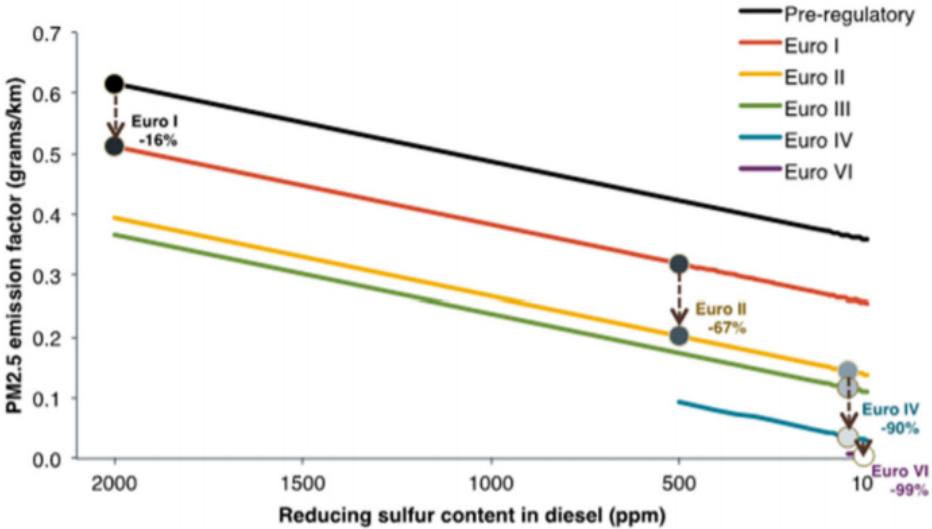


Figura 14. Reducción de emisiones de PM2.5 vs Reducción contenido de Azufre - Vehículos Diesel
Fuente: (CCAC, Climate & Clean Air Coalition, 2016)

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 30 de diciembre de 2020	50 ppm
A partir del 31 de diciembre 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 estudios¹¹ 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_x 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.

¹¹ 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 ^a	55
Density @ 15°C, kg/m ³	820-860	845 (max)	NS	NS	NS	815-835	820-840
95% Distillation Boiling Point (T ₉₅), °C, max.	370	360	NS	NS	360 ^b	360 ^b	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

^a48 from November 15 to February 18

^bMaximum 90% distillation boiling point (T₉₀) 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.

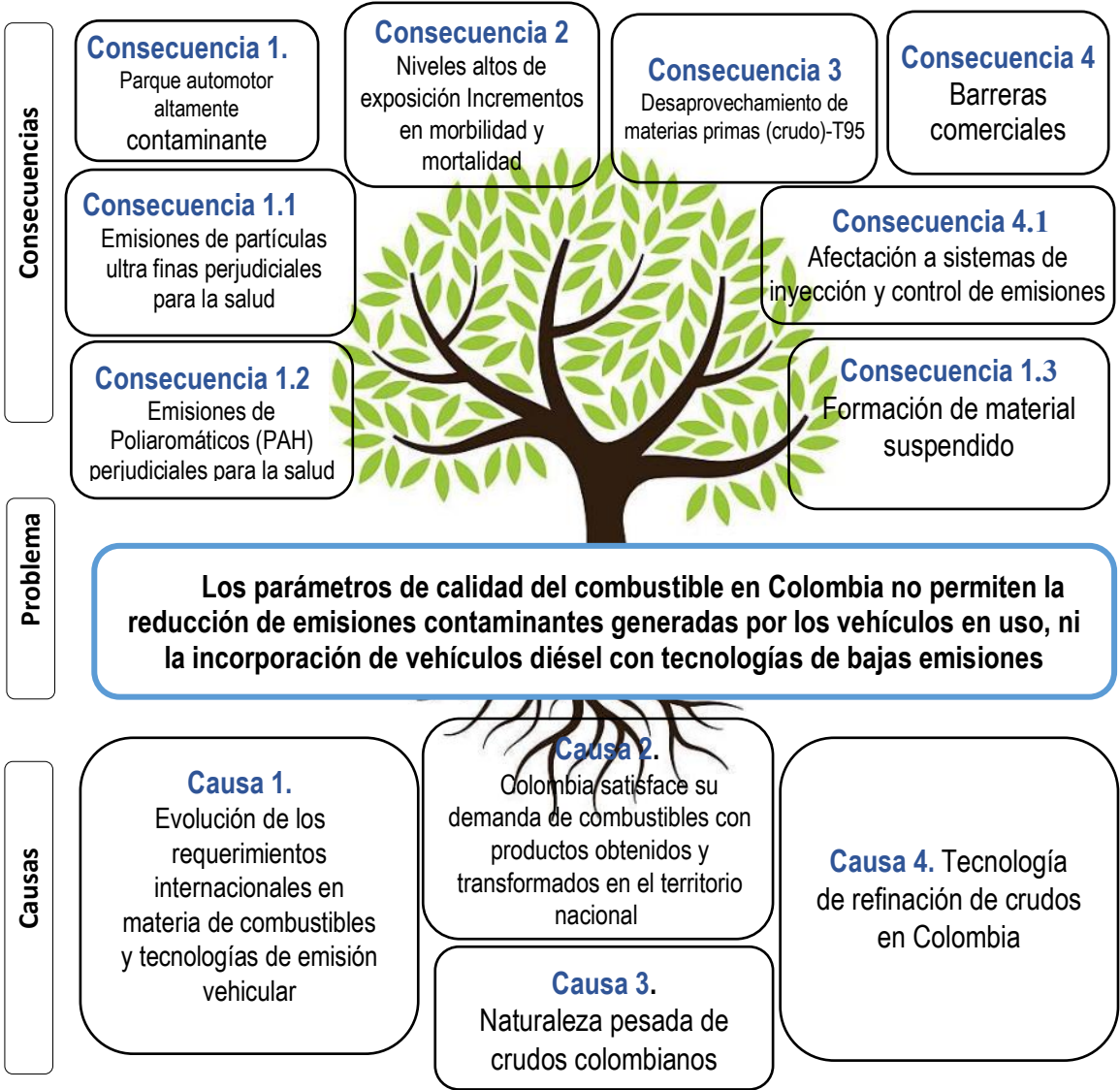
Una vez descritos los parámetros ambientales de interés para el mejoramiento de la calidad de diésel, frente a la normatividad vigente se concluye que, dichos parámetros son susceptibles de actualización, mediante lo cual se da paso a la definición del problema que se desea resolver con la iniciativa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

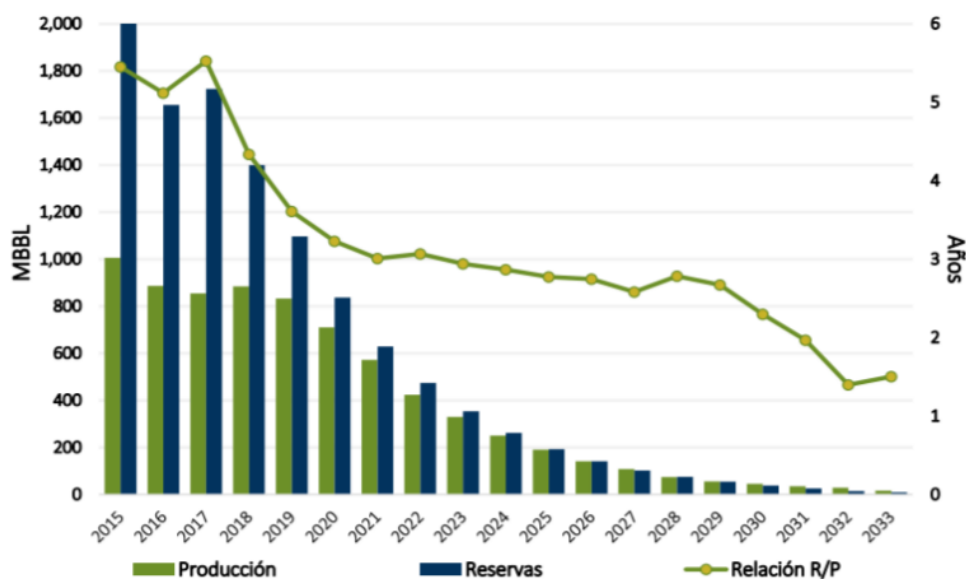


Figura 17. Reservas de Petróleo Colombiano
Fuente: (UPME, 2019)

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 hidrot ratamiento e hidro craqueo que han sido incorporados por Ecopetrol (2010 y 2016) para los procesos de refin ería 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 refin ería.

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

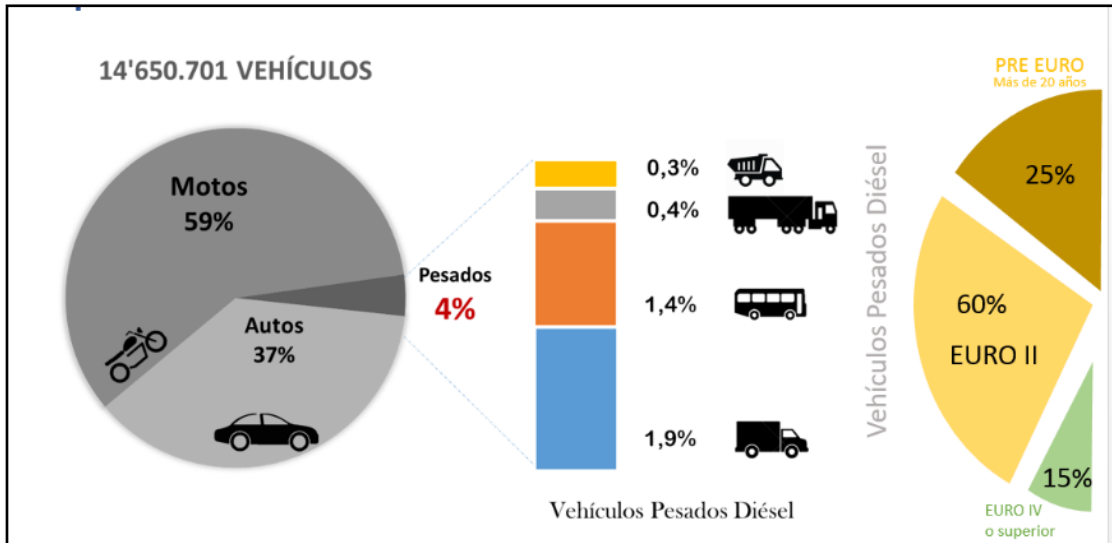


Figura 18. Composición parque automotor colombiano – Tecnologías de Emisión EURO
Fuente: Elaboración propia a partir de Runt 2019

- 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 OMS¹². 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 diésel 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 atmósfera 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 ($360 \text{ }^\circ\text{C}$) establecida en la reglamentación actual (Resolución 9 0963 de 2014) favorece el desaprovechamiento de cerca de 4200 barriles anuales de crudo¹³, 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 ($370 \text{ }^\circ\text{C}$). Por esta razón, la Resolución transitoria 4 0619 de 30 de junio de 2017 [MinAmbiente

¹² OMS (2000). WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000

¹³ 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.

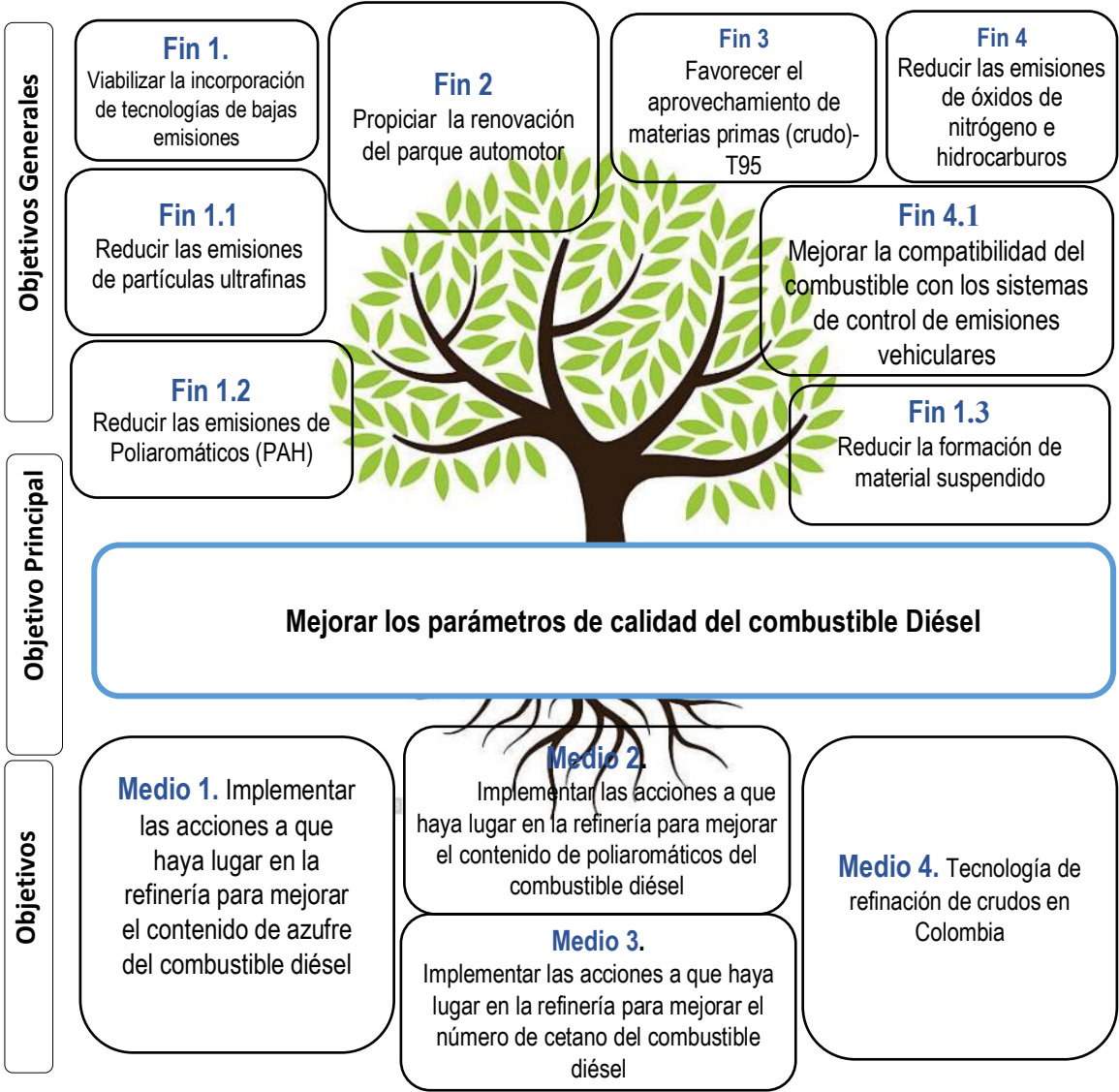
Conclusión

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 $PM_{2,5}$ 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 $PM_{2,5}$ (\$/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
A1: No regular	Ninguno	Ninguno	Se conservan las tendencias históricas de costos en salud por enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica
A2: Mejora inmediata¹⁴ de parámetros: %AZUFRE, #CETANO, + %PAH; para alcanzar estándar EURO V	No se cuenta con la capacidad de determinar los costos asociados a esta alternativa ¹⁴ .	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 ¹⁵ . -Disminución total o parcial de la producción de gasolina, jet A1 y GLP en la refinería de Barrancabermeja ¹⁴
A3: Mejora inmediata de parámetros: %AZUFRE, #CETANO, + %PAH; para alcanzar estándar EURO VI	No se cuenta con la capacidad de determinar los costos asociados a esta alternativa ¹⁴ .	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 ¹⁴ . -Disminución total o parcial de la producción de gasolina, jet A1 y GLP en la refinería de Barrancabermeja.
A4: Mejora progresiva¹⁶ de parámetros: %AZUFRE, #CETANO, + %PAH; para alcanzar estándar EURO V	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: -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 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%

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

¹⁵ Fuente: Ecopetrol 2019

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



	<ul style="list-style-type: none">-Instalación de nuevas facilidades de proceso durante el mantenimiento turnaround de la planta de hidrot ratamiento de diésel (Prime D).-Incremento de la severidad de la reacción de hidrot ratamiento de diésel en Prime D.-Cambio de catalizador en la planta de hidrot ratamiento Prime D.-Incremento de la recuperación de hidrógeno Fase I GRB, la cual incluye:<ul style="list-style-type: none">-Mantenimiento C-556-Maximización carga unidades PSA.-Optimización del sistema de transporte por poliductos para el aseguramiento de la calidad de los combustibles durante el transporte¹⁴.		más eficientes que aquellos que incorporan tecnologías EURO V ¹⁷ .
<p>A5: Mejora progresiva de parámetros: %AZUFRE, #CETANO, + %PAH; para alcanzar estándar EURO VI</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">-Instalación de segundo reactor y cambio de catalizador en la planta HCM (<i>mild hydrocracker</i>).-Instalación de nuevas facilidades de proceso durante el mantenimiento turnaround de la planta de hidrot ratamiento de diésel (Prime D).-Incremento de la severidad de la reacción de hidrot ratamiento de diésel en Prime D.-Cambio de catalizador en la planta de hidrot ratamiento Prime D.	<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>	

¹⁷ 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">-Mantenimiento C-556-Maximización carga unidades PSA.-Optimización del sistema de transporte por poliductos para el aseguramiento de la calidad de los combustibles durante el transporte. <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">-Desembotellamiento y ampliación de la capacidad de tratamiento en la unidad Prime D, hidrotratadora de diésel.-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.		
--	--	--	--



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 1772 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 _{360°C}	\$27 M USD Anuales*	No se genera un cambio en emisiones contaminantes
T95 _{370°C}	\$ 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_{370°C}

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)¹⁸

$N_{i,j,k}$ = 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 PM2.5 o NOx, 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)¹⁹.

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_{2.5} (Toneladas) resultantes de la aplicación de la medida.

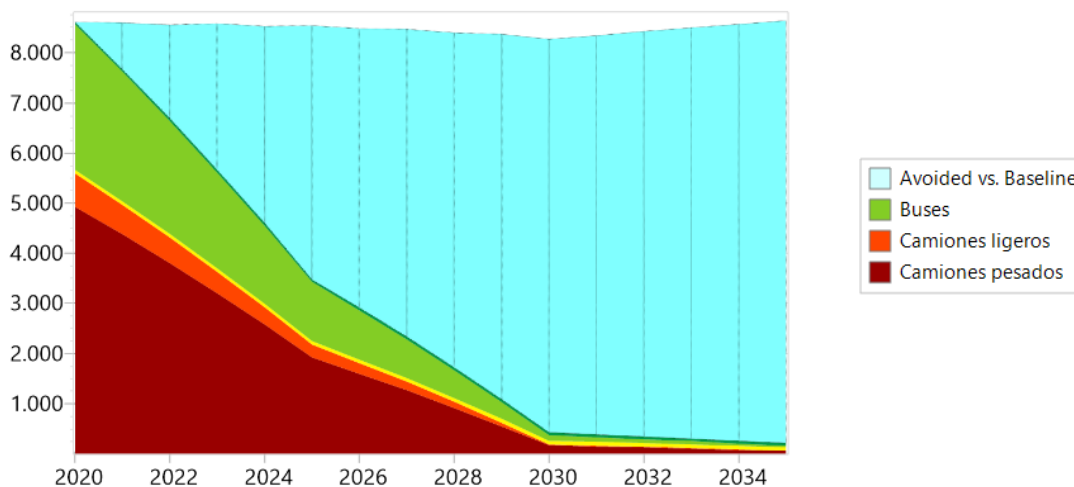


Figura 20. Resultado Modelo Leap PM_{2.5}, implementación de EURO VI a partir de 2021, con reemplazo de tecnología para el 100% del parque automotor en 2035 - Según Ley 1972 de 2019. Unidades del eje vertical: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de RUNT 2019/09.

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

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

¹⁹ 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 _{2.5} (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.

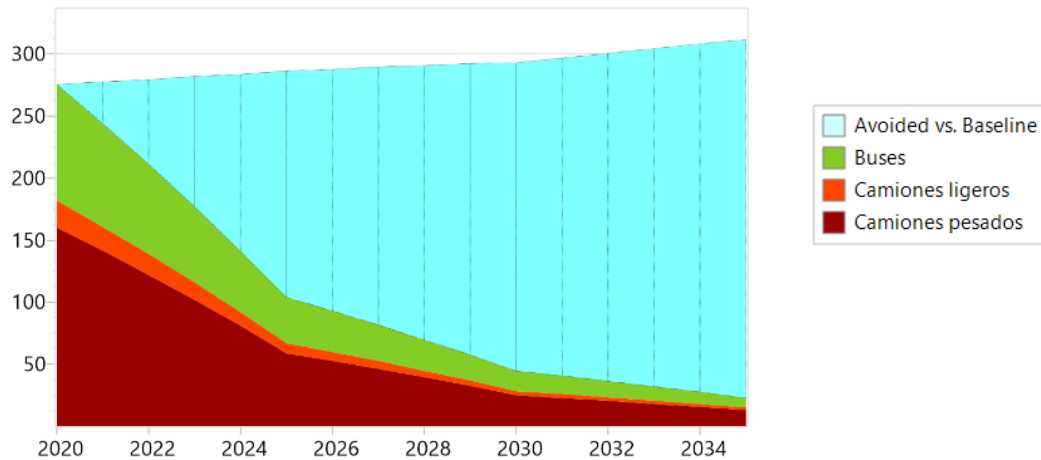


Figura 21. Resultado Modelo Leap NO_x, implementación de EURO VI a partir de 2021, con reemplazo de tecnología para el 100% del parque automotor en 2035 - Según Ley 1972 de 2019. Unidades del eje vertical: Miles de Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de RUNT 2019/09.

En la figura se aprecia una reducción de 87% de las emisiones de NO_x 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_{2.5}. 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_{2.5}

Año Calendario	Reducción PM _{2.5} (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 _{2.5} (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

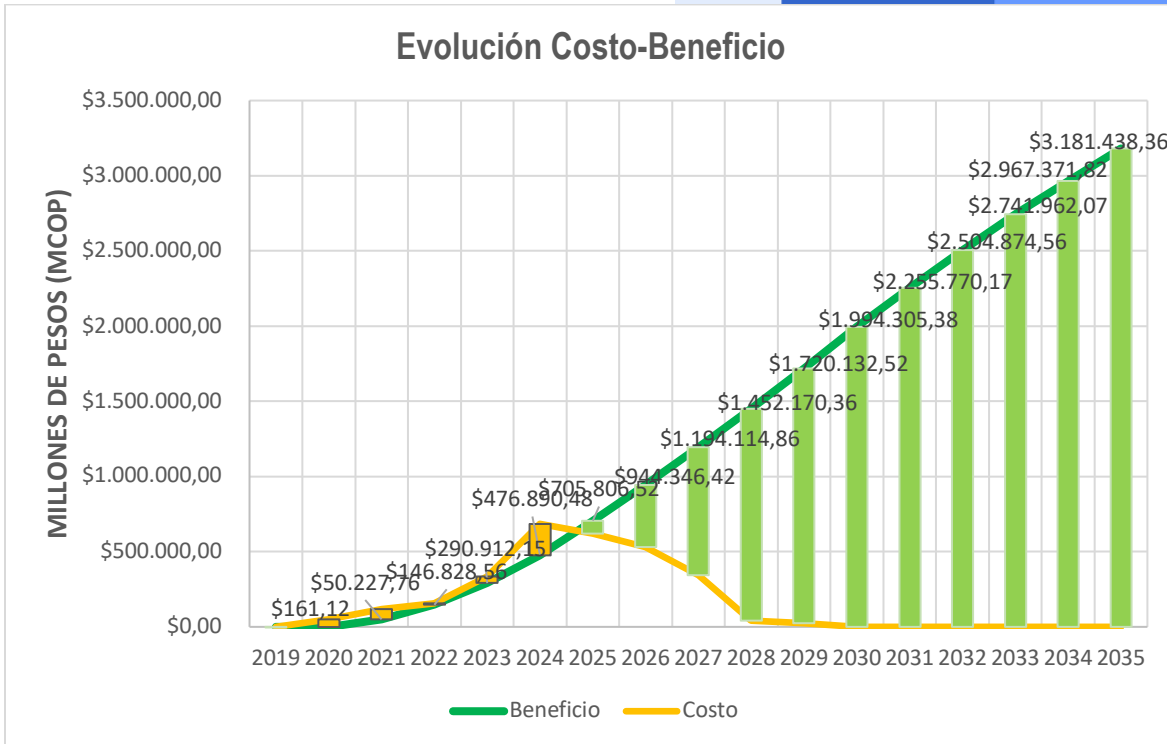


Figura 22. Anualidad de la relación costo beneficio – Fuente: Elaboración Propia

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 HAZE²⁰ 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/Gal²¹ 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
TOTAL		\$31,97	\$302,35

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.

²⁰ 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>

²¹ 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 °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 °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: Mayo 31 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.*

Elaboró: MADS: Mauricio Gaitán / Johanna Jimenez
MME: Luisa F. Paris / Luisa F. García

Aprobó: MME: José Manuel Moreno C.
MADS: Alex José Saer