



ANÁLISIS DE IMPACTO NORMATIVO DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

NORMA NACIONAL DE CALIDAD DE COMBUSTIBLES DIESEL Y BIODIESEL

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con apoyo de Ministerio de Minas y Energía

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de los combustibles se encuentra definida en función de un conjunto de parámetros físico-químicos y operativos que cualifican su desempeño ambiental al final del proceso de combustión.

Los Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible y de Minas y Energía deben definir los parámetros mínimos de calidad, en materia ambiental y técnica respectivamente, de los combustibles que se han de importar, producir, distribuir y consumir en todo el territorio nacional, de conformidad con lo definido en el artículo 2.2.5.1.4.5 del Decreto 1076 de 2015.

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

Dentro del marco regulatorio, éste 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 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.

1.1 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 considerando los lineamientos dados por la Organización Mundial de la Salud. Esta actualización de la norma de calidad del aire busca minimizar el riesgo sobre la salud humana que puede ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera, y por ello define también niveles más estrictos para 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 entidades del nivel nacional. Los objetivos específicos son: reducir las emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles, reducir las emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes fijas y mejorar las estrategias de prevención, reducción y control de la contaminación del aire.

Según los inventarios de emisiones que se han realizado en las grandes ciudades del país, el material particulado es emitido principalmente por la quema de combustibles fósiles en el sector transporte y en el sector industrial. Se estima que, en los centros urbanos, aproximadamente el 80 % de las partículas PM_{2.5} son generadas por las fuentes móviles mientras que el 20 % restante lo aportan las fuentes fijas (SIAC¹).

Las emisiones generadas por las fuentes móviles dependen de tres aspectos principales a saber: i) tecnología de emisión del parque automotor, ii) calidad de los combustibles y iii) condiciones de mantenimiento preventivo.

- **CALIDAD DE COMBUSTIBLES**

La reglamentación colombiana en materia de calidad de combustibles tiene su raíz 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".

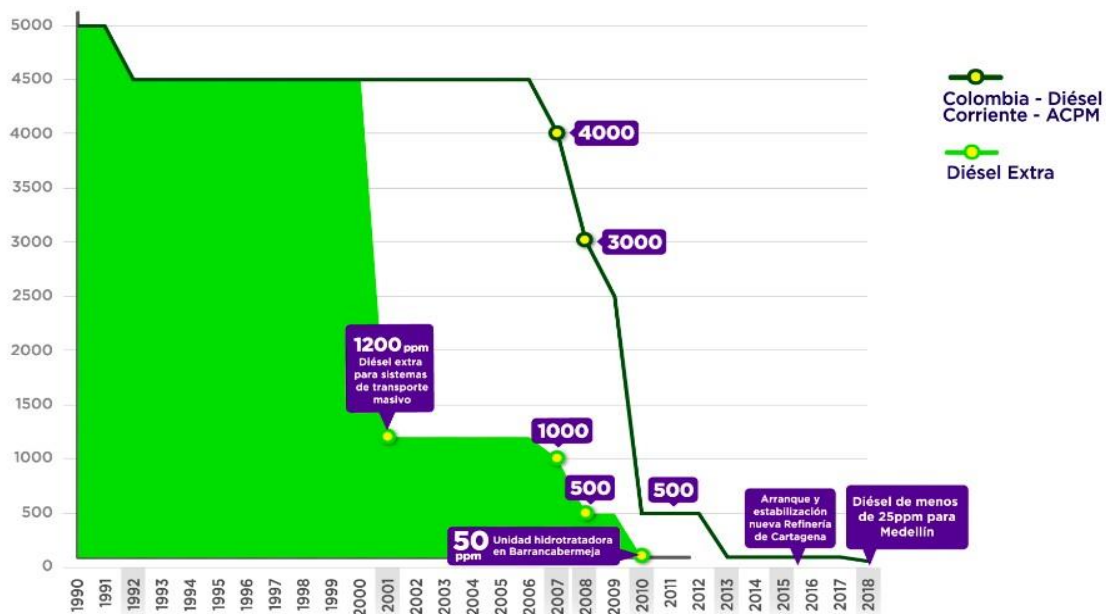
El artículo 4 de la citada resolución establece la calidad del combustible diésel y los biocombustibles, el cual ha sido objeto de varias modificaciones entre las que se encuentran la Resolución 9 0963 de 2014 y la Resolución 4 0619 de 2017.

Adicional a lo anterior, en el año 2005 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.

¹ Sistema de Información Ambiental de Colombia



Figura 1. Evolución calidad de diésel en Colombia - Contenido de Azufre



Fuente: Ecopetrol

De otro lado, la Resolución 2604 de 2009, en cumplimiento de 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.”

De esta manera, la iniciativa reglamentaria propuesta responde a las necesidades y lineamientos trazados por el Gobierno nacional en esta materia.

2. CONTEXTO GENERAL

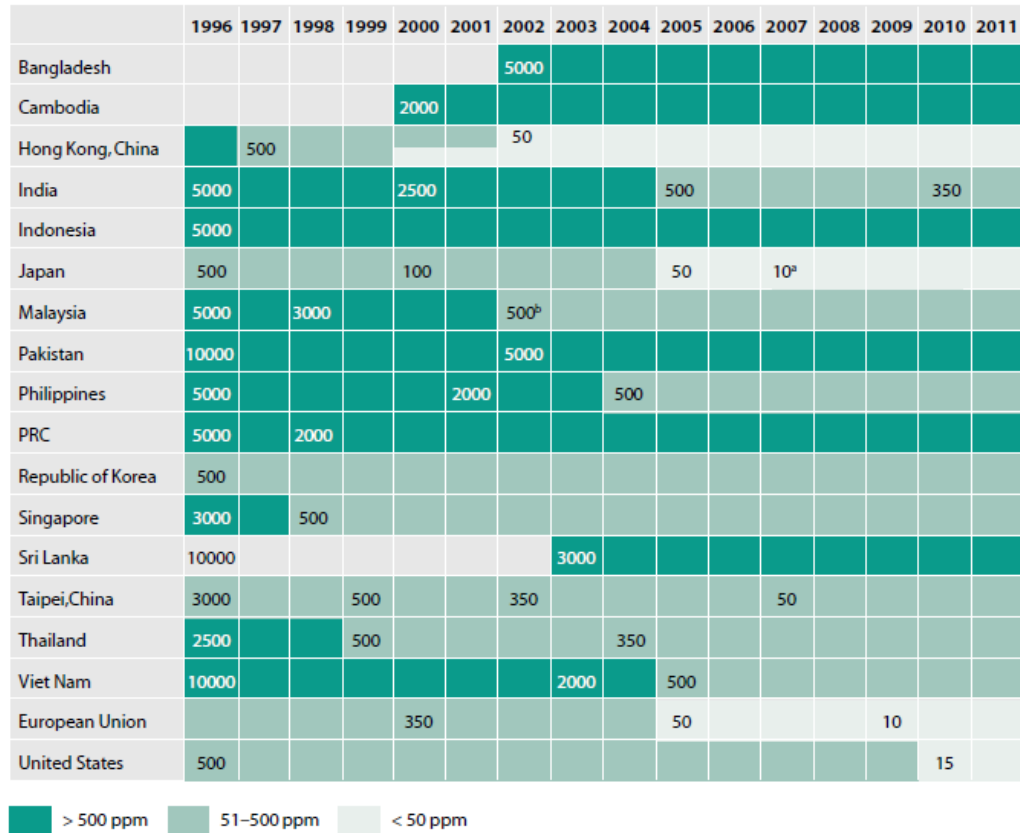
La calidad de los combustibles, se encuentra determinada tanto por la naturaleza físico-química de los petróleos crudos de los cuales son extraídos, como por las condiciones operativas y tecnológicas de los procesos implementados en la refinería. En el presente capítulo se realiza una descripción de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

2.1 Contexto Internacional

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

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

Figura 2. Evolución calidad de diésel en el mundo - Contenido de Azufre

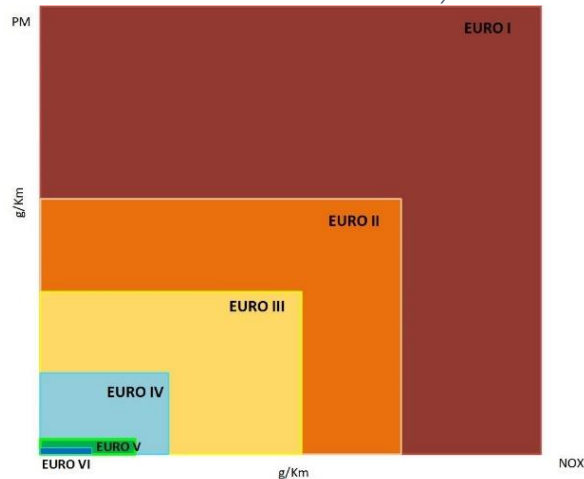


Fuente: Asian Development Bank – Cleaner Fuels

La figura 2 presenta la evolución que se ha tenido en algunos países y confederaciones en lo referente a la reglamentación del contenido de azufre del diésel. Allí se observa que, países como Japón, Estados Unidos y la Unión Europea, para el año 2011 ya tenían políticas de calidad de diésel de 10 ppm.

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 3. Relación de reducción de emisiones de MP y NOx – Tecnologías Euro



Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, a nivel mundial las tecnologías vehiculares evolucionan constantemente y de forma acelerada, propendiendo por la minimización de las emisiones contaminantes generadas. Esta evolución a su vez obliga a la evolución de los parámetros de calidad de combustibles, toda vez que los vehículos son diseñados para operar con condiciones específicas y parámetros físico químicos, cada vez más refinados y exigentes.

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. En la figura 11 se presenta un resumen de las condiciones de calidad de diésel de los países más adelantados en la materia.

Para el caso nacional, es necesario detallar las condiciones de naturaleza de los crudos disponibles, así como los adelantos de los procesos de refinación implementados.

2.2 Característica Pesada de los Petróleos Crudos en Colombia

Existen dos características principales de los petróleos crudos, las cuales definen la calidad de los mismos y determinan los procesos necesarios en la refinación para la obtención y aprovechamiento de los petróleos crudos: 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 refinaciones pueden convertir en gasolina, combustible pesado y diésel (...). Los crudos más pesados tienen proporciones más altas de moléculas grandes, que las refinaciones pueden i) utilizar en combustibles industriales pesados, asfalto y otros productos pesados (cuyos mercados son menos dinámicos y, en algunos casos, se están reduciendo), o ii) procesarlas en moléculas más pequeñas que se pueden utilizar en combustibles para transporte.”

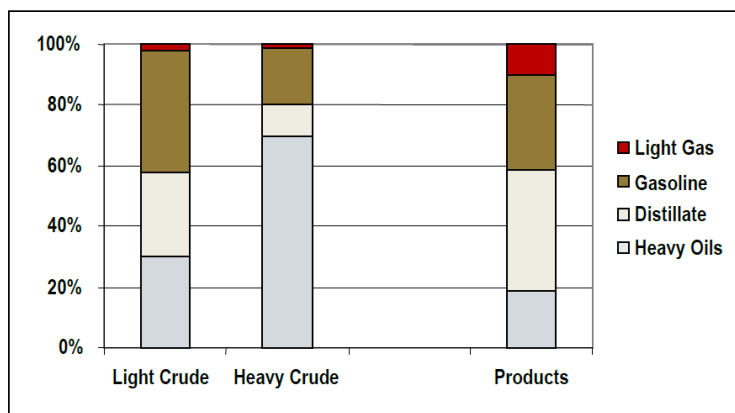
En la industria de refinación, la densidad de un crudo se expresa generalmente en términos de gravedad API, un parámetro de medición de unidades en grados (°API), por ejemplo, 35°API. La



gravedad API varía en forma inversa a la densidad (es decir, cuánto más liviano es el material, más alta es la gravedad API). Por definición, el agua tiene una gravedad API de 10°2.

La Figura 2 muestra la calidad de un típico crudo liviano (35°API) y un típico crudo pesado (25°API), en función de su producción natural de gases livianos, componentes de la gasolina y destilados (principalmente combustible pesado y diésel), y aceites pesados. La figura también muestra el perfil promedio de demanda de estas categorías de productos en los países desarrollados (Products). A partir de esta gráfica es posible concluir que cuanto más pesado el crudo, menor es la proporción aprovechable para destilados.

Figura 4. Producción Natural de Crudos Livianos y Pesados



Fuente: (ICCT, 2011)

Así mismo y de acuerdo con la información presentada en la Figura 5, se infiere que los petróleos crudos característicos de la región continental colombiana, son de clase “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 los crudos colombianos se encuentran entre los más pesados a nivel mundial.

Figura 5. Clasificación Internacional de Crudos según gravedad API

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

Fuente: (ICCT, 2011)

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



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

“Entre los hetero-elementos presentes en el petróleo crudo, el azufre es el que más afecta el proceso de refinación. Los niveles suficientemente altos de azufre en el flujo de refinación pueden: i) desactivar (“contaminar”) los catalizadores que aceleran las reacciones químicas deseadas en ciertos procesos de refinación, ii) provocar la corrosión en el equipo de refinación, y iii) generar la emisión a la atmósfera de compuestos de azufre, que no son agradables y pueden estar sujetos a estrictos controles reglamentarios”³.

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 consecuencia, las refinaciones 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 refinación, 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 %.”⁴.

Con base en la información presentada en la Figura 5 (Tipo de Crudo Colombiano: Heavy Sweet), el contenido de azufre típico de las reservas de crudo disponibles en Colombia, se encuentra entre 0-1.1 %wt (en el umbral “sulfuroso”).

La calidad promedio de los tipos mundiales de crudo (según gravedad API y contenido de azufre) para refinación ha ido decayendo paulatinamente. El contenido promedio de azufre ha aumentado más rápidamente y esta tendencia probablemente continuará en un futuro inmediato².

Para ilustrar esta tendencia, la Figura 6 muestra la calidad estimada del crudo, según la gravedad API y el contenido de azufre, en varias regiones del mundo para el año 2008 (presente) y 2030 (proyectado).

^{3,3} Introducción a la Refinación de Petróleo y Producción de Gasolina y Diésel con bajo contenido de Azufre. ICCT, 2011.

Figura 6. Calidad Regional de Petróleos Crudos – Proyección

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

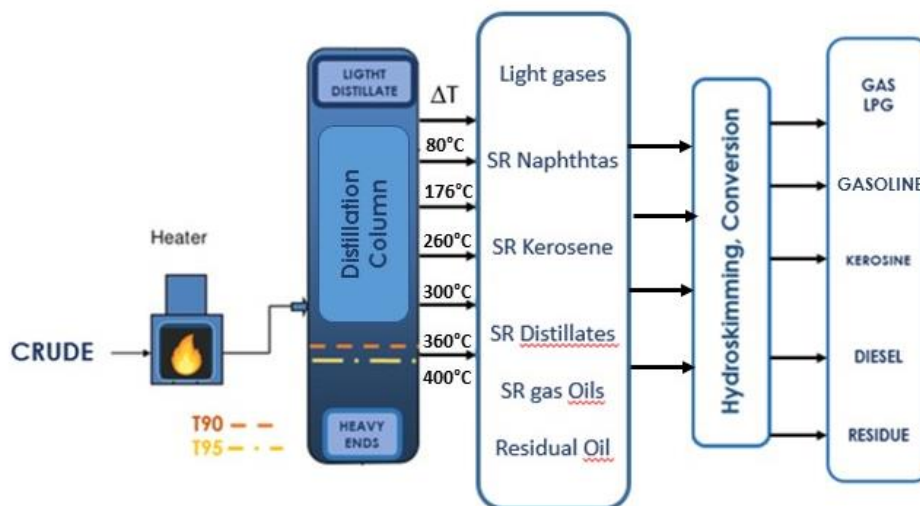
Fuente: (ICCT, 2011)

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

2.3 Características del Proceso de Refinería

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

Figura 7. Esquema de Refinería de Petróleos Crudos – Columna de Destilación



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

La separación de todos los derivados del crudo, se realiza gradualmente a medida que se incrementa la temperatura de destilación. De esta manera, como se ilustra en la figura 7, cuando el crudo se somete a temperaturas entre 15 °C y 80 °C se obtienen productos como gas y gas licuado de petróleo. Al incrementar la temperatura desde 176 °C hasta 260 °C, se separan del crudo sustancias como naftas y keroseno (a partir de las cuales se obtienen productos como gasolinas y combustibles náuticos); De esta manera, a medida que se avanza en el gradiente incremental de la temperatura, se separan del crudo compuestos cada vez más “pesados” en función de sus moléculas de carbono.

Hacia el final del proceso, se obtiene la fracción restante del crudo que no se ha evaporado a temperaturas entre 360°C y 500°C. Este punto de la columna de destilación se conoce como T95 y se define como la temperatura a la cual el 95% del crudo se ha evaporado. En algunos países se controla el parámetro de T90, el cual, análogamente corresponde a la temperatura de destilación para la cual el 90% del crudo se ha evaporado.

Al llegar a este punto del proceso, los compuestos remanentes son de naturaleza pesada, poco aprovechable y se destina para 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, las cuales permiten aprovechar en mayor medida los productos generados en todos los puntos de la columna de destilación (especialmente del extremo pesado), determinan la calidad de las diferentes categorías de productos refinados y viabilizan el control de parámetros específicos tales como el contenido de azufre en todos los flujos de la refinería, el contenido de compuestos aromáticos 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 hidrotreatmento para la refinería de barrancabermeja, mientras que en el año 2016 se incluyó para Reficar procesos de hidrotreatmento 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.

2.3. 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 humanos⁵ debido a su toxicidad y deben ser mantenidos en niveles tendientes a cero.

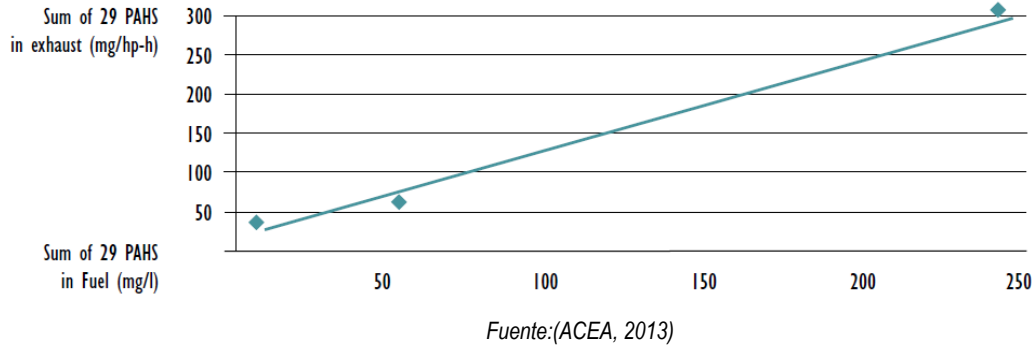
Estudios internacionales⁶ han demostrado que la reducción del contenido de poli-aromáticos en el combustible, tiene una influencia directa de reducción en las emisiones de material particulado en vehículos pesados y en vehículos livianos en mayor medida (hasta 6% menos de MP al reducir contenido de PAH 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 8.

⁵ OMS (2000)

⁶ EPEFE (1993-1995)

Figura 8. Influencia del contenido de PAH en las emisiones de PAH



Conforme avanzan las tecnologías de refinación del petróleo, se cuenta con procesos especializados que permiten mejorar la calidad de los combustibles obtenidos mediante las refinerías a nivel mundial. 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.

La carta mundial de combustibles, 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 el numeral 2 del presente documento), un valor aceptable 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 por un período de 2 años los cuales llegan a su vencimiento en el mes de junio de 2019.

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 5. 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

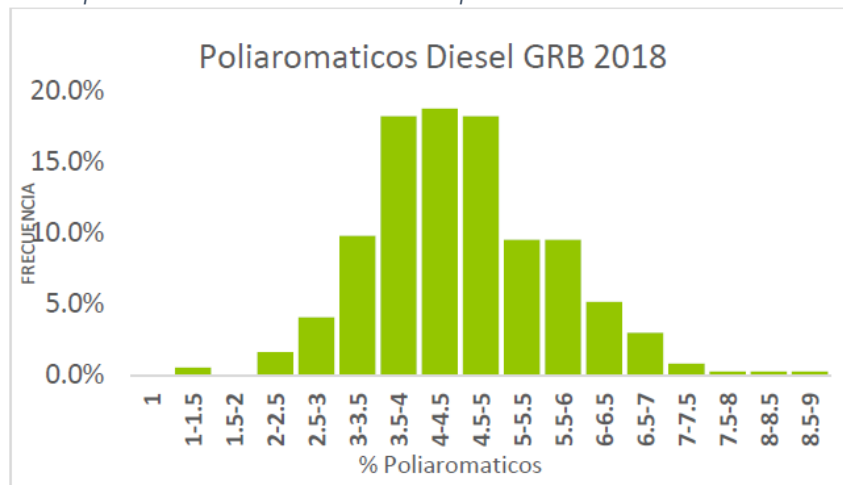


convenio entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad de Antioquia⁷, presentan entre sus conclusiones:

“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 un mes se observa, tal como se presenta en la figura 9, que la obtención de valores de poliaromáticos entre 8% y 9 % es de aproximadamente 1 punto porcentual.

Figura 9. 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. 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 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

⁷ 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.



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 de Óxidos de Nitrógeno (NOx) e Hidrocarburos (HC)⁸ 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.

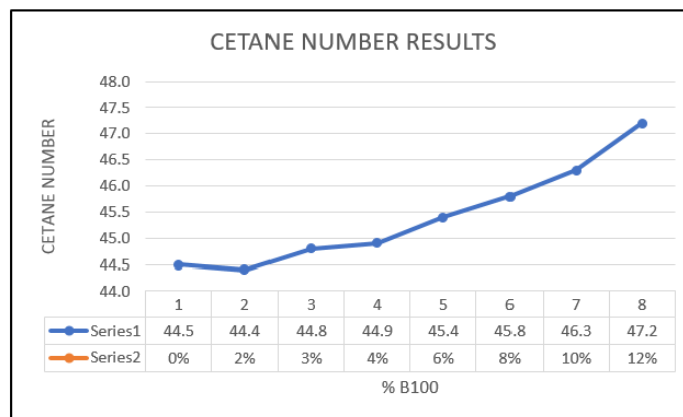
Tecnologías vehiculares de muy baja emisión contaminante, tales como EURO VI, requieren de una combinación de parámetros de combustible para el funcionamiento óptimo de las mismas. El número de cetano ideal para la implementación de tecnologías EURO VI es de 51. Sin embargo, es una condición que depende 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.

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 colombiana⁹ 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 10.

Figura 10. Resultados Análisis desempeño Número de Cetano vs BX



Fuente: Informe Resultados ASTM D 613 – Carmin Cargo Control 2019

▪ EFECTOS AMBIENTALES CONTENIDO DE AZUFRE

El contenido de azufre tiene influencia directa en la formación de material particulado en las

⁸ EPEFE (1993-1995)

⁹ Universidad de Antioquia – Ministerio de Minas y Energía (2016)



emisiones del tubo de escape vehicular y posee características que afectan el correcto funcionamiento de los sistemas de control de emisiones (convertidores catalíticos), tal como se desarrolló en el numeral 2 del presente documento.

A nivel internacional, se ha definido como estándar internacional EURO 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, dentro de las metas del cuatrienio del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 se encuentra alcanzar un contenido de azufre de máximo 10 ppm para el combustible diésel.

En armonía con esta meta, 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, la cual se resume a continuación.

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

Hasta el 31 de diciembre de 2019	50 ppm
A partir del 1° de enero de 2020	20 ppm
A partir del 1° de enero de 2021	15 ppm
A partir del 31 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 2.2.2 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 (ver figura 6).

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 estudios¹⁰ indican que las emisiones contaminantes 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).

¹⁰ EPEFE (1993-1995)



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.

Figura 11. Resumen comparativo de parámetros de calidad del Diésel a nivel internacional

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

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 período de tres (3) meses para cambiar los inventarios a la calidad que defina el regulador”.

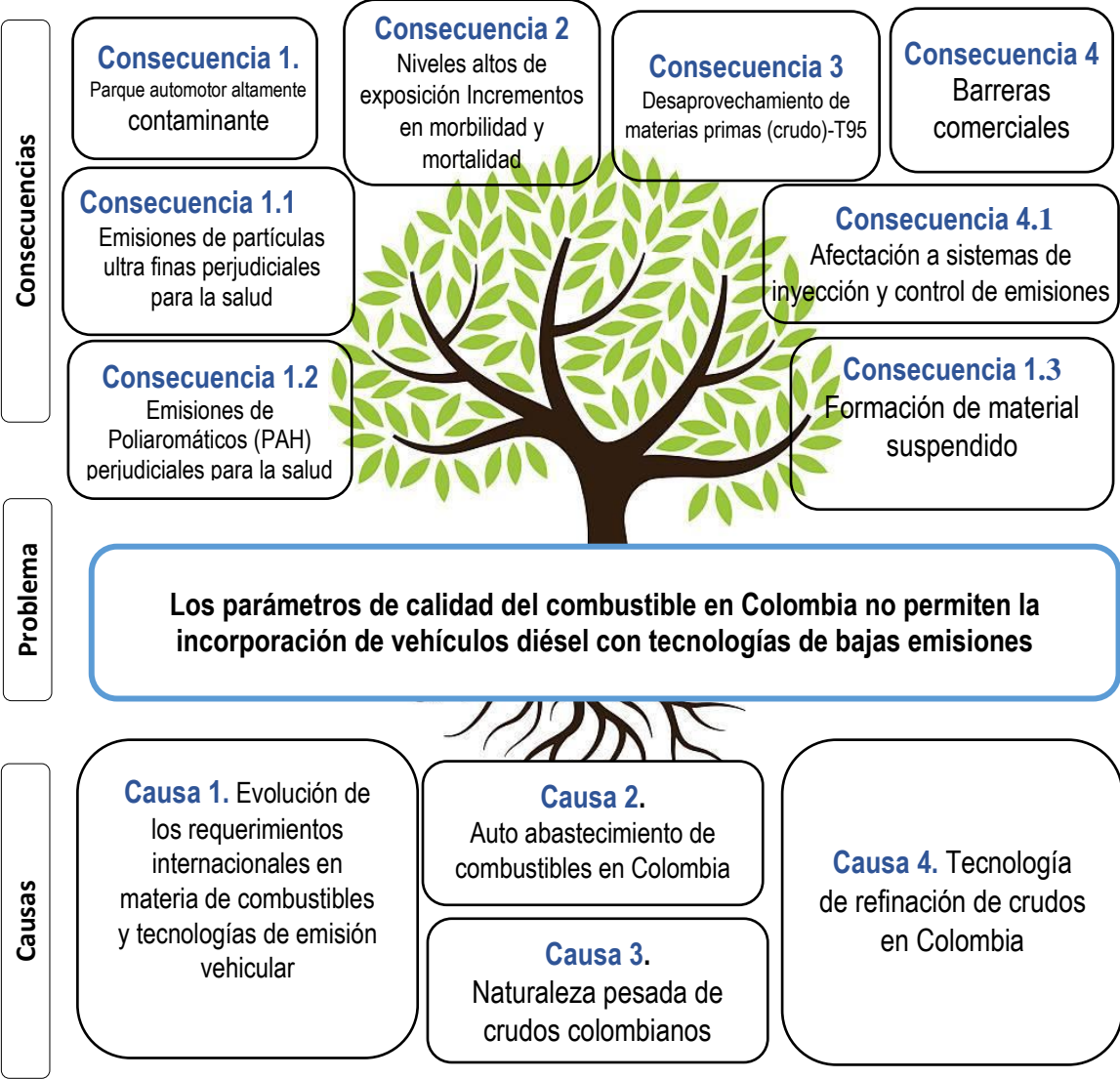
Dentro de las consideraciones evaluadas para el establecimiento del parámetro T95, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible hace énfasis en la inclusión del control del parámetro de poliaromáticos el cual se viabiliza gracias a la implementación de tecnologías de hidrotreatmento e hidrocrackeo 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 e hidrocarburos, tal como se desarrolla en el presente documento.

3. 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.

3.1 ÁRBOL DE PROBLEMAS

Figura 12. Árbol de Problema



3.2. 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 incorporación de vehículos diésel con tecnologías de bajas emisiones.

Como se ha expuesto en el presente documento, la calidad de los combustibles disponibles definida como el conjunto de parámetros que caracterizan las condiciones físico-químicas y las capacidades operativas, determina el tipo de tecnología vehicular que es posible reglamentar en un país. Es decir, un país que no tenga disponible un combustible diésel con características como: i) 10 ppm de azufre, ii) máximo 8% de contenido de poliaromáticos y iii) un número de cetano por lo menos 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.

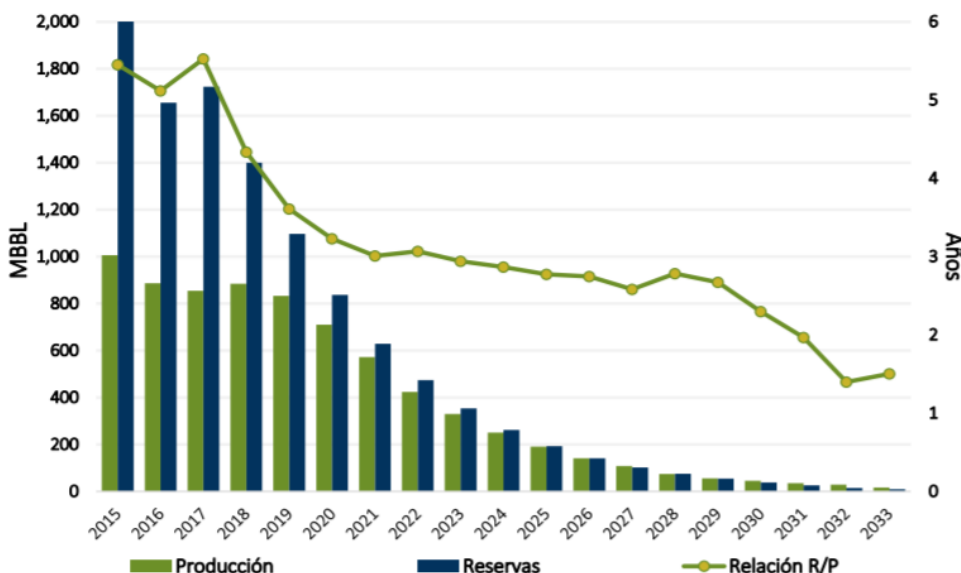
En Colombia, la reglamentación de calidad de combustible diésel establecida mediante Resolución 9 0963 de 2014, contempla un contenido de azufre de 50 ppm el cual es suficiente para incorporación de tecnologías de emisión hasta EURO IV, pero es insuficiente para la incorporación de tecnologías capaces 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. **Auto abastecimiento de combustibles en Colombia.** Colombia es un país con reservas continentales de petróleo crudo y se encuentra en la capacidad de extraerlo y refinarlo, por lo cual es autosuficiente para abastecer la demanda de productos como combustibles fósiles para los diferentes sistemas de transporte, terrestre, fluvial y aéreo. En consecuencia, la calidad de los parámetros de combustibles que se logra al final del proceso de refinación está condicionada directamente por las características físicoquímicas de las reservas de crudo disponibles y las cuales se presentaron de forma resumida en las figuras 5 y 6; 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 13. Reservas de Petróleo Colombiano



Fuente: (UPME, 2019)

- 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 refinaria sean mucho más altos comparados con aquellos requeridos para refinar crudos livianos (ver figura 3); de esta manera, Colombia se sitúa dentro de los países con reservas de crudo más pesadas a nivel mundial.
- 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 refinaria de petróleos crudos, los cuales permiten transformar las características químicas de los compuestos obtenidos durante la etapa de separación térmica (ver figura 5).

Procesos como el hidrotratamiento e hidrocrackeo que han sido incorporados por Ecopetrol (2010 y 2016) para los procesos de refinaria nacional, permiten en la actualidad controlar el



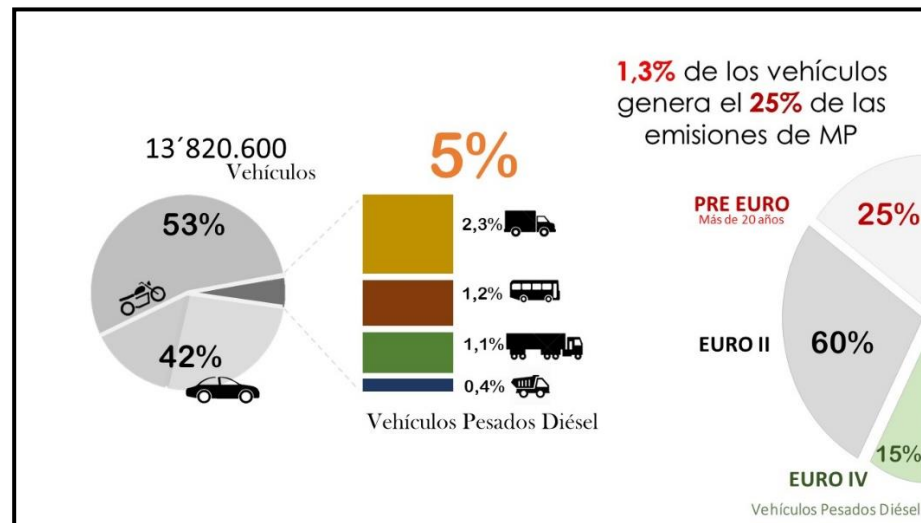
nivel de contaminantes tóxicos tales como, el contenido de poliaromáticos, el cual no se considera en la reglamentación vigente y permite mejorar el control del contenido de azufre en los distintos puntos del proceso de refinería.

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

Consecuencias:

- 1. Parque automotor altamente contaminante.** La composición del parque automotor colombiano en cuanto a su tecnología, se encuentra definido en función de la evolución de la reglamentación de la calidad del combustible, la cual entre los años 1995 a 2014 permitió el ingreso de tecnologías Pre-Euro y Euro II y tan solo a partir de 2015 posibilitó la incorporación de tecnologías EURO IV. (Ver Figura 7)

Figura 14. Composición parque automotor colombiano – Tecnologías de Emisión EURO



Fuente: Elaboración propia a partir de Runt 2018

- 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 OMS¹¹. La reglamentación de calidad de combustibles vigente, no establece un nivel permisible de contenido de poliaromáticos que propicie el ascenso tecnológico del parque automotor y que garantice el control de los compuestos tóxicos contenidos en el combustible diesel a los que se encuentra expuesta la población, sin embargo, la Resolución 4 0619 de 30 de junio de 2017 estableció de manera temporal un parámetro de contenido de poliaromáticos en promedio mensual máximo de 8% en masa, con picos máximos de 11%, el cual llega a su vencimiento en el mes de junio de 2019. Es responsabilidad de los Ministerios de Ambiente y Minas y Energía, establecer oportunamente la reglamentación permanente.
- 1.3. **Formación de Material Suspendido.** Las partículas viajan por el aire y son mezcladas en la 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

¹¹ OMS (2000). *WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000*



crudo¹², 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°C). Por esta razón, la Resolución transitoria 4 0619 de 30 de junio de 2017 [MinAmbiente y MinMinas y Energía] reglamentó un parámetro T95 (370°C) controlando el contenido de poliaromáticos (8% con picos máximos de 11%); esta Resolución llega a su vencimiento el 30 de junio de 2019, por lo cual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Minas y Energía deben hacer un pronunciamiento oportuno respecto de esta materia.

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.

4.1 **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 viabilizar la incorporación de tecnologías vehiculares diseñadas para reducir hasta en 95% las emisiones contaminantes generadas de los procesos de combustión. De esta manera, se podrá superar algunas de las barreras existentes en aras del mejoramiento de la calidad del aire, en lo que respecta a las emisiones generadas por las fuentes móviles terrestres en Colombia.

REFERENCIAS

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

¹² Fuente: Ecopetrol 2019



- *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”.*