



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa Único de Especializaciones de Ingeniería

ESPECIALIZACIÓN: AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

COMPARACIÓN DE LA POLÍTICA DE COMBUSTIBLES DE MÉXICO, JAPÓN,
CALIFORNIA Y LA UNIÓN EUROPA

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA
EN AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA

PRESENTA:

Cassandra Esther Sepúlveda Pintado

DIRECTORA DE TESINA:

MI. Judith Catalina Navarro Gómez



Programa Único de
Especializaciones de Ingeniería

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, MAYO DE 2021.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

“Comparación de la política de combustibles de México, Japón, California y la Unión Europa”

Contenido

“Comparación de la política de combustibles de México, Japón, California y la Unión Europa”	3
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas	4
1. Introducción.....	7
1.1. Planteamiento del Problema	8
1.2. Objetivos	8
2. Marco Teórico y Contextual.....	9
2.1. Composición de Combustibles	9
2.1.1. Contenido de hidrocarburos (Olefinas y compuestos aromáticos)	11
2.1.2. Plomo.....	13
2.1.3. Azufre.....	13
2.1.4. Nitrógeno	15
2.1.5. Aditivos	15
2.1.6. Trazas de otros compuestos	16
2.1.7. Oxigenantes.....	16
2.1.8. Características fisicoquímicas de los combustibles	21
2.2. Rendimiento de Combustibles	23
2.2.1. Factores tecnológicos que modifican el rendimiento de los combustibles	24
2.2.2. Buenas prácticas de manejo y mantenimiento	24
2.3. Combustibles y calidad del aire	26
2.4. Política de combustibles.....	32
2.5. Incentivos y Economía de combustibles.....	36
3. Situación en México	38
3.1.1. Calidad de Combustibles.....	42
3.1.2. Rendimiento de combustible	53
3.1.3. Emisiones Contaminantes.....	58
3.2. Ciudad de México	60
3.2.1. Calidad de combustibles	61
3.2.2. Calidad del Aire	62
4. Análisis internacional.....	65
4.1. Unión Europea	69
4.1.1. Calidad de combustibles	70
4.1.2. Rendimiento de combustible	71
4.1.3. Calidad del Aire	71
4.1.4. Instrumentos de cumplimiento.....	73
4.2. Japón	74
4.2.1. Calidad de Combustibles.....	75
4.2.1. Rendimiento de combustible	76

4.2.2.	Estándares de emisión de gases de combustión vehiculares.....	80
4.2.3.	Instrumentos de cumplimiento.....	81
4.3.	California.....	82
4.3.1.	Calidad de Combustibles.....	84
4.3.2.	Rendimiento de Combustibles.....	86
4.3.3.	Emisiones Contaminantes.....	87
4.3.4.	Programas de cumplimiento e incentivos	91
5.	Comparación de México, Japón, California y la Unión Europea.....	92
5.1.	Calidad de combustibles	92
5.1.1.	<i>Gasolinas</i>	93
5.1.2.	Diésel	101
5.2.	Rendimiento de combustible	103
5.3.	Emisiones vehiculares.....	107
6.	Recomendaciones para la mejora de la política de combustibles en México.....	112
6.1.	Calidad de Combustibles.....	112
6.2.	Rendimiento de Combustibles	121
6.3.	Emisiones vehiculares	123
7.	Conclusiones.....	125
8.	Referencias	127
9.	Acrónimos y definiciones.....	143
10.	Anexos.....	145

“Comparación de la política de combustibles de México, Japón, California y la Unión Europa”

Índice de Figuras

Figura 1. Factores que modifican el rendimiento del combustible en un vehículo	24
Figura 2. Diagrama de Emisiones Vehiculares	28
Figura 3. Relación entre políticas de combustibles, tecnologías vehiculares y la calidad de combustible.....	33
Figura 4. Interrelación entre sectores interesados en la calidad de combustibles.	35
Figura 5. Rendimiento de Combustible en modelos 2012 vendidos en México.....	54
Figura 6. vehículos de motor registrados en Circulación en México (acumulados)	56
Figura 7. Datos históricos de precio al público de gasolina regular en México por litro .	57
Figura 8. Metas de rendimiento de combustible para vehículos de pasajeros a 2030, publicados en 2019.....	79
Figura 9. Estándares de combustible en Estados Unidos (enero de 2018)	83
Figura 10. Proporción del total de vehículos ligeros por tipo de categoría de emisión dentro del estándar LEV III	90
Figura 11. Mapas que muestran los promedios de temperatura máximos (primavera y verano) y mínimos (otoño e invierno) en México.....	95

Índice de Tablas

Tabla 1. Principales características de la gasolina y el diésel	10
Tabla 2. Características de las diferentes familias de hidrocarburos.....	12
Tabla 3. Propiedades de los éteres usados como oxigenantes.....	18
Tabla 4. Comparación entre el octanaje de los éteres y alcoholes más utilizados.....	19
Tabla 5. Pros y contras de cambiar el uso de MTBE como oxigenante por etanol.....	20
Tabla 6. Características fisicoquímicas de los combustibles más utilizadas.....	22
Tabla 7. Hábitos que modifican el rendimiento de combustible.....	25
Tabla 8. Resumen de contaminantes atmosféricos, efectos en la salud y medio ambiente.....	30
Tabla 9. Clasificación del ICCT de los países en grupos de acuerdo con sus políticas de combustibles.....	36
Tabla 10. Economía de la Energía, consumo promedio de gasolina por precio de combustible	37
Tabla 11. Resumen de cambio en las políticas ambientales y de ahorro de energía en México.....	40
Tabla 12. Especificaciones de vapor y temperaturas de destilación de las gasolinas mexicanas según su clase de volatilidad.	44
Tabla 13. Especificaciones de clase de volatilidad de las gasolinas de acuerdo con las zonas geográficas y a la época del año.....	44
Tabla 14. Estados que comprenden cada una de las regiones de distribución de gasolina en México	44
Tabla 15. Especificaciones adicionales de la gasolina por región NOM-016-CRE-2016 (acuerdo 2017 y modificaciones 2020)	45
Tabla 16. Propiedades para la gasolina descritas en la normatividad mexicana (clase de volatilidad AA)	46
Tabla 17. Propiedades para diésel descritas en la normatividad mexicana.....	49
Tabla 18. Valores mínimos en términos de rendimiento de combustible en km/l	55
Tabla 19. Límites máximos permisibles de emisión para vehículos que utilizan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel (Estándar de durabilidad de 80,000 km).	59

Tabla 20. Límites permisibles para vehículos nuevos con un peso bruto mayor a 3,857 (certificados mediante métodos de prueba establecidos por la Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos de América)	60
Tabla 21. Límites permisibles para vehículos nuevos con un peso bruto mayor a 3,857 (certificados por el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, así como por la comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa).....	60
Tabla 22. Resumen de la historia de la calidad del aire en la Ciudad de México	63
Tabla 23. Categorías vehiculares según sus normativas en materia de combustible y tecnológicas según el Worldwide Fuel Charter.....	66
Tabla 24. Composición de combustibles según las asociaciones de fabricantes de vehículos de Japón, Estados Unidos y la Unión Europea para gasolina	67
Tabla 25. Tablas de volatilidad para todas las categorías	67
Tabla 26. Composición de combustibles según las asociaciones de fabricantes de vehículos de Japón, Estados Unidos y la Unión Europea para diésel.....	68
Tabla 27. Resumen de regulaciones de combustible y transporte en la Unión Europea	70
Tabla 28. Límites de calidad de combustibles establecidos en la Unión Europea.....	70
Tabla 29. Límites europeos de emisiones en gasolina	73
Tabla 30. Límites europeos de emisiones en diésel	73
Tabla 31. Historia de la regulación vehicular en Japón.....	74
Tabla 32. Características de la gasolina y el diésel en Japón	75
Tabla 33. Comparación de estándares de rendimiento de combustible en vehículos a gasolina por peso en Japón.....	77
Tabla 34. Comparación de estándares de rendimiento de combustible en vehículos a diésel por peso en Japón.	78
Tabla 35. Fórmula para determinar los rendimientos de combustible equivalentes a gasolina	78
Tabla 36. Estándares de emisiones vehiculares (gasolina y diésel)	81
Tabla 37. resumen de regulaciones energéticas y ambientales en California	84
Tabla 38. Características de la calidad de combustible (gasolina).....	85
Tabla 39. Características del etanol usado en California.....	85
Tabla 40. Historia del rendimiento de combustible en EUA	87
Tabla 41. Estándar de emisiones LEV III de California.....	89

Tabla 42. Comparación de Categorías de Volatilidad en México y según las asociaciones de fabricantes de combustibles.....	94
Tabla 43. Comparación de calidad de gasolina entre la Unión Europea, Japón, California y México (incluyendo las categorías de la asociación de fabricantes de automóviles).	99
Tabla 44. Límites en las propiedades del diésel en México, la Unión Europea Japón y California.	102
Tabla 45. Comparación de reglamentación y estrategias para aumentar el rendimiento de combustibles en México, la Unión Europea, Japón y California	106
Tabla 46. Comparación de límites de emisiones en vehículos nuevos a gasolina (g/km).	108
Tabla 47. Comparación de límites de emisiones en vehículos nuevos a diésel (g/km).	111
Tabla 48. Propuestas de mejora en la calidad de gasolinas por etapas.....	118
Tabla 49. Propuestas de mejora en la calidad de diésel por etapas.....	120
Tabla 50. Estándares de rendimiento de combustible en vehículos a gasolina por peso propuesto para la primera etapa de implementación de nuevos estándares de rendimiento de combustible en México (tomado de los valores de Japón).	122
Tabla 51. Estándares de rendimiento de combustible en vehículos a diésel por peso propuesto para la primera etapa de implementación de nuevos estándares de rendimiento de combustible en México (tomado de los valores de Japón).	122
Tabla 52. Rendimiento de combustible combinado mínimo dependiente del cilindraje	123
Tabla 53. Límites de emisión propuestos para México en la primera etapa (g/km).	124
Tabla 54. Resumen cronológico del uso de Etanol como oxigenante en EUA	145

1. Introducción

La política mexicana en materia de combustibles tiene áreas de oportunidad en cuanto al ahorro y uso eficiente de la energía, lo cual es importante no solo por el ahorro de energía que se puede lograr per se, sino también porque el uso eficiente de este recurso permite, a su vez, disminuciones en las emisiones contaminantes a la atmósfera. A nivel nacional, el sector transporte es el principal consumidor de energía con un 45.51 % del total utilizado en el país, según el Balance Nacional de Energía 2018 (SENER, 2019) y representa un 36.8% de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera (INECC, 2018). A lo largo de esta tesina, se realizará un análisis comparativo entre las políticas implementadas en México y en tres regiones con alcances más estrictos: la Unión Europea, Japón y California.

La eficiencia energética y la disminución de emisiones en el sector transporte se encuentran ligadas a la calidad de los combustibles y a las tecnologías vehiculares existentes (Hensher, 2008). A nivel local, el potencial de aumento de eficiencia energética y disminución de emisiones contaminantes depende de la contribución porcentual del sector transporte al total de energía utilizada y de emisiones generadas.

Existen Estados donde dicho potencial es mayor, como en la Ciudad de México, en donde un 74% del total de los GEI emitidos durante 2016 provinieron del sector transporte (SEDEMA, 2018), o en Querétaro, donde representaron un 64.7% (Secretaría de Desarrollo Sustentable de Querétaro, 2016). Otros Estados tienen un potencial menor como es el caso de Yucatán, donde solo un 35.9% de los GEI provinieron del transporte, mientras que la generación de energía contribuyó con más del 57% de estas emisiones (Gobierno del Estado de Yucatán, 2013).

Esta tesina inicia con el marco teórico y contextual, en donde se describe la composición de los combustibles líquidos gasolina y diésel; posteriormente se aborda el tema del rendimiento y los factores que modifican el consumo de combustible; continuando con la calidad de los combustibles y su relación con la calidad del aire.

En el capítulo 3, se describe la situación histórica y actual de México, con el fin de analizar cómo se han abordado la calidad de los combustibles y su relación con la situación ambiental en el país, describiéndose más a fondo el caso de la Ciudad de

México, entidad federativa que ha sido a través de los años, la más avanzada en materia de cuidado y protección al ambiente.

Más adelante, en el capítulo 4, se realiza un análisis de la política de combustibles a nivel internacional, particularmente en California, Japón y la Unión Europea, regiones con políticas de combustibles más estrictas a las mexicanas, mencionándose su historia y características, con el fin de establecer elementos comparativos que se utilizarán en el capítulo 5 para establecer las diferencias entre la política mexicana y la de dichas regiones.

En el capítulo 6 se proponen modificaciones a la política actual, basadas en el análisis previamente realizado en el capítulo 5, describiéndose las propuestas que podrían utilizarse a futuro para modificar la política de combustibles en México.

1.1. Planteamiento del Problema

La política de calidad de combustibles en México no es lo suficientemente estricta, por lo que se desaprovechan las posibilidades de ahorro de energía y disminución de contaminantes emitidos a la atmósfera.

1.2. Objetivos

El objetivo general de esta tesina es llevar a cabo un análisis comparativo de las políticas de combustibles entre México y tres regiones internacionales con políticas de combustible más estrictas (California, Japón y la Unión Europea); con el fin de proponer mejoras en la política de combustibles mexicana.

2. Marco Teórico y Contextual

La política nacional de combustibles en México ha estado históricamente relacionada al sector ambiental del gobierno; lo cual la ha mantenido separada de otras áreas sectoriales que han sido consideradas ajenas a la ambiental, pero tienen repercusiones en el tipo, cantidad y calidad de los combustibles vendidos en el país; impidiendo que el tema sea abordado de fondo (Sosa; Gustavo et al, 2018).

Áreas sectoriales como energía, transporte y urbanismo deben contemplar enfoques interdisciplinarios de protección a la salud y medio ambiente, combate al cambio climático y de gestión que permitan reducir la emisión de contaminantes (Sosa; Gustavo et al, 2018). Se requiere una vinculación transversal entre las diferentes políticas, de lo contrario se pueden tomar acciones que repercutan negativamente en otras áreas. Por ejemplo, se pueden implementar políticas energéticas que empeoren la calidad del aire y cuyos efectos no sean previstos debido a esta falta de transversalidad. Así mismo, la vinculación permite un uso más eficiente de los recursos, ya que evita la duplicidad en los esfuerzos realizados en cada uno de los temas abordados.

Antes de iniciar el análisis de la política nacional de combustibles, primero se debe entender qué son los combustibles, sus características y composición; así como su relación con la calidad del aire, ya que en muchos países se utiliza la calidad del aire y la reducción de emisiones a la atmósfera como la principal razón para mejorar el rendimiento y la composición de estos.

2.1. Composición de Combustibles

Los combustibles líquidos, tanto la gasolina como el diésel, provienen de la refinación del petróleo; representando dos fracciones diferentes de la destilación del crudo, siendo la gasolina más volátil y ligera que el diésel (Colorado School of Mines, 2018). La mayor diferencia entre ambos combustibles se da en el marco del desempeño, el cual es mayor en los vehículos a diésel. Termodinámicamente hablando, el ciclo diésel tiene una eficiencia mayor a la del ciclo Otto o ciclo de gasolina, por lo que los motores a diésel tienen un mayor rendimiento de combustible y torque que los motores a

gasolina del mismo tamaño (U.S. Department of Energy, 2020). Las principales características de ambos combustibles se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales características de la gasolina y el diésel

	Gasolina	Diésel
Fracción de petróleo utilizada	Fracción ligera, obtenida con un rango de destilación aproximado de entre 35°C a 225°C. Contiene cadenas de hidrocarburos de 4 a 12 (C ₄ a C ₁₂) átomos de carbono por molécula.	Fracción obtenida con un rango de destilación aproximado de entre 200° y 400°C (naftas). Cadenas de hidrocarburos de 11 a 25 átomos de carbono (C ₁₁ a C ₂₅); dependiendo del tipo de diésel (diésel pesado para proceso o ligero para vehículos).
Otros componentes	Éteres, alcoholes y aditivos	Aditivos para aumentar el número de cetano (n-hexadecano).
Uso	En motores de ignición por chispa (ciclo Otto). Para una relación de compresión dada, el ciclo Otto tiene mayor eficiencia que el diésel, pero los motores a diésel logran mayores relaciones de compresión en comparación a un motor Otto del mismo tamaño.	En motores que operan con ciclo Diesel (ignición por compresión). Suelen usarse en vehículos que requieren una mayor potencia (como vehículos de carga).
Características	Debe tener la habilidad de comprimirse y no encenderse antes de la ignición por chispa (medido con el número de octano).	Debe atomizarse adecuadamente cuando se inyecta a aire comprimido y encenderse (medido con el número de cetano).
Problemáticas	Diferencias entre el producto refinado y el vendido debido a la evaporación de compuestos ligeros durante el almacenamiento y despachamiento de gasolina. Oxidación y polimerización de ciertos componentes debido al oxígeno atmosférico Penetración de impurezas (partículas) en la gasolina. Mezcla de la gasolina con vapor atmosférico	Asfaltos que se forman por la oxidación y polimerización de los componentes reactivos en el diésel. Compuestos azufrados que no se retiraron durante el proceso de producción y pueden causar emisiones azufradas. Contenido de partículas, productos de la corrosión de ductos y tanques, agua y microorganismos.
Producción en México	Se produce en todas las refinerías y se cuenta con tres tipos de gasolinas automotrices: *Pemex Magna (producida en todas las refinerías (RON+MON)/2= mínimo 87, *Pemex Magna Reformulada (oxigenada con MTBE y TAME). Producida en Tula, Salamanca y Cadereyta y *Pemex Premium. (RON+MON)/2= mínimo 93, producida en Cadereyta, Cd. Madero, Salina Cruz, Tula y Minatitlán Los tres tipos son distribuidos por autotanques y ductos	Se produce y comercializa diésel automotriz, diésel industrial y diésel marino especial para embarcaciones. PEMEX diésel (automotriz). Utilizado en Zonas metropolitanas de Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey en el ramo de autotransporte. Límite de azufre que aún no es disminuido en todo el país (existen zonas con aún 500 ppm).
Rendimiento	Los motores a diésel tienen un rendimiento de combustible y un torque mayor que los motores de gasolina del mismo tamaño. El diésel tiene un rendimiento de 20 a 30% mayor que sus contrapartes a gasolina debido a la mayor relación de compresión alcanzada.	

Elaboración propia con información de: (Colorado School of Mines, 2018), (Quattrochi, 2006), (Sistema de Información Energética de México, 2020).

Ambos combustibles están compuestos por hidrocarburos de diferentes familias (parafinas, iso-parafinas, aromáticos, entre otros), compuestos inorgánicos como mercaptanos o sulfuro de hidrogeno, trazas de metales pesados (provenientes de la extracción del petróleo y que no fueron eliminados en su totalidad durante la refinación), aditivos que permiten incrementar las propiedades de los combustibles y otras sustancias como agua (Secretaría de Energía de la república Argentina, 2003).

2.1.1. Contenido de hidrocarburos (Olefinas y compuestos aromáticos)

La gasolina contiene aproximadamente 500 hidrocarburos con entre 4 y 14 carbonos por molécula (Totten, Westbrook, & Shah, 2003). Entre los hidrocarburos, destacan las olefinas y los compuestos aromáticos, debido a sus características fisicoquímicas, sus posibles efectos al motor y por las emisiones contaminantes que producen al ser quemadas (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019).

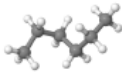
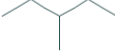
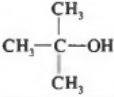
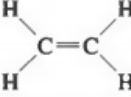

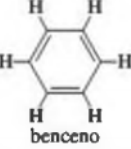
Las olefinas son compuestos orgánicos insaturados térmicamente inestables, por lo que generan depósitos en los sistemas de inyección de gasolina al motor, disminuyendo su eficiencia y provocando problemas en el mismo. Estas sustancias incrementan la emisión de compuestos tóxicos al medio ambiente, tanto al evaporarse como al ser quemadas en los motores; estas emisiones son químicamente reactivas y facilitan la formación de ozono troposférico (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019).

Por otro lado, los compuestos aromáticos son moléculas que contienen al menos un anillo de benceno; lo cual los convierte en sustancias muy estables que aumentan el octanaje del combustible. Al ser muy estables, es difícil que al quemarse tengan combustiones completas; ocasionando mayor contaminación y la necesidad de mantenimiento en los equipos (Totten, Westbrook, & Shah, 2003). Un alto contenido en compuestos aromáticos implica un incremento en los depósitos en el motor; además de un mayor desgaste en las partes que lo componen. Estos compuestos también incrementan las emisiones de CO₂, la formación de partículas y el riesgo de pre-ignición en el motor (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019).

Además de esto, las nuevas tecnologías vehiculares, por ejemplo, los filtros de partículas requieren bajos contenidos de compuestos aromáticos, ya que, de lo contrario, requerirán más servicio y mantenimiento que al utilizar combustibles con una menor cantidad de éstos (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019). La presencia de compuestos aromáticos pesados ha sido asociada a la formación de depósitos en la cámara de combustión y al aumento en la emisión de HC y NO_x; esto debido a que los depósitos actúan como aislantes térmicos, lo que ocasiona aumento en la temperatura del motor (SENER, GTZ, 2010).

En la Tabla 2 se muestran las características de los diferentes tipos de hidrocarburos, incluyéndose las olefinas y los compuestos aromáticos, así como ejemplos de cada uno de ellos.

Tabla 2. Características de las diferentes familias de hidrocarburos.

Compuesto / familia de compuestos	Características	Ejemplo de configuración	Ejemplo de propiedades (6 carbonos)
Parafinas (n-parafinas)	Compuestos poco reactivos, los puntos de ebullición aumentan conforme el número de carbonos de la molécula aumenta. Permiten el aumento del número de cetano	 n-hexano	n-Hexano Fórmula molecular: C ₆ H ₁₄ Peso molecular: 86.178 g/mol Punto de ebullición: 68.73°C (1atm). Solubilidad: 9.5 mg/l (25°C) Densidad: 0.659 g/ml (20°C) Presión de vapor: 17 kPa (20°C)
Iso-parafinas	Compuestos con cadenas ramificadas que tienen puntos de ebullición menores a las n-parafinas con el mismo número de carbonos (entre mayor sea la ramificación menor es el punto de ebullición, derivado de que se tienen menores puntos de contacto entre las moléculas, teniéndose menores fuerzas intermoleculares). El número de compuestos potenciales es inmenso debido a las ramificaciones en las cadenas.	 3-metil-pentano  alcohol <i>ter</i> -butílico	3- metil-pentano Fórmula molecular: C ₆ H ₁₄ Peso molecular: 86.178 g/mol Punto de ebullición: 63.271°C (1atm). Solubilidad en agua: 17.9 mg/l (25°C) Densidad: 0.66431 g/ml (20°C) Presión de vapor: 20.5 kPa (20°C)
Olefinas	Compuestos con enlaces dobles entre carbonos, son más reactivos que las parafinas; los puntos de ebullición son ligeramente inferiores a los del alcano con el mismo número de carbonos. Se forman durante el procesamiento del petróleo (usualmente no se encuentran en petróleo crudo). Producen temperaturas de llama más altas que los aromáticos.	 etileno (eteno)	1-hexeno Fórmula molecular: C ₆ H ₁₂ Peso molecular: 84.162 g/mol Punto de ebullición: 63.4°C (1atm). Solubilidad en agua: 50 mg/l (25°C) Densidad: 0.6731 g/ml (20°C) Presión de vapor: 18.7 kPa (20°C)
Naftenos	Compuestos con puntos de ebullición, de fusión y densidades más altas que los correspondientes alcanos (parafinas) lineales debido a su mayor rigidez y simetría que permiten mayores fuerzas intermoleculares de atracción.	 ciclohexano	Ciclohexano Fórmula molecular: C ₆ H ₁₂ Peso molecular: 84.162 g/mol Punto de ebullición: 80.7°C (1atm). Solubilidad en agua: 55 mg/l (25°C) Densidad: 0.7781 g/ml (20°C) Presión de vapor: 10.3 kPa (20°C)
Aromáticos	Compuestos con enlace bencénico (formación estable de 6 carbonos en forma de anillo con 3 enlaces dobles). Puntos de ebullición mayores a los de las parafinas y olefinas. Estos compuestos aumentan el octanaje de las gasolinas, pero disminuyen el número de cetano en diésel.	 benceno	Benceno Fórmula molecular: C ₆ H ₆ Peso molecular: 78.114 g/mol Punto de ebullición: 80.08°C (1atm). Solubilidad en agua: 1.79X10 ³ mg/l (25°C) Densidad: 0.8756 g/ml (20°C) Presión de vapor: 10 kPa (20°C)

Fuente: Elaboración propia con información de: (Servicio Geológico Mexicano), (Open Chemistry Database, 2018), (Colorado School of Mines, 2018), (SENER, GTZ, 2010).

Además de hidrocarburos, la gasolina y el diésel tienen trazas de otros compuestos como plomo, azufre y agua; asimismo contienen sustancias añadidas como aditivos y oxigenantes.

2.1.2. Plomo

El plomo es un metal que se encuentra naturalmente en el petróleo y trazas de este pueden quedar después de los procesos de refinación. Históricamente, el Plomo era añadido a las gasolinas en forma de tetraetilo de plomo $C_8H_{20}Pb$ como un aditivo barato para incrementar el octanaje vehicular, mejorar la combustión y el rendimiento; pero su uso fue reemplazado en casi todo el mundo debido a dos causas principales a) al tenerse sistemas de control de emisiones, ya que el plomo disminuye su eficiencia (al interactuar químicamente con ellos aún a concentraciones muy pequeñas) y b) al estudiarse y conocerse los impactos negativos del plomo en la salud (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019) (Totten, Westbrook, & Shah, 2003).

2.1.3. Azufre

El azufre se encuentra naturalmente en el petróleo crudo. Si el azufre no es removido durante los procesos de refinación, se encontrará en el producto terminado. Su remoción se logra a través de un proceso conocido como "hidrodesulfuración", este tratamiento elimina azufre, nitrógeno, oxígeno y metales de los hidrocarburos (como el plomo). La hidrodesulfuración tiene dos inconvenientes, reduce el peso por litro de los hidrocarburos y disminuye también una pequeña parte del poder calorífico del combustible (disminución del contenido energético por litro) (Engineering ToolBox)& (EIA, 2015).

El azufre debe ser eliminado ya que tiene un impacto negativo en los sistemas de control de emisiones, disminuyendo la eficiencia de los convertidores catalíticos metálicos en vehículos a gasolina y la de los filtros de partículas en vehículos a diésel. Además de esto, mayores concentraciones de azufre conllevan una reducción en la vida útil tanto de los convertidores catalíticos como de los filtros de partículas (EIA, 2015).

Los convertidores disminuyen su eficiencia al anularse su acción sobre los contaminantes contenidos en los gases producto de la combustión; mientras que los

filtros de partículas se obstruyen con el hollín, lo cual provoca contrapresiones y un mayor consumo de combustible. Las obstrucciones pueden ser eliminadas al darse mantenimiento, siendo requerido más frecuentemente en zonas donde los combustibles tienen mayores concentraciones de azufre (SEMARNAT e INECC, 2019).

El efecto de la disminución del contenido de azufre en los combustibles ha sido investigado en diferentes estudios, obteniéndose por ejemplo, una reducción de emisiones de un 7% de Hidrocarburos, 12% de CO y del 16% de NOx al disminuir el promedio de azufre de 30 ppm a 1 ppm en vehículos a gasolina con tecnología LEV/ULEV¹ según el estudio "Alliance" (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019).

En el caso de vehículos a diésel, los combustibles Ultra Bajo Azufre (UBA) con aproximadamente 10 ppm de azufre permiten el uso de adsorbentes de NOx y filtros de partículas, lo cual permite una reducción casi total del material particulado, siendo mayor a un 99% (SEMARNAT e INECC, 2019). Al tenerse vehículos a diésel más limpios, pueden cambiarse flotas a gasolina por flotas a diésel con motores del mismo tamaño, obteniéndose también un mayor rendimiento de combustible y a su vez menores emisiones, debido a que los motores a diésel son más eficientes que los motores Otto del mismo tamaño (U.S. Department of Energy, 2020).

Aunado a los efectos negativos en los sistemas vehiculares de alimentación de combustible y postratamiento de gases de combustión, la emisión de azufre a la atmósfera representa un peligro para la salud y el medio ambiente. El azufre es un fuerte irritante de ojos, nariz y garganta que agrava problemas respiratorios y reduce el funcionamiento pulmonar en los seres vivos. Por otro lado, los óxidos de azufre emitidos a la atmósfera, específicamente el SO₂, desempeñan un papel importante en la formación de lluvia ácida, la cual afecta a la flora, fauna, suelo y edificaciones (INECC, 2007).

¹ LEV. Low Emission vehicle (vehículo de bajas emisiones). Estándar mínimo de emisión para todos los vehículos nuevos vendidos en California
ULEV. Ultra low emission vehicle (Vehículo de ultra bajas emisiones). Emite 50% menos que otros vehículos.

2.1.4. Nitrógeno

El nitrógeno elemental (N_2) se encuentra naturalmente en forma gaseosa en la atmósfera, representando un 78% de la composición química de ésta. Cuando el nitrógeno se encuentra en el medio ambiente en forma de óxidos de nitrógeno, puede ocasionar problemas tanto a la salud de los seres vivos como al medio ambiente. Entre los problemas de salud y ambientales ocasionados por los óxidos de nitrógeno se tienen: problemas respiratorios derivados de la inflamación de diferentes órganos, agravamiento del asma y condiciones bronquiales, smog fotoquímico (el NO_2 es precursor del ozono troposférico), acidificación de aguas superficiales (reduce la biodiversidad y mata a los peces), daño a bosques a través del impacto directo en las hojas y debido a la acidificación del suelo, episodios de baja visibilidad, erosión de monumentos, edificios y estructuras metálicas, entre otros (EPA, 2002).

El nitrógeno se encuentra presente en el crudo antes de ser procesado, siendo aproximadamente de un 5 a un 20% del contenido de azufre. El contenido final en los combustibles depende del contenido inicial y los procesos de remoción utilizados. El nitrógeno es difícil de eliminar en las refinerías, pero en los vehículos es controlado en equipos de tratamiento de gases de escape, como los convertidores catalíticos, que convierten NO_x en nitrógeno gaseoso (N_2) en vehículos a gasolina y los dispositivos de reducción catalítica selectiva (SCR) en los vehículos a diésel (Totten, Westbrook, & Shah, 2003) (Flores, Blake, Fabela, hernández, & Vázquez, 2014). Una buena calidad de combustible es necesaria para permitir el funcionamiento óptimo de los equipos de tratamiento de gases de escape; de lo contrario, las emisiones finales serán mayores, incrementándose sus efectos al medio ambiente y a la salud.

2.1.5. Aditivos

Los aditivos son sustancias que mejoran las propiedades de los combustibles. Algunos ejemplos son (Totten, Westbrook, & Shah, 2003):

- Antioxidantes: sustancias agregadas para disminuir el proceso de oxidación de los hidrocarburos, especialmente de los insaturados.
- Inhibidores de corrosión: usualmente son surfactantes solubles en aceite. Se utilizan para prevenir la corrosión originada por el agua contenida en el

combustible o para evitar la corrosión generada por el agua proveniente de la condensación del aire en las paredes de tanques de gasolina casi vacíos.

- Inhibidores de corrosión de cobre: usados para mitigar la corrosión del cobre ocasionado por combustibles con azufre.
- Aditivos contra el desgaste del motor: aceites que disminuyen el desgaste del motor.
- Otros aditivos: También hay aditivos para disminuir los depósitos en el motor.

2.1.6. Trazas de otros compuestos

En los combustibles pueden encontrarse trazas de otros compuestos como el agua, la cual debe ser controlada, ya que puede ocasionar problemas de corrosión. Pueden existir también otros compuestos como adulterantes para modificar deliberadamente el volumen de combustible vendido (solventes, refrigerantes, entre otros); así como contaminantes particulados como suciedad y productos de la corrosión en los sistemas de transporte y distribución de los hidrocarburos (Totten, Westbrook, & Shah, 2003).

2.1.7. Oxigenantes

A la gasolina se le agregan compuestos oxigenantes, ya sean alcoholes, éteres u otras sustancias con el fin de incrementar su octanaje, lo cual promueve una combustión más completa de los hidrocarburos. Existen muchas sustancias que pueden aumentar el octanaje: plomo, éteres, compuestos aromáticos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) y alcoholes como el etanol (Environmental and Energy Study Institute, 2016).

El tipo de oxigenantes utilizados ha cambiado a través de los años. Después de que el plomo fue prohibido como oxigenante, al demostrarse sus efectos nocivos a los sistemas de postratamiento, a la salud y al medio ambiente, se buscaron nuevas opciones para incrementar el octanaje en las gasolinas; entre las cuales se tuvo a los compuestos aromáticos BTEX, éteres y alcoholes. Los compuestos (BTEX) fueron utilizados en algunos países como Estados Unidos por un tiempo, pero al demostrarse la toxicidad y los problemas a la salud relacionados a su uso, fueron descartados y se establecieron límites en la cantidad de benceno permitido en los combustibles (Environmental and Energy Study Institute, 2016).

Los éteres y los alcoholes siguen siendo utilizados en diferentes países. Cada país regula la cantidad y tipo de oxigenante permitido en su territorio; existiendo países que prohíben el uso de éteres y otros que limitan el uso de alcoholes. Por ejemplo, en Estados Unidos se utilizó por algún tiempo el metil ter-butil éter (MTBE) hasta que se prohibió debido a cuestionamientos relativos a la contaminación de acuíferos cercanos a estaciones de servicio (Environmental and Energy Study Institute, 2016).

Estos compuestos pueden afectar varias características fisicoquímicas de los combustibles, modificando su rendimiento, la durabilidad de los motores, las emisiones vehiculares y los perfiles evaporativos (García Martínez, 2000). Es por esto, que se debe tener cuidado con el tipo de compuesto oxigenante utilizado, ya que de no ser compatible con la tecnología vehicular existente se pueden corroer partes del motor y disminuir su vida útil (Berlanga, Biezma, & Fernández, 2011).

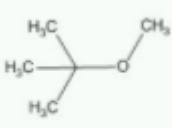
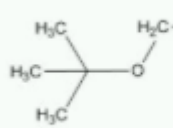
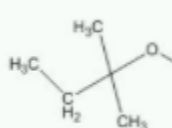
A continuación, se hablará más a detalle tanto de los éteres como de los alcoholes utilizados en la gasolina, detallándose más sus características.

Éteres

El Ter-amil metil éter (TAME) y el Metil ter-butil éter (MTBE) son sustancias que tienen ventajas significativas sobre los alcoholes que también son oxigenantes, ya que tienen números de octano mayores y presiones de vapor menores a los de los alcoholes, además de baja solubilidad en agua, lo que reduce la existencia de problemas de corrosión en los motores. Aunado a esto, tienen un proceso de producción sencillo con materias primas fácilmente disponibles. En la Ciudad de México, el MTBE se incorporó a las gasolinas en 1989, y la composición se modificó, mediante la adición de TAME, en 1996. (García Martínez, 2000).

Los éteres tienen la ventaja de que sus presiones de vapor son bajas y no tienen un comportamiento azeotrópico, por lo que el comportamiento de las gasolinas oxigenadas con éteres es predecible en cuanto a la volatilidad (Tabla 3) (AMF TCP, 2021).

Tabla 3. Propiedades de los éteres usados como oxigenantes

	MTBE	ETBE	TAME
Fórmula	C5H12O	C6H14O	C6H14O
Fórmula desarrollada	 Methyl <i>tert</i> -butyl ether (MTBE)	 Ethyl <i>tert</i> -butyl ether (ETBE)	 <i>Tert</i> -amyl methyl ether (TAME)
Relación % peso Carbono/Hidrogeno/oxígeno	68.1/13.7/18.2	70.7/13.8/15.7	70.7/13.8/15.7
Densidad a 15°C [kg/dm ³]	0.74	0.77	0.766
Punto de ebullición [°C]	55	73	86
Número RON*	115-123	110-104	98-103
Número MON*	98-105	95-104	98-103
Presión de vapor a 37.5°C [kPa]	55	28	17
Poder Calorífico menor [MJ/kg]	35.1	36.5	36.5
Calor de vaporización [kJ/kg]	337, 356, 462	314, 344	326, 354
Solubilidad en agua a 20°C [%vol.]	4.8	1.2, 2, 2.2	1.15, 1.4
Solubilidad en agua del combustible 20°C [%vol.]	1.5	0.5	0.6

Fuente: Elaboración propia con datos de (AMF TCP, 2021)

Notas:

RON: (Research Octane Number). Medición del número de octano en condiciones de ensayo moderadas (simulando condiciones de manejo en una ciudad). (Sistema de Información Energética, 2018).

MON: (Motor Octane Number) Medición del número de octano en condiciones de ensayo más agresivas que el número RON. (Sistema de Información Energética, 2018)

Los éteres tienen números de octanaje mayores a los alcoholes, pero en algunos lugares, ya sea por razones históricas o relacionadas con contaminación de acuíferos, se han utilizado preferentemente alcoholes para incrementar el octanaje de los motores.

Alcoholes

El uso de alcoholes como oxigenantes requiere de modificaciones en la composición de la gasolina, con el fin de mitigar los efectos corrosivos, evaporativos y las posibles emisiones generadas por el cambio en la presión de vapor del combustible. El etanol, como otros biocarburantes en base alcohol, pueden contener una considerable cantidad de agua, lo cual puede ocasionar corrosión de los componentes metálicos en contacto con ellos (Berlanga, Biezma, & Fernández, 2011).

El etanol modifica las propiedades del combustible al que es añadido. Al mezclar gasolina y etanol, las propiedades fisicoquímicas de la gasolina cambian, volviéndose esta mezcla más miscible en agua que la gasolina sin oxigenantes o con éteres usados como oxigenantes, lo que ocasiona que parte del etanol se oxide por acción del oxígeno a ácido acético, aumentando la acidez y el riesgo corrosivo del combustible (Berlanga, Biezma, & Fernández, 2011).

En la Tabla 4 se muestra el octanaje RON y MON de diferentes éteres y alcoholes, así como su cambio en la presión de vapor al ser mezclados con gasolina. Puede observarse que el valor más afectado al utilizar estos oxigenantes es la presión de vapor, siendo mayor en los alcoholes (Hamid & Ashraf Ali, 2005).

Tabla 4. Comparación entre el octanaje de los éteres y alcoholes más utilizados

Oxigenante	Presión de la mezcla con gasolina [psi]	Octanaje promedio (R+M)/2	Límite Vol.% (Peso) %	RON mezcla	MON Mezcla
Éteres					
Metil ter-butyl éter (MTBE)	8	110	15 (2.7)	116	98
Etil-tert butil éter (ETBE)	4	111	13 (2.0)	118	105
Ter-amil metil éter (TAME)	2	105	13 (2.0)	111	94
Alcoholes					
Metanol	60	120	Varía según el co-solvente	123	91
Etanol	18	115	10 (3.7)	123	96
Alcohol terbutílico	12	100	16 (3.7)	106	89

Fuente: (Hamid & Ashraf Ali, 2005)

Además de esto, agregar etanol a otros combustibles disminuye el contenido energético total de la mezcla, ya que el etanol tiene un menor contenido energético que el diésel y la gasolina. Una mezcla de gasolina con un 10% de etanol contiene un 96.7% de la energía contenida en la gasolina regular (US department of Energy, 2014). Esta disminución de contenido energético puede significar un menor rendimiento de combustible al que se tendría al utilizar un combustible con otro tipo de oxigenante.

A pesar de esto, el etanol ha sido ampliamente utilizado como oxigenante y combustible a través de los años y debido a diferentes circunstancias históricas. Su uso se remonta a principios del siglo XX, cuando Henry Ford diseñó su modelo T para

funcionar con una mezcla de gasolina y alcohol. Por muchos años el etanol fue usado como combustible durante épocas con aumentos en los precios de los combustibles y más recientemente a raíz de preocupaciones ambientales y al impulso de la industria bioenergética en diferentes países (Álvarez Maciel, 2009).

En la Tabla 5 se muestran los pros y contras de cambiar el uso de MTBE por etanol como oxigenante de las gasolinas.

Tabla 5. Pros y contras de cambiar el uso de MTBE como oxigenante por etanol.

Efectos	Cambio de MTBE por etanol como oxigenante
Calidad del Aire	<p>El porcentaje de emisiones contaminantes provenientes del escape depende de la velocidad, temperatura, tipo de motor, condiciones de presión y altura, entre otras.</p> <p>Pros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disminución de emisiones de CO e hidrocarburos provenientes del escape. • Disminución del 1 al 5% en las emisiones de gases de efecto invernadero (emitidos por el escape). <p>Contras:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de emisiones de NOx (dependiendo del motor) y COV² (acetaldehído, formaldehído, etanol, etc.) provenientes del escape. • Aumento en las pérdidas evaporativas de combustible, aumentando la concentración de COV y a su vez la formación de ozono a nivel de piso (tropósfera) (Niven, 2004).
Contaminación del suelo y del agua	<p>Pros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Al cambiar de MTBE a etanol se evitaría la contaminación del agua por MTBE. <p>Contras</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento del riesgo de contaminación del suelo y del agua debido al incremento del riesgo de la corrosión de los tanques de almacenamiento y tanques de combustible (debido a la posible presencia de ácidos orgánicos e inorgánicos en el etanol). • La presencia de etanol en la gasolina incrementa la solubilidad de los componentes de la gasolina en el agua (benceno, tolueno, xilenos, etc.), aumentando los niveles de contaminación en caso de fugas. • Disminución del potencial de biodegradación de los contaminantes del petróleo en caso de fugas³
Sustentabilidad	<p>Pros</p> <ul style="list-style-type: none"> • La emisión de gases de efecto invernadero pueden ser menores a las emitidas con el MTBE dependiendo de la fuente del etanol. <p>Contras</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dependiendo de la fuente del etanol, la emisión total de gases de efecto invernadero puede ser mayor a las reducciones de emisiones alcanzadas en el motor. • Se requiere la expansión de los terrenos para el crecimiento de los cultivos que generen el etanol (Competencia con la producción de alimentos y afectaciones en

² Los NOx y los COV son compuestos precursores del ozono troposférico. Diferentes estudios presentados en (Niven, 2004) indican que la relación de NOx emitidos a la atmosfera depende de la relación entre la cantidad de combustible y aire alimentados al motor y del tipo de motor (carburado, de inyección directa multipunto, etc.)

³ Los incrementos en los tiempos de biodegradación de los contaminantes derivados de una fuga de gasolina se deben a que el etanol genera un ambiente en donde crecen preferentemente poblaciones de microorganismos degradadores de etanol, lo cual es adverso para las poblaciones de microorganismos que degradan compuestos como los aromáticos.

Efectos	Cambio de MTBE por etanol como oxigenante
	la biodiversidad). <ul style="list-style-type: none"> • Competencia entre cultivos alimentarios y del sector energético.
Socioeconómicos	Pros <ul style="list-style-type: none"> • Permite aumentar la inversión en el sector agrícola y el incremento de la tecnificación (mejora de la tecnología utilizada en el campo). Contras <ul style="list-style-type: none"> • La producción de etanol requiere de subsidios para volverlo económicamente factible (costos de producción mayores a los de la gasolina y el MTBE). • En el caso de México, el uso de maíz para la generación de etanol genera especulaciones en el precio, ocasionando cambios en la capacidad de compra de los habitantes ya que impacta directamente al precio de la tortilla, principal fuente de alimentación de los mexicanos (peligro de la soberanía alimentaria del país) (Perez Fernandez & Venegas Venegas, 2017).
Contenido de oxígeno y contenido energético	Pros <ul style="list-style-type: none"> • En comparación al MTBE, el etanol aumenta considerablemente el oxígeno total presente en las gasolinas a menores concentraciones, ya que el contenido de oxígeno en el peso del etanol es de 34.8%, mientras que el del MTBE es de 18.2% Contras <ul style="list-style-type: none"> • El contenido energético del etanol es 33% menor al de la gasolina pura, el impacto del etanol en la mezcla con gasolina depende del desnaturizante adicionado al etanol (el desnaturizante tiene un contenido energético similar al de la gasolina pura). En general, la economía de combustible disminuye un 3% al usar gasolina con un 10% de etanol (EIA, 2020).
Características de los vehículos que lo usan	Pros <ul style="list-style-type: none"> • No se necesita realizar cambios en los motores de los vehículos con inyección electrónica para contenidos de hasta 10% en volumen de etanol Contras <ul style="list-style-type: none"> • Vehículos anteriores a 1990 necesitarán cambios para funcionar adecuadamente. • En mezclas mayores al 10% contenido volumen, se requiere ajustar la relación estequiométrica aire/ combustible. • Se requiere asegurar el uso de etanol anhidro (en vez de hidratado), de lo contrario los problemas de corrosión de las piezas de los vehículos serán mayores.
Estabilidad	Contras <ul style="list-style-type: none"> • Al utilizarse etanol como oxigenante, se requiere que el mezclado con la gasolina sea realizado por los distribuidores y no en la refinería, ya que la mezcla etanol/gasolina es menos estable que la mezcla MTBE/gasolina (se oxida más fácilmente). (SENER, GTZ, 2010)

Fuente: Elaboración propia con información de: (Niven, 2004), (Skolniak, Bukrejewski, & Frydrych, 2014), (Song & et al., 2005), (Castillo Hernández, Mendoza Domínguez, & Caballero Mata, 2012), (SENER, GTZ, 2010)

La adición de compuestos oxigenantes a las gasolinas modifica las características fisicoquímicas de los mismos, tema que se describirá a continuación.

2.1.8. Características fisicoquímicas de los combustibles

La calidad de los combustibles está determinada por sus constituyentes, los cuales al ser mezclados adquieren características fisicoquímicas que pueden ser medibles y

comparables y que se utilizan para establecer si se cumplen o no los requerimientos mínimos para su distribución y venta.

En gasolina, el índice de octano, el contenido de aromáticos y las temperaturas de ebullición; así como el contenido de metales, es regulado en la normatividad mundial; mientras tanto, en el caso del diésel se regula el índice o número de cetano, el rango de ebullición, la viscosidad, entre otros. En la Tabla 6 se describen algunas de las propiedades de los combustibles.

Tabla 6. Características fisicoquímicas de los combustibles más utilizadas

Propiedad	Características
Aditivos	Sustancias añadidas a los combustibles para mejorar la combustión (Totten, Westbrook, & Shah, 2003)
Densidad	Los combustibles tienen densidades (relación entre la masa y el volumen) menores a los del agua. Los compuestos aromáticos son los tipos de hidrocarburos más densos, mientras que las parafinas son más livianas. (Totten, Westbrook, & Shah, 2003)
Índice de Cetano (Cetanaje).	El C16 tiene un número de cetano igual a 100 (es una parafina de ignición fácil) y el C15 tiene un número cetano igual a 0 (por ser un aromático de combustión lenta). (Empresa Nacional del Petróleo de Chile, 2020)
Índice de Octano	Índice mediante el cual se mide la capacidad antidetonante de la gasolina, es decir la capacidad del combustible de ser comprimido en el motor sin sufrir detonaciones o combustiones prematuras. Un alto índice de octano proporciona mayor eficiencia de la combustión, mayor potencia, menores depósitos de carbón y mejor funcionamiento del motor, así como menor contaminación. (CONUEE, 2020). Para conocer el valor de octanaje se llevan a cabo pruebas en un motor monocilíndrico. Hay dos tipos de medidas diferentes en número de octano RON y el MON. El valor de índice 100 corresponde al iso-octano que es muy antidetonante, mientras que el índice 0 corresponde al n-heptano.
Índice de Octano (MON)	Motor Octane Number (número de octano del Motor). El MON o M se obtiene mediante una prueba en una máquina operada a una velocidad de 900 rpm y con una temperatura de entrada de aire de 149°C (CONUEE, 2020)
Índice de Octano (RON)	Research Octane Number (número de octano de investigación). El número RON se determina al hacer una prueba a 600 revoluciones por minuto y con aire con una temperatura de 51.7°C a la entrada. (CONUEE, 2020).
Intervalo de destilación	Intervalo de temperatura en el que una sustancia es destilada. Los compuestos aromáticos incrementan el punto de ebullición.
Octanaje comercial (NOC)	Se obtiene al medir el promedio de los números de octano de investigación y el de octano del motor (MON) $NOC = \frac{RON+MON}{2}$ (CONUEE, 2020)
Presión de vapor	Presión ejercida por los vapores o componentes livianos del crudo o de un producto del petróleo. En el caso de un motor de combustión interna, un exceso de presión de vapor provocará un bloqueo que impedirá el flujo de gasolina (Empresa Nacional del Petróleo de Chile, 2020).
Punto de escurrimiento	Temperatura a la cual deja de fluir un líquido cuando es enfriado, por precipitación de cristales de parafina sólida. La temperatura de escurrimiento es muy importante, ya que en caso de descarga de crudos parafínicos usando terminales marítimas con líneas submarinas de cierta longitud, la temperatura del crudo puede descender bajo el punto de escurrimiento, haciendo que se deposite cera o parafina sólida en las líneas, impidiendo su flujo (Empresa Nacional del Petróleo de Chile, 2020).
Punto de inflamación (Flash Point)	Es la temperatura mínima a la cual se encienden o detonan momentáneamente los vapores de un producto cuando se le aplica una llama en condiciones controladas. Representa la temperatura máxima a la cual se puede almacenar o transportar un producto en condiciones seguras (Empresa Nacional del Petróleo de Chile, 2020).

Propiedad	Características
Residuo carbonoso	Es el peso del residuo que queda después de la combustión de una muestra de combustible. Representa la facilidad que tiene un combustible pesado para producir partículas durante la combustión (Empresa Nacional del Petróleo de Chile, 2020).
Resistencia a la detonación.	Propiedad utilizada para gasolina y que mide la capacidad del combustible de no presentar autoignición o detonaciones prematuras (detonaciones antes de que le cilindro comprima toda la mezcla de gasolina y aire) que originen pérdidas de potencia. Los hidrocarburos de estructura molecular anular (aromáticos) y cadenas ramificadas (iso-parafinas) son más resistentes a la detonación que las moléculas de cadena lineal (n-parafinas). Las adiciones de componentes oxigenados como alcoholes o éteres aumentan el índice de octano (Totten, Westbrook, & Shah, 2003)
Temperaturas de ebullición T₁₀, T₅₀ Y T₉₀	La temperatura de ebullición es la temperatura a la cual una sustancia pasa del estado líquido al estado gaseoso. A diferencia de las sustancias puras, las mezclas, como los combustibles, cambian de fase dentro de un rango de temperatura que depende de sus constituyentes. La T ₁₀ representa la temperatura a la que un 10% del combustible ha cambiado de estado, mientras que T ₅₀ representa un cambio del 50% y T ₉₀ un cambio del 90% del combustible. Entre más componentes con altas temperaturas de ebullición se tengan, mayores serán las temperaturas de ebullición registradas.
Viscosidad	Es el grado de resistencia que tiene un líquido a fluir. Mientras mayor es la viscosidad, mayor es la resistencia de este a fluir. La viscosidad es afectada por la temperatura, disminuyéndola cuando ésta aumenta (Empresa Nacional del Petróleo de Chile, 2020).
Volatilidad	Es la tendencia de un líquido para evaporarse. En motores de gasolina se deben tener componentes suficientemente volátiles para garantizar un arranque en frío seguro, pero no deben ser demasiado volátiles como para provocar problemas a altas temperaturas en los arranques en caliente ni problemas de marcha. Los combustibles muy volátiles generan emisiones a la atmósfera. (Totten, Westbrook, & Shah, 2003).

Fuentes: Elaboración propia a partir de (Empresa Nacional del Petróleo de Chile, 2020), (Totten, Westbrook, & Shah, 2003), (CONUEE, 2020).

Además de la calidad, en las políticas de combustibles también se analiza el consumo o rendimiento de combustible, el cual se describe a continuación.

2.2. Rendimiento de Combustibles

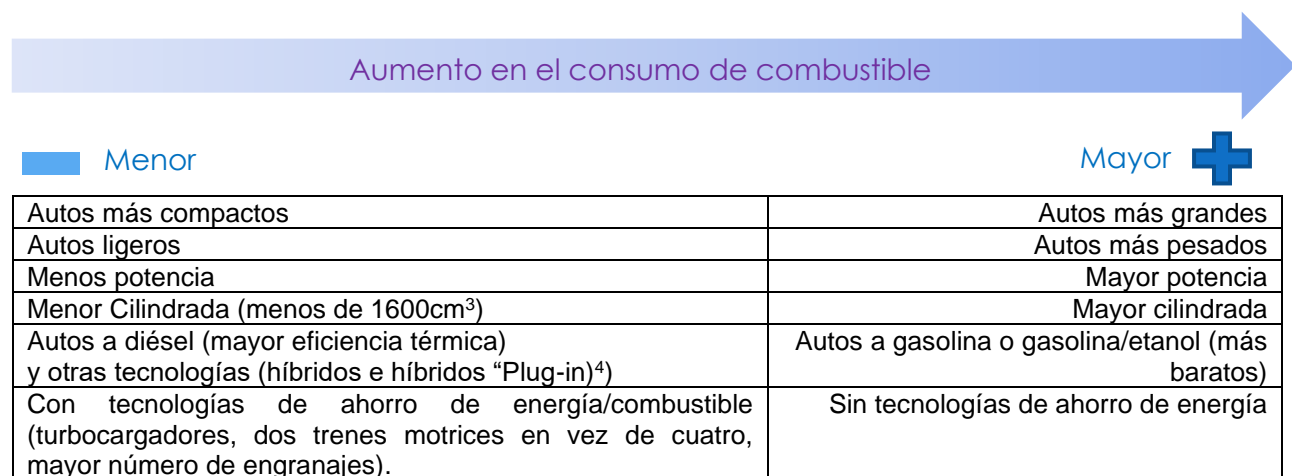
El consumo de combustible en un vehículo depende no solamente de si el motor es diésel u Otto o del poder calorífico y la calidad de su combustible; también se ve modificado por otros factores entre los que se encuentran el cilindraje, el tamaño y la potencia del vehículo; así como, si cuenta con tecnologías de ahorro de combustible como turbocargadores, su nivel de mantenimiento y del comportamiento del conductor (CONUEE, 2019) (IEA, 2017).

Un mismo tipo de combustible será mejor o peor utilizado por los vehículos dependiendo de sus factores tecnológicos, así como por la aplicación en menor o mayor medida de buenas prácticas y mantenimiento.

2.2.1. Factores tecnológicos que modifican el rendimiento de los combustibles

El consumo de combustible, a nivel tecnológico, es menor en vehículos compactos a diésel que tienen una menor cilindrada y potencia. Otras tecnologías de motores, como los autos híbridos e híbridos “plug-in”, tienen también altos rendimientos de combustible y, por lo tanto, menores emisiones a la atmósfera que sus contrapartes a gasolina o en comparación a vehículos más grandes y pesados (IEA, 2017). (Figura 1).

Figura 1. Factores que modifican el rendimiento del combustible en un vehículo



Fuente: Elaboración propia a partir de (IEA, 2017)

Aunque se tenga un vehículo tecnológicamente eficiente utilizando un combustible de buena calidad, el rendimiento de combustible puede verse afectado también por las conductas de los conductores y de si se siguen buenas prácticas de manejo y mantenimiento.

2.2.2. Buenas prácticas de manejo y mantenimiento

Como se mencionó con anterioridad, la eficiencia o los rendimientos de combustible pueden verse afectados no solo por la tecnología del vehículo, el tipo y calidad de

⁴ Es importante recalcar que en el caso de vehículos híbridos “plug-in” o que se cargan con una fuente de electricidad externa, se puede tener un balance de emisiones (CO₂) mayor a los que utilizan combustibles fósiles, dependiendo de la fuente utilizada para la generación de la energía eléctrica que consumen. Estos vehículos pueden tener costos más altos que otros vehículos debido al precio de las baterías y pueden ser más pesados por lo mismo.

combustible utilizado, sino también por los hábitos de manejo y la constancia en el mantenimiento dado por el conductor y/o propietario (CONUEE, 2019).

Los vehículos con alta tecnología pueden consumir una mayor cantidad de combustible si el conductor practica arranques en frío, acelera y frena continua y sorpresivamente, tiene sus neumáticos a una presión diferente a la recomendada, fuerza los cambios, maneja con las ventanas abiertas en carretera (generando mayor resistencia al aire), carga peso innecesario en la cajuela o no le da un buen mantenimiento a los filtros de aire (CONUEE, 2019), (CONUEE, 2016). En la Tabla 7 se resumen los hábitos que modifican el rendimiento de combustible.

Tabla 7. Hábitos que modifican el rendimiento de combustible

	Hábitos que modifican el rendimiento del combustible	Efecto
Hábitos de conducción	Calentar el Motor del automóvil por más de un minuto (funcionamiento al vacío)	Un automóvil puede consumir 100 ml de combustible por cada 10 minutos funcionando en vacío.
	Acelerar rápidamente desde un alto	Se consume hasta 50% más de combustible que al acelerar gradualmente.
	Viajar a altas velocidades	Un automóvil circulando a 110 km/h consume alrededor de 20% más de combustible que al viajar a 90 km/h.
	Tránsito denso	Aumenta hasta 15% el consumo de combustible.
	Usar inmoderadamente el sistema de aire acondicionado	Se consume un 10% más de combustible.
	Cargar peso extra innecesario	Por cada 50 kg adicionales se incrementa un 2% el consumo de combustible.
	Abrir ventanas al manejar en carretera	Las ventanas abiertas aumentan la resistencia del vehículo al aire, aumentando el consumo de gasolina.
Mantenimiento	Forzar cambios en vehículos de transmisión manual.	Las velocidades bajas están diseñadas para lograr un alto empuje y una rápida aceleración; la quinta y sexta son posiciones que ahorran gasolina. Cuando el sistema motriz lo permita, el usuario debe cambiar a una velocidad superior para ahorrar energía.
	Filtro de Aire sucio	Puede aumentar el consumo de gasolina hasta en un 10%
	Mantenimiento deficiente	Puede aumentar el consumo de combustible hasta en un 30%
Otros	Presión incorrecta en las llantas	Aumenta el consumo de combustible en un 5%; además de reducir la vida útil y comprometer la seguridad de los ocupantes.
	Mayor altitud	A mayor altura, menor cantidad de oxígeno en el aire, lo cual afecta la combustión. Teóricamente, por cada 100 metros sobre el nivel del mar se disminuye un 1% el rendimiento de los motores.

Fuente: Elaboración propia a partir de (CONUEE, 2019)

En México, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) ha emitido guías para el uso eficiente de la energía en el transporte, las cuales cuentan con consejos para que los automovilistas hagan un mejor uso de sus vehículos y ahorren combustible (CONUEE, 2019). Aunado a esto, han puesto a disposición de la ciudadanía una calculadora y tablas de rendimiento de combustible por marca y tipo de vehículo.⁵

La calidad y el rendimiento de combustible son importantes no solo por sus repercusiones en el ahorro y uso eficiente de la energía, sino también porque tienen un efecto directo en la calidad del aire, ya que los vehículos emiten sustancias contaminantes al ambiente en mayor o menor medida; entre más combustible se utilice, mayor será el volumen de contaminantes emitido.

El rendimiento de los combustibles ha tomado importancia con el estudio del cambio climático, ya que una de las formas de reducir la emisión de CO₂ en el sector transporte, se logra a través de la mejora en el rendimiento de los combustibles; esto debido a que el CO₂ no puede ser reducido a un compuesto menos dañino con un postratamiento de gases de escape, como sucede con los NO_x que son convertidos en gas nitrógeno elemental (IEA, 2017).

2.3. Combustibles y calidad del aire

Existen diferentes procesos de emisión de contaminantes vehiculares, teniéndose gases de escape provenientes de la combustión, fugas tanto de combustibles como de gases de escape, procesos evaporativos de combustible y procesos de desgaste en llantas y frenos. En todos los procesos, menos en los de desgaste, la calidad del combustible tiene un efecto directo en la composición de las emisiones (SEMARNAT, INE y Western Governors' Association., 2009).

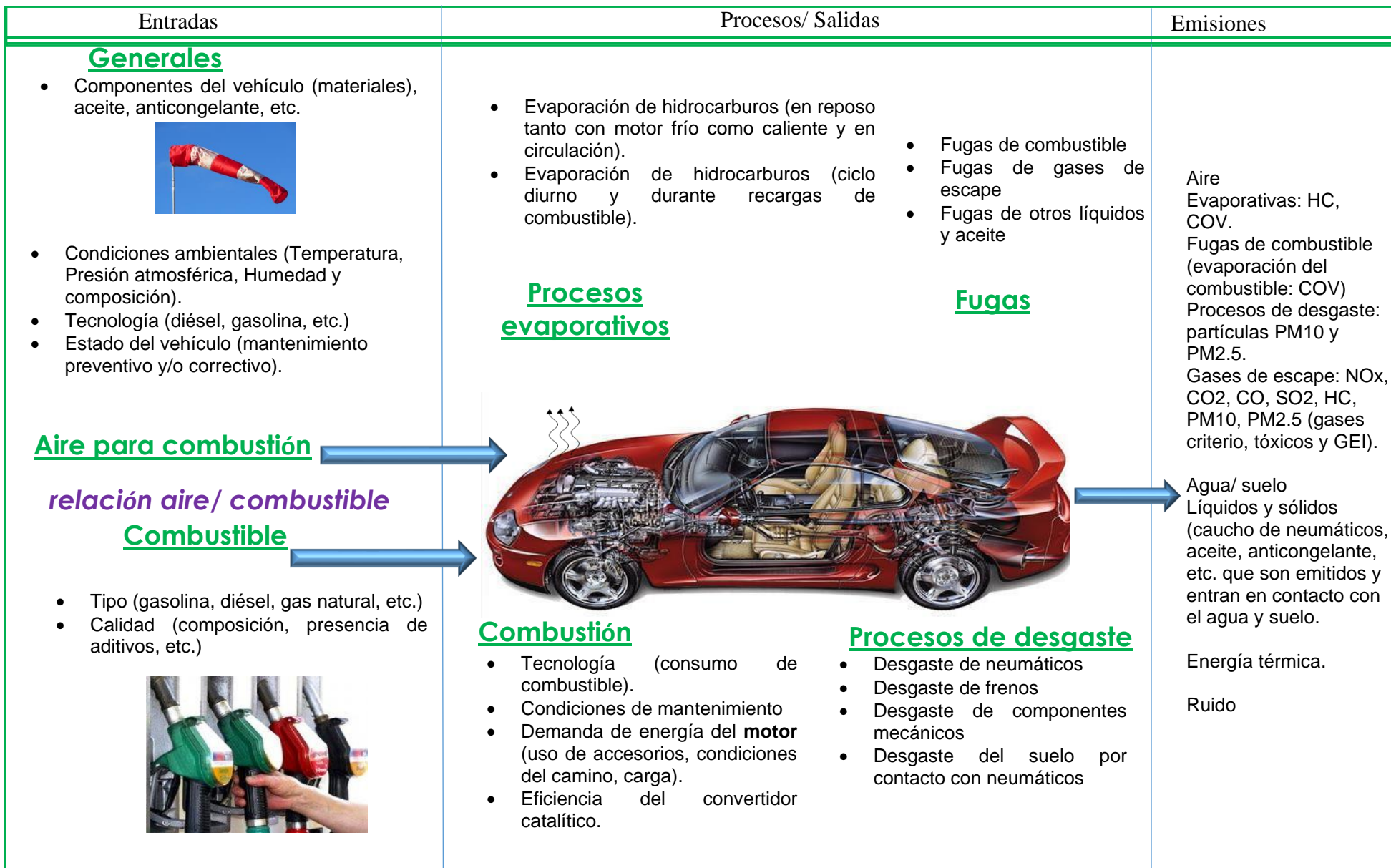
Los procesos de emisión de contaminantes inician al alimentar el combustible al vehículo; pudiéndose tener pérdidas debido a procesos evaporativos o a fugas. Los hidrocarburos pueden evaporarse tanto en reposo con el motor frío como en circulación, dependiendo de la presión de vapor del combustible. En cuanto a las

⁵ Calculadora de emisiones puede ser consultada en: <http://www.Conuee.gob.mx/transcal/lacalculadora.html>
Las tablas de rendimiento de combustible pueden ser consultadas en <http://www.ecovehiculos.gob.mx/>

fugas, el sistema de alimentación de combustible puede tener pequeños hoyuelos por los cuales el combustible se escape (SEMARNAT, INE y Western Governors' Association., 2009)

Por otro lado, la emisión de gases de escape inicia cuando el motor se llena con combustible y aire; existiendo una relación entre el aire y el combustible suministrado que depende del tipo, del mantenimiento y de la demanda de energía del motor. La demanda energética del motor se encuentra relacionada a las condiciones de manejo y a la cantidad de accesorios que están siendo utilizados al mismo tiempo. Una vez que se lleva a cabo la combustión, los gases son transportados hacia los sistemas de tratamiento con el fin de disminuir su peligrosidad; pudiéndose tener fugas antes de que los gases sean tratados (Figura 2). La calidad final de los gases tratados de combustión dependerá de la composición original de estos (determinada por el combustible y el motor) y del tipo de tratamiento que se les proporcione (SEMARNAT, INE y Western Governors' Association., 2009).

Figura 2. Diagrama de Emisiones Vehiculares



Fuente: Elaboración propia en base a (SEMARNAT, INE y Western Governors' Association., 2009)

Los gases derivados de la combustión que se emiten a la atmósfera tienen proporciones variables de contaminantes que dependen de una serie de factores; incluyendo el tipo y la composición del combustible que se quema, el tipo y tamaño del motor, el peso del vehículo, la velocidad de conducción, las condiciones atmosféricas, el mantenimiento que se le dé a la unidad y el tipo de equipo de tratamiento de gases de escape que se tenga, si es que se tiene (CAREX Canada, 2020).

Aunque las proporciones de cada contaminante varíen dependiendo de todos los aspectos mencionados anteriormente, los contaminantes son los mismos no importando si se tiene diésel o gasolina, a pesar de provenir de diferentes fracciones de la destilación del petróleo (CAREX Canada, 2020). Todos los contaminantes tienen efectos indeseados ya sea a nivel ambiental como el CO₂ y/o tienen efectos negativos en la salud como los metales pesados, que son cancerígenos.

Las sustancias emitidas a la atmósfera pueden ser clasificadas y analizadas de diferentes maneras, dependiendo del manejo de la información requerida; teniéndose, por ejemplo, clasificaciones por su origen, por su composición, por su estado físico o con propósitos regulatorios y de gestión (Sosa; Gustavo et al, 2018).

La importancia de comprender los contaminantes emitidos a la atmósfera radica en que, a partir de ellos, se busca modificar tanto las tecnologías como la calidad de los combustibles vehiculares; esto con el fin de reducir el volumen de emisiones ya sea por sus efectos ambientales o a la salud. Por ejemplo, en algunos países se regula la emisión de CO₂ para cumplir con los compromisos ambientales relativos al cambio climático (Comisión Europea, 2020).

En la Tabla 8 se presentan los diferentes contaminantes a la atmósfera, mostrándose sus efectos en la salud y el medio ambiente. Los contaminantes son descritos y posteriormente se muestra cómo son agrupados con propósitos de gestión y control.

Tabla 8. Resumen de contaminantes atmosféricos, efectos en la salud y medio ambiente.

Contaminante	Descripción	Efecto en la salud/ ambiente
Hidrocarburos (HC)	Resultado de la combustión incompleta de hidrocarburos en el motor.	Los HC contemplan varios tipos de compuestos (familias de compuestos), cada compuesto tiene sus riesgos y toxicidad asociada.
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Hidrocarburos precursores de ozono.	Alta toxicidad para el ser humano, especialmente el benceno, formaldehído y acetaldehído, ya que son compuestos carcinógenos. También los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y los Hidrofluorocarbonos (HFC) son COVs
Monóxido de carbono (CO)	Producto de la combustión incompleta (oxidación incompleta).	Alteraciones en sistema nervioso y circular debido a que el CO se adhiere fácilmente a la hemoglobina, reduciendo el flujo de oxígeno en la sangre.
Bióxido de carbono (CO₂)	Resultado de la combustión completa de hidrocarburos.	No tiene efectos graves en la salud. Es un gas importante a nivel ambiental, ya que atrapa el calor de la tierra, contribuyendo al calentamiento global (gas de efecto invernadero), a grandes cantidades provoca el cambio climático.
Metano	Hidrocarburo generado durante los procesos de combustión incompleta en los vehículos.	Es un gas de efecto invernadero, el cual tiene un potencial de calentamiento 21 veces mayor al del CO ₂ , por lo que a su emisión desmedida contribuye al cambio climático.
Oxidos de nitrógeno (NO_x)	Se forman debido a altas temperaturas y presiones, especial en motores diésel. Precursores de ozono. En presencia de humedad forma lluvia acida (ácido nítrico: HNO ₃).	Incremento de enfermedades respiratorias, disminución de defensas inmunológicas contra infecciones respiratorias. El N ₂ O es también un gas de efecto invernadero, el cual tiene un potencial de calentamiento 310 veces mayor al del CO ₂ , por lo que es uno de los gases que contribuyen al cambio climático. Además de esto, acidifica las aguas superficiales (disminuyendo la biodiversidad), daña los bosques por la acidificación del suelo y acelera la erosión de monumentos, construcciones y estructuras metálicas.
Partículas PM₁₀	Producto de la combustión, incluyen una gran variedad de compuestos (COV, metales pesados, etc.). Tienen un tamaño de menos de 10 micrómetros	Agravamiento de síntomas de enfermedades respiratorias, reducción de la función pulmonar, agravamiento del asma, aumento de condiciones cardiovasculares.
Partículas finas y ultrafinas (PM_{2.5})	Producto de la combustión, incluyen una gran variedad de compuestos (COV, metales pesados, etc.). Partículas menores a 2.5 micrómetros	Partículas que penetran hasta el sistema circulatorio, ocasionan problemáticas que van desde afectaciones al sistema respiratorio y cardiovascular, hasta cáncer y enfermedades degenerativas como Alzheimer.
Bióxido de azufre (SO₂)	Gas derivado de la combustión de combustibles azufrados	Irritación de ojos, nariz y garganta, agrava síntomas de asma y bronquitis. Exposiciones largas producen una reducción en el funcionamiento pulmonar y enfermedades respiratorias. Ambientalmente, genera lluvia ácida, lo cual afecta plantas y animales, modificando las características de las fuentes de agua como arroyos y dañando también construcciones humanas.
Amoniaco NH₃	Contaminante derivado de la combustión, el cual reacciona con SO _x y NO _x para formar partículas secundarias que disminuyen la visibilidad.	Irritación en la piel, inflamación y edema pulmonares. Disminución de la visibilidad.

Contaminante	Descripción	Efecto en la salud/ ambiente
Plomo (Pb)	Metal. Sustancia inorgánica presente en el petróleo y sus derivados, que al ser quemado es liberado a la atmósfera.	Genera gran variedad de efectos nocivos incluso a dosis bajas. Gran potencial de bioacumulación. Ocasiona alteraciones digestivas, alteraciones hematológicas, neurológicas, renales, cardiovasculares, retarda el crecimiento infantil, genera efectos reproductivos (toxicidad testicular y abortos) y la presión sanguínea. Cancerígeno
Arsénico (As)	Sustancia inorgánica presente en el petróleo y sus derivados, que al ser quemado es liberado a la atmósfera.	Produce efectos gastrointestinales, hematológicos, del sistema nervioso central y periférico, irritación cutánea, problemas respiratorios, problemas vasculares, lesiones hepáticas y renales, afectaciones fetales, abortos y malformaciones en humanos y animales. Cáncer de pulmón, piel, vejiga e hígado.
Cadmio (Cd)	Sustancia inorgánica presente en el petróleo y sus derivados, que al ser quemado es liberado a la atmósfera	Produce irritación bronquial y pulmonar con disminución a largo plazo de la función pulmonar.
Clasificación por propósitos de gestión y control		
Gases de Efecto Invernadero	Gases como el vapor de agua, CO ₂ , metano y clorofluorocarbonos.	Estos gases absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro electromagnético. A altas concentraciones contribuyen al cambio climático.
Contaminantes tóxicos	Sustancias primordialmente de origen antropogénico, como el benceno, tolueno, xileno, compuestos orgánicos volátiles (COV), dioxinas, HAP, metales pesados.	Sustancias que tienen un fuerte impacto en el medio ambiente y en la salud de la población debido a su carácter genotóxico y mutagénico.
Contaminantes criterio	A nivel internacional se reconocen siete contaminantes criterio del aire: O ₃ , CO, partículas suspendidas totales y fracción respirable, SO ₂ , NO ₂ y Pb. En México son regulados en las Normas oficiales mexicanas (O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, SO ₂ , NO ₂ y Pb).	Gases que afectan el ambiente (causando cambio climático o afectaciones al agua y suelo) y a la salud humana.
Contaminante Prioritario	Contaminante no normado, que se considera de interés nacional por su toxicidad o acumulación en el medio ambiente. Algunos de ellos se regulan por medio de convenios internacionales.	Acumulación en el medio ambiente y toxicidad
Contaminantes climáticos de vida corta (CCVC)	Son sustancias con un tiempo de vida en la atmósfera relativamente corto (va de un par de días a unas pocas décadas) y que tienen un efecto de calentamiento a corto plazo sobre el clima. Los principales CCVC son el carbono negro (CN), el metano (CH ₄), el ozono troposférico (O ₃) y muchos hidrofluorocarbonos (HFC).	Afectación del clima, cambio climático
Contaminantes orgánicos persistentes (COP)	Grupo de compuestos organohalogenados, generalmente cloro sustituidos que una vez liberados al ambiente, su descomposición ocurre en tiempos relativamente largos.	Estos compuestos tienden a acumularse en diferentes compartimentos del ambiente, incluidos los organismos como el ser humano y son causantes del cambio climático.

Fuente: Elaboración propia a partir de (SEMARNAT, INE y Western Governors' Association., 2009), (Sosa; Gustavo et al, 2018), (Gobierno de la República Mexicana, 2017). (Ferris Tortajada, García Castell, López Andreu, & et al, 2001) (EPA, 2002)

Con el fin de mejorar el rendimiento de combustibles, cumplir con compromisos de eficiencia energética y de disminución de contaminantes, se deben tener políticas transversales que incluyan a las diferentes áreas involucradas directa e indirectamente en los temas de eficiencia energética en el transporte, calidad de combustibles y calidad del aire.

2.4. Política de combustibles

Una política de combustibles efectiva debe considerar los diferentes aspectos relacionados a éstos, no solo en materia regulatoria o normativa sino de forma integral; incluyendo avances en las tecnologías vehiculares, modificaciones en las leyes de transporte, mejoras en la calidad y rendimiento de los combustibles, implementaciones de límites en emisiones a la atmósfera, aspectos sociales y cumplimiento de las metas ambientales a nivel nacional e internacional, entre otros (ICCT, 2015).

Un primer punto para analizar, dentro de este contexto, se tiene en la relación intrínseca a nivel normativo y tecnológico entre las mejoras en los vehículos comercializados y la calidad de combustibles disponibles en una localidad/región/país.

Por un lado, las tecnologías vehiculares determinan la temperatura a la que el combustible será quemado, la relación aire/combustible, el rendimiento del combustible según la operación del vehículo y las emisiones generadas, por lo que un mismo vehículo generará diferentes emisiones con diferentes ciclos de conducción y combustibles.

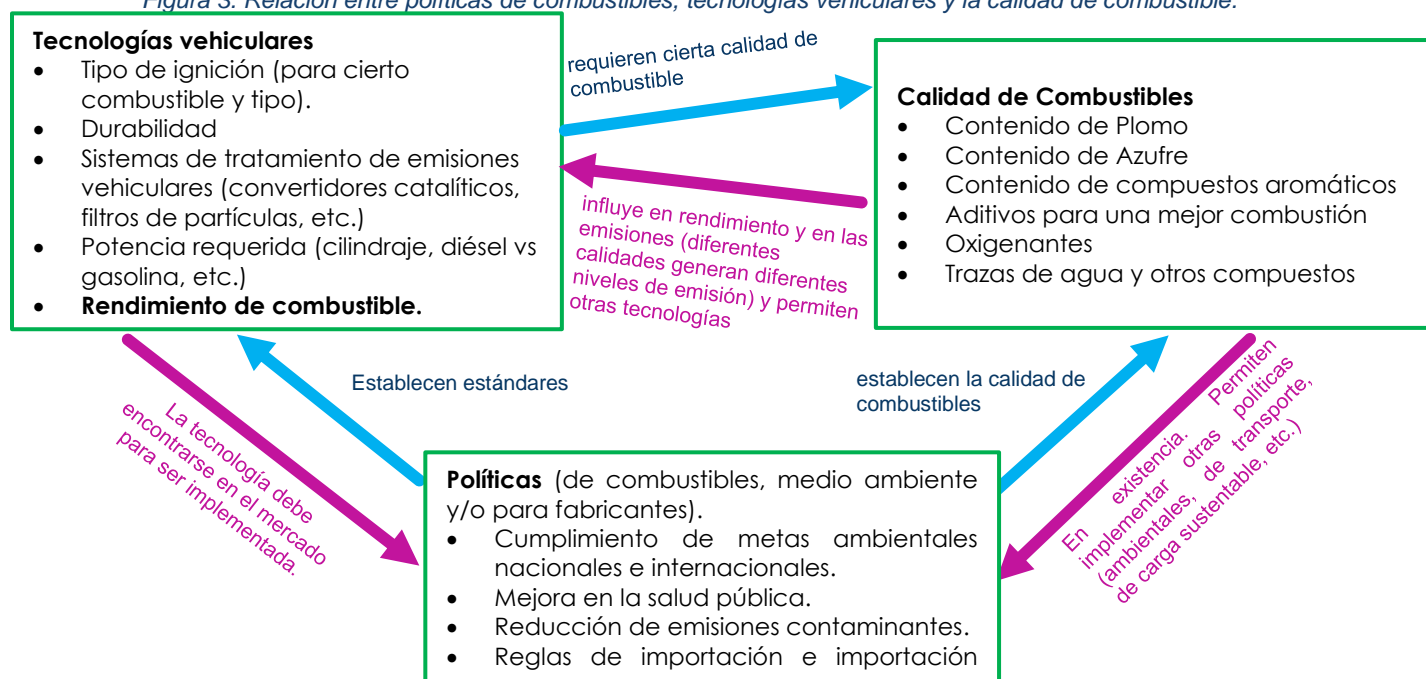
Por otro lado, la calidad del combustible afectará las emisiones producidas y la potencia generada. Por ejemplo, un combustible con una mayor concentración de elementos metálicos generará emisiones con una mayor proporción de elementos metálicos (Vouk & Piver, 2020). Una mejor calidad de combustibles permite comercializar vehículos con tecnologías más modernas, ahorradoras de energía y menos contaminantes (ICCT, 2015).

Tanto la tecnología comercializada como la calidad de los combustibles se encuentran reglamentadas en la normatividad de cada país o región; encontrándose supeditadas a las tecnologías vehiculares y a los combustibles disponibles. No se

pueden implementar tecnologías más ahorradoras si no se cuenta con el combustible requerido por los motores, ya que no funcionarán adecuadamente o se necesitará mayor mantenimiento (ICCT, 2015).

Las políticas pueden hacerse más estrictas para buscar el cumplimiento de acuerdos internacionales, la mejora del rendimiento de combustible, la disminución de emisiones contaminantes, entre otras. La regulación de un país puede actualizarse al tenerse nuevos compromisos en materia de salud y/o ambiente y al existir combustibles y tecnologías más limpias y modernas (ICCT, 2015) (Figura 3).

Figura 3. Relación entre políticas de combustibles, tecnologías vehiculares y la calidad de combustible.



Fuente: Elaboración propia con información de (ICCT, 2015), (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019), (Dong Hsieh, Hong Chen, Lin Wu, & Hui Lin, 2002)

Las instituciones públicas y gobiernos establecen requerimientos normativos en lo referente a la calidad de los combustibles y tecnologías, dependiendo de su grado de interés y agendas energéticas, ambientales y sociales; además de tomar en cuenta las características de sus flotas, ya que existe una relación directa entre las particularidades de las flotas (antigüedad, equipos de disminución de emisiones) y el tipo de combustible requerido. Los vehículos con sistemas de tratamiento de gases de escape (por ejemplo: filtros de partículas), necesitan combustibles con mejores características que vehículos que no cuentan con ellos (en este caso, menor

contenido de azufre). La calidad de los combustibles afecta la operación de los vehículos (especialmente de sus motores), su durabilidad, sus emisiones, así como su rendimiento (ICCT, 2015).

Controlar la composición de los combustibles vehiculares puede aumentar el rendimiento de combustible y reducir las emisiones de la combustión y fomenta el uso de tecnologías de control de emisiones más avanzadas. Lograr las mejores prácticas de reducción de consumo de combustible, y por lo tanto de emisión de contaminantes por parte de los vehículos, depende de tener estándares de combustibles que complementen los estándares de emisiones vehiculares. Los estándares de emisiones son insuficientes por sí mismos, se necesita implementar programas de conformidad que permitan lograr que los combustibles vendidos cumplan con las especificaciones mínimas requeridas (Fung, 2011).

En ese sentido, establecer un programa efectivo de cumplimiento en la calidad de combustibles es complicado en muchos países, debido a que la cadena de suministro de combustibles es manejada por diferentes partes: refinерías, intermediarios, compañías dueñas de los gasoductos, operadores de pipas, estaciones de venta. Lo cual puede generar que el combustible se contamine o se le adhieran compuestos fuera de las especificaciones. Esto solo puede ser evitado, si el combustible es analizado cuidadosamente a través de toda la cadena de suministro (Fung, 2011).

En la Figura 4 se enlistan los sectores interesados en la calidad de combustibles y su participación en la formulación de políticas de combustibles.

Figura 4. Interrelación entre sectores interesados en la calidad de combustibles.



Fuente: Elaboración propia a partir de (ICCT, 2015), (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019).

La regulación de combustibles evoluciona a través del tiempo, dependiendo de las tecnologías, combustibles disponibles y metas gubernamentales. El “International Council on Clean Transportation” (ICCT, 2015), al analizar la situación del transporte a nivel internacional, separó en 3 grupos a los países de acuerdo con sus políticas en materia de combustibles y reducción de emisiones existentes (ICCT, 2015).

Cada uno de los grupos está definido según el tipo de programas y normativas implementadas, ya sea en algunas localidades o a nivel nacional. El grupo 3 está compuesto por los países con los programas y condiciones más laxos y con mayores áreas de oportunidad. El grupo 2, donde se encuentra México, comprende países que han llevado a cabo ciertas acciones para aumentar su rendimiento de combustibles y disminución de emisiones, pero que aún tienen áreas de oportunidad para alcanzar el desarrollo de los países con políticas más avanzadas (países del grupo 1).

El grupo de los países más avanzados aún tiene metas y áreas de oportunidad a futuro, ya que dentro de este grupo se tienen proyectos de mejora continua, no solo para disminuir el consumo de combustible y las emisiones a la atmósfera, sino que también se han implementado acciones en busca de mediciones de prueba en laboratorio que representen de mejor manera las condiciones reales de manejo; permitiéndose seguimientos y comparaciones más exactas con lo proyectado en pruebas de laboratorio.

Tabla 9. Clasificación del ICCT de los países en grupos de acuerdo con sus políticas de combustibles.

Grupo	Definición del grupo (Estado Actual)	Posibles acciones de mejora	Países que ejemplifican el grupo
Grupo 3	<ul style="list-style-type: none"> • Combustible con altos contenidos de azufre • Sin programas de control de emisiones y mejora de rendimiento de combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptar gasolina y diésel bajo azufre • Implementar estándares de combustibles y disminución de emisiones de gases de combustión 	Indonesia, Arabia Saudita, Sudáfrica
Grupo 2	<ul style="list-style-type: none"> • Combustible bajo en azufre planeado o disponible en algunas regiones o en todo el país. • Con estándares de emisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptar regulaciones de emisiones más estrictas • Introducir programas o estándares para mejorar el rendimiento de combustibles tanto en vehículos de pasajeros como de carga 	Argentina, Australia, Brasil, China, India, México, Rusia, Turquía
Grupo 1	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de combustibles de ultra bajo azufre a nivel nacional. • Estrictos estándares de emisión de contaminantes. • Estándares de rendimiento de combustibles. • Programas de carga sustentable 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora continua de programas de carga sustentable, así como de los estándares de rendimiento de combustibles • Mejorar la brecha entre las pruebas de emisiones en laboratorio y a condiciones reales de operación 	Canadá, Estados Unidos, Unión Europea (Alemania, Reino Unido, Francia, Italia), Japón, Corea del Sur.

Fuente: Elaboración propia a partir de (ICCT, 2015)

Otra parte que contribuye a la mejora en el rendimiento de combustible y a la mejora tecnológica en un país se encuentra relacionada al precio de los combustibles y a la posibilidad de conseguir incentivos fiscales.

2.5. Incentivos y Economía de combustibles

En un análisis del rendimiento de combustible a nivel internacional, realizado por la Agencia Internacional de Energía con información de 2016 y 2017 (IEA, 2017), se encontró que el precio por litro de gasolina tiene una relación en el rendimiento promedio de combustible en un país, teniéndose 3 grupos principales (Tabla 10).

El primer grupo incluye a economías avanzadas con precios de gasolina por debajo de 1 dólar el litro, las cuales tienen un menor rendimiento de combustible (mayor consumo) presumiblemente porque no hay una motivación económica de los usuarios por tener vehículos que consuman menos combustible. En el segundo grupo se tienen economías avanzadas con precios de gasolina por arriba de 1 dólar el litro, en donde se tienen mejores rendimientos que en las economías con precios más bajos (IEA, 2017). Finalmente, se tiene el grupo de economías emergentes, con rendimientos de combustible intermedios entre los dos primeros grupos (IEA, 2017).

Tabla 10. Economía de la Energía, consumo promedio de gasolina por precio de combustible

Grupo	Ejemplos de países que lo conforman	Rendimiento de combustible (km/l)
Economías avanzadas con precios de gasolina por debajo de 1 dólar el litro	Estados Unidos, Australia y Canadá	Entre 11 y 13 km/l
Economías avanzadas con precios de gasolina por arriba de 1 dólar el litro	Unión Europea, Turquía, Japón y Corea del Sur	Entre 15 y 19 km/l
Economías emergentes	México, Brasil, Sudáfrica, Argentina, Indonesia y Filipinas	Entre 11 y 15 km/l y casi 18 km/l en India.

Fuente: Elaboración propia a partir de (IEA, 2017)

En la tabla anterior se muestra un promedio de rendimiento de combustible internacional con información disponible durante la elaboración del reporte. Más adelante, en el siguiente capítulo, se discutirán los cambios en rendimiento de combustible y sus modificaciones a través del tiempo en México.

Además de la relación de los precios con el consumo de combustibles, se ha observado una creciente evidencia de la importancia de las políticas fiscales (incentivos fiscales) en el aumento del rendimiento de combustibles. Los países que cuentan con normatividad o incentivos fiscales para la mejora del rendimiento han disminuido su consumo de combustible por kilómetro recorrido en promedio un 60% más rápido que los países que carecen de ellos. (IEA, 2017).

A continuación, se presenta la situación histórica de México en lo referente a las políticas de combustible; incluyendo los cambios que se han ido llevando a cabo en el país, las mejoras en la calidad y rendimientos de combustible; así como las acciones

en pro de la mejora de la calidad del aire derivadas del uso de mejores tecnologías y combustibles.

3. Situación en México

A principios del siglo XX, México experimentó un proceso de desarrollo industrial, en el que empezaron a crecer las ciudades y se le dio una gran importancia a la industria. La modernización industrial y la rápida migración de zonas rurales a las ciudades generaron problemas ambientales y de transporte que fueron empeorando con el paso de los años (Carabias, 1988).

El creciente problema de la contaminación ambiental empezó a ser estudiado en México debido a diferentes accidentes industriales, como los ocurridos en Veracruz en 1922 o en Poza Rica en 1950, donde una fuga de sulfuro de hidrogeno provocó la muerte de 22 personas, afecciones a la población y a la fauna local (Fericola, 1983). Además de esto, los crecientes niveles de contaminantes observados a partir de los años 60s ocasionaron una creciente preocupación en la comunidad científica del país (Haddad & Bloomfield, 1964).

En los años 60s, los principales agentes de contaminación eran las refinerías de petróleo, los ferrocarriles, las plantas de energía eléctrica y los incineradores de basura; además de la industria en general. En esta época, México no había emprendido acciones tendientes a eliminar el problema de la contaminación ambiental, solo se había limitado a hacer los primeros estudios y a preparar al personal tanto dentro del país como en el extranjero a través de becas (Haddad & Bloomfield, 1964).

Para entender el problema, se hicieron estudios sistemáticos de concentración de contaminantes y condiciones meteorológicas, lo que permitió posteriormente implementar una política para controlar la creciente contaminación (Haddad & Bloomfield, 1964). En los años 70s, a partir de la expedición de la primera Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación en 1971, se dieron los primeros pasos en la revisión y el manejo de la calidad del aire (INECC, 2007).

La preocupación por la disminución de contaminación fue secundada por una creciente inquietud en cuanto al uso eficiente de los recursos, incluyendo la energía.

En la historia del ahorro de energía y protección al medio ambiente mexicana, los años 80s fueron de gran importancia ya que, por un lado, se inició la promoción de tecnologías más eficientes y menos contaminantes y, por otro lado, empezó a entenderse la relación entre la calidad del aire y la salud colectivamente.

La promoción de tecnologías eficientes inició en 1983 cuando se incluyó por primera vez en un Plan Nacional de Desarrollo el tema energético y ecológico, planteándose estrategias para el uso adecuado de los recursos naturales y la promoción de tecnologías más eficientes. Además de esto, se reformó el Artículo 25 de la Constitución para indicar que las actividades económicas debían hacer un mejor uso de los recursos naturales, cuidando su conservación (Micheli, 2002).

La concientización mediática y colectiva de la importancia de los recursos naturales y la calidad del aire inició en febrero de 1987, cuando se tuvo un hecho sin precedentes en la Ciudad de México que alertó a la población sobre los riesgos de los contaminantes. En algunas zonas de la ciudad se dio una muerte inexplicable de cientos de pájaros, que, aunque no pudo ser explicada, generó preocupación por las posibles afectaciones de la contaminación atmosférica en la salud de los seres vivos (Sosa; Gustavo et al, 2018).

Además de los avances en materia de contaminación ambiental y protección al ambiente, en los años 80's se dieron en México los primeros pasos para promover el ahorro de energía por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), al crear el Programa Nacional para el Uso Racional de la Energía Eléctrica (Pronuree). Cambiando en 1989 al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE), que tiene como objetivo hacer un uso más eficiente de la energía en CFE. (Guillermo Ibarra, 2020).

El 28 de septiembre de 1989 se creó la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), la cual nació como un órgano técnico intersecretarial de consulta en materia de ahorro y uso eficiente de la energía para las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, los gobiernos estatales y municipales; así como para particulares que lo necesitaran (Gobierno de México, 2021).

En 1990 se creó, por iniciativa de la CFE, el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), el cual ha tenido como objetivo promover una cultura del uso eficiente de la energía eléctrica a partir del impulso de acciones y programas que permitan el ahorro de este recurso en los sectores público, social y privado (FIDE, 2021).

La CONUEE reemplazó oficialmente a la CONAE el 28 de noviembre de 2008, a partir de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (Gobierno de México, 2021).

Años más tarde, en 2015 se expidió la Ley de Transición Energética, la cual entre sus objetivos tiene “Promover la aplicación de tecnologías y el uso de equipos, aparatos y vehículos energéticamente eficientes” y “Promover el uso de tecnologías y combustibles que mitiguen las emisiones contaminantes” (Gobierno de México, 2021). Un resumen sobre los cambios normativos y regulatorios históricos en México se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Resumen de cambio en las políticas ambientales y de ahorro de energía en México

Gestión	Normatividad/ Regulación	Año	Descripción
Por parte de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente (1972-1976). La cual estaba inserta en el campo de la salud pública (Secretaría de Salubridad y Asistencia)	Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación	1971	Orientada a criterios de salud con algunos elementos para el control de emisiones.
Gobierno de México	Código Sanitario	1973	Se incorporó un capítulo denominado Saneamiento del Ambiente, y se expidieron reglamentos para control de la contaminación atmosférica por humos y polvos, de la contaminación de agua, de la contaminación del mar por desechos y otros ordenamientos que directa o indirectamente se relacionaban con el control de la contaminación industrial.
Gobierno de México	Ley Federal de Protección al Ambiente	1982	Tenía un enfoque más amplio de protección ambiental ya que hasta ese momento la problemática era vista como un problema de salubridad general y por lo mismo, otras disposiciones legales tendientes a su solución se encontraban en ordenamientos como el Código Sanitario.
Subsecretaría de Ecología (a partir de 1983) en la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEDUE.	*Ley General de Salud *Se reforman y adicionaran diversos artículos a la Ley Federal de Protección al Ambiente	1983	Normas, principios y demás preceptos legales relativos a la conservación, protección, restauración y mejoramiento del ambiente, guardando congruencia con la legislación en materia de salubridad.
Fideicomiso de Ahorro de	Creación del FIDE	1990	El 14 de agosto de 1990 se creó el fideicomiso.

Gestión	Normatividad/ Regulación	Año	Descripción
Energía (FIDE)			
SEMARNAT	NOM-042-SEMARNAT-2003	2003	Establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos, cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos
Gobierno Federal. Secretaria de Hacienda y Crédito público, Secretaría de la Función Pública.	Decreto que establece las medidas de austeridad y disciplina del gasto en la administración Pública Federal. Lineamientos específicos para la aplicación de las medidas de austeridad y disciplina del gasto de la administración Pública Federal (LEASMA)	2006	Contemplaba acciones en materia de eficiencia energética, control en consumo de energía eléctrica, de agua, transporte, etc.
Gobierno Federal	Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012	2007	Promoción del uso eficiente de la energía <i>para que el país se desarrolle de manera sustentable.</i>
Gobierno Federal	Programa Sectorial de Energía (ProSener). Ley para el aprovechamiento sustentable de la energía	2008	Inclusión de flotas vehiculares como parte de los programas de ahorro de energía. <i>Artículo 7. VI. Promover la aplicación de tecnologías y el uso de equipos, aparatos y vehículos eficientes energéticamente.</i> CONUEE reemplaza oficialmente a la CONAE.
Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.	Lineamientos de Eficiencia Energética para la Administración Pública Federal	2010	Se establecen límites mínimos el rendimiento por clase de vehículo en vehículos adquiridos a arrendados por las dependencias de la Administración Pública Federal. Subcompactos: 15.8 km/l, compactos 12.9 km/l, vehículos de uso múltiple y camiones ligeros 8.7 km/l, camiones de 1702 kg hasta 2,608 kg 8.5km/l. Gestión vehicular, registrando consumo de combustible y kilometraje.
Protocolo de Actividades para la Implementación de Acciones de Eficiencia Energética en Inmuebles, Flotas Vehiculares e Instalaciones de la Administración Pública Federal	Protocolo de Actividades para la Implementación de Acciones de Eficiencia Energética en Inmuebles, Flotas Vehiculares e Instalaciones de la Administración Pública Federal	2012	Diagnósticos integrales en las flotas vehiculares de la Administración pública Federal.
Gobierno Federal	"Reforma Energética" Modificaciones constitucionales al Artículo 25.	2013	Publicado en el DOF el 20 de diciembre de 2013.
SEMARNAT	NOM-163-SEMARNAT-	2013	Emisiones de bióxido de carbono (CO ₂)

Gestión	Normatividad/ Regulación	Año	Descripción
	ENER-SCFI-2013		provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3,857 kilogramos.
Gobierno Federal	Decreto por el que se expide la Ley de Transición Energética	2015	Publicado en el DOF el 24 de diciembre de 2015.
CRE	NOM-016-CRE-2016	2016	Especificaciones de calidad de los petrolíferos
SEMARNAT	NOM-044-SEMARNAT-2017	2017	Establece límites máximos permisibles de emisión de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no metano, hidrocarburos no metano más óxidos de nitrógeno, partículas y amoníaco, provenientes del escape de motores nuevos que utilizan diésel. Se establece el uso de vehículos Euro VI.

Fuente: Elaboración propia a partir de (INECC, 2007) , (Sosa; Gustavo et al, 2018) , (Guillermo Ibarra, 2020), (CONUEE, 2019)

En la siguiente sección se hablará más a detalle de la historia de la regulación en materia de calidad de combustibles en México.

3.1.1. Calidad de Combustibles

La calidad de combustibles en México se ha modificado principalmente para implementar sistemas de tratamiento de gases de escape y disminuir los efectos negativos a la salud; por ejemplo, en México, el contenido de plomo en la gasolina conocida como "Nova" disminuyó considerablemente entre 1986 y 1992, variando de 0.98 g/l a 0.07 g/l.

A partir de 1991 se introdujo el uso de convertidores catalíticos en los automóviles en México, como resultado de una concertación entre las autoridades gubernamentales ambientales y las empresas de automóviles, a la vez que Petróleos Mexicanos (PEMEX) introdujo la gasolina sin plomo "Magna Sin". (INECC, 2007).

Los combustibles en México comparten su historia con la del Sistema Nacional del Refinación (SNR), ya que una parte de los combustibles utilizados en el país proviene de él. El SNR cuenta con 6 Refinerías, Francisco I. Madero (Madero), Gral. Lázaro Cárdenas del Río (Minatitlán), Ing. Héctor Lara Sosa (Cadereyta), Ing. Antonio Dovalí Jaime (Salina Cruz), Miguel Hidalgo (Tula) e Ing. Antonio M. Amor (Salamanca) (SENER, 2013); las cuales tienen capacidades de procesamiento de crudo distintas y algunas se encuentran en espera de la implementación de proyectos de reconfiguración para lograr el procesamiento del crudo pesado extraído en México y la mejora de sus

productos (pendientes de reconfiguración: Tula, Salamanca y Salina Cruz) (Enrique Aguilar Rodríguez, 2020).

A través del tiempo, PEMEX ha llevado a cabo proyectos para mejorar la calidad de sus combustibles con el fin de dar cumplimiento a la normatividad mexicana, la cual se encuentra actualmente descrita en la NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos, publicada originalmente el 29 de agosto de 2016 en el Diario Oficial de la Federación (DOF), modificada el 26 de junio de 2017 y actualizada en 2020 (DOF, 2016).

Dicha NOM tiene como antecedentes la NOM-086-ECOL-1994, contaminación atmosférica-especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles, la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental, y la NOM emergente NOM-EM-005-CRE-2015, Especificaciones de calidad de los petrolíferos. (DOF, 2016).

Los parámetros que debe cumplir la gasolina en México se han conservado similares a los descritos en la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 (Tabla 16); teniéndose únicamente modificaciones a los máximos y mínimos en propiedades como Azufre y contenido de oxigenantes de los combustibles en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) y en el resto del país, las cuales buscan acercar la calidad del combustible a la que se tiene en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) (DOF, 2005), (DOF, 2016).

Históricamente algunas especificaciones dependen de la zona del país en donde el combustible se va a comercializar. Actualmente en la NOM-016-CRE-2016 se describen 4 clases de volatilidad: AA, A, B y C (

Tabla 12) que se comercializan en diferentes zonas del país dependiendo del mes del año

Tabla 13). Cada una de las zonas está comprendida por ciertos Estados según se muestra en la Tabla 14.

Tabla 12. Especificaciones de vapor y temperaturas de destilación de las gasolinas mexicanas según su clase de volatilidad.

Propiedad	Unidad	Clases de Volatilidad			
		AA	A	B	C
Presión de vapor máxima	kPa (lb/pulg ²)	54 (7.8)	62 (9.0)	69 (10.0)	79 (11.5)
Temperatura. máx. al 10% evaporado	°C	70	70	65	60
Temperatura. máx. al 50% evaporado	°C	77 a 121	77 a 121	77 a 118	77 a 116
Temperatura. máx. al 90% evaporado	°C	190	190	190	185
Temperatura máx. de ebullición final	°C	225	225	225	225
Residuo de destilación, valor máximo	% vol.	2	2	2	2

Fuente: (DOF, 2016)

Tabla 13. Especificaciones de clase de volatilidad de las gasolinas de acuerdo con las zonas geográficas y a la época del año.

Mes	Norte	Sureste	Centro	Pacífico	ZMVM y ZMG	ZMM
Enero	C-3	C-3	C-3	C-3	AA-3	C-3
Febrero	C-3	C-3	C-3	C-3	AA-3	C-3
Marzo	C-3/B-2	C-3/B-2	C-3/B-2	C-3/B-2	AA-2	B-2
Abril	B-2	B-2	B-2	B-2	AA-2	B-2
Mayo	B-2	B-2	B-2	B-2	AA-2	B-2
Junio	B-2	B-2/A-1	B-2/A-1	B-2/A-1	AA-2	B-2
Julio	B-2	A-1	A-1	A-1	AA-3	B-2
Agosto	B-2	A-1	A-1	A-1	AA-3	B-2
Septiembre	B-2	B-2	B-2	B-2	AA-3	B-2
Octubre	B-2	B-2	B-2	B-2	AA-3	B-2
Noviembre	C-3	C-3	C-3	C-3	AA-3	C-3
Diciembre	C-3	C-3	C-3	C-3	AA-3	C-3

Fuente: (DOF, 2016)

Tabla 14. Estados que comprenden cada una de las regiones de distribución de gasolina en México

Zona	Estados
Norte	Nuevo León, Chihuahua, Durango, Coahuila, Tamaulipas, San Luis Potosí
Pacífico	Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Colima, Guerrero, Oaxaca, Chiapas
Centro	Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Zacatecas, Morelos, Tlaxcala, Estado de México, Ciudad de México, Hidalgo y Querétaro
Sureste	Veracruz, Campeche, Puebla, Tabasco, Yucatán, Quintana Roo

Fuente: (DOF, 2016)

Además de las clases de volatilidad, existen otras especificaciones que son diferentes dependiendo de la zona del país en donde se venda la gasolina; teniéndose históricamente mejores calidades en las zonas metropolitanas, especialmente la del Valle de México (Tabla 15).

En este sentido, la NOM-016-CRE-2016 y su modificación de 2017 establecían que las zonas metropolitanas tanto de Monterrey como de Guadalajara contarían con gasolina con un menor contenido de aromáticos y olefinas a partir de enero de 2020. La implementación de esta mejora fue aplazada por un año, derivado de la resolución RES/1816/2019 en 2019 y de una segunda prórroga que fue aprobada por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) en 2020.

Tabla 15. Especificaciones adicionales de la gasolina por región NOM-016-CRE-2016 (acuerdo 2017 y modificaciones 2020)

Propiedad	Unidad	Valor límite				
		ZMVM	ZMG	ZMM	Resto del País	
		Gasolina Premium y regular			Gasolina Premium	Gasolina Regular
Aromáticos	%vol.	máx. 25	máx. 32 máx. 25 a partir de enero 2020*	máx. 32 máx. 25 a partir de enero 2020*.	máx. 32 Informar en caso de gasolinas con 10% etanol	Informar
Olefinas	%vol.	máx. 10	máx. 11.9 máx. 10 a partir de enero de 2020*	Máx. 11.9 Máx. 10 a partir de enero de 2020*	máx. 12.5 Informar en caso de gasolinas con 10% etanol	Informar
Benceno	%vol.	máx. 1	máx. 1	máx. 1	máx. 2	máx. 2
Azufre Total	ppm	30 en promedio, 60 máximo				
Oxígeno	%masa	máx. 1 máx. 2.7 Sin etanol como oxigenante.			máx. 2.7 máx. 3.7 (10% en volumen de etanol anhidro) Modificado en 2020 para un máximo de 5.8% de contenido de etanol anhidro	

Nota: En septiembre de 2020 se publicó el ACUERDO Núm. A/009/2020, en el que se prohibió el uso del etanol al 10%, permitiéndose un máximo de 5.8 de etanol anhidro en gasolina en el resto del país y se prohíbe en las zonas metropolitanas ZMVM, ZMM y ZMG.

Fuente: (DOF, 2016),

La implementación de calidades de gasolina más estrictas en México se ha visto limitada por la calidad del combustible producido e importado por el país. Un resumen de los cambios en las propiedades de combustibles en México se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Propiedades para la gasolina descritas en la normatividad mexicana (clase de volatilidad AA)

Propiedad	Unidad	Límites previos a la Reforma energética		Límite en NOM-EM-005-CRE-2015	NOM-016-CRE-2016		
		NOM-086-Ecol-1994	NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005		Límite 29 de agosto 2016	Modificación del 26 de junio de 2017	Acuerdo 2020
Presión de vapor	kPa (lb/pulg ²)	ZMVM: 45 a 59 (6.5-8.5). Nova: 48 a 66	45 a 54 (6.5 a 7.8)	54 (7.8)	54 (7.8)	54 (7.8)	54 (7.8)
T. máx. de destilación del 10%	°C	Magna sin: 65 máx. Nova: máx. 70	70	70	70	70	70
T. máx. de destilación del 50%.	°C	Magna sin: 77 a 118 Nova: máx. 70 77 a 121	77 a 121	77 a 121	77 a 121	77 a 121	77 a 121
T. máx. de destilación del 90%.	°C	190 máx.	190	190	190	190	190
T. máx. de ebullición final.	°C	Magna sin:221 máx. Nova máx. 225	225	225	225	225	225
Azufre	ppm	Magna sin:0.1 (% en peso) Nova: 0.15 máx.	Premium: máx.300 (oct 2006 máx. 80) Magna: máx. 500 (ZMVM, ZGM, ZMM oct 2008: máx. 80, resto país enero 2009: máx. 80)	30 en promedio, máximo 80 excepto en la gasolina regular del resto del país.	30 en promedio, 80 máximo	30 en promedio, 80 máximo	30 en promedio, 80 máximo
Número de octano RON	Adimensional	Magna sin: Informar Nova: mín. 81	Premium: 95 min. Magna: informar	Premium: 95 min. Magna: informar	Premium: 94 min. Magna: informar	Premium: 94 min. Magna: informar	Premium: 94 min. Magna: informar
Número de octano MON	Adimensional	Magna sin: 82 mín. Nova: informar	Premium: informar. Magna: 82 min.	Premium: informar. Magna: 82 min.	Premium: informar. Magna: 82 min.	Premium: informar. Magna: 82 min.	Premium: informar. Magna: 82 min.
Índice de octano (RON+MON)/2	Adimensional	87 mín.	Premium: 92 min. Magna: 87 min.	Premium: 92 min. Magna: 87 min.	Premium: 91 min. Magna: 87 min.	Premium: 91 min. Magna: 87 min.	Premium: 91 min. Magna: 87 min.

Propiedad	Unidad	Límites previos a la Reforma energética		Límite en NOM-EM-005-CRE-2015	NOM-016-CRE-2016		
		NOM-086-Ecol-1994	NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005		Límite 29 de agosto 2016	Modificación del 26 de junio de 2017	Acuerdo 2020
Fósforo	g/l	0.001 máximo	0.001 máximo	-	-	-	-
Aromáticos	% vol.	Informar, en ZMVM 30 % máx. hasta 1997, posteriormente 15% máx.	ZMVM: 25 máx. ZMG:35 máx. ZMM:35 máx.	ZMVM: 25 máx.	ZMVM: 25 máx. Otras zonas metropolitanas: 25 máx. en enero 2020	ZMVM: 25 máx. Otras zonas metropolitanas: 25 en enero 2020 en premium	ZMVM: 25 máx. Otras zonas metropolitanas: 32 máx. en premium
Olefinas	% vol.	Informar en ZMVM 12.5 máx. a partir de 1998	ZMVM: 10 máx. ZMG:12.5 máx. ZMM:12.5 máx.	ZMVM: 10 máx.	ZMVM: 10 máx. Otras zonas metropolitanas: 10 en enero 2020	ZMVM: 10 máx. Otras zonas metropolitanas: 10 en enero 2020 en premium	ZMVM: 10 máx. Otras zonas metropolitanas: 12.5 máx. en premium
Plomo	Kg/m ³	Máx. 0.0026 ZMVM sin plomo. Nova: 0.06-0.28	-	-	-	-	-
Benceno	% vol.	4.9 máximo, en ZMVM 2% máximo	ZMVM: 1 máx.	ZMVM: 1 máx.	ZMVM, ZMG, ZMM: 1 máx. resto país 2.0 máx.	ZMVM, ZMG, ZMM: 1 máx. resto país 2.0 máx.	ZMVM, ZMG, ZMM: 1 máx. resto país 2.0 máx.
Oxígeno	% peso máx.	1 mínimo, 2 máximo en ZMVM.	ZMVM: 2.7 (determinación de MTBE, ETBE, TAME, DIPE y de alcohol teramílico.	Mínimo 1, máximo 2.7 en las zonas metropolitanas y máximo 2.7 en el resto del país. (numeral 4.3 se puede usar otros aditivos como etanol, previa autorización de la CRE).	Mínimo 1, máximo 2.7 en las zonas metropolitanas y máximo 2.7 en el resto del país (se prohíbe el uso de etanol en las zonas metropolitanas, contenido máximo de 5.8% vol. De etanol anhidro en el resto del país).	Mínimo 1, máximo 2.7 en las zonas metropolitanas. En el resto del país el máximo es 2.7 excepto en los casos que se utilice etanol al 10%, donde el máx. es 3.7 (se prohíbe el uso de etanol en zonas metropolitanas).	Mínimo 1, máximo 2.7 en ZMVM, ZMG y ZMM (se prohíbe el uso de etanol anhidro en estas regiones) 2.7 máximo en el resto del país. (Máx. 5.8% volumen de etanol).
BTX	% vol.	-	Informar	Informar	-	-	-

Nota: se tenían dos tipos de gasolina NOVA, la NOVA plus vendida en zonas metropolitanas y la NOVA plus vendida en el resto del país, los datos agregados a esta tabla corresponden a la NOVA plus vendida en el resto del país.

Fuente: Elaboración propia con información de las NOM y los acuerdos modificatorios publicados en el Diario Oficial de la Federación y (California Air Resources Board, 2014)

Por otro lado, en el caso del diésel, se tiene que muchas de las propiedades reguladas en la normativa no se han modificado desde 1994. Entre los valores que no han cambiado en más de veinticinco años se tienen: las temperaturas de destilación, escurrimiento, inflamación y nublamiento; la viscosidad, la cantidad de agua y sedimentos; así como las cenizas, el color y la corrosión a cobre.

Entre los parámetros que si han cambiado se tienen el índice de cetano, cuyo mínimo disminuyó de 48 a 45 de 2015 a 2016, los residuos de carbón permitidos, que aumentaron de 0.25 a 0.35% en masa y el contenido de azufre, que no ha podido ser disminuido en todo el país a pesar de que se ha intentado desde 2009.

La historia del contenido de azufre en México ha sido complicada, ya que como se ve en la normatividad, en 1994 se tenía un máximo de 0.05% en peso, para posteriormente intentar conseguirse un máximo de 15 ppm en todo el país según se describía en la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005. En la Tabla 17 se muestra la evolución de la normatividad en materia de calidad de diésel en México

Tabla 17. Propiedades para diésel descritas en la normatividad mexicana

Propiedad	Unidad	NOM-086-Ecol-1994	NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005	NOM-EM-005-CRE-2015	NOM-016-CRE-2016	NOM-016-CRE-2016 (modificación 26jun17) y Acuerdo 2020
Corrosión al Cu 3 horas a 50°C	Adimensional	estándar #1 máximo	estándar #1 máximo	estándar #1 máximo	estándar #1 máximo	estándar #1 máximo
índice de Cetano	Adimensional	Mínimo 48	Mínimo 48	Mínimo 48	Mínimo de 45	Mínimo de 45
Azufre	ppm	0.05 (% en peso)	500 máx. Zona fronteriza norte 15 máx. a partir de enero de 2007, ZMVM, ZMG, ZMM 15 máx. enero 2009 y resto del país 15 máx. septiembre 2009	15 máximo en ZMVM, ZMG, ZMM y ZFN, 500 máximo en resto del país	15 máximo en ZMVM, ZMG, ZMM y ZFN, 500 máximo en resto del país	15 máximo en ZMVM, ZMG, ZMM y ZFN, 500 máximo en resto del país
Temperatura inicial de ebullición	°C	Informar	Informar	Informar	informar	Informar
Destilación, T90%	°C	máximo 345	máximo 345	máximo 345	máximo 345	máximo 345
Destilación, T50%	°C	Informar	Informar	Informar	informar	Informar
Destilación, T10%	°C	máximo 275	máximo 275	máximo 275	máximo 275	máximo 275
Temperatura final de ebullición	°C	Informar	Informar	Informar	Informar	Informar
Temperatura de inflamación	°C	min. 45	mín. 45	mín. 45	mín. 45	mín. 45
Temperatura de escurrimiento	°C	Marzo a oct: máx. 0, nov a feb máx. -5	Marzo a oct: máx. 0, nov a feb máx. -5	Marzo a oct: máx. 0, nov a feb máx. -5	Marzo a oct: máx. 0, nov a feb máx. -5	Marzo a oct: máx. 0, nov a feb máx. -5
Temperatura de nublamiento	°C	Informar	Informar	Informar	Informar	Informar
residuos de carbón (en 10% del residuo)	% masa	máx. 0.25	máx. 0.25	máx. 0.25	0.35 máx.	0.35 máx.
Agua y Sedimento	% vol.	máx. 0.05	máx. 0.05	máx. 0.05	máx. 0.05	máx. 0.05
Viscosidad cinemática	mm ² /s	1.9 a 4.1	1.9 a 4.1	1.9 a 4.1	1.9 a 4.1	1.9 a 4.1
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	%m/m	-	-	Informar	Informar	Informar
Contenido de aromáticos	%vol.	máximo 30	máximo 30	máximo 30	máximo 35	máximo 30
Gravedad específica	Adimensional	Informar	Informar	Informar	Informar	Informar
Cenizas	% masa	máx. 0.01	máx. 0.01	máx. 0.01	máx. 0.01	máx. 0.01
Color	Adimensional	máx. 2.5	máx. 2.5	máx. 2.5	máx. 2.5	máx. 2.5
Lubricidad	Micrones	-	máx. 520	máx. 520	máx. 520	máx. 520
Conductividad eléctrica	psi/m	-	-	-	mín. 25	mín. 25

Fuente: Elaboración propia con información de las NOM y los acuerdos modificatorios publicados en el Diario Oficial de la Federación.

El SNR ha tratado de cumplir las calidades mínimas requeridas por la normatividad en materia de combustibles, a través de la implementación de proyectos como las reconfiguraciones en las refinerías o el proyecto de calidad de combustibles, el cual buscaba dar cumplimiento a los valores máximos de azufre establecidos en la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 (SENER, 2013).

La evolución de PEMEX hacia combustibles de ultra bajo azufre (UBA) se ha dado de forma paulatina; en 2007 se inició la venta de diésel UBA en la frontera norte del país. A partir de 2009 se inició el suministro de diésel UBA a las tres zonas metropolitanas más importantes del país (Monterrey, Guadalajara y CDMX) para sus servicios de transporte urbano (SENER, 2013). La introducción de diésel en el resto del país ha sido aplazada en varias ocasiones por las limitaciones de PEMEX de entregar este tipo de diésel. En la NOM-016-CRE-2016⁶ se establecía que la distribución de diésel (UBA) fuera total en todo el territorio mexicano a principios de 2019, cosa que no sucedió.

Ante la imposibilidad de las refinerías de Tula y Salamanca para la producción y venta del diésel UBA, la CRE aprobó mediante el acuerdo A/065/2018 la exclusión de la región centro-Bajío del cumplimiento de la NOM-016-CRE-2016, ya que se esperaba que el diésel ultra bajo azufre fuera comercializado en todo el país a partir del primero de enero de 2019 (CRE, 2018).

A finales de ese año, la CRE nuevamente aprobó un plazo para que la NOM-016-CRE-2016 no fuera cumplida, dándosele 5 años a Pemex para poder implementar la venta de diésel UBA (Expansión, 2019). En Zonas metropolitanas como la de la Ciudad de México, Monterrey o Guadalajara, el diésel UBA ha sido distribuido por varios años, por lo que en estas ciudades se puede tener una flota vehicular a diésel del tipo Euro VI. El diésel vendido en estas regiones ha sido importado históricamente.

El retraso en la adaptación de diésel UBA ocasionó que se detuviera la entrada de vehículos a diésel Euro VI que se encontraba estipulada a partir de enero de 2021 según la NOM-044-SEMARNAT-2017, que establece los límites máximos permisibles de emisión de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no metano,

⁶ En la nota 3 de la tabla 7 de la NOM

hidrocarburos no metano más óxidos de nitrógeno, partículas y amoníaco, provenientes del escape de motores nuevos que utilizan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos, así como del escape de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipados con este tipo de motores (DOF, 2016) (DOF, 2017).

En lo referente a la gasolina, también ha habido discusiones en cuanto a la calidad que debe ser suministrada en todo el país. Históricamente, la calidad de la gasolina ha sido mayor en la ZMVM (gasolina con clase de volatilidad AA)⁷ debido a la búsqueda de la mejora en la calidad del aire en la metrópoli, la cual es sensible a la retención de contaminantes primarios y a la formación de contaminantes atmosféricos secundarios como el ozono, debido a su altitud y condiciones orográficas (Sosa; Gustavo et al, 2018) .

Además de esto, en los últimos años se ha discutido la cantidad de etanol máximo permitido en las gasolinas. Este tema ha resultado problemático; debido a las posibles implicaciones ambientales que este aditivo pudiera tener. En 2017 se permitió un máximo de etanol en gasolinas de hasta un 10% en todo el país menos en las áreas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey (DOF, 2016). Existen estudios realizados a partir de pruebas piloto o simulaciones, que están a favor y otros en contra del uso de etanol en gasolinas mexicanas.

El cambio en las propiedades de las gasolinas mexicanas al ser reformuladas con etanol fue investigado por (Castillo Hernández, Mendoza Domínguez, & Caballero Mata, 2012), reportando que en la gasolina premium, la adición de un 10% vol. de etanol representaba un aumento del 50% en la presión de vapor, lo cual implicaría *“un aumento en las emisiones evaporativas de no aplicarse un control apropiado a los sistemas de suministro de la gasolina a los vehículos automotores”*.

⁷ Las clases de volatilidad corresponden a las especificadas para combustible de motores de encendido por chispa ASTM D 4814-04be1.

Por otro lado, el INECC, en su Estudio “Evaluación de las Modificaciones a la NOM-016-CRE-2016” encontró, a través de simulaciones con el modelo COMPLEX⁸ (INECC, 2017), que al utilizar gasolina oxigenada con etanol, *“se presentan incrementos en la generación de emisiones de COVs debidos a procesos evaporativos en los meses de junio, julio y agosto, lo que podría incrementar las concentraciones diarias de ozono, así como el número de días al mes en que se rebasa el valor máximo de ozono establecido en la norma, de tal forma que se incrementaría la exposición crónica y aguda a contaminantes en las ciudades que ya presentan problemas de ozono”*.

Además de esto, el estudio del INECC se señala que el uso de gasolinas con etanol puede derivar en una mayor tasa de emisión de COV debido a que:

- i) La NOM oficial mexicana establece condiciones regulatorias menos restrictivas a las que se aplican a las gasolinas americanas, por lo que se pueden importar gasolinas con menor calidad a las simuladas.
- ii) las corridas se hicieron con concentraciones volumétricas de benceno menores a las permitidas en la normatividad mexicana,
- iii) el parque vehicular nacional es distinto al existente en Estados Unidos
- iv) Existen condiciones de temperatura y altitud distintas entre las ciudades americanas y las mexicanas, lo cual propicia tasas de evaporación de COV distintas.”

Como conclusiones y recomendaciones, el estudio del INECC menciona que es importante modificar la normatividad mexicana en materia de combustibles, ya que aún no es tan estricta en algunos parámetros como la de Estados Unidos en zonas con problemas de ozono y recomienda llevar a cabo estudios de emisiones vehiculares de acuerdo con las condiciones específicas de México.

El tema de la calidad de los combustibles y la imposibilidad de PEMEX en producirlos es interesante, ya que la mayor cantidad del diésel y gasolinas vendidas en México son importadas. En México se producen entre 50 a 70 miles de barriles diarios de diésel menor a 15 ppm, los cuales no son suficientes para cumplir con la demanda entre 240 y 270 mil barriles diarios; importándose entre 200 y 300 mil (Mentado, 2020). En lo

⁸ Modelo para simular emisiones vehiculares generadas por gasolinas basado en datos estadounidenses (INECC, 2017).

referente a gasolina, México importa más de un 70% del total vendido en el país (Senado de la República, 2019).

La normatividad incluye un apartado de verificación de la calidad de los combustibles, donde se dice que el productor, importador, almacenista, transportista, distribuidor y el expendedor al público de los petrolíferos deberán contar con un dictamen emitido por una unidad de verificación o tercero especialista que compruebe el cumplimiento de las calidades en la norma. El incumplimiento de la norma está sancionado conforme a lo previsto en la normatividad vigente (Ley de Hidrocarburos y en la ley Federal Sobre Metrología y Normalización). Actualmente la multa asciende a un valor de entre quince mil a ciento cincuenta mil veces el importe del salario mínimo (DOF, 2016) (DOF, 2014).

3.1.2. Rendimiento de combustible

Cómo se dijo en el capítulo anterior, el rendimiento de combustibles depende de diferentes variables entre las que destacan el combustible utilizado y las tecnologías vehiculares existentes.

La historia de la eficiencia energética de los vehículos en México se remonta a 2010 cuando, por un lado, se le requirió a las dependencias de la Administración Pública Federal (APF) que cumplieran con criterios de eficiencia energética en sus flotas de transporte y, por otro lado, se le informó a la población en general los rendimientos de combustible de autos nuevos gracias a los listados publicados por la CONUEE (CONUEE, 2010).

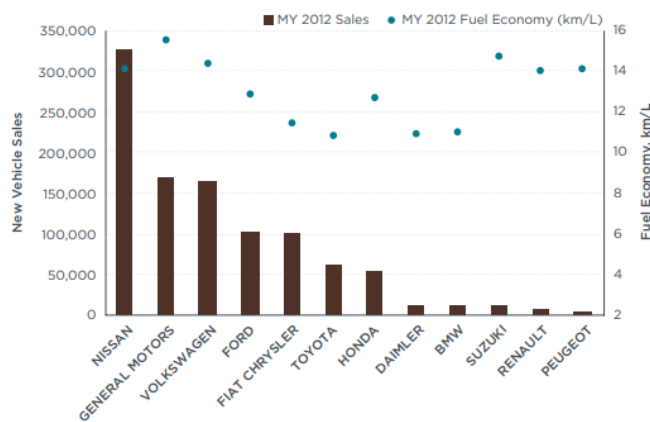
Los lineamientos de Eficiencia Energética para la Administración Pública Federal establecían los siguientes límites de rendimiento de combustible para vehículos según su tipo: Subcompactos: 15.8 km/l, compactos 12.9 km/l, vehículos de uso múltiple y camiones ligeros 8.7 km/l, camiones de 1,702 kg hasta 2,608 kg 8.5km/l (DOF, 2010).

Por su parte, la CONUEE, publicó el rendimiento de combustible de vehículos ligeros de venta en México con año modelo 2010, en el que se puede observar que pocos modelos superaban el rendimiento de 20 km/l en carretera, siendo la mayoría menores a 16 km/l (CONUEE, 2010). Por lo tanto, los lineamientos para la eficiencia energética

de la APF solicitaban que se compraran autos con un rendimiento cercano al máximo existente tecnológicamente en el mercado mexicano de ese año.

La existencia de nueva tecnología ocasionó que el rendimiento de combustible en autos nuevos mejorará a través de los años. En 2012, según un estudio del ICCT de 2017 con información de 2012, se puede observar (Figura 5), que los autos vendidos en ese año tenían una economía de combustible entre 10 y 16 km/l siendo los Nissan los más vendidos con un rendimiento aproximado de 14 km/l.

Figura 5. Rendimiento de Combustible en modelos 2012 vendidos en México



Fuente: Obtenido de (ICCT, 2017)

Poco tiempo después se estableció una regulación de rendimiento de combustible relacionada a las emisiones de CO₂ provenientes de vehículos nuevos, al expedirse la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013, Emisiones de bióxido de carbono (CO₂) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3,857 kg (DOF, 2013).

En esta norma se establece un valor de rendimiento mínimo de combustible y máximo de emisiones de CO₂ de vehículos nuevos por año-modelo; estableciendo una metodología para determinar si los productores de vehículos cumplían o no con el máximo de CO₂ emitido, considerando diferentes modelos del mismo año, cantidad de ventas, tipo de combustible entre otros. En la Tabla 18 se presentan los valores mínimos en término de rendimiento de combustible en km/l, en donde la columna A corresponde a vehículos compactos más pequeños, la B a vehículos grandes de hasta 3,857 kg y las columnas C y D permiten calcular valores de tamaño intermedios.

Tabla 18. Valores mínimos en términos de rendimiento de combustible en km/l

Año-modelo Regulado	Rendimiento de combustible meta Vehículos de pasajeros				Año-modelo Regulado	Rendimiento de combustible meta Camionetas ligeras			
	A [km/l]	B [km/l]	C [km/l]/[m ²]	D [km/l]		A [km/l]	B [km/l]	C [km/l]/[m ²]	D [km/l]
2012	15.1341	11.7663	0.01356	0.01438	2012	12.4305	9.2833	0.01174	0.03571
2013	15.492	11.9811	0.01357	0.01285	2013	12.7848	9.4792	0.01174	0.03348
2014	15.892	12.221	0.01356	0.01126	2014	13.0808	9.6418	0.01174	0.03173
2015	16.5192	12.5873	0.01357	0.00885	2015	13.6394	9.9419	0.01174	0.0286
2016	17.298	13.0335	0.01357	0.00611	2016	14.348	10.3129	0.01174	0.02497

Fuente: (DOF, 2013).

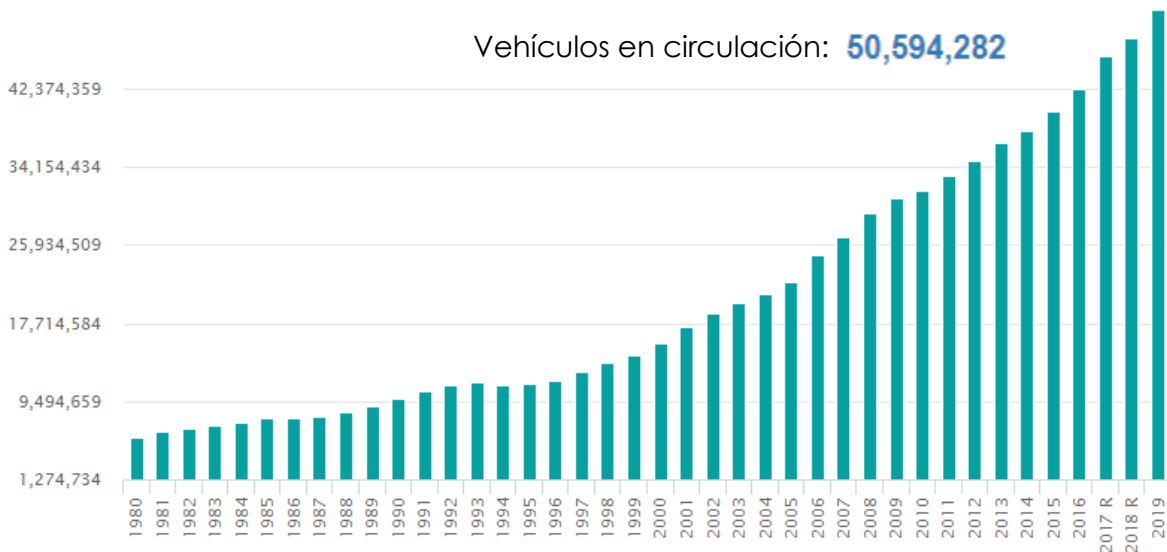
En 2018 se publicó el proyecto de modificación de la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 que aún no ha sido publicada como norma oficial (DOF, 2018). A pesar de que la norma no ha sido actualizada con valores para los futuros año-modelo de 2012 a 2021, hubo una mejora sustancial en el rendimiento de combustibles en vehículos a gasolina nuevos vendidos en México.

Para los nuevos modelos (año modelo 2021), la CONUEE presentó el reporte de rendimiento de combustible a finales de 2020, el cual muestra vehículos con rendimientos en carretera superiores a 30 km/l (teniendo rendimientos en Ciudad cercanos a 20 km/l y rendimientos combinados de más de 20 km/l), lo cual es al menos 10 km/l mayor que en 2010. Esta mejora equivale a un aumento de eficiencia del 50% en 10 años (CONUEE, 2020).

El rendimiento promedio de combustible en un país depende tanto de la eficiencia de los vehículos nuevos, como la que presentan sus vehículos en circulación ~~presentan~~. Los países con flotas vehiculares con una mayor antigüedad tendrán en promedio rendimientos de combustibles menores a las flotas con vehículos nuevos y más eficientes. Año con año, al sustituirse más vehículos viejos de las flotas, el promedio de rendimiento de combustibles puede aumentar en un país (ICCT, 2015).

Según datos del INEGI, existen más de 50 millones de vehículos de motor registrados en México, con una antigüedad promedio de 12 años (Figura 6). Por lo que actualmente se tiene una flota relativamente antigua con rendimientos de combustible por debajo de los rendimientos de los vehículos nuevos (INEGI, 2020). Por lo que se tiene un potencial de ahorro de energía que puede ser aprovechado.

Figura 6. vehículos de motor registrados en Circulación en México (acumulados)



Fuente: (INEGI, 2020)

El parque vehicular no es uniforme en todo el territorio nacional, cada entidad federativa tiene parques vehiculares diferentes que envejecen en distinta medida. Por ejemplo, la Ciudad de México tenía en 2016 un parque a gasolina con una edad promedio de 6.5 años, mientras que la edad promedio de su parque a diésel era de 13.2 años (SEMOVI, Banco Interamericano de Desarrollo, IDOM, 2020). Por otro lado, otras entidades federativas tienen flotas con otras edades promedio, por lo que sus rendimientos de combustible y emisiones difieren a las de la Ciudad de México.

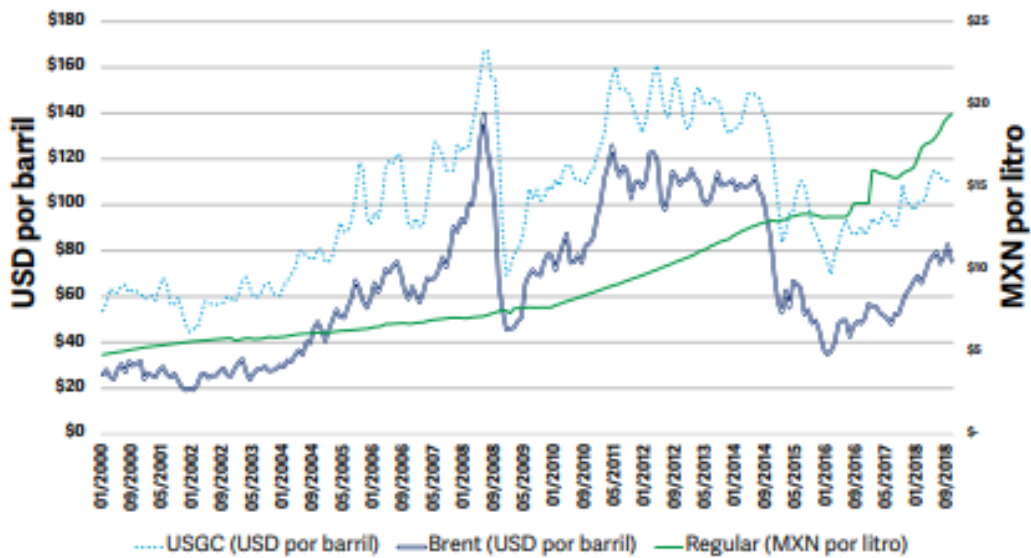
Hoy en día, la oferta de vehículos nuevos en México es muy variada. Existen en el mercado, vehículos con bajos y altos rendimientos, siendo los de menor consumo de combustible los autos híbridos. Existen en el mercado mexicano autos de diferentes fabricantes, con rendimientos combinados mayores a 16 km/l, entre ellos se encuentran el Audi A1, Chevrolet Beat, Spark, Dodge Attitude, Ford Figo, Hundai Grand 10, Mitsubishi Mirage G4, Renault Kwid, Suzuki Ignis y Suzuki Swift (Autocosmos, 2021).

La oferta de autos nuevos en México incluye fabricantes con una mayor diferencia entre sus vehículos de alto y bajo rendimiento, como es el caso de Chevrolet, con

modelos como el Camaro E de 8 cilindros que tiene un rendimiento de apenas 8 km/l, así como vehículos con rendimientos combinados superiores a 20 km/l (con un rendimiento en carretera de más de 31 km/l) como el Modelo Onix A de 3 cilindros (CONUEE, 2020). Mientras que hay fabricantes como Suzuki con una oferta de alto rendimiento, siendo su rendimiento combinado más bajo de 15.1 km/l, según el listado de rendimiento de combustible de vehículos ligeros de venta en México 2021 de la CONUEE (CONUEE, 2020).

Además de esto, el precio de los combustibles puede influir en la selección de vehículos más ahorradores, como se planteaba en el capítulo anterior. En el caso de México, se ha tenido un marcado aumento en el precio del combustible, duplicándose en menos de 10 años. (COFECE, 2019), como se ve en la Figura 7

Figura 7. Datos históricos de precio al público de gasolina regular en México por litro



Fuente: (COFECE, 2019).

Dentro de México, la Ciudad de México ha sido una de las entidades federativas con más propuestas y avances en materia de resiliencia, transporte sustentable y cambio climático; por lo que es un buen referente de lo que se podría lograr en el resto del territorio nacional. La Ciudad de México cuenta con ejemplos de programas de transporte sustentable y ha ejecutado programas piloto para la mejora en el transporte local.

3.1.3. Emisiones Contaminantes

Las emisiones contaminantes en México son normadas por SEMARNAT, en las normas Oficiales Mexicanas para vehículos nuevos se tienen las NOM-042-SEMARNAT-2003⁹ y NOM-044-SEMARNAT-2017¹⁰, para vehículos en circulación se tienen las normas NOM-041-SEMARNAT-2015¹¹, NOM-045-SEMARNAT-2017¹², NOM-047-SEMARNAT-2014¹³, NOM-050-SEMARNAT-2018¹⁴ y para la región centro la NOM-167-SEMARNAT-2017, que establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas de la Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías de información y hologramas.

Los estándares de emisión de CO, HCNM, NOx y Partículas para vehículos ligeros de menos de 3,857 kg nuevos tanto a gasolina como diésel son descritos en la NOM-042-SEMARNAT-2003. Los motores de los vehículos a diésel con un peso mayor a 3.8 toneladas deben cumplir con los límites establecidos en las

⁹ Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.

¹⁰ Que establece los límites máximos permisibles de emisión de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no metano, hidrocarburos no metano más óxidos de nitrógeno, partículas y amoníaco, provenientes del escape de motores nuevos que utilizan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos, así como del escape de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipados con este tipo de motores

¹¹ Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

¹² Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.

¹³ Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.

¹⁴ Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.

Tabla 20 y Tabla 21.

Tabla 19. Límites máximos permisibles de emisión para vehículos que utilizan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel (Estándar de durabilidad de 80,000 km).

Estándar	Clase	CO (g/km)		HCNM (g/km)		NOx (g/km)		Partículas (g/km)	
		gasolina, gas L.P y GN	Diésel	gasolina, gas L.P y GN	diésel	gasolina, gas L.P y GN	diésel	gasolina, gas L.P y GN	Diésel
A*	VP	2.11		0.158		0.25	0.62	-	0.05
	CL 1 Y VU								
	CL 2 y VU	2.74		0.2		0.44	0.62	-	0.62
	CL 3 y VU								
	CL 4 y VU	3.11		0.24		0.68	0.95	-	0.075
B*	VP	2.11		0.099		0.249		-	0.05
	CL 1 Y VU								
	CL 2 y VU	2.74		0.121		0.249		-	0.062
	CL 3 y VU								
	CL 4 y VU							-	0.075
C*	VP	2.11		0.047		0.068		-	0.05
	CL 1 Y VU								
	CL 2 y VU	2.74		0.121		0.249		-	0.062
	CL 3 y VU								
	CL 4 y VU							-	0.075

Notas:

El estándar A. Límites máximos permisibles para vehículos año modelo 2004 y hasta 2009,

El estándar B. Límites máximos permisibles para vehículos año modelo 2007 hasta "Año 3"

El estándar C. Límites máximos permisibles aplicables a partir del "Año 1" y posteriores.

"Año 1": Año calendario en el cual se apliquen los límites máximos permisibles del estándar "c", el cual será al momento en el que el instrumento normativo correspondiente establezca la plena disponibilidad en el territorio nacional de gasolina con un contenido promedio de azufre de 30 ppm y un máximo de 80 ppm y de diésel de 10 ppm máximo contenido de azufre, respectivamente.

"Año 3": Tercer año después del cumplimiento del "año 1", usado con efectos de determinación de la mezcla de los porcentajes de introducción de los estándares "A y B". A partir del año 2010 en adelante, la mezcla de vehículos que cumplen con los estándares "A+B" será aquella compuesta por un 100% de vehículos que cumplen con el estándar B.

Clases:

VP= Vehículos de pasajeros. Automóvil, o su derivado, excepto el vehículo de uso múltiple o utilitario y remolque, diseñado para el transporte de hasta 10 personas.

CL 1 Y VU1= Camión ligero, vehículo utilitario cuya masa de referencia es hasta 1,305 kg.

CL 2 Y VU2= Camión ligero, vehículo utilitario cuya masa de referencia es de 1,305 kg a 1,760 kg

CL 3 Y VU3= Camión ligero, vehículo utilitario cuya masa de referencia es mayor a 1,760 kg

CL 4= Camión ligero cuyo peso vehicular es mayor a 2,722 y hasta 3,857 kg

Fuente: (DOF, 2005).

Tabla 20. Límites permisibles para vehículos nuevos con un peso bruto mayor a 3,857 (certificados mediante métodos de prueba establecidos por la Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos de América)

Estándar	Método de Prueba	CO	NOx	HCNM	HCNM + NOx	Partículas
		g/bhp-hr				
Hasta 30Jun2019	CT y CSE	15.5	No aplica	No aplica	máximo de 2.5 g/bhp-hr para HCNM+NOx, siempre y cuando los HCNM sean menores o iguales a 0.5 g/bhp-hr.	0.1
del 01Ene2019 al 31Dic2020	CT y CSE	15.5	1.2	0.14	No aplica	0.01
a partir del 01Ene2019	CT y CSE	15.5	0.2	0.14	No aplica	0.01

Notas:

CT= Ciclo Transitorio

CSE= Ciclo Suplementario Estable

Fuente: (DOF, 2017).

Tabla 21. Límites permisibles para vehículos nuevos con un peso bruto mayor a 3,857 (certificados por el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, así como por la comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa)

Estándar	Método de Prueba	CO	NOx	HC	HCNM	part.	Núm. part.	NH3
		g/kWh				partículas/kWh	ppm	
Hasta 30jun 2019	CEEC	1.5	3.5	0.46	No aplica	0.02	No aplica	No aplica
	CET	4		No aplica	0.55	0.03	No aplica	No aplica
del 01Ene2019 al 31Dic2020	CEEC	1.5	2	0.46	No aplica	0.02	No aplica	No aplica
	CET	4	2	No aplica	0.55	0.03	No aplica	No aplica
A partir del 1Ene2019	CEEMAP	1.5	0.4	0.13	No aplica	0.01	8.0 x 10 ¹¹	10
	CETMAP	4	0.46	0.16	No aplica	0.01	6.0 x 10 ¹¹	10

Notas:

CEEC= Tipo de ciclo: Ciclo Europeo de Estado Continuo.

CET= Ciclo Europeo de Transición.

CEEMAP= Ciclo Estado Estable Mundial Armonizado de Prueba.

Fuente: (DOF, 2017).

3.2. Ciudad de México

La Ciudad de México se encuentra asentada a más de 2,200 metros sobre el nivel del mar y rodeada por cordilleras; esto, aunado a la actividad industrial y de transporte, la convierte en una zona proclive a sufrir de altas concentraciones de contaminantes (Perevochtchikova, 2009). Los factores meteorológicos favorecen la contaminación en la capital del país debido, no solo a las condiciones topográficas, sino también porque se tiene una velocidad del viento de alrededor de 2 km por hora con rachas dominantes que soplan del norte y del noroeste. La dirección del viento es un

problema, ya que las industrias se instalaron en el norte del Valle de México, lo que ocasiona que los contaminantes sean arrastrados por el viento hacia las zonas residenciales en el sur (Haddad & Bloomfield, 1964).

Debido a sus problemas de contaminación, la Ciudad de México ha sido pionera en programas piloto para la mejora del transporte, así como para la disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera. La Ciudad cuenta con programas como el Programa de Autorregulación Ambiental de Vehículos a Diésel, análisis con sensores remotos para obtener emisiones en condiciones reales, programas piloto para la implementación de filtros de partículas en vehículos a diésel, programas de chatarrización de unidades de transporte de carga viejos, entre otros.

3.2.1. Calidad de combustibles

La calidad de combustibles en la Ciudad de México siempre ha sido mejor que en el resto del país, teniendo límites en la composición más estrictos que le permiten tener tecnología vehicular más moderna que en otros Estados. Gracias al tipo de combustible vendido en la ZMVM se han podido implementar sustituciones en los sistemas de pasajeros e implementar programas de transporte de carga sustentables y de transporte escolar (SEDEMA, 2018).

En la Ciudad de México, la disponibilidad de diésel UBA ha permitido que los vehículos antiguos tengan menos emisiones de azufre, disminuyendo los efectos de éste, y que se pueda tener vehículos Euro VI más eficientes y menos contaminantes, como los de la línea de Metrobús Línea 7 que va de Campo Marte a Indios Verdes, mostrándose una reducción de más del 99% en material particulado proveniente de vehículos de transporte público. Además de esto, los camiones más antiguos ligeros y pesados en la Ciudad pueden ser acondicionados con sistemas de filtros de partículas para disminuir aún más sus emisiones (Metrobús, 2021).

Aunado a esto, se ha buscado renovar la flota vehicular a través de diferentes programas, como el programa de sustitución de unidades de transporte público de ruta con 10 o más años de antigüedad, dándosele apoyos a los concesionarios para pagar el enganche de unidades nuevas más eficientes (SEMOVI, 2021).

3.2.2. Calidad del Aire

Al tenerse un proceso de industrialización en México, la capital del país empezó a tener un número creciente de industrias, población y vehículos. Poco a poco los efectos de la contaminación fueron observándose en la ciudad. Primero se tuvieron altos niveles de SO₂ y polvo en suspensión y sedimentable. La visibilidad en la ciudad disminuyó entre los años 40s y 60s. Además de las tolveneras que se registraban durante la temporada seca y disminuían aún más la visibilidad en la ciudad (SEDEMA, 2020), (Haddad & Bloomfield, 1964).

Posteriormente, en el mes de febrero de 1987, la Ciudad de México, como se dijo con anterioridad, fue el escenario de un evento que desencadenó el interés público en lo referente a la calidad del aire, la muerte de pájaros en algunas zonas de la ciudad ocasionó la creación de una comisión de expertos de la UNAM, el IPN y la entonces Secretaría del Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) para investigar el caso. El evento no fue esclarecido debido a la falta de recursos, pero permitió que el tema de la contaminación del aire se introdujera a la agenda pública nacional (Sosa; Gustavo et al, 2018).

Derivado de los altos índices de contaminación ocasionados por los automotores, el entonces Departamento del Distrito Federal implementó, en 1989, un programa de revisión de emisiones vehiculares basado en el programa en funcionamiento conocido como BAR (Buró de Reparaciones Vehiculares) del condado de los Ángeles, California (SEDEMA, 2020).

El programa de 1989 fracasó debido a problemas logísticos y a conflictos de interés, pero fue reformulado y en 1993 comenzaron a operar los "Macrocentros de Verificación", posteriormente, en 1996 y 1997 se emitieron convocatorias para establecer centros de verificación vehicular, cuyas autorizaciones vencieron en 2017. En 2018 se emitió una nueva convocatoria para centros de verificación con revisiones de los sistemas a bordo de los vehículos, aunados a las revisiones de emisiones en dinamómetro (SEDEMA, 2020).

Ante la presencia de contaminantes atmosféricos, se instaló un sistema de monitoreo de la calidad del aire, el cual fue evolucionando a través del tiempo, con el fin de

determinar la calidad del aire y emitir alertas en caso de que los límites de los contaminantes criterio fueran sobrepasados. En la Tabla 28 se muestra la evolución del sistema de monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de México.

Tabla 22. Resumen de la historia de la calidad del aire en la Ciudad de México

Década	Aspecto	Quien/Dónde
40's	Mediciones de visibilidad. Se mostraba que la visibilidad era de 4 a 10 km	Observatorio Nacional de Tacubaya
50's	Disminución de visibilidad de 2 a 4 km. Primeras investigaciones donde se confirmaba la existencia de contaminación ambiental	Observatorio Nacional de Tacubaya Dirección de Higiene Industrial de la Secretaría de Salubridad y Asistencia
60's	Se publica el "Estudio del depósito de polvo por gravedad en la Ciudad de México" → áreas con hasta 70km/km ² /mes de polvo en época de tolveneras. (1966) Se instalan las primeras 4 estaciones para el monitoreo de SO ₂ y partículas suspendidas, polvo sedimentable y acidez (1967) Se instala la "Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire (REDPANAIRES)" con 10 estaciones extras a las 4 ya existentes.	Organización Panamericana de la Salud
70's	(1973) Se adquieren nuevos equipos para aumentar a 22 el número de estaciones de monitoreo e integrar la "Red Computarizada Automática de Monitoreo Atmosférico del Valle de México" o "Red Philips" (1976) Se suspende el monitoreo de la Red Philips y solo quedan en operación equipos manuales para el muestreo de partículas suspendidas.	Gobierno mexicano con apoyo de la ONU dentro del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
80's	(1985) Se adquiere un nuevo sistema de monitoreo atmosférico con 25 estaciones, un centro de cómputo y procesamiento, dos radares sónicos y 10 torres meteorológicas. (1986) Inicia la operación de la "Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)" con 25 estaciones midiendo O ₃ , CO, SO ₂ , NO _x , PST u PB. En 10 estaciones se midió Temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento. (1987) Inicia el programa de precipitaciones ácidas en la ZMVM con 4 sitios de muestreo equipadas con colectores convencionales. (1987) Misteriosa muerte de pájaros en la Ciudad. Investigación de posibles causas.	SEDUE
90's	(1993) Se amplía la cobertura de la RAMA, aumentando a 32 estaciones automáticas de monitoreo (1995) Entran en operación 10 estaciones con equipo automático para el monitoreo de Partículas PM ₁₀ (1998) Se instalan en 10 estaciones de la RAMA equipo para medición de radiación UV.	SEDUE, Instituto Nacional de Ecología (INE).
2000-2009	(2000) Se integra el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la	Sedema

Década	Aspecto	Quien/Dónde
	Ciudad de México (SIMAT), unificando RAMA, REDMA, REDMET, REDDA. Se tiene una unidad Móvil de Monitoreo Atmosférico, un laboratorio de Transferencia de estándares, laboratorio de Gravimetría y un centro de cómputo (2003) Inicia monitoreo de partículas PM _{2.5} con 8 equipos automáticos y 7 equipos manuales (2007) Se amplía la cobertura del SIMAT con 3 nuevas estaciones. (2009) Se instala una red para monitoreo de Hidrocarburos tóxicos y reactivos en la ZMVM	
2010-Actualidad	(2010) Rediseño del SIMAT. Se eliminan 10 estaciones, se refuerzan 13 estaciones, inicio de monitoreo de BTEX. 25 años de operación continua. (2012) Cinco nuevas estaciones en el SIMAT. (2017) Discusión sobre el uso de Etanol como oxigenante en gasolinas mexicanas.	Sedema

Fuente: (SEDEMA, 2020)

Los avances en materia de calidad de combustibles, revisión vehicular y de manejo de la calidad del aire en la Ciudad de México deberían ser utilizados como ejemplo para otras ciudades medianas en crecimiento, buscándose implementar o en su caso mejorar los programas que varias de ellas ya tienen.

4. Análisis internacional

Con el fin de proponer posibles acciones que mejoren la política de combustibles mexicana, se eligieron regiones que son un referente internacional en cuanto a composición, calidad y rendimiento de combustibles, control de emisiones y mejoras tecnológicas vehiculares. Para este análisis se decidió estudiar 3 regiones diferentes con escalas de acción a nivel local, nacional y multinacional con amplia experiencia en el tema de políticas de combustible y rendimiento energético. Se eligieron la Unión Europea, Japón y California.

La Unión Europea se eligió porque es una región administrativa comprendida por varios países que buscan homologar normativas con el fin de cumplir con estrictos estándares que permitan mejoras en todo el territorio. En el caso de Japón, este país se seleccionó por su amplia experiencia en materia de rendimiento de combustibles y disminución de emisiones y, finalmente, se escogió a California por ser un territorio con grandes logros, obtenidos a pesar de que el resto de los Estados Unidos cuente con políticas más laxas a este respecto.

A finales de 2019, las asociaciones de fabricantes de automóviles de Japón, la Unión Europea, la alianza de fabricantes de Estados Unidos y la asociación de fabricantes de camiones y motores, también de Estados Unidos publicaron, en un esfuerzo conjunto, la sexta edición de los estatutos mundiales de los vehículos a combustibles gasolina y diésel, conocido como Worldwide Fuel Charter (ACE, AUTO ALLIANCE, EMA, JAMA, 2019). En dicho documento, las características de las tecnologías vehiculares son divididas en 6 categorías, que van de la categoría 1, vehículos sin ningún tipo de requerimiento energético o ambiental, hasta la categoría 6 que comprende a vehículos de última generación con motores más eficientes y menos emisiones de gases de efecto invernadero (Tabla 23).

Tabla 23. Categorías vehiculares según sus normativas en materia de combustible y tecnológicas según el Worldwide Fuel Charter.

	Tipo de mercado	Ejemplos de regulación
Categoría 1	Mercados sin ningún tipo de requerimiento.	-
Categoría 2	Mercados sin requerimientos de control de emisiones	EUA: Tier 1 UE: Euro 2, Euro 3 Estándares de emisión equivalentes
Categoría 3	Mercados con requerimientos de control	EUA: LEV, LEV en California p ULEV UE: Euro 4 JP: JP 2005 Estándares de emisión equivalentes
Categoría 4	Mercados con estándares de emisiones más altos (con tecnologías de postratamiento de NOx y filtros de partículas).	EUA: Tier 2, Tier 3, California LEVII EU: Euro 4, Euro 5, Euro 6/6b JP: JP 2009 Estándares de emisión equivalentes
categoría 5	Mercados con requerimientos avanzados de control de emisiones (control de GEI y manejo de eficiencia de combustible). Se busca minimizar las emisiones reales vehiculares (desde 2017).	EUA: Tier 3, Bin5, LEV III en California UE: Euro 6c, Euro 6dTEMP, Euro 6d, metas de la UE en CO2 China: 6a, 6b
categoría 6	Mercados con un potencial control de emisiones y eficiencia de combustibles más estrictos que los de la categoría 5. Esta categoría permite la introducción de motores y vehículos con mayores eficiencias y menores emisiones de escape y especifica las características de gasolinas con una menor intensidad de carbón, permitiendo así un mayor rendimiento de combustibles y disminuyendo las emisiones de GEI.	Futuras regulaciones en EUA de vehículos ligeros con respecto a los GEI y estándares de economía de combustibles para el control de CO ₂ en la Unión Europea.

Fuente: Elaboración propia con información de (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019)

Las categorías propuestas son un reflejo de la madurez de los mercados existentes, pasando de los mercados con tecnologías menos avanzadas a los que tienen tecnología de punta. Los fabricantes mejoran los vehículos con el fin de cumplir con las regulaciones; entre más estrictas son las políticas de calidad y rendimiento de combustible, así como las ambientales, mejor tecnología se tiene (ACE, AUTO ALLIANCE, EMA, JAMA, 2019).

Tabla 24. Composición de combustibles según las asociaciones de fabricantes de vehículos de Japón, Estados Unidos y la Unión Europea para gasolina

		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5		Categoría 6	
Unidades		Min	máx.	Min	Max	Min	máx.	Min	Max	Min	Max
Octanaje RON -		Tres tipos ¹⁵		Tres tipos		Tres tipos		Dos tipos		Dos tipos	
		Mín. 91	-	Mín. 91	-	Mín. 91	-	Mín. 95	-	Mín. 95	-
		Mín. 95	-	Mín. 95	-	Mín. 95	-	Mín. 98	-	Mín. 98	-
Octanaje MON -		Tres tipos		Tres tipos		Tres tipos		Dos tipos		Dos tipos	
		Mín. 82.5	-	Mín. 82.5	-	Mín. 82.5	-	Mín. 85	-	Mín. 85	-
		Mín. 85	-	Mín. 85	-	Mín. 85	-	Mín. 88	-	Mín. 88	-
Azufre	mg/kg	-	150	-	30	-	10	-	10	-	10
Olefinas	% v/v	-	18	-	10.0	-	10	-	10	-	10
Aromáticos	% v/v	-	40	-	35	-	35	-	35	-	35
Benceno	% v/v	-	2.5	-	1.0	-	1.0	-	1.0	-	1.0
Densidad	Kg/m ³	715	770	715	770	715	770	720	775	720	775
Oxígeno¹⁶	% m/m	-	2.7	-	2.7	-	2.7	-	3.7	-	3.7

Fuente: (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019)

Tabla 25. Tablas de volatilidad para todas las categorías

Categorías 2 a 6						
Clase	Unidad	A	B	C	D	E
Temperatura ambiente (rango)	°C	>15	5 a 15	-5 a + 5	-5 a -15	<-15
Presión de vapor	kPa	45-60	55-70	65-80	75-90	85-105
T10 máx.	°C	65	60	55	50	45
T50¹⁷	°C	77-100	77-100	75-100	70-100	65-100
T90	°C	130-175	130-175	130-175	130-175	130-175
Temperatura de ebullición final	°C	205	205	205	205	205

Fuente: (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019).

¹⁵ El primer tipo corresponde a la gasolina 91RON con un MON de 82.5 mínimo, el segundo a 95 RON con un MON de 85 mínimo y la 98 RON con un MON mínimo de 88

¹⁶ Los éteres son aceptables. En la categoría 2-4 se acepta hasta 3.7% de oxígeno cuando se tiene un 10% de etanol en %v/v.

¹⁷ Para las gasolinas con 3.7 %m/m de oxígeno, T50 debe estar entre 65 y 100°C para todas las clases.

Tabla 26. Composición de combustibles según las asociaciones de fabricantes de vehículos de Japón, Estados Unidos y la Unión Europea para diésel

Propiedades	Unidades	Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5		Categoría 6	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Número de cetano	-	48	-	51	-	53	-	55	-	55	-
índice cetano	-	48.0 (45.0)	-	51.0 (48.0)	-	53.0(50)	-	55.0 (52.0)	-	55.0 (52.0)	-
densidad @15°C	kg/m3	820	860	815	850	815	840	815	840	815	840
Viscosidad @40°C	mm ² /s	2	4.5	2	4	2	4	2	4	2	4
Azufre	mg/kg	-	2000	-	300	-	50	-	10	-	10
Trace metal	mg/kg	-	-	-	no detectable	-	no detectable	-	no detectable	-	no detectable
PAH (di+, tri+)	%m/m	-	-	-	5	-	3	-	2	-	2
Aromáticos totales	%m/m	-	-	-	25	-	20	-	15	-	15
T95	°C	-	370	-	355	-	350	-	340	-	340
T90	°C	-	-	-	340	-	320	-	320	-	320
Punto de ebullición	°C	-	-	-	365	-	350	-	350	-	350
Flash Point	°C	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-
Residuo de carbón	%m/m	-	0.3	-	0.3	-	0.2	-	0.2	-	0.2
Agua	mg/kg	-	500	-	200	-	200	-	200	-	200
método 1	g/m ³	-	25	-	25	-	25	-	-	-	-
Método 2^a	Horas	30	-	35	-	35	-	35	-	-	-
Método 2b	mg KOH/g	-	0.12	0.12	-	-	0.12	-	0.12	-	-
Método 2c	Minutos	-	-	65	-	65	-	65	-	65	-
Crecimiento biológico	-	-	-	-	Cero	-	Cero	-	Cero	-	cero
FAME	%v/v	60	-	-	5	-	5	-	5	-	-
Otros biocombustibles	%v/v	-	5%	-	-	-	-	-	-	-	-
Numero de acidez total	mg KOH/g	-	-	-	0.08	-	0.08	-	0.08	-	0.08
etanol/metanol	%v/v	-	Clase 1	-	no detectable	-	no detectable	-	no detectable	-	no detectable
Cenizas	%m/m	-	0.01	-	0.01	-	0.01	-	0.001	-	0.001
Lubricidad	Micrón	-	460	-	460	-	460	-	400	-	400
limpieza del inyector	%pérdida del flujo de aire	-	-	-	85	-	85	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia con información de las (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019).

A continuación, se detallan los casos internacionales de 3 mercados maduros que serán utilizados para la comparación con México, iniciando por la Unión Europea.

4.1. Unión Europea

La Unión Europea como el bloque económico y político que se conoce hoy en día surgió en la década de los 90s, después de la firma de los tratados de Maastricht en 1993 y el de Ámsterdam en 1999. Las leyes en la Unión Europea son aprobadas por el Parlamento Europeo, el cual está establecido con un consejo de representantes de los 27 países miembros. Antes de proponer nuevas iniciativas, la Comisión evalúa las posibles consecuencias económicas, sociales y ecológicas, analizando ventajas y desventajas (Unión Europea, 2020). En esta tesina se abordará la historia de las regulaciones en materia de calidad y rendimiento de combustibles, por lo que las acciones de los países miembros antes de pertenecer a la Unión no serán mencionadas.

Para la Unión Europea tener vehículos limpios y eficientes juega un rol muy importante para cumplir con sus objetivos de reducción de consumo de energía, de emisiones de CO₂ y de las emisiones de otros contaminantes (Comisión Europea, 2020).

En la Unión Europea se busca establecer un mercado único a través de los diferentes países miembros, con el fin de que los vehículos puedan operar en cualquier parte de la región teniendo combustibles compatibles y cumpliendo con altos estándares de calidad y cuidado al ambiente. Como parte de la política de combustibles europeas se tiene la directiva 98/70/CE del parlamento europeo. La directiva de combustibles aplica a gasolina, diésel y biocombustibles usados tanto en transporte como en maquinaria fuera de ruta (Comisión Europea, 2020).

En esta directiva, no solo se determina la composición que los combustibles deben tener, sino que también se exige un aumento en la eficiencia energética y reducción en la intensidad de emisión de gases de efecto invernadero en un 6% para 2020. Por otro lado, esta directiva se encuentra relacionada a la directiva 2015/652 de energía renovable, que regula, entre otras cosas, la sustentabilidad de los biocombustibles analizando sus emisiones a lo largo de su ciclo de vida (Comisión Europea, 2020).

Tabla 27. Resumen de regulaciones de combustible y transporte en la Unión Europea

Año	Estándar/ regulación
2009	Regulación (EC) 443/2009. Se establecen estándares de emisiones de CO ₂ para nuevos vehículos de pasajeros.
2011	Regulación (EU) 510/2011. Nuevos estándares de emisión de CO ₂ para Vans.
2019	Regulación 2019/1161. Promoción de vehículos limpios y eficientes energéticamente. (Modificaciones a la directiva 2009/33/EC)
2019	Regulación (EU) 2019/631. Nuevos estándares de emisión de CO ₂ para vehículos de pasajeros nuevos y para Vans en la Unión Europea. Metas para 2025 y 2030.

Fuente: (Comisión Europea, 2020)

La Unión Europea se ha comprometido a disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero para combatir el cambio climático, gracias a esto y debido a que la emisión de CO₂ está directamente relacionada a los combustibles y al rendimiento de combustibles, las metas de emisión de CO₂ han permitido grandes avances en calidad y rendimiento de combustibles.

4.1.1. Calidad de combustibles

La calidad de los combustibles en la Unión Europea se encuentra descrita en la directiva 98/70/CE del parlamento europeo, el cual presenta el límite mínimo que los Estados miembros deben cumplir (Comisión Europea, 2020).

La Unión Europea es muy estricta en los contenidos de olefinas, aromáticos, benceno, azufre y oxigenantes en la gasolina; así como en los hidrocarburos, azufre y oxigenantes en el diésel comercializado. Es interesante observar que tanto en gasolina como en diésel el límite máximo de azufre presente es de 10 ppm, permitiéndose el uso de etanol al 10% en gasolinas (Tabla 28) (Parlamento Europeo, 2015).

Tabla 28. Límites de calidad de combustibles establecidos en la Unión Europea

Calidad de gasolina				Calidad de diésel			
Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo
Octanaje RON	-	95	-	Índice de cetano	-	51	-
Octanaje MON	-	85	-	Densidad a 15°C	Kg/m ³	-	845
Presión de vapor	kPa	-	60	Destilación 95%vol	°C	-	360
Olefinas	% v/v	-	18	Hidrocarburos			
Aromáticos	% v/v	-	35	policíclicos	% m/m	-	8
Benceno	% v/v	-	1	aromáticos			
Contenido de	% m/m	-	3.7	Contenido de	mg/kg	-	10

oxígeno			
Metanol	% v/v	-	3
Etanol	% v/v	-	10
Alcohol isopropílico*	% v/v	-	12
Alcohol terc-butílico*	% v/v	-	15
Alcohol isobutílico*	% v/v	-	15
Azufre	mg/kg	-	10
Plomo	g/l	-	0.005

Azufre			
Contenido de FAME	%v/v	-	7

*puede usarse solo alguno de los oxigenantes
Fuente: (Parlamento Europeo, 2015)

4.1.2. Rendimiento de combustible

El rendimiento de combustibles en la Unión Europea se implementó desde 2012, cuando se estableció una meta regulatoria de 130 gramos de CO₂ por kilómetro para ser aplicado entre 2015 y 2019, lo cual correspondía a un consumo de aproximadamente 17.8 km/l de gasolina y 20.4 km/l de diésel (Comisión Europea, 2020).

En abril de 2019 el Parlamento Europeo adaptó la regulación (EU) 2019/631, en donde se establecieron estándares de emisiones para autos y vans nuevos para ser implementado entre 2025 y 2030; estableciéndose un nuevo límite mínimo de 24.4 km/l para gasolina y 27.7 km/l para diésel (Comisión Europea, 2020). Esta actualización, decidida con 7 años de diferencia, significa un aumento de rendimiento de combustible de 6.6 km/l (37%) para gasolina y de 7.3 km/l (36%) para vehículos a diésel.

Esta regulación se encuentra descrita en términos de emisiones vehiculares con equivalencias a rendimientos de combustible y sus incumplimientos son descritos en términos de emisiones en exceso por cada vehículo registrado, debiendo pagar los fabricantes las multas aplicables según la regulación. (Comisión Europea, 2020).

4.1.3. Calidad del Aire

Como puede verse en el apartado de rendimiento de combustible, las emisiones de CO₂ son relacionadas con la cantidad de combustible consumido por kilómetro en la regulación europea. Este acercamiento se tiene desde 2009, cuando se aplicaron los

primeros límites de emisiones para vehículos de pasajeros nuevos y desde 2011 para vans (Parlamento Europeo, 2019).

Este estándar no solo especifica los límites de emisión de CO₂, sino que también les solicita a los fabricantes que demuestren que las emisiones de sus vehículos se encuentran dentro de los límites permitidos. Se debe asegurar que haya correspondencia entre las emisiones de CO₂ descritas en los certificados de conformidad de los vehículos con las emisiones medidas a partir de la prueba “Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure” (WLTP). Las emisiones reales serán comparadas con las obtenidas en pruebas de laboratorio a partir de 2021, utilizando los equipos de medición en los autos “On-board fuel consumption monitoring devices” (OBFCM) o equipo de monitoreo de consumo a bordo. (Comisión Europea, 2020)

La revisión de la diferencia entre las mediciones en laboratorio y las reales se revisará entre 2021 y 2026 para analizar la posibilidad de implementar un mecanismo que permita ajustar los promedios de CO₂ emitidos con los mostrados por los fabricantes en 2030. (Comisión Europea, 2020).

La Unión Europea cuenta también con estándares de emisión de otros contaminantes conocidos como estándares EURO, además del CO₂, llevándose a cabo inspecciones vehiculares obligatorias para corroborar que las emisiones se encuentren dentro de los límites permitidos. Los estándares EURO se identifican con números arábigos en el caso de vehículos a gasolina y con números romanos en el caso del diésel (Unión Europea, 2021).

Los límites de emisiones tanto de vehículos a gasolina como de vehículos a diésel restringen la emisión de CO, hidrocarburos, NOx y material particulado, incluyendo en las últimas actualizaciones (EURO VI y 6) límites en el número de partículas emitidas a la atmósfera (

Tabla 29 y

Tabla 30). Cada nueva regulación incluye mejoras en el límite de al menos uno de los contaminantes.

Tabla 29. Límites europeos de emisiones en gasolina

Tipo	Año	Límite de emisiones Gasolina (g/km)				
		CO	HC	NO _x	PM	Número de partículas
EURO 1	1992	2.72	-	-	-	-
EURO 2	1996	2.2	-	-	-	-
EURO 3	2000	2.30	0.20	0.15	-	-
EURO 4	2005	1	0.10	0.08	-	-
EURO 5	2009	1	0.10	0.06	0.005	-
EURO 6	2014	1	0.10	0.06	0.005	6.0X10 ¹¹

Fuente: (DieselNet, 2021a)

Tabla 30. Límites europeos de emisiones en diésel

Tipo	Año	Límite de emisiones Diésel (g/km)				
		CO	HC+NO _x	NO _x	PM	Número de partículas
EURO I	1992	2.72	0.97	-	0.14	-
EURO II	1996	1	0.7	-	0.08	-
EURO III	2000	0.64	0.56	0.50	0.05	-
EURO IV	2005	0.50	0.30	0.25	0.025	-
EURO V a	2009	0.50	0.23	0.18	0.005	-
EURO V b	2011	0.50	0.23	0.18	0.005	6.0X10 ¹¹
EURO VI	2014	0.50	0.17	0.08	0.005	6.0X10 ¹¹
EURO VI (vehículos pesados >2.6ton)	2013	4	-	0.46	0.01	6.0X10 ¹¹

Nota: La tabla se refiere a vehículos a diésel ligeros excepto el último punto.

Fuente: (DieselNet, 2021a)

El cumplimiento de los estándares de emisión es verificado a través de diferentes instrumentos que castigan el incumplimiento, fomentando una mejora continua en las tecnologías vehiculares.

4.1.4. Instrumentos de cumplimiento

En la Unión se tienen diferentes instrumentos de cumplimiento de rendimiento de combustible y de los límites de emisión de contaminantes. Por ejemplo:

Multas

- Si los fabricantes de vehículos exceden las metas de emisiones de CO₂ al año, deben pagar por el exceso de emisiones por cada vehículo registrado. Desde 2019, la multa es de 95 Euros por cada g/km excedente (Comisión Europea, 2020).
- Incentivos

- o Los fabricantes reciben como incentivo el conseguir créditos para introducir al mercado vehículos de alto rendimiento y bajas emisiones o eléctricos de cero emisiones (que emitan menos de 50 g/km de CO₂) (Comisión Europea, 2020).

A continuación, se describe el caso nacional de Japón.

4.2. Japón

Japón es el segundo mayor productor de vehículos y el tercer mayor mercado de automóviles en el mundo. Los requerimientos de control de emisiones vehiculares en Japón se encuentran entre el más estricto en Asia y uno de los más estrictos en el mundo; por lo que su flota de vehículos de pasajeros es muy eficiente (ICCT, 2020).

La historia de la regulación del transporte en Japón inició desde los años 50s, cuando se expidió la ley 185 que especificaba los requerimientos de control y seguridad en vehículos. En los años 70s se inició la regulación en materia de consumo de energía, estableciéndose los primeros requerimientos en materia de conservación de energía y rendimiento de combustibles (ICCT, 2019), (Fung, 2011).

En los años 90s, con la apertura del mercado japonés a importaciones de combustibles y el establecimiento de metas ambientales derivadas de la firma del Protocolo de Kioto, Japón inició la implementación de programas más estrictos para lograr reducir su consumo de energía y emisiones a la atmósfera (Tabla 31) (ICCT, 2019), (Fung, 2011).

Tabla 31. Historia de la regulación vehicular en Japón

1951	Ley No. 185. Especifica requerimientos de control de contaminación y seguridad en vehículos, así como el mantenimiento y reparación de motores vehiculares.
1968	Ley No. 97. Ley de control de contaminación del aire regula las emisiones de plantas industriales y vehículos de motor
1976	Ley No. 88. Ley de control de la Calidad de la Gasolina y de otros combustibles.
1979	Ley No. 49. Racionalización del consumo de energía. Establece los requerimientos de la conservación de energía y rendimiento de combustibles.
1996	Se elimina la prohibición de importación de derivados de petróleo.
1997	Se Aprueba el Protocolo de Kioto. Japón debía lograr una reducción del 6% de las emisiones de GEI para 2008-2012, comparado con niveles de 1990.
1998	Se implementa el Programa "Top Runner". En diciembre de 1998 Se publica el reporte final de vehículos de carga y pasajeros (gasolina/Diesel pesando 2.5 ton o menos)
2003	Vehículos de pasajeros (conservación de energía, medición y estándares para vehículos a gas licuado de petróleo)
2005	Vehículos pesados (vehículos a diésel de pasajeros y carga pesando más de 3.5 ton). Primera

	regulación a nivel mundial relativa a consumo de combustible.
2007	Vehículos de carga y pasajeros (diésel y gasolina pesando 3.5 ton o menos)
2011	Vehículos de pasajeros (gasolina/diésel/gas licuado de petróleo con peso de 3.5 ton o menos).
2018	Entrada en vigor de nuevos límites de emisiones en vehículos de pasajeros a gasolina y diésel, así como de vehículos ligeros de carga.
2019	Vehículos de pasajeros (gasolina, diésel, gas licuado de petróleo, vehículos eléctricos con baterías y vehículos híbridos “plug-in”). Considera un cambio en el método de prueba de los estándares, análisis comparativos de eficiencia “up stream” para poder comparar a los vehículos eléctricos e híbridos y actualizaciones en la etiqueta de rendimiento de combustible.

Fuente: (Morisaki & Takahashi, 1980), (The Energy Conservation Center, Japan, 2020), (ICCT, 2019), (Fung, 2011), (Japan government, 2020)

Como primer punto de la política de combustibles japonesa se analizará su normatividad en calidad de combustibles.

4.2.1. Calidad de Combustibles

La calidad de los combustibles se encuentra regulada en Japón por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) a través de la Agencia de Recursos Naturales y Energía. La ley que establece las especificaciones límite de gasolina y diésel se encuentran en la ley de control de calidad de combustibles. Todos los fabricantes, importadores y distribuidores de combustibles deben cumplir con la calidad de venta en Japón, siendo inspeccionada a nivel gubernamental (Ministry of the Environment of Japan, 2020).

Los japoneses regulan el contenido de azufre tanto en la gasolina como en el diésel, teniéndose un límite máximo de 10 ppm para ambos combustibles. Es interesante observar que contemplan el uso de dos oxigenantes, MTBE y etanol en una proporción de 7 y 3 por ciento respectivamente (Tabla 32)

Tabla 32. Características de la gasolina y el diésel en Japón

Propiedades de la gasolina			Propiedades del diésel		
Propiedad	Unidad	Valor de estándar	Propiedad	Unidad	Valor de estándar
Plomo	-	No detectable	índice de cetano	-	min. 45
Azufre	ppm	10	Azufre	ppm	10 ppm
MTBE	%vol.	máx. 7%	Destilación, T₉₀%	°C	máx. 360
Benceno	%vol.	máx. 1%			
Queroseno	%vol.	máx. 4%			
Metanol	-	no detectable			
Color	-	Naranja			
Contenido de oxígeno	% masa	máx. 1.3%			

Fuente: (ICCT & DieselNet, 2020)

Etanol	%vol.	máx. 3
Octanaje	-	Regular: 89 min Premium: 96 min
Densidad	g/cm3	0.783
Presión de vapor	kPa (kgf/cm2)	44-78

Fuente: (ICCT & DieselNet, 2020)

La calidad de los combustibles en Japón fue analizada desde 1976 cuando se promulgó la ley de control de calidad de combustibles que establece la calidad mínima permitida en el país. En 1996, al eliminarse la prohibición en la importación de combustible, se implementó un programa de inspección de calidad de combustible muy estricto. La ley obliga a las refinerías e importadores a medir la calidad de los combustibles antes de la distribución y venta, siendo ellos quienes comparten la responsabilidad en caso de que se encuentren calidades que no cumplan con los requerimientos normativos.

Además de los estándares de calidad de combustible, Japón tiene estándares de rendimiento de combustible muy estrictos que son actualizados constantemente.

4.2.1. Rendimiento de combustible

Los estándares de eficiencia energética iniciaron en Japón a partir de 1980, al principio no lograron mejoras debido a que no había un procedimiento estándar explícito para la determinación de los métodos, así como el poco seguimiento que se tenía (Future Policy, 2020).

Posteriormente, cuando se firmó el Protocolo de Kioto en 1997, Japón se comprometió a reducir un 6% sus emisiones GEI de 1990 para el periodo 2008-2012. Debido a esto, Japón introdujo en 1998 un programa conocido como "Top Runner", en el cual se implementaban una serie de estándares de eficiencia energética en productos, ya sea por su alto consumo energético o su oportunidad de mejoramiento, como es el caso de los electrodomésticos y vehículos automotores (Naciones Unidas, 2020).

El programa "Top Runner" es manejado por el Ministerio del Ambiente Japonés, quien puede emitir recomendaciones, órdenes y multas en caso de que las metas no sean cumplidas; además de publicar los nombres de las compañías que cumplen y las que incumplen. El programa es ampliamente apoyado por el sector industrial,

encontrándose envueltos dentro del establecimiento de las metas futuras, ya que la eficiencia energética es considerada una ventaja competitiva. Además de esto, la maquinaria y equipo más eficientes son promovidos a través de un programa de etiquetado en donde se muestra el gasto de energía y una puntuación de ahorro de energía relativa representada con estrellas (siendo 5 estrellas el máximo) (Future Policy, 2020).

Los estándares de rendimiento de combustible japonés son actualizados con frecuencia, haciéndose proyecciones con los futuros límites que se podrían obtener a partir de la tecnología vehicular disponible al momento de hacer el estándar. Para hacer lo estándares, el grupo de expertos dividió los pesos de vehículos en 16 rangos discretos con eficiencias mayores a medida que el vehículo es menos pesado y más compacto. Al actualizar las proyecciones de 2015 a 2020 se obtuvieron mejoras en todos los rangos de peso (Tabla 33).

Tabla 33. Comparación de estándares de rendimiento de combustible en vehículos a gasolina por peso en Japón.

Categoría	Peso del vehículo a gasolina (kg)	Estándar de rendimiento a 2015 (km/l)	Estándar de rendimiento a 2020	% de mejora
1	menos de 600	22.5	24.6	8.54
2	601 – 740	21.8	24.6	11.38
3	741-855	21	24.5	14.29
4	856-970	20.8	23.7	12.24
5	971-1,080	20.5	23.4	12.39
6	1,081 - 1,195	18.7	21.8	14.22
7	1,196 - 1,310	17.2	20.3	15.27
8	1,311 - 1,420	15.8	19	16.84
9	1,421 - 1,530	14.4	17.6	18.18
10	1,531-1,650	13.2	16.5	20.00
11	1,651-1,760	12.2	15.4	20.78
12	1,761-1,870	11.1	14.4	22.92
13	1,871-1990	10.2	13.5	24.44
14	1,991-2,100	9.4	12.7	25.98
15	2,101-2,270	8.7	11.9	26.89
16	mayor a 2,271	7.4	10.6	30.19

Fuente: Elaboración propia a partir de (Comité de evaluación de estándares vehiculares, 2007), (Comité de evaluación de estándares vehiculares, 2011)

En el caso del diésel, también se establecieron rangos discretos que determinaron los estándares de rendimiento según el peso del vehículo, y al igual que con los vehículos

a gasolina, se observa una mayor eficiencia del combustible a menores pesos vehiculares (Tabla 34).

Tabla 34. Comparación de estándares de rendimiento de combustible en vehículos a diésel por peso en Japón.

Categoría	Peso del vehículo de carga a diésel (toneladas)	Estándar de rendimiento a 2015 (km/l)
1	3.5 <peso<7.5 (carga menor a 1.5 t)	10.83
2	3.5 <peso<7.5 carga entre 1.5 y 3 t	10.35
3	3.5 <peso<7.5 carga entre 2 y 3 t	9.51
4	3.5 <peso<7.5 carga mayor a 3 t	8.12
5	7.5 <peso<8	7.24
6	8.0 <peso<10	6.52
7	10 <peso<12	6.00
8	12 <peso<14	5.69
9	14 <peso<16	4.97
10	16 <peso<20	4.15
11	Mayor a 20	4.04

Fuente: Elaboración propia a partir de (Comité para de evaluación de estándares vehiculares para vehículos pesados, 2005).

El 3 de junio de 2019, los Ministerios de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo, así como el Ministerio de Economía, Comercio e Industria publicaron los nuevos estándares para vehículos de pasajeros con metas de eficiencia de combustible actualizadas a 2030. En esta actualización, se incluyó también la eficiencia energética de vehículos eléctricos, añadiendo métodos comparativos entre combustibles fósiles y electricidad (Tabla 35). Además de esto, se actualizaron tanto el ciclo de prueba de la eficiencia como el etiquetado de los vehículos (ICCT, 2019).

Tabla 35. Fórmula para determinar los rendimientos de combustible equivalentes a gasolina

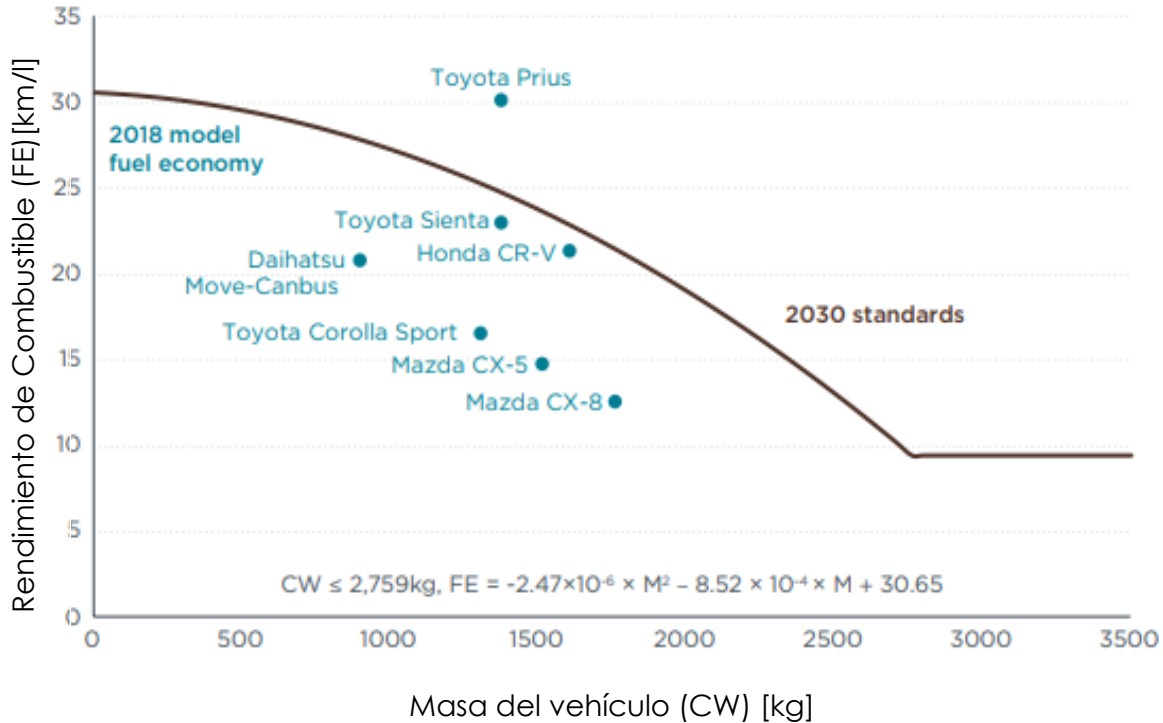
Tipo de vehículo	Equivalencia de rendimiento de combustible base gasolina [km/l]
Gasolina	$FE_{gasolina}$ (1)
Diésel	$FE_{gasolina} = \frac{FE_{diésel}}{1.1}$ (2)
Gas licuado de petróleo	$FE_{gasolina} = \frac{FE_{Gas LP}}{0.74}$ (3)
BEV	$FE_{gasolina} = \frac{6,750}{\text{consumo de energía en } \left[\frac{Wh}{km}\right]}$ (4)
PHEV	$FE_{gasolina} = \frac{1}{UF * \left(\frac{1}{FE_{CD}} + \frac{1}{6.75 * \frac{R_{CD}}{E_1}} \right) + \frac{1-UF}{FE_{CS}}}$ (5)

Donde: FE= Fuel Economy (rendimiento de combustible), CD= charging depleting (descarga energética de la batería), CS=charging sustaining (carga sostenida); RCD=driving range (rango de conducción) [km]; E₁ =battery capacity (capacidad de la batería) [kWh].

Fuente: (ICCT, 2019)

Las metas de rendimiento de combustible previas a la proyectada para 2030 eran descritas con rangos discretos, mientras que para la última edición se propusieron límites a partir de la utilización de una ecuación (Figura 8), la cual fue obtenida al analizar el rendimiento promedio de combustible de los vehículos en circulación y proyectar las mejoras esperadas a futuro.

Figura 8. Metas de rendimiento de combustible para vehículos de pasajeros a 2030, publicados en 2019.



Fuente: Imagen tomada del reporte de (ICCT, 2019)

La ecuación propuesta como límite en el rendimiento de combustible para vehículos con un peso menor a 2,759 kg es la siguiente:

$$FE = -2.47 \times 10^{-6} * CW^2 - 8.52 \times 10^{-4} * CW + 30.65 \quad (6)$$

donde CW es el peso del vehículo (del inglés car weight).

Con esta ecuación se puede observar que se requiere que todos los autos compactos y ligeros tengan una mayor eficiencia de combustible, cercana a 30 km/l.

Las mejoras en rendimiento de combustible obtenidas gracias al programa “Top Runner” han permitido una mejora sustancial en el rendimiento de combustible que

ha, a su vez, permitido una disminución promedio anual de 25,000 MtCO₂ entre 2008 y 2012, ayudando al país con sus metas internacionales de reducción de emisiones de CO₂ (Future Policy, 2020).

4.2.2. Estándares de emisión de gases de combustión vehiculares

Japón cuenta con estándares de emisiones y un riguroso programa de inspección vehicular. La asociación de inspección de vehículos japonesa (VIA) se estableció en 1949; como una institución neutral que se encarga de mejorar la seguridad de los consumidores a partir de la realización de inspecciones de emisiones vehiculares. (Japan Vehicle Inspection Association, 2020).

Las inspecciones vehiculares en Japón incluyen las siguientes revisiones: una revisión visual para detectar posibles fugas, una inspección mecánica y de gases de combustión, revisión de seguridad; además de revisiones documentales (Japan Vehicle Inspection Association, 2020).

Los estándares de emisiones vehiculares tanto para vehículos a gasolina como para vehículos a diésel son actualizados constantemente y divididos por peso de los vehículos, siendo los mostrados en la Tabla 36 los más recientes (Ministry of the Environment of Japan, 2019).

Tabla 36. Estándares de emisiones vehiculares (gasolina y diésel)

Categoría			Componente	Año	Valor estándar (g/km)
Gasolina	vehículos de pasajeros		CO	2018	2.03 (1.15)
			NMHC		0.16 (0.10)
			NOx		0.08 (0.05)
			PM		0.007 (0.005)
	Camiones y autobuses	Camiones ligeros (menos de 1.7 t)	CO	2018	2.03 (1.15)
			NMHC		0.16 (0.10)
			NOx		0.08 (0.05)
			PM		0.007 (0.005)
		Camiones intermedios (entre 1.7 y 3.5 t)	CO	2019	4.48 (2.55)
			NMHC		0.23 (0.15)
			NOx		0.11 (0.07)
			PM		0.009 (0.007)
		Camiones pesados (más de 3.5 t)	CO	2005	21.3 (16.0)
			NMHC		0.31 (0.23)
			NOx		0.9 (0.7)
			PM		0.013 (0.010)
Diésel	vehículos de pasajeros		CO	2018	2.03 (0.63)
			NMHC		0.037 (0.024)
			NOx		0.23 (0.15)
			PM		0.007 (0.005)
	Camiones y autobuses	Camiones ligeros (menos de 1.7 t)	CO	2018	2.03 (0.63)
			NMHC		0.037 (0.024)
			NOx		0.23 (0.15)
			PM		0.007 (0.005)
		Camiones intermedios (entre 1.7 y 3.5 t)	CO	2019	4.48 (0.63)
			NMHC		0.037 (0.024)
			NOx		0.36 (0.24)
			PM		0.009 (0.007)
		Camiones pesados (más de 3.5 t)	CO	2016	2.95 (2.22)
			NMHC		0.23 (0.17)
			NOx		0.7 (0.4)
			PM		0.013 (0.010)

Fuente: (Ministry of the Environment of Japan, 2019)

Además de la calidad, rendimiento de combustible y emisiones vehiculares, los japoneses tienen instrumentos de cumplimiento que promueven que se cumplan los estándares antes mencionados.

4.2.3. Instrumentos de cumplimiento

En Japón hay una relación muy estrecha entre el gobierno y las empresas, lo que permite establecer e implementar estándares competitivos de rendimiento y de calidad de combustibles. Dentro de los instrumentos de cumplimiento en Japón se tienen (Future Policy, 2020):

- Promoción de vehículos más eficiente y etiquetado especial.
- Multas a fabricantes que incumplan con los límites mínimos

- Publicación de listados con empresas que cumplen y empresas que no cumplen para permitir que el público seleccione los mejores productos y evite a los incumplidores.

A continuación, se describirá la política de combustibles en el Estado de California, con el fin de demostrar que a nivel estatal también se pueden tener buenos avances en materia de combustibles.

4.3. California

California es el Estado más poblado en Estados Unidos de América; teniendo la economía más grande y es el segundo lugar en consumo total de energía del país, después de Texas. El perfil de consumo de energía californiano se encuentra dominado por el sector transporte; siendo este Estado el que presenta la mayor cantidad de vehículos registrados, kilómetros recorridos totales y tiempos de traslado en todo el país. A pesar de esto, California es una de las regiones con el menor consumo de energía per cápita en Estados Unidos (Energy Information Administration, 2020).

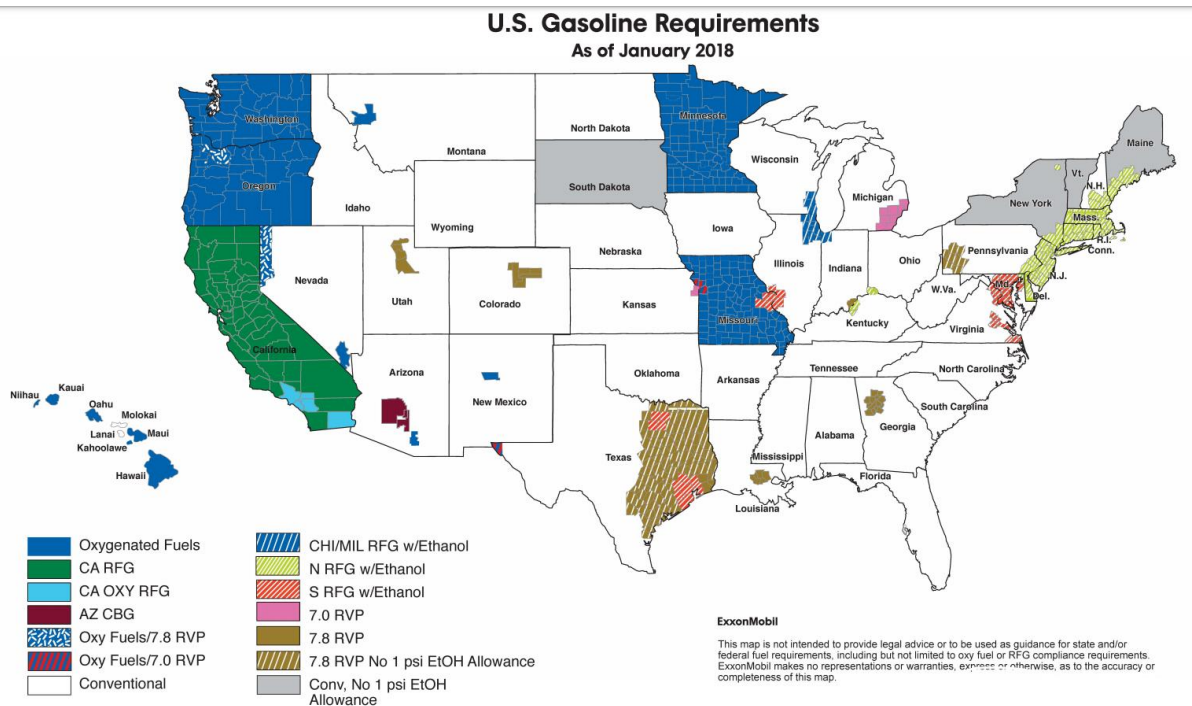
California cumple con estándares más estrictos y programas más ambiciosos que los exigidos en el resto del país debido a sus características geográficas y climáticas que la vuelven susceptible a contingencias ambientales (Center for Transportation ENO, 2019). A nivel nacional, la "Environmental Protection Agency" (EPA) o Agencia de Protección Ambiental en español, maneja un programa de cumplimiento de combustibles que combina el registro, inspecciones extensivas, monitoreo de la calidad de los combustibles, un registro con los reportes y una serie de penalizaciones rígidas por no cumplimiento. El cumplimiento de la calidad de combustibles es seguido en toda la cadena de suministro mediante auditorías realizadas al azar por laboratorios independientes en refinerías, instalaciones de importadores, pipas, estaciones de carga, etc. (Fung, 2011).

En Estados Unidos, se requiere que se agreguen aditivos detergentes a la gasolina para reducir la acumulación de depósitos en los motores y sistemas de suministro de combustible, los cuales son requeridos bajo el "Clean Air Act" (CAA) y deben estar certificados por la EPA. (Fung, 2011). Además de esto, la EPA limitó el contenido de

azufre en los combustibles desde los años 90. Actualmente, se permite a nivel nacional, un máximo de 15 ppm de azufre en diésel y un máximo de 20 ppm en gasolina, con un promedio de 15 ppm.

Estados Unidos ha intentado implementar el estándar Tier 3 de la EPA, buscando disminuir el contenido de azufre en gasolina a 10 ppm empezando en grandes refinerías en 2017 y continuando en refinerías pequeñas para 2020, pero aún no se ha conseguido en su totalidad. Aún en 2019 había gasolinas con contenidos de azufre superiores a 20 ppm (EPA, 2021). La calidad de los combustibles varía entre las diferentes zonas del país como se muestra a continuación en la Figura 9.

Figura 9. Estándares de combustible en Estados Unidos (enero de 2018)



Fuente: obtenido de (American Petroleum Institute, 2018)

En California, el “Programa de Transporte limpio”, previamente conocido como Programa de combustibles alternativos, renovables y tecnología vehicular” fue establecido en 2007 a partir del Proyecto de Ley de la Asamblea 118 “Assembly Bill 118”, el cual se implementó el 1ro de enero de 2008 y fue extendido hasta el 1ro de enero de 2024 gracias a la Assembly Bill número 8 de 2013. Dicho programa juega un importante rol en las ambiciones de California en temas de cambio climático, calidad

del aire, reducción del uso de derivados de petróleo y adopción de vehículos cero emisiones, promoviendo el desarrollo sustentable a largo plazo en el Estado. (Tabla 37) (California Energy Commission, 2020).

Tabla 37. resumen de regulaciones energéticas y ambientales en California

Año	Regulación
1970	Se regulan las emisiones a la atmosfera a través de la ley federal de aire limpio (Clean Air Act, CAA).
1977	Se hacen modificaciones a la ley federal de aire limpio.
1984	Crisis ambiental en Los Ángeles, California, la cual daría paso al BAR (Buró de Reparaciones Vehiculares).
1990	Se hacen modificaciones a la ley federal de aire limpio.
1991	Implementación de la fase 1 del "Reformulated Gasoline Program CaRFG1. <ul style="list-style-type: none"> • Presión de vapor no menor a 7.8 psi (incluyendo a mezclas con etanol), • se regula el contenido de plomo en la gasolina. • Se prohíbe el uso de aditivos con Manganeseo. • Se establecen los requerimientos de aditivos
1994	Como parte de la CaRFG1, se establece que a partir del 1ro de enero de 1994, no se debía comercializar gasolina con más de 0.05 g de plomo por galón de gasolina.
1996	Implementación de la fase 2 del "Reformulated Gasoline Program CaRFG2. <ul style="list-style-type: none"> • Las gasolinas debían contener menos de 300 ppm de azufre. • Cálculo de emisiones (potencial de formación de ozono) • Límites de azufre, aromáticos, Benceno, T₅₀, T₉₀, olefinas.
2002	(31Dic2002) Implementación de la fase 3 del "Reformulated Gasoline Program CaRFG3. <ul style="list-style-type: none"> • Se prohíbe el uso de MTBE
2016	Se publica la estrategia 2016 para fuentes móviles
2019	Senate Bill (SB) 44 es firmada por el gobernador del estado. En esta ley se describe la importancia de llevar cabo evaluaciones periódicas que permitan conocer las áreas de oportunidad de las emisiones de las fuentes móviles con el fin de reducir sus emisiones. Se establece que la estrategia de movilidad de 2016 debe ser actualizada antes del 01Ene2021 y posteriormente cada 5 años.
2020	Publicación de la estrategia 2020 para fuentes móviles.

Fuente: (California Air Resources Board, 2014), (California Air Resources Board, 2020) (California Air Sources Board, 2018) (Center for Transportation ENO, 2019)

En California, la calidad de combustibles ha sido un tema ambiental prioritario, ya que sus características orográficas y climáticas los hacen proclives a alertas ambientales por contaminación.

4.3.1. Calidad de Combustibles

California estableció un programa de gasolina reformulada para mejorar las características de su gasolina en 3 fases diferentes (conocido como California Reformulated Gasoline Program CARFG). La primera fase CaRFG1, implementada en 1991 eliminó el plomo de la gasolina y añadió reglamentaciones para los aditivos de control de depósitos y control de presión de vapor. La fase dos CaRFG2,

implementada en 1996, estableció límites de contenido de azufre, aromáticos, oxígeno, Benceno, T₅₀, T₉₀, Olefinas y presión de vapor; además de esto, estableció un modelo predictivo. En la fase tres CaRFG3, se eliminó el MTBE de la gasolina (California Air Resources Board, 2020). La calidad de combustibles establecidas por CaRFG se muestran en la Tabla 38, observándose mejoras en el contenido de azufre.

Tabla 38. Características de la calidad de combustible (gasolina)

Propiedad	Unidad	Límites		Límites promedio	
		CaRFG2	CaRFG3	CaRFG2	CaRFG3
Presión de vapor	psi	7	7 o 6.9	no aplicable	no aplicable
Contenido de azufre	ppm	40	20	30	15
Contenido de Benceno	%/ vol.	1	0.8	0.8	0.7
Aromáticos	%/ vol.	25	25	22	22
Olefinas	%/ vol.	6	6	4	4
T50	°F	210	213	200	203
T90	°F	300	305	290	295
Contenido de oxígeno	ppm	1.8-2.2	1.8-2.2	no aplicable	no aplicable

Fuente: (California Air Resources Board, 2014).

Además de tenerse las características mínimas de combustible, California cuenta con un estándar de etanol, el cual debe ser cumplido para ser utilizado como oxigenante en la gasolina (Tabla 39).

Tabla 39. Características del etanol usado en California

Características del etanol usado en California		
Especificación	Unidad	Valor
Etanol	%vol. mín.	92.1
Metanol	%vol. máx.	0.5
Solvente	mg/100ml	5
Agua	%vol. máx.	1
Desnaturalizante (componentes de gasolina)	%vol. mín. y máx.	Mín. 1.96, máx. 5
Cloruros inorgánicos	ppm máxicos máx. (mg/l)	40 (32)
acidez como ácido acético	%másico	0.007
acidez como ácido acético	mg/l	56
pH	-	6.5 - 9.0

Fuente: (California Air Resources Board, 2014)

En Estados Unidos se ofrecen tres octanajes diferentes en las estaciones de gasolina, 87 octanos (regular), 89 octanos (grado medio) y 91-93 octanos (premium). El uso de

combustibles con mayores octanajes permite tener mayores relaciones de compresión, turbocargadores y otras tecnologías que permiten tener motores más pequeños y eficientes (Environmental and Energy Study Institute, 2016).

4.3.2. Rendimiento de Combustibles

Los estándares de rendimiento de combustibles en Estados Unidos se remontan al embargo de la Organización de Países Exportadores de Petróleo, la OPEP, en 1973; al sufrir el embargo, el congreso de Estados Unidos promulgó una política de conservación de energía en 1975, la cual le dio al Departamento de Transporte la atribución de establecer estándares de rendimiento de combustibles a vehículos de pasajeros y camiones ligeros. Dicha atribución fue delegada a la Administración Nacional de Seguridad Vial (NHTSA) (Center for Transportation ENO, 2019).

Entre 1973 y 1983 la eficiencia vehicular se duplicó de casi 6 km/l a casi 12 km/l. Los estándares se mantuvieron sin cambios hasta 2007 en que se promulgó la Ley de Independencia y Seguridad Energética, la cual solicitaba aumentos continuos en el rendimiento de combustible. Posteriormente en 2008, y derivado de la crisis del sector automotriz en EUA (Mendoza, 2011), el presidente Obama impuso estándares más estrictos mediante la reducción de gases de efecto invernadero y aumento en el rendimiento promedio de combustible (CAFE), dividiendo las mejoras en dos fases. Para la fase 1, los estándares entre 2017 y 2021 debían llegar a un rango de rendimiento de combustible de entre 17.1 y 17.4 km/l y para la fase dos se esperaba implementar un límite de 20.7 a 21.13 km/l entre 2022 y 2025. Posteriormente, en la administración Trump, los estándares previos fueron considerados excesivos, lo cual ocasionó que Estados como California solicitaran la revisión de las metas de eficiencia (Center for Transportation ENO, 2019).

La importancia del rendimiento de combustible radica en su relación directa con la disminución de emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero. En 2020, y con el fin de cumplir sus metas ambientales, California firmó un compromiso voluntario con 5 fabricantes (BMW, Ford, Honda, Volkswagen y Volvo), dichos fabricantes se comprometieron a cumplir la eficiencia solicitada por la administración de Obama, con el fin de reducir la emisión de gases de efecto invernadero (Tabla 40) (Environmental & Energy Law Program, 2020).

Tabla 40. Historia del rendimiento de combustible en EUA

1973	Embargo por parte de los países exportadores de petróleo.
1975	Se aprueba la “Energy Policy and Conservation Act (EPCA)” Se establece una meta de 18 mpg (7.65 km/l)
Entre 1973 y 1983	La eficiencia de los vehículos se duplicó de 13.4 mpg a 27.5 mpg (equivalente a 5.697 km/l y 11.691 km/l respectivamente).
2007	Se aprueba la ley: “Energy Independence and Security Act (EISA)”
2012	Se aprueban los estándares: “Greenhouse GAS (GHG) and Corporate Average Fuel Economy (CAFE) standards”. <ul style="list-style-type: none"> • Fase 1: 2017-2021: Rango entre 40.3 y 41 mpg (17.1-17.4 km/l) • Fase 2: 2022-2025: Aún no son definidos estrictamente, pero se espera sean cercanos a 48.7-49.7 mpg (20.7- 21.13 km/l) para modelos 2025. Se buscaba tener un estándar homologado a nivel federal, estatal y local.
2016-2020	En 2018 la EPA publica una evaluación expresando que no se pueden cumplir los estándares de gases de efecto invernadero descrito en la administración de Obama, lo que ocasiona que varios estados y ciudades demanden a la EPA y soliciten se analice el reporte.
2020	California anuncia un compromiso voluntario con 5 fabricantes (BMW, Ford, Honda, Volkswagen y Volvo), dichos fabricantes se comprometieron a cumplir la eficiencia solicitada por la administración de Obama, con el fin de reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

Fuente: (Center for Transportation ENO, 2019) (Environmental & Energy Law Program, 2020)

Al tener un alto rendimiento y una mejor calidad de combustibles, California logra importantes disminuciones en el consumo de energía en el transporte, así como reducciones en sus emisiones a la atmósfera.

4.3.3. Emisiones Contaminantes

En 1970 se publicó en Estados Unidos la Ley de Aire Limpio (Clean Air Act, CAA), la cual regulaba la emisión de contaminantes tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles. Dentro de esta ley, se le dieron atribuciones a la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) para establecer estándares de calidad del aire (National Air Quality Standards, NAAQS) con el fin de proteger la salud de la población y regular la emisión de contaminantes peligrosos (EPA, 2020).

Dentro de ley de aire limpio, se contempló la implementación de planes estatales (state implementation plans, SIPs). Las metas en la regulación federal fueron actualizadas en 1977 y en 1990 con nuevas fechas y metas para el cumplimiento de los NAAQS, ya que varias áreas del país habían fallado en el cumplimiento de las mismas (EPA, 2020).

El Estado de California tiene diferentes proyectos relacionados con las emisiones contaminantes vehiculares, incluyendo los programas de investigación en desgaste de neumáticos y frenos, las emisiones de vehículos pesados y comparaciones entre las mediciones de emisiones vehiculares en laboratorio contra las reales. Una buena parte

de los programas y acciones relacionadas a la calidad del aire y disminución de contaminantes son parte de la Estrategia de Fuentes Móviles (California Air Resources Board, 2020).

La estrategia más actual para fuentes móviles en California es la estrategia 2020, la cual plantea disminuciones en emisiones a través de la descarbonización de los vehículos. El 23 de septiembre de 2020, el gobernador de California firmó una orden ejecutiva que estableció como meta que las ventas de vehículos nuevos fueran cero emisiones para 2035 (incluyendo vehículos de pasajeros y camiones ligeros), buscando que también los camiones de carga fueran cero emisiones dentro de las posibilidades técnicas para 2045 (California Air Resources Board, 2020).

En Estados Unidos se implementan programas a diferentes niveles de gobierno. Algunos programas son federales, otros estatales y algunos son promovidos a nivel local en los condados. En el caso de la calidad del aire en el Estado de California, se tienen programas de monitoreo, planes y programas de mejora dentro de cada uno de los niveles de gobierno. Uno de los programas de monitoreo y protección de la calidad del aire a nivel distrital/comunidades se llama CAPP (Community Air Protection Program). Con el CAPP, las comunidades se reúnen y proponen acciones para mejorar la calidad del aire en su localidad (California Air Resources Board, 2020), lo cual es seguido y monitoreado a su vez, por el gobierno estatal.

Para finalizar, la calidad del aire es monitoreada estrictamente, existen 35 distritos de control de la contaminación local o Distritos de manejo de la calidad del aire, los cuales son responsables de controlar las emisiones de fuentes fijas y móviles a través de permisos y reglas locales. (California Air Sources Board, 2018).

En el caso de California, las emisiones vehiculares tomaron importancia desde el año 1943, cuando un evento de smog cubrió a la ciudad de humo y disminuyó la visibilidad en Los Ángeles. Este evento ocasionó que se creara en 1947 el distrito de control de la contaminación del Aire en esta ciudad. Posteriormente, en los años 50s hubo otros eventos de baja visibilidad derivada del smog, lo que ocasionó protestas por parte de los ciudadanos para que se tomarán medidas adecuadas para proteger su salud (Cremen, 2019).

En los años 60's, después de que se implementara el "Clean Air Act", California solicitó a la EPA que se le eximiera de cumplir con los estándares federales, para implementar en sus vehículos los que se establecieran en el Estado, ya que son más estrictos que los de la EPA. El "Clean Air Act" impide a los Estados realizar sus propias regulaciones en materia de emisiones, pero California logró obtener la exención y hoy en día existen otros 13 Estados en la Unión Americana que siguen los estándares de California (Cremen, 2019).

California se encuentra en la implementación de sus estándares de emisión más recientes, conocidos como LEV III (Low Emission vehicle III), que fueron adoptados en 2012 y están planeados para una implementación paulatina en los modelos de 2015 a 2025. A partir de los modelos 2020, todos los vehículos deben estar certificados con los estándares LEV III (Dieselnet, 2021b).

El estándar LEV III incluye diferentes categorías que son utilizadas para certificar los vehículos según su nivel de emisiones. Existen los Vehículos LEV que son vehículos de bajas emisiones, los vehículos ULEV que son vehículos de ultra baja emisión y los vehículos SULEV que son de super ultra bajas emisiones. El número presente al lado del tipo de emisión corresponde al límite de emisiones de Hidrocarburos no metano + NOx en esa categoría (en gramos por milla); por ejemplo, un vehículo ULEV70 tiene un límite de emisión de 0.070 g/milla (0.04 g/km), mientras que un vehículo ULEV50 tiene un límite de emisión de 0.050 g/milla (0.03 g/km) (Tabla 41). La meta de California es lograr una transición de vehículos LEV a SULEV que son de menores emisiones (Dieselnet, 2021b)

Tabla 41. Estándar de emisiones LEV III de California.

	Categoría de emisión	HCNM+NOx	CO	Formaldehído	PM
		<i>g/km</i>	<i>g/km</i>	<i>mg/km</i>	<i>g/km</i>
Todos los vehículos de pasajeros Camiones ligeros ≤ 3855 kg	LEV160	0.10	2.61	2.49	0.01
	ULEV125	0.08	1.30	2.49	0.01
	ULEV70	0.04	1.06	2.49	0.01
	ULEV50	0.03	1.06	2.49	0.01
	SULEV30	0.02	0.62	2.49	0.01
	SULEV20	0.01	0.62	2.49	0.01
Vehículos de carga	LEV395	0.25	3.98	3.73	0.07

	Categoría de emisión	HCNM+NOx	CO	Formaldehído	PM
3856 - 4535.5 kg	ULEV340	0.21	3.98	3.73	0.04
	ULEV250	0.16	3.98	3.73	0.04
	ULEV200	0.12	2.61	3.73	0.04
	SULEV170	0.11	2.61	3.73	0.04
	SULEV150	0.09	1.99	3.73	0.04
Vehículos de carga 4536. - 6350.3 kg	LEV630	0.39	4.54	3.73	0.07
	ULEV570	0.35	4.54	3.73	0.04
	ULEV400	0.25	4.54	3.73	0.04
	ULEV270	0.17	2.61	3.73	0.04
	SULEV230	0.14	2.61	3.73	0.04
	SULEV200	0.12	2.30	3.73	0.04

Notas:

LEV = Low-emission vehicle (vehículo de bajas emisiones) – Estándar de emisión mínimo para los autos vendidos en California

ULEV = Ultra-low-emission vehicle (vehículos de ultra baja emisión) – Emite 50% menos que otros vehículos

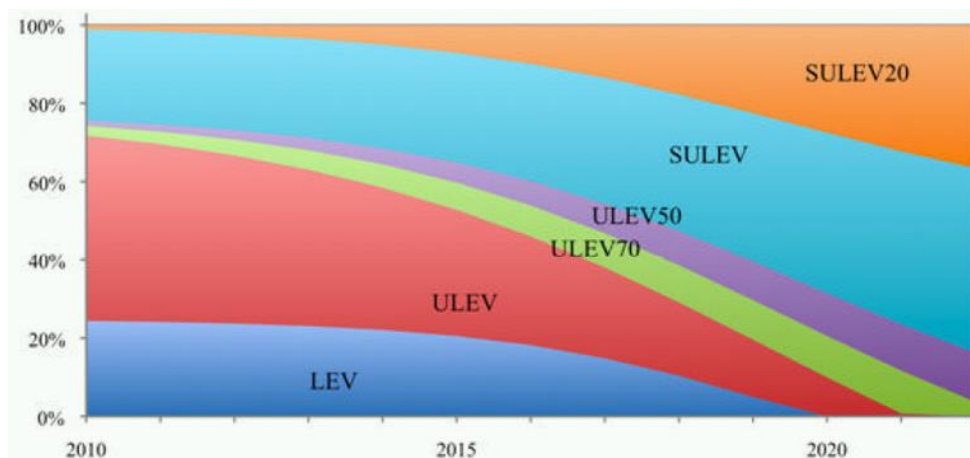
SULEV = Super-ultra-low-emission vehicle (vehículos de super ultra baja emisión) – Emite 90% menos que otros vehículos

El número junto a la categoría depende del nivel de certificación

Fuente: (Dieselnet, 2021b). (Transport Policy, 2021)

El gobierno de California proyectaba un cambio paulatino en las ventas de vehículos nuevos a 2025, en el que al principio se vendieran más autos LEV y fueran poco a poco vendiéndose una mayor proporción de vehículos de super ultra bajas emisiones cada año, como se puede observar en la Figura 10.

Figura 10. Proporción del total de vehículos ligeros por tipo de categoría de emisión dentro del estándar LEV III



Fuente: (Green Car Congress, 2010).

A pesar de que el estándar LEV III es ambicioso y varios Estados lo han adoptado, el gobierno de Estados Unidos, durante la administración de Trump, intentó dar marcha

atrás a la implementación de este estándar con el fin de que se utilizarán estándares menos ambiciosos. A pesar de esto, California apeló esta decisión y continuó con la implementación de dicho estándar, además de seguir con sus programas de cumplimiento e incentivos.

4.3.4. Programas de cumplimiento e incentivos

A nivel federal, el cumplimiento de la reglamentación relativa a fuentes móviles es monitoreada por la EPA. Dentro del seguimiento en el cumplimiento de la regulación se tienen (California Air Resources Board, 2020) (Transport Policy, 2021):

- Combustibles. El “Clean Air Act” regula los combustibles utilizados en vehículos de motor y equipo fuera de ruta. La EPA lleva a cabo inspecciones al azar para monitorear el cumplimiento; ejecutando sanciones contra las partes que violan los estándares, pudiéndose pagar más de 48 mil dólares por día de violación¹⁸.
- Incentivos para el reemplazo de camiones de pasajeros.
- Financiamientos para vehículos eléctricos.
- Incentivos para el retiro voluntario de vehículos antiguos.
- Los fabricantes reciben créditos por reducciones de emisiones y aumentos de durabilidad en sus vehículos.

¹⁸ Las cuotas se actualizan anualmente y pueden encontrarse en la página https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=7a877c076577e20e99ffb5f777e9c8fc&mc=true&node=pt40.1.19&rtn=div5#se40.1.19_14

5. Comparación de México, Japón, California y la Unión Europea

A pesar de que México cuenta con cierto avance en el establecimiento e implementación de regulaciones, programas y proyectos relacionados al aumento del rendimiento vehicular, mejora de la calidad de combustibles y disminución de emisiones, no se encuentra dentro de los países con los requerimientos más estrictos y ambiciosos.

México aún no logra la comercialización de combustibles bajos en azufre en la totalidad de su territorio, por lo que no ha podido implementar las tecnologías vehiculares más modernas existentes en el mercado internacional. A diferencia de otros países, con políticas tanto de combustibles como ambientales más estrictas, México aún no logra concretar programas integrales que permitan, por un lado, verdaderos esfuerzos conjuntos de los diferentes actores y, por otro lado, mejoras continuas a programas, leyes y cumplimientos de metas energéticas y ambientales.

Al realizarse una comparación entre las políticas de combustibles de las tres regiones analizadas contra lo implementado en México, se logra identificar áreas de oportunidad que puedan ser mejoradas en el corto, mediano o largo plazo. En este contexto, el análisis regulatorio y de acciones se separa en los tres componentes que se han analizado a lo largo de esta tesis: calidad, rendimiento de combustible y emisiones a la atmósfera.

5.1. Calidad de combustibles

Existen diferencias entre la calidad de combustibles en México y las de las tres regiones analizadas en esta tesis. Al realizar una comparación dentro del contexto de las categorías reconocidas por las asociaciones de fabricantes de automóviles, se observa que el país presenta calidades de combustibles no homogéneas a lo largo de su territorio y que podrían ser mejoradas y homogeneizadas con el fin de lograr implementar tecnologías vehiculares a gasolina y diésel de última generación en todo el país y no solo en algunas zonas metropolitanas.

5.1.1. Gasolinas

En lo referente a gasolinas, en México se comercializan principalmente dos tipos, conocidas como “magna” o regular y “premium” o de alto octanaje; las cuales presentan características fisicoquímicas que dependen de la zona en donde serán vendidas. Al realizar el análisis comparativo de dichas propiedades, entre las regiones estudiadas y lo descrito por las asociaciones de fabricantes de vehículos, se observó que en México hay valores límite que se encuentran por fuera de lo recomendado en otras partes del mundo para tener tecnologías de punta, y dichas diferencias son también notables entre las calidades de combustible comercializadas en la Ciudad de México y el resto del país.

Hay casos en donde la Ciudad de México cumple con lo requerido por las otras regiones estudiadas, mientras que el resto del país incumple con los valores mínimos o máximos establecidos para tener tecnologías más eficientes; y otros casos en donde la gasolina “premium” cumple con los estándares requeridos mientras que la gasolina “magna” incumple. Al realizar la comparación entre México, la Unión Europea, Japón y California se obtuvieron los siguientes resultados.

- **Presión de Vapor**

La presión de vapor es una propiedad cuyo control es importante para evitar evaporación de combustible y posibles problemáticas asociadas a la formación de ozono. En el caso de México, existen 4 tipos de volatilidad: AA, A, B y C y las presiones de vapor requeridas han sido separadas por regiones (norte, pacífico, centro y sureste), zona fronteriza y zonas metropolitanas de las grandes ciudades (ZMVM, ZMG y ZMM), a diferencia de en otros países, en donde se establecen volatilidades dependiendo de la temperatura promedio presente en el lugar.

Las asociaciones de fabricantes de vehículos presentan 6 categorías de volatilidad: A, B, C, D y E. La volatilidad A es atribuida a regiones con una temperatura mayor a 15°C mientras que la E corresponde a regiones muy frías con temperaturas menores a -15°C (Tabla 42).

Tabla 42. Comparación de Categorías de Volatilidad en México y según las asociaciones de fabricantes de combustibles

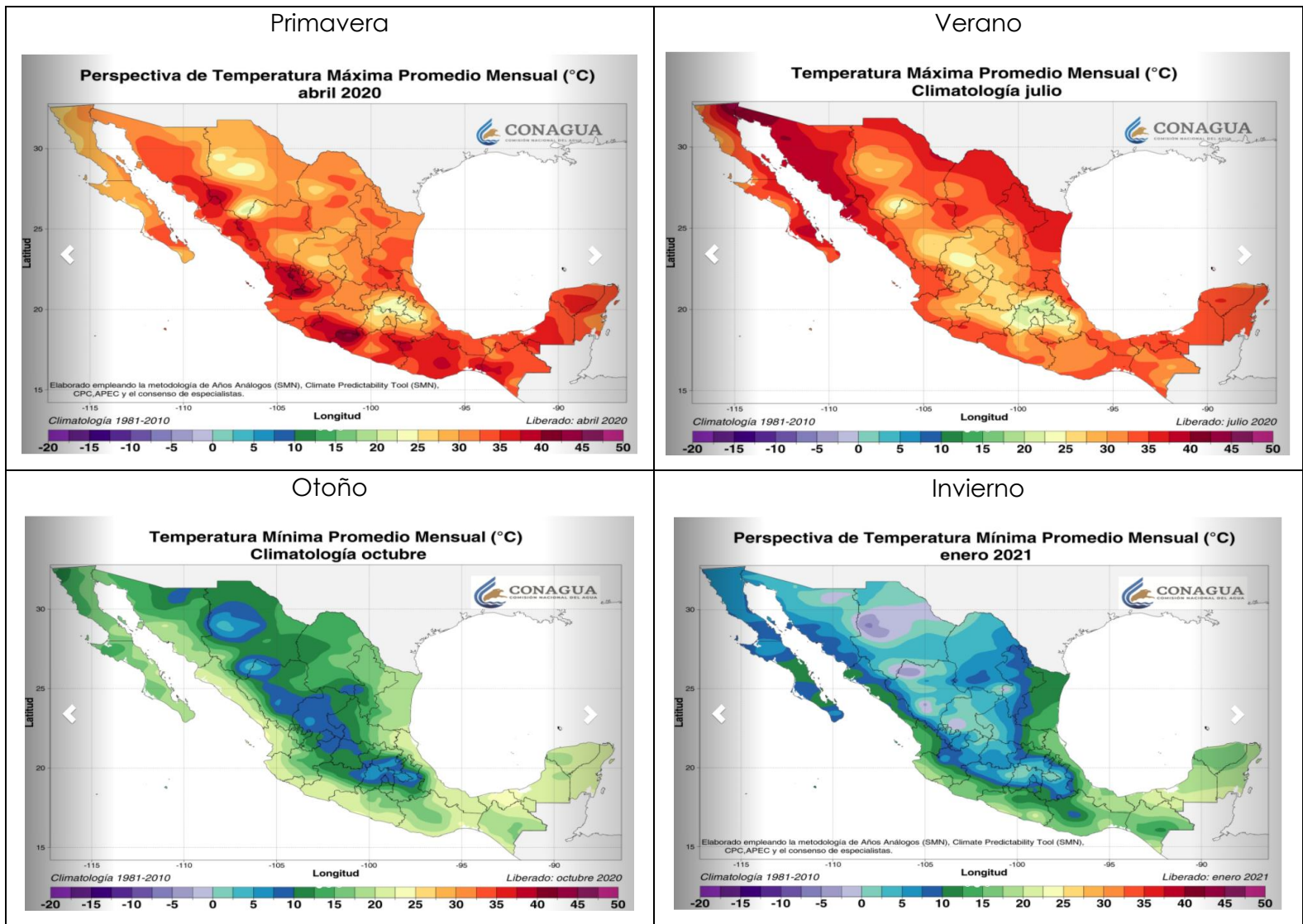
Categorías 2 a 6 (Asociaciones de fabricantes de combustibles)							México			
Clase	Unidad	A	B	C	D	E	AA	A	B	C
Temperatura ambiente (rango) o región	°C	>15	5 a 15	-5 a + 5	-5 a - 15	<-15	ZMVM Y ZMG todo el año	regiones Sureste, Centro y Pacífico durante junio, julio y agosto	Todas las regiones incluyendo ZMM durante primavera y otoño	Todas las regiones, incluyendo ZMM durante los meses de invierno (de noviembre a febrero).
Presión de vapor	kPa	45-60	55-70	65-80	75-90	85-105	54	62	69	79
T_{10} máx.	°C	65	60	55	50	45	70	70	65	60
T_{50}	°C	77-100	77-100	75-100	70-100	65-100	77 a 121	77 a 121	77 a 118	77 a 116
T_{90}	°C	130-175	130-175	130-175	130-175	130-175	190	190	190	185
Temperatura de ebullición final	°C	205	205	205	205	205	225	225	225	225

Fuente: Elaboración propia con información de las (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019) y (DOF, 2016)

Al tenerse diferentes criterios de establecimiento de volatilidad, uno derivado de rangos de temperatura y otro geográfico, procedente de la localización de las regiones, es complicado observar si en México se cumple o no con lo descrito por los fabricantes de vehículos. En la Figura 11 se puede observar que la separación regional observada en México no necesariamente representa regiones con temperaturas similares. En primavera y verano se tienen temperaturas mayores a 15°C, por lo que todas las regiones son consideradas como de Volatilidad A por los fabricantes de combustibles, mientras que en México se tienen Volatilidades A y B en algunas regiones y solo en la ZMVM y ZMG se tiene los criterios de volatilidad más estrictos AA.

En otoño e invierno se tienen mayores diferencias dentro de algunas regiones, mientras que la zona sureste, que comprende los Estados de Veracruz, Campeche, Puebla, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo tiene temperaturas promedio similares, en el norte del país se tienen diferencias sustanciales, teniéndose regiones con promedios de 15°C como en el sur de Tamaulipas y zonas frías con cerca de -15°C en algunas partes de Chihuahua. Por lo que convendría revisar los criterios de asignación de volatilidad de la normatividad.

Figura 11. Mapas que muestran los promedios de temperatura máximos (primavera y verano) y mínimos (otoño e invierno) en México.



Fuente: (Servicio Meteorológico Nacional, 2021)

En este parámetro ninguna de las clases de volatilidad de combustibles mexicanos cumple con lo especificado en la normatividad de California. Al compararse este valor entre México y la Unión Europea, se observa que la Ciudad de México si cumple con lo establecido por los europeos. Por su parte, Japón tiene un rango menos estricto que el californiano y europeo, lo cual permite a casi toda la gasolina mexicana cumplir, exceptuando a la vendida en zonas más frías del país (volatilidad tipo C).

- **Densidad.** Japón es la única de las 3 regiones estudiadas que tiene un límite en el valor de densidad. Es interesante observar que, en el caso de Japón, el valor de la densidad se está utilizando para determinar la composición de la gasolina, ya que no se tienen valores de temperaturas de destilación ni límites en la cantidad de olefinas y compuestos aromáticos; al contrario de las otras regiones estudiadas. La asociación de fabricantes establece un valor de densidad de entre 0.720 y 0.775 g/cm³, el cual es menor al descrito en la normatividad japonesa. En México esta propiedad no se encuentra limitada en la normatividad y su uso puede ser sustituido por la medición de otras propiedades, aunque su uso puede ser implementado para revisiones rápidas de calidad de combustible en estaciones de servicio.
- **Temperaturas de destilación.** Las temperaturas de destilación máximas en México sobrepasan los límites de California y lo descrito por la asociación de fabricantes de vehículos en cualquiera de las categorías tecnológicas existentes (tecnologías de punta y antiguas). En la CDMX existen valores de $T_{10}= 70^{\circ}\text{C}$, $T_{50}= 77$ a 121°C , $T_{90}=190^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{max}}= 225^{\circ}\text{C}$, mientras que en California se tienen valores de $T_{50}= 100.6^{\circ}\text{C}$ y $T_{90}=151.7^{\circ}\text{C}$ y la asociación de fabricantes muestra, a su vez, para temperaturas ambiente promedio superiores a 15°C , temperaturas de destilación de $T_{10}= 65^{\circ}\text{C}$, $T_{50}= 75$ a 100°C , $T_{90}=175^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{max}}= 205^{\circ}\text{C}$. La Unión Europea y Japón no tienen valores límite para esta propiedad.
- **Contenido de Azufre.** Todas las regiones estudiadas limitan el azufre contenido en la gasolina, siendo México el que permite las mayores concentraciones. Mientras en México se permite un máximo de 80 ppm con un promedio de 30 ppm, tanto en la Ciudad de México como en el resto del país, en la Unión Europea y en Japón el máximo permitido es 10 ppm, mientras que en California el promedio es de 15 ppm con un máximo de 20 ppm. El valor de Azufre permitido en México corresponde a tecnologías antiguas, según lo descrito por las asociaciones de fabricantes, ya que se requieren máximo 10 ppm en las tecnologías nuevas.

- **Octanaje.** En el caso del octanaje, la Unión Europea establece límites para el número RON y el número MON, mientras que Japón limita el índice de octano que es el promedio de ambos números. El octanaje en La Unión Europea y Japón es mayor que en México, lo cual permite tener tecnologías vehiculares con turbocargadores y mejores rendimientos de combustible.

México tiene un índice de octano para la gasolina premium de 91 min. con un valor RON de 94 mín., mientras que para la gasolina regular o "magna" se tiene un índice de octano de 87 min. con un MON de 82 min. En Japón el índice de octano es de 89 min para gasolina regular y de 96 min para gasolina premium, lo cual les permite tener vehículos compactos muy eficientes. La Unión Europea tiene un octanaje intermedio entre el existente en México y el de Japón, teniéndose mínimo un RON de 95 y un MON de 85.

- **Aromáticos.** Los compuestos aromáticos son limitados en México, California y la Unión Europea. La Ciudad de México si se encuentra dentro de lo establecido tanto en California como en la Unión Europea, al tener una concentración de 25% en volumen. En otras partes de México, la gasolina tiene una mayor concentración de compuestos aromáticos, siendo diferente entre la gasolina magna y la gasolina premium. La gasolina magna no tiene una cantidad de aromáticos limitada, mientras que la gasolina premium permite un máximo de 32% en volumen, lo cual incumple la regulación de California, pero cumple con el máximo de 35% de la Unión Europea.

Por otro lado, la implementación de disminuciones en la cantidad de aromáticos en las zonas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara, prevista para enero de 2020, fue prorrogado y aún dista de la calidad vendida en la Ciudad de México y su zona metropolitana.

- **Olefinas.** El contenido de Olefinas se encuentra regulado en México, la Unión Europea y California. México tiene una concentración mayor que la de

California, pero menor que la establecida para la Unión Europea para la gasolina premium. La Unión Europea establece una concentración de Olefinas máxima de 18% vol., mientras que en California se pide un promedio de 4% con un máximo de 6%.

En México el máximo es diferente en la ZMVM y en el resto del país, siendo 10% el máximo en la ZMVM y de 12.5% en el resto del país. Al igual que con los aromáticos, la cantidad de olefinas en las zonas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara aún no se parece a la de la Ciudad de México, debió a que se prorrogó su entrada en vigor, prevista para enero de 2020.

- **Benceno.** En el caso del benceno, las zonas metropolitanas cumplen con los límites establecidos para Japón y la Unión Europea (máx. 1% vol.), mientras que incumplen con lo solicitado por California, en donde se tiene un máximo de 0.8% en volumen de este compuesto. Por otro lado, las gasolinas en el resto del país permiten un límite máximo de 2, lo cual incumple las tres normatividades con las que se hizo la comparación.
- **Oxígeno.** Los territorios estudiados manejan el uso de diferentes tipos de oxigenantes en proporciones relativamente similares. En la Unión Europea se permite porcentaje de 3.7 con un máximo de 10% de etanol. En el caso de Japón se utiliza una mezcla MTBE/Etanol con una relación de 7% y 3% respectivamente, correspondiendo a un máximo de 1.3% de contenido de oxígeno. California tiene un límite de oxigenación de entre 1.8 y 2.2 con etanol, ya que el MTBE se encuentra prohibido. En México se establece un mínimo de 1.0 y un máximo de 2.7 para las zonas metropolitanas con la prohibición de uso del etanol y con un máximo de 2.7 en otras zonas del país (pero sin establecer un mínimo), ya sea con MTBE o etanol (en caso del etanol lo máximo permitido es 5.8 % volumen).

Tabla 43. Comparación de calidad de gasolina entre la Unión Europea, Japón, California y México (incluyendo las categorías de la asociación de fabricantes de automóviles).

Propiedad	Unidad	México		Unión Europea	Japón	Estados Unidos	Asociaciones de fabricantes
		NOM-016-CRE-2016 (Acuerdo 2020)	CDMX			California	Categorías (1=tecnologías más antiguas... 6= tecnología más avanzada)
Presión de vapor	kPa	ZMVM y ZMG= 54 Resto del país= hasta 79 dependiendo del mes y la región.	54	Máximo 60	44-78	47.6-48.3	Depende de la temperatura de la región. de 45 a 70 en un rango de 5 a >15 °C
Densidad	g/cm3	-	-	-	0.783	-	Entre 0.720 y 0.775
T. máx. de destilación del 10%	°C	ZMVM y ZMG = 70 El resto del país: varía siendo 60 en zonas frías.	70	-	-	-	máx. 65 (T _{amb} <15°C) máx. 60 (T _{amb} = de 5 a 15°C) máx 55 (T _{amb} = de -5 a 5°C)
T. máx. de destilación del 50%.	°C	ZMVM y ZMG= 77 a 121 resto del país entre 77 y 121	77 a 121	-	-	máximo 100.6 (213 °F), promedio 95 (203 °F)	de 75 a 100 (T _{amb} = de -5 a >15°C)
T. máx. de destilación del 90%.	°C	ZMVM y ZMG =190 resto del país entre 185 y 190.	190	-	-	máximo 151.7 (305 °F), promedio 146.1 (295 °F)	Hasta 175
T. máx. de ebullición final.	°C	máx. 225	máx. 225	-	-	-	Máximo 205
Azufre	ppm	30 en promedio, 80 máximo	30 en promedio, 80 máximo	máximo 10	máximo 10	máximo 20, promedio 15	Máximo 10 (categoría 4 a 6) en tecnologías avanzadas
Número de octano RON	Adimensional	Premium: 94 min. Magna: límite no establecido	Premium: 94 min. Magna: límite no establecido	Mínimo 95	-	-	La categoría 4 es la última que permite un RON mínimo de 91, a partir de la categoría 5, se exige un RON mínimo de 95.
Número de octano MON	Adimensional	Premium: límite no establecido Magna: 82 min.	Premium: límite no establecido Magna: 82 min.	Mínimo 85	-	-	La categoría 4 es la última que permite un MON mínimo de 82.5, a partir de la categoría 5, se exige un RON mínimo de 85.
Índice de octano	Adimensional	Premium: 91 min. Magna: 87 min.	Premium: 91 min.	-	Regular: 89 min	-	A partir de la categoría 5 debe ser mayor a 90 (tecnologías

Propiedad	Unidad	México		Unión Europea	Japón	Estados Unidos	Asociaciones de fabricantes
		NOM-016-CRE-2016 (Acuerdo 2020)	CDMX			California	Categorías (1=tecnologías más antiguas... 6= tecnología más avanzada)
(RON+MON) /2			Magna: 87 min.		Premium: 96 min		avanzadas
Aromáticos	% vol.	ZMVM: 25, resto del país máx. 32 en premium	máx. 25	máximo 35	-	máximo 25, promedio 22	Máximo 35
Olefinas	% vol.	ZMVM: 10 máx. resto del país: 12.5 máx. en premium	máx. 10	máximo 18	-	máximo 6, promedio 4	máximo 10
Benceno	% vol.	ZMVM, ZMG, ZMM: 1 máx. resto país 2.0 máx.	máx. 1	máximo 1	máximo 1	máximo 0.8	El máximo de benceno es de 2.5 en la categoría 2 y disminuye a 1 a partir de la categoría 3.
Oxígeno	%peso máx.	Mínimo 1, máximo 2.7 en ZMVM, ZMG y ZMM (se prohíbe el uso de etanol anhidro en estas regiones) 2.7 máximo en el resto del país. (Máx. 5.8% volumen de etanol).	Mínimo 1, máximo 2.7. Se prohíbe el uso de etanol anhidro.	máximo 3.7 (dependiendo del tipo de oxigenante). Etanol máximo 10%vol.	MTBE máximo 7%. Metanol no detectable máx. 1.3% contenido de oxígeno	1.8-2.2. Se usa etanol. MTBE prohibido	máximo 2.7, excepto en mezclas con etanoles, donde el máximo es 3.7.
Etanol	%vol.	máximo 5.8% excepto en zonas metropolitanas	No se puede usar etanol	máximo 10%	Máximo 3%	Máximo 10%	Relacionado al límite máximo de oxígeno.

Nota: Las asociaciones de fabricantes incluyen fabricantes de Japón, La Unión Europea y Estados Unidos.

Fuente: (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019), información de las NOM y los acuerdos modificatorios publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2020) y (California Air Resources Board, 2014)

5.1.2. Diésel

En el caso del diésel, se puede observar que la normatividad mexicana no se ha modificado más que en el límite máximo de contenido de azufre. Teniéndose muchas dificultades para lograr la homologación de esta propiedad entre las zonas con concentraciones más bajas y el resto del país. En la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 se establecía que a partir de 2009 todo el país contaría con diésel UBA de máximo 15 ppm. Han pasado más de 10 años y aún no se logra que todo el país acceda a este combustible, impidiéndose la entrada de tecnología más eficiente y menos contaminante como los vehículos EURO VI.

Al comparar la normatividad de calidad de diésel mexicana con la existente en la Unión Europea, Japón, y California, se observa que México incumple con el contenido de azufre, en la Unión Europea y en Japón se pide un máximo de 10 ppm, mientras que en California el rango va de 7 a 15, lo cual coincide con lo requerido en las zonas metropolitanas y la franja fronteriza con Estados Unidos, pero no con el resto del país donde el límite es aún de 500 ppm.

En lo referente a las temperaturas de destilación, México se encuentra un poco por encima de las temperaturas que se manejan en California, pero la T_{90} se encuentra dentro del rango de la Unión Europea y Japón. Por su parte, la Unión Europea establece un máximo en la densidad, parámetro que podría agregarse a la normatividad mexicana y México agrega un contenido de aromáticos, cosa que no está delimitada en las otras regiones. La Unión Europea y Estados Unidos cuentan con un límite de hidrocarburos policíclicos aromáticos que en México no es regulada (ya que solo se establece en la regulación que se debe informar el valor, pero sin establecer un límite específico) (Tabla 44).

Tabla 44. Límites en las propiedades del diésel en México, la Unión Europea Japón y California.

Propiedad	Unidad	México NOM-016-CRE- 2016 (modificación 26jun17)	Unión Europea	Japón	California	Estados Unidos	Asociaciones de fabricantes (categoría 6)
índice de Cetano	-	Mínimo de 45	mínimo 51	mínimo 45	47-55	40-50	Mínimo 55
Azufre	ppm	15 máximo en ZMVM, ZMG, ZMM y ZFN, 500 máximo en resto del país	máximo 10	máximo 10	de 7 a 15	de 7 a 15	Máximo 10
Destilación, T90%	°C	Máx. 345	Máx. 360	Máx. 360	287.8 a 321.1 (de 550 a 610 °F)	293.3 a 331.7 (de 560 a 629 °F)	Máx. 320
Destilación, T50%	°C	Informar	-	-	243.3 a 293.3 (de 470 a 560 °F)	243.3 a 281.7 (de 470 a 539 °F)	-
Destilación, T10%	°C	Máx. 275	-	-	204.4 a 254.4 (de 400 a 490 °F)	204.4 a 237.8 (de 400 a 460 °F)	-
Densidad a 15°C	kg/m ³	-	máximo 845	-	-	-	Entre 815 y 840
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	%m/m	Informar	máximo 8	-	8 a 12	10	-
Contenido de FAME	%v/v	-	Máximo 7	-	-	-	-
Contenido de aromáticos	%vol.	máximo 30	-	-	-	-	Máximo 15

Fuentes: (ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA, 2019), información de las NOM y los acuerdos modificatorios publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2020) y (California Air Resources Board, 2014)

5.2. Rendimiento de combustible

En el caso del rendimiento de combustible, algunos países o regiones han optado por manejar este parámetro de forma indirecta a través del establecimiento de límites de emisión de CO₂, dando equivalencias en consumo de combustible o rendimiento; mientras que otros países o regiones se establecen límites en el consumo de combustible directamente.

La Unión Europea es un ejemplo de una región que ha mejorado su rendimiento de combustible de forma indirecta, a través de una limitación en sus emisiones de CO₂, las cuales se derivan de su política de mitigación del cambio climático. Esta normatividad fue implementada en entre 2015 y 2019 y ha sido actualizada para seguir con las mejoras en los rendimientos de combustible. En caso de incumplimiento, los fabricantes que excedan las metas en las emisiones de CO₂ deberán pagar multas por cada vehículo vendido. El valor de rendimiento mínimo a conseguirse entre 2025 y 2030 es de 24.4 km/l para vehículos a gasolina y de 27.7 km/l para diésel.

A diferencia de la Unión Europea, Japón ha seguido una estrategia directa para disminuir el consumo de combustible a nivel nacional; la cual es estricta y muy efectiva; permitiéndoles tener una disminución en su consumo de combustible de forma sostenida. La normatividad japonesa establece y actualiza sus límites de rendimiento combustible de forma periódica, dependiendo del peso y tipo de vehículo regulado. Además de esto, este país trabaja de cerca con los fabricantes de vehículos y publica los nombres de los vehículos que cumplen con los estándares más estrictos, multando a los fabricantes incumplidos.

Actualmente, el estándar de Japón se encuentra definido por una ecuación que depende del peso del vehículo y se tienen equivalencias en otros combustibles, incluyéndose a los vehículos eléctricos. El rendimiento por combustible japonés es de más de 30 km/l para vehículos de 500 kg, disminuyendo a 24.4 km/l en vehículos de 1425 kg y a menos de 17 km/l para vehículos de más de 2150 kg.

En Estados Unidos, al igual que Japón, se establecieron valores mínimos de rendimiento de combustible, con el fin de homologar los límites de consumo de combustible a nivel federal, estatal y local. A diferencia de la Unión Europea, Estados Unidos ha tenido

disrupciones en la actualización de sus estándares, lo que ha ocasionado que las mejoras en el rendimiento de combustibles se vean limitadas. El rendimiento de combustible en Estados Unidos era en 1973 de apenas 6 km/l, duplicándose a 12 km/l en 1983 gracias al establecimiento de una regulación más estricta que fue abandonada, hasta que en el gobierno de Obama se propuso una nueva estrategia dividida en dos fases y que buscaba un rendimiento de combustible de entre 17.1 y 17.4 km/l para implementarse entre 2017 y 2021 y una segunda fase entre 2022 y 2025 con un incremento de rendimiento entre 20.7 y 21.3 km/l.

Durante el gobierno de Trump, se decidió echar marcha atrás a diferentes estrategias de la administración previa, siendo el aumento en rendimiento de combustible considerado como algo innecesario. A pesar de esto, el Estado de California ha tratado de mantener acuerdos con fabricantes, con el fin de disminuir el consumo de combustible de los vehículos comercializados en dicho Estado.

Por su parte, México, en la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013, estableció un acercamiento similar al que se tiene en la Unión Europea, limitando las emisiones de CO₂ y convirtiendo este valor en un rendimiento de combustible equivalente. Esta regulación fue proyectada a los modelos vehiculares 2016 y no ha sido actualizada hasta el momento, por lo que se perdió la continuidad y no se han proyectado mejoras a futuro. Para 2016 se estableció un límite mínimo de 17.3 km/l para vehículos de pasajeros pequeños, 13 km/l para vehículos de pasajeros grandes, de 14.2 km/l para camionetas ligeras y de 10.3 km/l para camionetas grandes.

A diferencia de Europa, en México se establecieron límites de emisión por fabricante en vez de por unidad vehicular vendida, lo cual podría ser mejorado en subsecuentes actualizaciones de la norma, ya que de lo contrario se pueden tener valores de rendimiento que no reflejen la realidad del parque vehicular vendido ese año.

A pesar de las limitaciones normativas, México ha visto una mejoría en su rendimiento de combustible; lo cual puede deberse a factores externos a la normatividad como lo son:

- El aumento en los precios de combustible y la preferencia de los usuarios por vehículos más pequeños y economizadores. Derivado del aumento en el precio

de gasolina en México, duplicándose el precio al público en menos de 10 años (COFECE, 2019).

- El papel de México como país armador de vehículos, lo que lo obliga a fabricar vehículos que cumplan con regulaciones estrictas de otros países.
- Programas de sustitución vehicular, que permiten a los usuarios acceder a nuevas tecnologías.

El análisis de las regiones estudiadas en esta tesina permite ver que el rendimiento de combustible puede ser mejorado a partir de diferentes estrategias y muestra la importancia de delimitar adecuadamente los valores deseados y métodos de medición a utilizar. Cada estrategia puede no sólo modificar el rendimiento de combustible y por lo tanto la emisión de contaminantes, sino que puede afectar otros aspectos vehiculares, como la preferencia entre diésel o gasolina y la transformación de una flota más pesada a una más compacta y ahorradora.

Tabla 45. Comparación de reglamentación y estrategias para aumentar el rendimiento de combustibles en México, la Unión Europea, Japón y California

	México	Unión Europea	Japón	California
Regulación de rendimiento de combustible	NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013, establece emisiones de CO ₂ provenientes de escape y equivalencia en términos de rendimiento de combustible para fabricantes de vehículos (promediando todos los vehículos de ese año modelo y utilizando el promedio de ventas)	Regulaciones de estándares de emisión de CO ₂ y promoción de vehículos limpios y eficientes energéticamente. Se establecen límites de emisión de CO ₂ añadiendo su equivalente a rendimiento de combustible	Programa “Top Runner con límites de rendimiento por peso (inicialmente con rangos discretos, posteriormente una función continua).	“Greenhouse GAS (GHG) and Corporate Average Fuel Economy (CAFE) standards”. → Estándar que busca tener homologación a nivel federal, estatal y local.
Valores del límite	Rendimiento mínimo por fabricante para 2016 (último año mostrado en la regulación) fue de: --Vehículos de pasajeros pequeños 17.3 km/l y grandes 13.0 km/l --Camionetas ligeras compactas 14.4 km/l y más grandes 10.3 km/l.	Estándar más reciente (para autos y vans nuevos para 2025 y 2030) → mínimo 24.4 km/l para gasolina y 27.7 km/l para diésel.	Estándar más reciente es descrito por una formula, con valores de 30km/l para vehículos de 500kg, disminuyendo a poco menos de 10km/l en vehículos pesados. --24.4 km/l es el rendimiento mínimo para vehículos de 1425 kg. --17.4 km/l es el rendimiento mínimo para vehículos de 2150 kg.	1973= 6 km/l 1983= 12 km/l mismo valor hasta 2007. --Propuesta de Mejora de estándares fase 1= 17.1 y 17.4 km/l (entre 2017 y 2021) --Propuesta de mejora de estándares fase 2= 20.7 a 21.1 km/l (entre 2022 y 2025).
Periodicidad de actualización	la ley incluía rendimientos de combustible para años modelo de 2012 a 2016, posteriormente se hizo un proyecto de Norma en 2018 que aún no se había publicado a diciembre de 2020. Por lo tanto, se han tenido años sin un límite de emisiones actualizado	Se implementó para ser aplicado entre 2015 y 2019 y en 2019 se actualizó para mejorar los rendimientos de combustible para 2025 a 2030.	Periódicamente. Se hacen proyecciones a futuros años fiscales y antes de llegar al año fiscal se publican los nuevos pronósticos.	Estaba dividido en dos fases, aunque los valores límite de la fase 2 que va de 2022 a 2025 aún no se encuentran estrictamente definidos
Otras actividades para mejorar el rendimiento de combustibles	CONUEE publica anualmente los rendimientos de combustibles por marca y vehículo, permitiendo a la gente conocerlos.	Multas a fabricantes si se exceden las metas de emisiones de CO ₂	Publicación de listas con empresas que cumplen y no cumplen con los límites, multas.	A pesar de la renuencia de la administración Trump a actualizar los estándares de rendimiento de combustible, California hizo acuerdos con fabricantes para continuar con la mejora en la eficiencia de los nuevos vehículos.
Ejemplos de mejora en el rendimiento de combustibles	De 2010 a 2020 se obtuvo un aumento en los rendimientos de combustibles máximos en un 50%. No todos los vehículos tienen estos rendimientos.	Aumento de rendimiento de combustible de 6.6 km/l (37%) para gasolina y de 7.3 km/l (36%) para vehículos a diésel de (2015-2019) a (2025-2030)	De 2015 a 2030 se espera una mejora de al menos 8km/l en la gama más compacta (mejora del 36%).	En los 70s se implementó la primera regulación de eficiencia energética, duplicando los rendimientos de combustible. Hoy en día se espera una mejora de al menos 3 km/l, de 17.1-17.4 a 20.7-21.13 km/l

Fuente: (Comisión Europea, 2020) (DOF, 2013).

5.3. Emisiones vehiculares

La regulación de las emisiones de gases derivados de la combustión vehicular ha sido fundamental para la mejora tecnológica del sector transporte a nivel internacional. Al contrastar la regulación mexicana con las de las regiones estudiadas (California, Japón y la Unión Europea), se puede observar que en todas se ha puesto un fuerte énfasis en disminuir las emisiones vehiculares de diferentes compuestos. Además de esto, como se mencionó previamente, las emisiones de CO₂, han sido limitadas y disminuidas con el fin de cumplir con las normas y los acuerdos tanto nacionales como internacionales en el marco de la mitigación del Cambio Climático. El resto de las emisiones, como las relacionadas al contenido de azufre o NO_x, que también son limitadas por una regulación ambiental, son importantes para el aumento en el rendimiento de combustibles debido a que se necesita controlar dichas emisiones para poder implementar tecnología de punta.

En el caso de las emisiones vehiculares, México ha hecho algunos avances en cuanto a a) asegurar la venta de vehículos nuevos con emisiones bajas y b) limitar las emisiones de los vehículos nuevos y en circulación. Al igual que con el caso del rendimiento vehicular, la normatividad no ha sido actualizada consistentemente, la NOM-042-SEMARNAT-2003, que establece los límites máximos permisibles para vehículos ligeros nuevos no ha sido actualizada y la NOM-044-SEMARNAT-2017 fue actualizada en 2017 después de que su versión previa, de 2006 fuera obsoleta por varios años.

Al comparar la NOM-042-SEMARNAT-2003 en su parte de vehículos a gasolina con la normatividad en Europa y Japón, se observa que la normatividad debió haber sido actualizada después de lograrse su meta más ambiciosa, que era regular vehículos con gasolina bajo azufre de máx. 80 ppm y 30 ppm en promedio. Al cumplirse este requerimiento en 2015, se debió actualizar la normatividad con requerimientos más estrictos, como se hizo en su momento en California, Europa y Japón.

En México actualmente se permite la venta de vehículos a gasolina nuevos con un límite de monóxido de carbono casi del doble de lo permitido en Japón y más de doble de lo permitido en Europa, siendo 2.11 g/km en México, 1.15 g/km en Japón y 1 g/km en Europa. Al comparar el CO permitido en México con lo permitido en el

estándar LEV III de California, se observa que México aún cumple con la categoría menos limpia que es LEV160, pero los vehículos certificados como menos emisores en California tienen un valor de emisión de apenas 0.62 g/km, mucho menor que en Japón y Europa.

En lo referente a NO_x, el valor permitido en México es de 0.068, lo cual es más alto que en Europa, donde se permite 0.06 g/km y en Japón, donde solo se permite de 0.05 g/km. Por otra parte, México y California regulan las emisiones de hidrocarburos no metano + NO_x, siendo nuevamente menor en California para los vehículos certificados como de ultra bajas emisiones y más alto para los vehículos de bajas emisiones LEV160. Es interesante notar que en California se mide el formaldehído emitido y se limita, cosa que no se hace en las otras regiones y debería hacerse, ya que es una sustancia cancerígena que se ha notado aumenta su producción con ciertos tipos de motores y combustibles.

A su vez, México no regula el material particulado de vehículos a gasolina, cosa que en California, Europa y Japón si se hace, teniéndose en California un límite de 0.01 g/km y en Europa y Japón un límite de 0.005 g/km. En Europa se agregó también la medición del número de partículas, permitiéndose un máximo de 6X10¹¹ part/km (Tabla 46) y en California se plantea también la posibilidad de agregar este tipo de mediciones en un futuro, lo que ocasionaría la implementación de filtros de partículas en vehículos a gasolina (DieselNet, 2021b).

Tabla 46. Comparación de límites de emisiones en vehículos nuevos a gasolina (g/km).

	México	Europa (EURO 6)	Japón	California
Año	2005	2014	2018	2012 (a implementarse entre 2015 y 2025)
CO	2.11	1	1.15	LEV160=2.61 SULEV20=0.62
HC	-	0.1	-	-
HCNM+NO _x	Entre 0.047 y 0.087	-	-	LEV160= 0.10 SULEV20= 0.01
NO _x	0.068	0.06	0.05	-
Formaldehído	-	-	-	2.49
PM	No aplica	0.005	0.005	0.01
Número de partículas	-	6X10 ¹¹ (part/km)	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de (DOF, 2005), (Ministry of the Environment of Japan, 2019) y (DieselNet, 2021a)

En lo referente a los vehículos a diésel, los requerimientos se encuentran en dos Normas Oficiales Mexicanas, la NOM-042-SEMARNAT-2003 y NOM-044-SEMARNAT-2017, para vehículos menores a 3.8 t y mayores a 3.8 respectivamente. Aunque la NOM-042-SEMARNAT-2003 no ha sido actualizada, una parte de ella no ha podido ser puesta en marcha debido a que se requiere la existencia de diésel ultra bajo azufre en el mercado para que los vehículos a diésel ligeros puedan cumplirla, cosa que aún no sucede en todo el país (Tabla 47).

A pesar de que la NOM-044-SEMARNAT-2017 fue actualizada para ser comparable con la normatividad más estricta a nivel internacional, sus requerimientos no han podido ser satisfechos debido nuevamente a la falta de diésel de ultra bajo azufre, impidiéndose la comercialización nacional de vehículos con tecnologías ahorradoras poco contaminantes con filtros de partículas, provenientes de Estados Unidos o Europa

Las clasificaciones por tamaño que se tienen en las tres regiones estudiadas es diferente, en México se tienen camiones ligeros de menos de 3.8 toneladas y camiones pesados de más de 3.8 toneladas, en Europa se maneja solo un valor para diésel, mientras que en Japón hay tres divisiones con vehículos de menos de 1.7 ton., vehículos de más de 3.5 ton. y vehículos intermedios entre 1.7 y 3.5 ton. En el caso de California, la división es más parecida a México, teniéndose vehículos ligeros menores a 3.8 ton., vehículos pesados de 4.5 ton. a 6.3 ton. y vehículos intermedios entre 3.8 y 4.5 ton.

Es interesante analizar las diferencias entre las categorías por peso implementadas en las tres regiones, ya que se observa que en México y California hay una mayor regulación para vehículos más pesados, mientras que en Japón, se tienen los vehículos pesados, pero también existen clasificaciones y valores límites para vehículos más ligeros, mientras que en Europa existe un mercado más marcado de vehículos ligeros.

En lo referente a emisiones de monóxido de carbono, las emisiones de México para vehículos más ligeros son superiores a lo requerido en Europa y Japón, así como por las clasificaciones menos emisoras de California. En México se tiene una emisión de 2.11 g/km de CO para vehículos menores a 3.8 ton, mientras que en Europa es de 0.5 y en Japón es de 0.63 g/km para vehículos de menos de 3.5 ton. Mientras que en el caso

de los camiones pesados se tiene que México tiene valores dentro de lo establecido por las tres regiones.

En el caso de las PM, México, en los vehículos menores a 3.8 ton., sobrepasa incluso su propio estándar para vehículos pesados, siendo el de vehículos ligeros de entre 0.05 g/km y 0.075 g/km y el de vehículos pesados de 0.01 g/km. Lo mismo ocurre con las otras regiones, el estándar mexicano para vehículos ligeros es mayor a los valores requeridos en otras regiones, siendo en Europa de 0.005 g/km, en Japón de 0.01 y en California de máximo 0.01.

La única de las regiones analizadas con límite de emisión de formaldehído es California, lo cual convendría adoptar en México con el fin de controlar la emisión de esta sustancia cancerígena a la atmósfera. Además de esto, no se cuenta aún en México con un límite de número de partículas en vehículos a diésel ligero, lo cual debería también ser implementado en futuras actualizaciones de la norma.

En lo referente a hidrocarburos no metano + NO_x, México se encuentra dentro de los valores de algunas clasificaciones de California, pero no dentro de las más estrictas. México permite una emisión de entre 0.047 y 0.087 g/km, mientras que en California el máximo permitido por vehículos de menos de 3.8 ton. es de 0.1 para vehículos LEV160 y de 0.01 g/km para vehículos SULEV20, que son los de menos emisiones (Tabla 47).

Tabla 47. Comparación de límites de emisiones en vehículos nuevos a diésel (g/km)

	México		Europa		Japón			California		
	vehículos menores a 3.8 t (NOM-042)	camiones de más de 3.8 t (NOM-044)	(EURO VI) ligeros	Camiones pesados >2,610 kg	Vehículos ligeros (menos de 1.7 t)	Camiones intermedios (entre 1.7 y 3.5 t)	Camiones pesados (más de 3.5 t)	Vehículos de ≤ 3855 kg	Vehículos de carga 3856 - 4535.5 kg	Vehículos de carga 4536. - 6350.3 kg
Año	2005	2017	2014	2013	2018	2019	2016	2012 a implementarse entre 2015-2025	2012 a implementarse entre 2015-2025	2012 a implementarse entre 2015-2025
CO	2.11	1.5	0.5	4	0.63	0.63	2.22	Depende del estándar: de 2.61 para LEV160 a 0.62 para vehículos SULEV20	Depende del estándar: de 3.98 para LEV160 a 1.99 para vehículos SULEV20	Depende del estándar: de 4.54 para LEV160 a 2.30 para vehículos SULEV20
HCNM+NOx	Entre 0.047 y 0.087	No aplica	0.17	-	-	-	-	LEV160= 0.10 SULEV20= 0.01	LEV160= 0.25 SULEV20=0.09	LEV160= 0.39 SULEV20=0.12
NOx	entre 0.068 y 0.124	0.4	0.08	0.46	0.15	0.24	0.4	-	-	-
Formaldehido	-	-	-	-	-	-	-	LEV160=2.49 SULEV20= 2.49	LEV160=3.73 SULEV20=3.73	LEV160=3.73 SULEV20=3.73
PM	entre 0.050 y 0.075	0.01	0.005	0.01	0.005	0.007	0.01	LEV160= 0.01 SULEV20=0.01	LEV160=0.07 SULEV20=0.04	LEV160= 0.07 SULEV20= 0.04
Número de partículas	-	6.0X10 ¹¹ (#part/km)	6.0X10 ¹¹ (#part/km)	6.0X10 ¹¹ (#part/km)	-	-	-	-	-	-

Nota: LEV, vehículos de bajas emisiones u SULEV, vehículos de ultra bajas emisiones.

Fuente: Elaboración propia a partir de (DOF, 2005), (DOF, 2017), (Ministry of the Environment of Japan, 2019) y (DieselNet, 2021a)

6. Recomendaciones para la mejora de la política de combustibles en México

Las propuestas de mejora en la política de combustibles se dividen al igual que se ha hecho en todo el documento, en tres partes: Calidad de combustibles, rendimiento de combustibles y emisiones vehiculares.

6.1. Calidad de Combustibles

Una propuesta integral de calidad de combustibles en México requiere, por un lado, de un análisis profundo de la situación en el país en lo referente a las proyecciones y expectativas en torno a la importación y refinación de petróleo y, por otro lado, de las prospectivas de introducción de nueva tecnología vehicular. Además de estos análisis, se requiere plantear fechas de modificación normativa e introducción de nueva tecnología, ya que, de lo contrario, se corre el riesgo de incumplimientos y de la necesidad de prórrogas como se ha venido haciendo en los últimos años.

En esta tesina, se plantea alcanzar una normatividad más estricta en México que busque disminuir, primeramente, las diferencias entre las diferentes regiones del país y posteriormente, alcanzar parámetros de calidad más estrictos como los presentados en California, Japón y la Unión Europea. Se plantea que las modificaciones se lleven a cabo de manera escalonada en tres etapas, con periodos de implementación de seis años entre cada una. Con esto se busca que las modificaciones sean factibles y que se alineen a las prospectivas de soberanía energética actuales en el país.

La primera etapa, cuya implementación se propone suceda en un periodo de seis años (a 2026), coincidirá con la finalización de la prórroga de cinco años que se otorgó para el cumplimiento de la calidad de combustibles establecidos en la NOM-016-CRE-2016; además de que permitirá contar con los combustibles producidos gracias a los proyectos de modernización en el SNR (Gobierno de México, 2021) y con la puesta en marcha de la Refinería Dos Bocas, la cual se espera será inaugurada en 2022. (Gobierno de México, 2021). El establecer 2026 como fecha para la implementación de la primera fase en la mejora de combustibles permite cierta

holgura en caso de que haya retrasos en los proyectos prioritarios de Dos Bocas y de la rehabilitación del SNR.

La segunda etapa corresponde a los seis años siguientes a la implementación de la primera etapa de las tres etapas proyectadas, buscándose con esta alcanzar un punto intermedio entre la calidad de combustibles actual en México y los valores de calidad estrictos presentados en California, región donde según este análisis se tiene la mejor calidad de combustibles, excepto en cantidad de azufre, que puede ser disminuida a niveles observados en Japón o La Unión Europea (disminución hasta 10 ppm en el contenido de Azufre).

Finalmente, la tercera etapa, propuesta en este documento, corresponde a conseguir valores en los parámetros de calidad de combustibles más estrictos, similares a los observados en California y con un límite estricto de contenido de Azufre. Posterior a esta tercera etapa, se pueden implementar subsecuentes modificaciones que permitan mejorar aún más la calidad de combustibles, según sea requerido en el futuro, dependiendo de las tecnologías vehiculares existentes.

El análisis de la evolución de cada parámetro por etapa es indicado a continuación:

- **Presión de Vapor**

Como se mencionó en el capítulo 5, sería interesante una revisión de la normatividad para establecer volatilidades que estén definidas por rangos de temperatura en vez de por zonas geográficas, con el fin de acercar este procedimiento a lo establecido en otras regiones y evitar problemas de evaporación de combustibles en temporadas cálidas, disminuyendo así la formación de ozono troposférico.

Aunado a la revisión de las zonas de volatilidad, se recomienda disminuciones en las presiones de vapor máximas permitidas en el país. Iniciándose en la 1ra etapa con la implementación de un máximo de 54 kPa en las tres zonas metropolitanas más importantes ZMVM, ZMG y ZMM, disminuyendo el máximo permitido en el resto del país a 78 kPa en zonas extremadamente frías (máximo en Japón). Para la segunda y tercera etapas se establece un límite de 60 kPa en el resto del país, límite de presión de Vapor que presenta California.

La modificación de la presión de vapor no es un asunto trivial, ya que implica tener una calidad de combustible más ligero con un mayor grado API°, lo cual pudiera ser complicado conseguir en México sin la importación de crudo o combustibles ligeros. El sistema de refinación nacional reconfigurado podría abastecer cierta cantidad de estos combustibles, pero tendrían que enfrentarse otros problemas como la disposición de residuos y compuestos pesados como asfaltos y coque de petróleo.

- **Temperaturas de destilación**

Los rangos de destilación de la gasolina se encuentran relacionados a las volatilidades de los combustibles y a las características de los hidrocarburos que la componen, por lo que al igual que con las presiones de vapor, se recomienda revisar las zonas que pertenecen a cada una de las volatilidades definidas en la normatividad (se recomienda hacer la asignación de volatilidades por temperatura ambiente en vez de por regiones geográficas y ajustar los valores de temperatura como se describe a continuación).

- **Temperatura máxima de destilación al 10% (T_{10})**

Para la T_{10} , se plantea tener un máximo de 65 °C en las tres zonas metropolitanas más grandes (ZMM, ZMVM y ZMG) y de 55 °C máximo en las zonas frías del resto del país desde la primera etapa.

- **Temperatura máxima de destilación al 50%**

Para la destilación al 50% se observó que los rangos mexicanos son más altos que los de otras regiones, por lo que en este caso se especifican reducciones al límite máximo en cada una de las etapas. Para la primera etapa se establece un rango de 77 a 110 °C, mientras que para la segunda etapa se reduce en límite superior a 100. Pidiéndose un rango de entre 77 a 100°C y para la tercera etapa se establece un límite máximo de 100°C con un promedio de 95°C.

- **Temperatura máxima de destilación al 90%**

La destilación al 90% representa las fracciones de la gasolina más pesadas y entre mayor es el valor de la temperatura, más pesados son los componentes de la gasolina. En México se aceptan gasolinas con una temperatura de destilación al 90% mayores

que en otras regiones, por lo que se plantea una disminución paulatina a través de las tres etapas presentadas. Se propone que el límite sea el mismo en todo el territorio nacional, empezando con un máximo de 185°C durante la implementación de la primera etapa, disminuyendo a 170°C durante la segunda etapa y terminando con un máximo de 155 °C con un promedio de 146°C en la tercera etapa.

- **Temperatura máxima de destilación final**

La temperatura de destilación final es en México más alta que en otras regiones, por lo que al igual que con la temperatura de destilación al 90%, se propone disminuir la temperatura paulatinamente, a 215°C en la primera etapa, a 210°C en la segunda etapa y a 205°C en la tercera etapa.

- **Azufre**

En el caso del azufre, México logró un buen avance entre 1994 y 2015, disminuyendo el contenido de azufre de 0.1% en peso a 30 ppm en promedio con un máximo de 80 ppm. A pesar de este avance, este valor es aún mayor a lo tenido en regiones con calidades de combustible más estrictas, por lo que se propone disminuir primero el máximo permitido, pasando de 80 a 50 en la primera etapa. Ya que se haya disminuido los picos máximos, se propone disminuir el promedio de azufre a la mitad, pasando de 30 a 15 ppm y disminuyendo el máximo nuevamente hasta un valor de 20 durante la segunda etapa. Para la tercera etapa se propone tener un valor máximo de 10 ppm.

- **Número de octano RON**

El octanaje, como se ha mencionado a lo largo de esta tesis, es importante ya que permite conocer la capacidad antidetonante de la gasolina. Mayores octanajes permiten tener vehículos más eficientes que incorporen tecnologías que permitan una mejor combustión en el motor. En México, el número RON se encuentra actualmente especificado solo para la gasolina "Premium". Se propone que se cumpla con un valor mínimo también para la gasolina "Magna". Además de esto, se pretende que haya aumentos en el valor del número RON, pasando de 94 mín. para "Premium" y 91

mín. para "Magna" en la primera etapa a mínimo de 98 y 95 respectivamente durante la tercera etapa.

- **Número de octano MON**

Al igual que para el número RON, el número MON (medición de octanaje a 900rpm y temperatura del aire de 149°C) es un parámetro que puede ser mejorado en las gasolinas mexicanas. Actualmente no se solicita que la gasolina "Premium" tenga un número MON específico, pidiéndose que sea 82 mínimo para la gasolina "Magna". Se especifica un cambio en el número MON de la gasolina "Magna" de 82 a 83 en la primera etapa, posteriormente a 87 para la segunda etapa y finalmente un valor mínimo de 89 para la tercera etapa. En lo referente a la gasolina "Premium" se solicita en la primera etapa un valor mínimo de 88, pasando a 92 en la segunda etapa y llegando a 94 en la tercera etapa.

- **Índice de Octano**

El índice de octano es el promedio de los números MON y RON; al verse estos dos modificados, el índice de octano también se verá modificado. Se promueve un aumento del índice de octano de la gasolina "Premium" de 91 a 93 en la segunda fase y a 96 en la tercera fase. Por su parte, se propone un aumento para el índice de la gasolina "magna" de 87 a 89 en la segunda fase y a 92 en la tercera fase. Estos aumentos en octanaje pueden lograrse con gasolinas reformuladas obtenidas de los proyectos de mejora en el SNR y de la nueva Refinería de Dos Bocas en Tabasco.

- **Aromáticos**

Actualmente la concentración de aromáticos permitida en México varía de 25% vol. en la ZMVM a 32% vol. en el resto del país. Se propone que en la primera etapa todas las zonas metropolitanas cuenten con un contenido de aromáticos de 25%, como se había establecido en la NOM-016-CRE-2016 antes de ser prorrogada (ya que se había establecido que para el 2020 las ZMVM, ZMM y ZMG contarían con gasolina con 25% vol. de compuestos aromáticos). Posteriormente, en la segunda etapa, se propone que la concentración de aromáticos sea homogénea en todo el país (25% vol.). En la

tercera etapa se propone alcanzar el límite establecido en California, de un máximo de 25 % en volumen de compuestos aromáticos con un promedio de 22%.

- **Olefinas**

Al igual que con los compuestos aromáticos, la concentración de olefinas se encuentra más restringida en la Ciudad de México y su zona conurbada que en el resto del país. Para la primera etapa se propone que se cumpla una concentración de 10% en todo el país, disminuyéndolo a 8% máximo en la segunda etapa y a máximo 6 con un promedio de 4% vol. para la tercera etapa, igualándose así la calidad existente actualmente en California.

- **Benceno**

En el caso del Benceno, México permite un máximo de 1% vol. en sus tres zonas metropolitanas principales y un máximo de 2 en el resto el país. Para la primera etapa de mejora de combustibles, se propone que el contenido de benceno sea uniforme en todo el país, teniendo un valor de 1% vol. Para la segunda etapa se plantea tener la misma concentración y disminuirla a 0.8% volumen para la tercera etapa, con el fin de tener un contenido de benceno similar al establecido para las gasolinas en California.

- **Oxigenantes**

En el caso de los oxigenantes, las tres zonas metropolitanas más importantes cumplen con lo establecido en las otras regiones estudiadas en esta tesina y con lo establecido por los fabricantes de vehículos. El único cambio que se propone es que se establezca un mínimo de oxigenantes de 1% en el resto del país, iniciando desde la primera etapa.

Además de las propuestas de modificación en la calidad de combustibles (resumidas en la Tabla 48) se requiere establecer programas efectivos de cumplimiento de calidad de combustibles a lo largo de la cadena de suministro e implementar sanciones en caso de que no se cumpla.

Tabla 48. Propuestas de mejora en la calidad de gasolinas por etapas

Propiedades	Unidades	NOM-016-CRE-2016 (ACTUAL 2020)	1ra etapa (6 años)	2da etapa (6 años)	3ra etapa (6 años)
Presión de vapor	kPa	ZMVM y ZMG= 54 Resto del país= hasta 79 dependiendo del mes y la región.	ZMVM, ZMM, ZMG= 54 Resto del país entre 54-78 dependiendo de la temperatura	ZMVM, ZMM, ZMG= 54 Resto del país Máx. 60	ZMVM, ZMM, ZMG= 54 Resto del país Máx. 60
T. máx. de destilación del 10%	°C	ZMVM y ZMG = 70 El resto del país: varia siendo 60 en zonas frías.	ZMVM, ZMM y ZMG = 65 El resto del país: varia siendo 55 el máximo en zonas frías	ZMVM, ZMM y ZMG = 65 El resto del país: varia siendo 55 en zonas frías	ZMVM, ZMM y ZMG = 65 El resto del país: varia siendo 55 en zonas frías
T. máx. de destilación del 50%.	°C	ZMVM y ZMG= 77 a 121 resto del país entre 77 y 121	entre 77 y 110	entre 77 y 100	Máximo 100 con un promedio de 95
T. máx. de destilación del 90%.	°C	ZMVM y ZMG =190 resto del país entre 185 y 190.	Hasta 185	Hasta 170	Máximo 155, promedio 146
T. máx. de ebullición final.	°C	máx. 225	máx. 215	máx. 210	máx. 205
Azufre	ppm	30 en promedio, 80 máximo	30 en promedio, 50 máximo	15 promedio, 20 máximo	máximo 10
Número de octano RON	Adimensional	Premium: 94 min. Magna: informar	Premium: 94 min. Magna: 91 mín.	Premium: 94 min. Magna: 91 mín.	Premium: 98 min. Magna: 95 mín.
Número de octano MON	Adimensional	Premium: informar. Magna: 82 min.	Premium: 88 Magna: 83 min.	Premium: 92 mín. Magna: 87 min.	Premium: 94 Magna: 89 min.
Índice de octano (RON+MON) /2	Adimensional	Premium: 91 min. Magna: 87 min.	Premium: 91 min. Magna: 87 min.	Premium: 93 min. Magna: 89 min.	Premium: 96 min. Magna: 92 min.
Aromáticos	% vol.	ZMVM: 25, resto del país máx. 32 en premium	Zonas metropolitanas máx. 25, resto del país máx. 32 en premium	máx. 25	máximo 25, promedio 22
Olefinas	% vol.	ZMVM: 10 máx. resto del país: 12.5 máx. en premium	Máximo 10.	máximo 8	máximo 6, promedio 4
Benceno	% vol.	ZMVM, ZMG, ZMM: 1 máx. resto país 2.0 máx.	Todo el país máximo 1	Todo el país máximo 1	máximo 0.8
Oxígeno	%peso máx.	Mínimo 1, máximo 2.7 en ZMVM, ZMG y ZMM (se prohíbe el uso de etanol anhidro en estas regiones) 2.7 máximo en el resto del país. (Máx. 5.8% volumen de etanol).	Mínimo 1, máximo 2.7 en todo el país. (Máx. 5.8% volumen de etanol).	Mínimo 1, máximo 2.7 en todo el país. (Máx. 5.8% volumen de etanol).	Mínimo 1, máximo 2.7 en todo el país. (Máx. 5.8% volumen de etanol).
Etanol	%vol.	máximo 5.8% excepto en zonas metropolitanas	máximo 5.8% excepto en zonas metropolitanas	máximo 5.8% excepto en zonas metropolitanas	máximo 5.8% excepto en zonas metropolitanas

Fuentes: (DOF, 2020)

En el caso del diésel, se proponen también 3 etapas, con el fin de poder cumplir principalmente con el contenido máximo de azufre. También se proponen cambios en otras propiedades, incluyéndose un aumento en el número de cetano hasta 55 y modificaciones en las temperaturas de ebullición del combustible. La descripción de las modificaciones a las propiedades más importantes se describe a continuación:

- Índice de cetano

En el caso de esta propiedad, se busca obtener el valor más estricto, que se tiene en California, que es de 55, empezando por un aumento al número de cetano hasta la etapa 2 a mínimo 50 y en la etapa 3 a 55.

- Azufre

En el caso del azufre, se decidió dividir el avance hacia combustibles de bajo azufre con tres etapas que permitieran una evolución lenta y plausible hacia un combustible menos contaminante. Pasando por la etapa uno en donde se plantea disminuir a la mitad el contenido de azufre en el resto del país, pasando de 500 a 250 y manteniendo el máximo en 15 ppm de la ZMVM, ZMM, ZMG y ZFN. En la etapa dos se propone un máximo de 15 ppm en todo el país y posteriormente un máximo de 10 ppm en todo el país a partir de la implementación de la etapa 3.

- Temperaturas de destilación

Las temperaturas actuales presentes en el diésel mexicano corresponden a un diésel más pesado con hidrocarburos de cadena más larga que en California, región con un diésel más ligero. Para la T_{90} se propone en la etapa 1 tener una temperatura máxima de 345°C, que disminuya a 330°C en la segunda etapa y a 320°C en la tercera etapa. Se propone también disminuir los límites máximos de la T_{50} y la T_{10} en las tres etapas.

- Contenido de aromáticos

Se propone disminuir el contenido de aromáticos a 15, lo recomendado por las asociaciones de fabricantes para tecnologías vehiculares avanzadas a diésel.

Tabla 49. Propuestas de mejora en la calidad de diésel por etapas

Propiedad	Unidad	NOM-016-CRE-2016 (modificación 26jun17) y Acuerdo 2020	Etapa 1 (6 años)	Etapa 2 (6 años)	Etapa 3 (6 años)
Corrosión al Cu 3 horas a 50°C	Adimensional	estándar #1 máximo	estándar #1 máximo	estándar #1 máximo	estándar #1 máximo
índice de Cetano	Adimensional	Mínimo de 45	Mínimo 45	Mínimo 50	Mínimo 55
Azufre	ppm	15 máximo en ZMVM, ZMG, ZMM y ZFN, 500 máximo en resto del país	Máximo 15 en ZMVM, ZMG, ZMM y ZFN y 250 máximo en el resto del país	Máximo 15 en todo el país.	Máximo 10 en todo el país
Temperatura inicial de ebullición	°C	Informar	Informar	Informar	Informar
Destilación, T90%	°C	máximo 345	Máx. 345	Máx. 330	Máx. 320
Destilación, T50%	°C	Informar	De 240 a 300	De 240 a 290	De 240 a 280
Destilación, T10%	°C	máximo 275	Máximo 275	Máximo 250	Máximo 240
Temperatura final de ebullición	°C	Informar	Informar	Informar	Informar
Temperatura de inflamación	°C	mín. 45	mín. 45	mín. 45	mín. 45
Temperatura de escurrimiento	°C	Marzo a oct: máx. 0, nov a feb máx. -5	Marzo a oct: máx. 0, nov a feb máx. -5	Marzo a oct: máx. 0, nov a feb máx. -5	Marzo a oct: máx. 0, nov a feb máx. -5
Temperatura de nublamiento	°C	Informar	Informar	Informar	Informar
residuos de carbón (en 10% del residuo)	% masa	0.35 máx.	0.25 máx.	0.15 máx.	0.05 máx.
Agua y Sedimento	% vol.	máx. 0.05	Máx. 0.05	Máx. 0.02	Máx. 0.02
Viscosidad cinemática	mm ² /s	1.9 a 4.1	1.9 a 4.1	1.9 a 4.1	1.9 a 4.1
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	%m/m	Informar	Informar	Informar	Informar
Contenido de aromáticos	%vol.	máximo 30	Máximo 25	Máximo 18	Máximo 10
Gravedad específica	Adimensional	Informar	Informar	Informar	Informar
Cenizas	% masa	máx. 0.01	máx. 0.01	máx. 0.01	máx. 0.001
Color	Adimensional	máx. 2.5	máx. 2.5	máx. 2.5	máx. 2.5
Lubricidad	Micrones	máx. 520	máx. 500	máx. 450	máx. 400

Fuente: Elaboración propia con información de (DOF, 2020).

6.2. Rendimiento de Combustibles

En México, la CONUEE ha logrado poner el tema de la eficiencia vehicular en el dominio público, pero aún falta que a nivel federal se dé seguimiento a la regulación y programas para mejorar el rendimiento de combustible. La NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 fue un primer paso para regular el rendimiento de los vehículos a través del establecimiento de límites en la emisión de CO₂ por fabricante.

En este sentido, en esta tesina se propone que se siga un acercamiento similar al tenido por Japón en este tema. En vez de implementarse límites por fabricante, promediando las emisiones de sus vehículos de un mismo año modelo, se recomienda poner límites en cada uno de los modelos vendidos, además de darle más promoción al tema del ahorro de energía, poniéndose especial énfasis en los ahorros monetarios que se pueden alcanzar al preferir vehículos de bajo consumo de combustible. Además de esto, se propone que se incentive la venta de vehículos de alto rendimiento y se castigue con multas a los proveedores cuyos modelos no cumplan con los requerimientos mínimos.

Los límites mínimos de rendimiento por vehículo deben estar determinados como se ha venido haciendo a partir de la implementación del programa “Top Runner” en Japón, utilizándose el peso mínimo y el tipo de combustible de cada uno de los modelos que se pretende vender; actualizándose la norma antes de que se venzan los plazos o cuando se superen las expectativas de ahorro de energía por modelo vendido. En este sentido, se pueden poner estimaciones a 5 años con los posibles valores mínimos de rendimiento y actualizarse previo a que se cumpla dicho plazo. Es también muy importante mantener la continuidad de manera transexenal, ya que de lo contrario se pueden ver comprometidos los avances ya pactados, como pasó durante la administración de Trump en Estados Unidos.

También se plantea que la norma se encuentre descrita directamente en términos de consumo o rendimiento de combustible, en vez de en emisión de CO₂, ya que se tiene de forma más clara el valor deseado y se puede lograr comparaciones sin necesidad de realizar la conversión o tener que implementar cambios en la base en caso de que se cambien las equivalencias entre combustible y emisiones de CO₂.

En este sentido, se propone, primeramente, que la base de datos de rendimiento de combustible de la CONUEE incluya el peso de los vehículos con el fin de iniciar la medición de

estándares de rendimiento de combustible en una primera fase utilizando los valores japoneses (Tabla 50 y Tabla 51).

Tabla 50. Estándares de rendimiento de combustible en vehículos a gasolina por peso propuesto para la primera etapa de implementación de nuevos estándares de rendimiento de combustible en México (tomado de los valores de Japón).

Categoría	Peso del vehículo a gasolina (kg)	Estándar de rendimiento a 2020 (km/l)
1	menos de 600	24.6
2	601 – 740	24.6
3	741-855	24.5
4	856-970	23.7
5	971-1,080	23.4
6	1,081 - 1,195	21.8
7	1,196 - 1,310	20.3
8	1,311 - 1,420	19
9	1,421 - 1,530	17.6
10	1,531-1,650	16.5
11	1,651-1,760	15.4
12	1,761-1,870	14.4
13	1,871-1990	13.5
14	1,991-2,100	12.7
15	2,101-2,270	11.9
16	mayor a 2,271	10.6

Fuente: Elaboración propia a partir de (Comité de evaluación de estándares vehiculares, 2007), (Comité de evaluación de estándares vehiculares, 2011)

Tabla 51. Estándares de rendimiento de combustible en vehículos a diésel por peso propuesto para la primera etapa de implementación de nuevos estándares de rendimiento de combustible en México (tomado de los valores de Japón).

Categoría	Peso del vehículo de carga a diésel (toneladas)	Estándar de rendimiento a 2015 (km/l)
1	3.5 <peso<7.5 (carga menor a 1.5 t	10.83
2	3.5 <peso<7.5 carga entre 1.5 y 3 t	10.35
3	3.5 <peso<7.5 carga entre 2 y 3 t	9.51
4	3.5 <peso<7.5 carga mayor a 3 t	8.12
5	7.5 <peso<8	7.24
6	8.0 <peso<10	6.52
7	10 <peso<12	6.00
8	12<peso<14	5.69
9	14 <peso<16	4.97
10	16 <peso<20	4.15
11	Mayor a 20	4.04

Fuente: Elaboración propia a partir de (Comité para de evaluación de estándares vehiculares para vehiculos pesados, 2005).

O en su defecto, establecer límites dependiendo del cilindraje de los vehículos, como el mostrado en la Tabla 52, el cual fue obtenido a partir de la realización de un promedio de los rendimientos de combustible del catálogo de rendimiento de combustible en vehículos ligeros de venta en México de la CONUEE.

Tabla 52. Rendimiento de combustible combinado mínimo dependiente del cilindraje

Cilindros	Rendimiento de combustible (km/l)
3	21
4	17
6	12
8	10

Fuente: Elaboración propia con datos de (CONUEE, 2020)

La implementación en mejoras de calidad de combustibles permitirá, a su vez, un establecimiento de estándares de rendimiento de combustibles viable en México, ya que para poder tener vehículos compactos y de alta eficiencia se necesitan nuevas tecnologías. México podrá acceder a vehículos eficientes como los japoneses desde la primera etapa de calidad de combustibles propuesta en esta tesis; ya que son valores que se han podido lograr en Japón.

En las segunda y tercera etapas de mejora en la calidad de combustible se podrían tener vehículos aún más eficientes, por lo que ambas normatividades en México, la de combustibles y rendimientos, necesitarán acoplarse y ser actualizadas a la par. Es interesante observar que, aunque California tiene los estándares más estrictos de calidad de combustibles, la falta de acoplamiento entre las diferentes regulaciones los ha alejado de tener los vehículos más eficientes.

6.3. Emisiones vehiculares

Al igual que en el caso del rendimiento de combustibles, la normatividad mexicana en materia de emisiones se ha visto rebasada por la tecnología existente en el mercado. La falta de actualización de la normatividad o de su cumplimiento es evidente, especialmente en el caso de la NOM-044-SEMARNAT-2017, que establece las emisiones permisibles para vehículos pesados nuevos. La falta del cumplimiento de la norma de calidad de combustibles ha impedido que se pueda asegurar la entrada de vehículos a diésel con especificaciones equivalentes a Euro VI, debido a la falta de combustible ultra bajo azufre.

En este sentido, se recomienda, que una vez se cumpla con la primera fase de modificaciones al combustible propuestos en esta tesina, tanto en gasolina como en diésel, se proceda a actualizar la NOM-042-SEMARNAT-2003, modificando ambas partes, la de gasolina por estar obsoleta, ya que en ella se exige una cantidad de azufre de 30 ppm en promedio y máximo de 80 ppm y cambiando totalmente la parte de diésel, ya que la tecnología ha superado los requerimientos establecidos para vehículos que utilizan ultra bajo azufre (los límites de la norma corresponden a los primeros vehículos ultra bajo azufre vendidos a finales de la década del 2000).

Los límites de emisión para vehículos nuevos que se recomienda establecer desde la primera etapa son los europeos, EURO 6 para vehículos a gasolina y EURO VI para vehículos a diésel ligeros (menores a 1.7 ton.). Se recomienda incluir una categoría entre vehículos pesados y ligeros a diésel como se hace en Japón, con el fin de lograr regular más claramente estos vehículos, proponiéndose valores límites similares a los ya existentes en Japón con la inclusión de la medición del número de partículas. Para vehículos a diésel pesado se recomienda cumplir lo ya establecido en la NOM-044-SEMARNAT-2017 (Tabla 53).

Tabla 53. Límites de emisión propuestos para México en la primera etapa (g/km).

	Gasolina	Diésel (vehículos menores a 1.7 ton)	Diésel (vehículos intermedios entre 1.7 ton y 3.8ton)	Diésel (vehículos mayores a 3.8 ton)
CO	1	0.5	0.63	1.5
HC	0.1	HC + NOx = 0.17	-	-
NOx	0.05	0.08	0.24	0.4
PM	0.005	0.005	0.007	0.01
Número de partículas (#part/km)	6X10 ¹¹	6X10 ¹¹	6X10 ¹¹	6X10 ¹¹

Fuente: Elaboración propia con datos de (DOF, 2005), (DOF, 2017), (Ministry of the Environment of Japan, 2019) y (DieselNet, 2021a).

Para poder coadyuvar con la implementación de nuevas tecnologías, se requiere actualizar las regulaciones relativas a las emisiones contaminantes. En esta tesina solo se menciona esto como necesidad. Un análisis más profundo sobre la metodología de actualización de emisiones debe ser realizado, pero debe coincidir con la comercialización a nivel nacional de combustible de mejor calidad.

7. Conclusiones

México, a través de su historia, ha logrado implementar cambios en su normativa y establecer programas para aumentar la calidad y el rendimiento de combustible, así como para vender mejores vehículos y disminuir las emisiones contaminantes vehiculares. A pesar de esto, estos esfuerzos no han sido suficientes para tener una normatividad estricta como se tiene en California, Japón y la Unión Europea.

Para que México pueda ser considerado dentro de la lista de los países con políticas de combustibles estrictas, necesita efectuar cambios transversales y transexenales que le permitan una continuidad a los proyectos que se tienen. Por un lado, se debe actualizar la normatividad constantemente, tomando en cuenta las implicaciones que estos cambios puedan tener en otras áreas; por otro lado, se debe asegurar que las actualizaciones sean estrictas y plausibles. Es decir, si se actualiza la normatividad de combustibles utilizando de referencia estándares estrictos internacionales, se debe asegurar que los cambios sean posibles conforme fueron proyectados y se requiere medir los impactos que estos cambios tengan en otras políticas y programas (efectos en los vehículos nuevos y en circulación, en emisión de contaminantes y sus repercusiones en otras políticas como las de cambio climático).

Aunado a esto, se debe hacer un análisis detallado que permita conocer las condiciones del país y tener proyectos y programas a corto, mediano y largo plazo que permitan la implementación y seguimiento de las diversas políticas, de nada sirve tener una normatividad estricta que no se va a cumplir y deberá ser prorrogada continuamente. Debe existir una interrelación clara entre la normatividad que especifica las características de los vehículos nuevos a ser comercializados en el país, las expectativas en torno a su rendimiento de combustible y a la calidad de combustibles y cómo se logrará cumplir las mismas (ya sea produciéndose nacionalmente o importándose).

A lo largo de este trabajo se observó que las regiones analizadas cuentan con diferente grado de calidad de combustible, pero todas ellas tienen un alto grado de calidad, siendo California la de mayor calidad, seguida por la Unión Europea y Japón. Cada uno de los parámetros revisados y propuestos en esta tesina es implementable a corto, mediano y largo

plazo, ya que pertenece a combustibles comercializados actualmente en alguno de los países estudiados.

En esta tesina, se propusieron cambios paulatinos en los valores límite de las propiedades más importantes de los combustibles. Dichos cambios fueron proyectados en etapas de seis años, poniéndose especial énfasis en las propiedades más problemáticas y que no han podido ser mejoradas a pesar de varios intentos durante los últimos años. Se sugieren escenarios o etapas de seis años para que puedan resolverse las limitaciones actuales en torno a la calidad de combustible producido y comprado por México. Se espera se reduzcan las problemáticas de combustible gracias a los proyectos prioritarios de la nueva administración, la cual ha priorizado la rehabilitación del SNR y la construcción de una nueva refinería con capacidad de producir gasolinas ligeras y bajas en azufre.

En este sentido, este trabajo propone la comercialización de combustibles ultra bajo azufre con menores temperaturas de ebullición y controles más estrictos de compuestos aromáticos, benceno y olefinas en México; con el fin de que se permita la introducción de vehículos con tecnología de punta, como se tenía previsto en la NOM-044-SEMARNAT-2017. Para poder cumplir a cabalidad con la normatividad, se requiere también la homogeneización del combustible vendido a nivel nacional, no se puede asegurar la introducción de nueva tecnología correctamente si se tienen calidades de combustibles diferentes a lo largo del país.

8. Referencias

ACE, AUTO ALLIANCE,EMA,JAMA. (2019). *Worldwide Fuel Charter*.

Álvarez Maciel, C. (2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa*. Obtenido de <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>

American Petroleum Institute. (2018). *U.S. Gasoline requirements*. Obtenido de as of January 2018: <https://www.api.org/-/media/Files/Policy/Fuels-and-Renewables/2016-Oct-RFS/US-Fuel-Requirements/US-Gasoline-Requirements-Map.pdf>

AMF TCP. (2021). *Technology Collaboration Programme*. Obtenido de Fuel ethers for gasoline: https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/ethanol/ethers

Autocosmos. (06 de Abr de 2021). *Los 10 autos que consumen menos gasolina en México para 2021*. Obtenido de <https://noticias.autocosmos.com.mx/2021/01/07/los-10-autos-que-consumen-menos-gasolina-en-mexico-para-2021>

Berlanga, C., Biezma, M., & Fernández, J. (2011). revisión y estado del arte de la corrosividad del etanol y sus mezclas con gasolina. *Revista de Metalurgia*, 507-518. Obtenido de <file:///C:/Users/sepulvce/Downloads/1215-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1231-1-10-20120113.pdf>

California Air Resources Board. (2014). *California Reformulated Gasoline Program*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2018 Consultado a las 18:40 hrs., de <https://www.arb.ca.gov/fuels/gasoline/gasoline.htm>, <https://www.arb.ca.gov/fuels/gasoline/carfg3/carfg3.htm>

California Air Resources Board. (2018). *Apendice I. Glosario*. Obtenido de https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-06/final_community_air_protection_blueprint_october_2018_appendix_i_spanish_acc.pdf

California Air Resources Board. (Dic de 2020). Obtenido de <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/gasoline/about>

- California Air Resources Board. (2020). *2020 Mobil Source Strategy*. Obtenido de https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-11/Draft_2020_Mobile_Source_Strategy.pdf
- California Air Resources Board. (2014). *CaRFG Regulations reflecting Amendments*. California. Obtenido de https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-05/California_Reformulated_Gasoline_Regulations_2-16-14.pdf
- California Air Sources Board. (2018). *2018 Air District-Approved Draft Final Community Emissions Reduction Programs*. Obtenido de https://ww2.arb.ca.gov/capp_2018_ad_cerps
- California Energy Commission. (Dic de 2020). *Clean Transportation Program*. Obtenido de <https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/clean-transportation-program>
- Carabias, J. (1988). Es necesario detener las tendencias actuales de destrucción del medio: Deterioro ambiental en México. *Ciencias (revista de difusión UNAM)*, 13-19.
- CAREX Canada. (2020). *Gasoline Engine Exhaust Profile*. Obtenido de https://www.carexcanada.ca/profile/gasoline_engine_exhaust/
- Castillo Hernández, P., Mendoza Domínguez, A., & Caballero Mata, P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol. *Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XIII (número 3)*, 293-306.
- Center for Transportation ENO. (01 de Ago de 2019). *Fuel Efficiency Standards – California vs. the Feds (How We Got Here, and What Comes Next)*. Obtenido de <https://www.enotrans.org/article/fuel-efficiency-standards-california-vs-the-feds-how-we-got-here-and-what-comes-next/>
- COFECE. (enero de 2019). *Transición hacia mercados competidos de energía: Gasolinas y Diésel*. Obtenido de <https://www.cofece.mx/wp-content/uploads/2019/01/CPC-GasolinasyDiesel-30012019.pdf>
- Colorado School of Mines. (2018). *Refinery Feedstocks & Products*. Recuperado el 03 de noviembre de 2018 a las 16:58 hrs., de Properties and specifications: https://inside.mines.edu/~jjechura/Refining/02_Feedstocks_&_Products.pdf

- Comisión Europea. (2020). *CO₂ emission performance standards for cars and vans (2020 onwards)*. Obtenido de https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_en
- Comisión Europea. (2020). *Reducing CO₂ emissions from passenger cars - before 2020*. Obtenido de https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en
- Comission Europea. (2020). *Clean and energy efficient vehicles*. Obtenido de https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/clean-and-energy-efficient-vehicles_en
- Comité para de evaluación de estándares vehiculares para vehiculos pesados. (2005). *Final Report by Heavy Vehicle Fuel Efficiency Standard Evaluation Group, Heavy Vehicle Standards Evaluation Subcommittee, Energy Efficiency Standards Subcommittee of the Advisory Committee for Natural Resources and Energy*. Obtenido de https://www.eccj.or.jp/top_runner/pdf/heavy_vehicles_nov2005.pdf
- Comité de evaluación de estándares vehiculares. (2007). *Fuel Efficiency Standards 2007*. Obtenido de https://www.eccj.or.jp/top_runner/pdf/tr_passenger&freight_vehicles_gasoline&diesel_mar2007.pdf
- Comité de evaluación de estándares vehiculares. (2011). *Fuel Efficiency Standras 2011*. Obtenido de https://www.eccj.or.jp/top_runner/pdf/tr_passenger_vehicles_dec2011.pdf
- CONUEE. (2010). *Rendimiento de combustible de Vehículos ligeros de venta en México con Año Modelo 2010*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/126008/CatalogoRendimientos2010.pdf>
- CONUEE. (07 de ene de 2016). *Consejos sobre ahorro de energía en tu Automóvil*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/consejos-sobre-ahorro-de-energia-en-tu-automovil>
- CONUEE. (2018). *Normas de Eficiencia Energética en vehículos Automotores*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341384/normasvehiculosautomotores.pdf>

- CONUEE. (2019). *Rendimiento de combustible en vehículos ligeros de venta en México*.
Obtenido de
https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/transporte/Rendimiento_vehicular/Catalogo_de_Rendimientos_2019_v20.03_2.pdf
- CONUEE. (2020). *Derivados del petróleo*. Obtenido de La gasolina:
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/253452/GasolinaFT.pdf>
- CONUEE. (2020). *Rendimiento de Combustible en vehículos ligeros de Venta en México 2021*.
Obtenido de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/601694/Cat_logo_de_Rendimientos_2021_v20.12.pdf
- CONUEE. (s.f.). *Regulación de la Eficiencia en Vehículos Pesados*. Obtenido de CONUEE.
<https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/octavo-foro-regulacion-de-la-eficiencia-energetica-en-vehiculos-pesados>
- CRE. (2018). *Diésel ultra bajo azufre en todo el país a partir del 1 de enero de 2019 salvo en la región del Bajío-Centro*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cre/prensa/diesel-ultra-bajo-en-azufre-en-todo-el-pais-a-partir-del-1-de-enero-de-2019-salvo-en-la-region-del-bajio-centro?idiom=es#:~:text=A%20partir%20del%201%C2%BA%20de%20enero%20de%202019,la%20NOM-016-CRE%2C%20Especificaciones%20de%](https://www.gob.mx/cre/prensa/diesel-ultra-bajo-en-azufre-en-todo-el-pais-a-partir-del-1-de-enero-de-2019-salvo-en-la-region-del-bajio-centro?idiom=es#:~:text=A%20partir%20del%201%C2%BA%20de%20enero%20de%202019,la%20NOM-016-CRE%2C%20Especificaciones%20de%20)
- Cremen, A. (18 de September de 2019). What are California's emissions standards, how they're different and why the Trump administration wants to end them. ABC10.
- DieselNet. (Ene de 2021a). *European Emission Standards*. Obtenido de
<https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
- Dieselnet. (2021b). *United States: Cars and Light-Duty Trucks: California*. Obtenido de
https://dieselnet.com/standards/us/ld_ca.php
- DOF. (2005). <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1278/1/nom-086-semarnat-sener-scfi-2005.pdf>. Obtenido de <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1278/1/nom-086-semarnat-sener-scfi-2005.pdf>

- DOF. (7 de Sep de 2005). *NOM-042-SEMARNAT-2003*. Obtenido de <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1208/1/nom-042-semarnat-2003.pdf>
- DOF. (2010). *LINEAMIENTOS de eficiencia energética para la Administración Pública Federal*. Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5140039&fecha=21/04/2010
- DOF. (21 de junio de 2013). *NORMA Oficial Mexicana NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013*, . Obtenido de Emisiones de bióxido de carbono (CO₂) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3857 kilogramos : [https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5303391&fecha=21/06/2013#:~:text=NO RMA%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D163,de%20hasta%203%20857%20kilogramos.](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5303391&fecha=21/06/2013#:~:text=NO%20RMA%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D163,de%20hasta%203%20857%20kilogramos.)
- DOF. (2014). *LEY DE HIDROCARBUROS*.
- DOF. (2016). *ACUERDO por el que la Comisión Reguladora de Energía expide la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos*. Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5450011&fecha=29/08/2016
- DOF. (2017). *NOM-044-SEMARNAT-2017*. Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5513626&fecha=19/02/2018
- DOF. (28 de septiembre de 2018). *PROYECTO de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013*, . Obtenido de Emisiones de bióxido de carbono (CO₂) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3,857 kilogramos.: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5539494&fecha=28/09/2018
- DOF. (18 de septiembre de 2020). *Acuerdo de la Comisión Reguladora de Energía que da cumplimiento a la resolución dictada por la Segunda Sala de la Suprema Corte de Justicia de la Nación en el Amparo en Revisión A.R. 610/2019*. Obtenido de derivado del Juicio de Amparo Indirecto 1118/2017 interpuesto en contra del Acuerdo Núm. A/028/2017 por el que se modifica la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016,

Especificaciones de calidad de los petrolíferos:

<https://sidof.segob.gob.mx/notas/5600830>

Domínguez, C. (2018). *Programas de la Ciudad de México para la reducción de Emisiones de Partículas en Transporte Público y de Carga*. Obtenido de

https://theicct.org/sites/default/files/Presentacio%cc%81n%20MTRA%20CANDI_AUTORREGULACION.pdf

Dong Hsieh, W., Hong Chen, R., Lin Wu, T., & Hui Lin, T. (2002). Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment*, 403–410.

EIA. (2015). *Large reduction in distillate fuel sulfur content has only minor effect on energy content*. Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=20092>

EIA. (Sep de 2020). *How much ethanol is in gasoline, and how does it affect fuel economy?* Obtenido de <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=27&t=4>

Elizondo, A., & Hernández Amezcua, T. (2018). Regulación de las emisiones de CO₂ para vehículos ligeros en México. *Gestión y Política Pública* vol. 27.

Empresa Nacional del Petróleo de Chile. (2020). *Glosario*. Obtenido de <https://www.enap.cl/pag/232/1012>

Energy Information Administration. (Dic de 2020). *California profile Analysis*. Obtenido de <https://www.eia.gov/state/analysis.php?sid=CA>

Engineering ToolBox. (s.f.). *Fossil and Alternative Fuels- Energy Content*. Obtenido de https://www.engineeringtoolbox.com/fossil-fuels-energy-content-d_1298.html

Enrique Aguilar Rodríguez. (5 de Marzo de 2020). *Situación Actual y Prospectiva de la Industria de Refinación en México para la Sustentabilidad Energética*. Obtenido de Instituto Meicano del Petróleo: <http://www.sqm.org.mx/PDF/2020/FORO-HIDRO/1/02-Enrique-Aguilar-Rodriguez-SQM.pdf>

Environmental & Energy Law Program. (2020). *Corporate Average Fuel Economy Standards / Greenhouse Gas Standards*. Obtenido de

<https://eelp.law.harvard.edu/2017/09/corporate-average-fuel-economy-standards-greenhouse-gas-standards/>

Environmental and Energy Study Institute. (16 de marzo de 2016). *Fact Sheet - A Brief History of Octane in Gasoline: From Lead to Ethanol*. Obtenido de <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-a-brief-history-of-octane>

EPA. (Junio de 2002). *Overview of the Human Health and Environmental Effects of Power Generation: Focus on Sulfur Dioxide (SO₂), Nitrogen Oxides (NO_X) and Mercury (Hg)*. Obtenido de <https://archive.epa.gov/clearskies/web/pdf/overview.pdf>

EPA. (06 de Ago de 2020). *Summary of the Clean Air Act*. Obtenido de [https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-air-act#:~:text=\(1970\),from%20stationary%20and%20mobile%20sources.](https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-air-act#:~:text=(1970),from%20stationary%20and%20mobile%20sources.)

EPA. (30 de MAR de 2021). *Public Data on Gasoline Fuel Quality Properties*. Obtenido de <https://www.epa.gov/fuels-registration-reporting-and-compliance-help/public-data-gasoline-fuel-quality-properties>

European Parliament. (2020). *Road transport: Reducing CO₂ emissions from vehicles*. Obtenido de https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles_en

Expansión. (2019). La CRE amplía el plazo para que PEEEX disminuya el azufre en diésel. Obtenido de <https://expansion.mx/empresas/2019/12/18/la-cre-amplia-el-plazo-para-que-pemex-disminuya-el-azufre-en-el-diesel>

Fernicola, N. (1983). *ASPECTO TOXICOLOGICO DE LA CONTAMCNACION AMBIENTAL CAUSADA POR ACCIDENTES*. Obtenido de <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/17039/v95n4p352.pdf?sequence=1>

Ferrís Tortajada, J., García Castell, J., López Andreu, J., & et al. (2001). Enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica por combustibles. *Revista de Especialidades Pediátricas*, 2013-225.

FIDE. (Ene de 2021). *Historia del FIDE*. Obtenido de https://www.fide.org.mx/?page_id=5346#:~:text=El%20FIDE%20se%20cre%C3%B3%20por,para%20fomentar%20el%20ahorro%20de

- Flores, O., Blake, C., Fabela, M., hernández, R., & Vázquez, D. (2014). *Tecnologías para la reducción de emisiones contaminantes de motores de combustión interna*. Instituto Mexicano del Transporte.
- Fung, F. (2011). *Best Practices for Fuel Quality Inspection Programs*. Obtenido de https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_fuelqualityBP_nov2011.pdf
- Future Policy. (16 de Sep de 2020). *Japan's Top Runner Programme*. Obtenido de <https://www.futurepolicy.org/ecologically-intelligent-design/japans-top-runner-programme/#:~:text=Japan's%20Top%20Runner%20Programme%2C%20introduced,home%20appliances%20and%20motor%20vehicles>.
- Future Policy. (30 de Nov de 2020). *Japan's Top Runner Programme*. Obtenido de <https://www.futurepolicy.org/ecologically-intelligent-design/japans-top-runner-programme/#:~:text=Japan's%20Top%20Runner%20Programme%2C%20introduced,home%20appliances%20and%20motor%20vehicles>.
- García Martínez, J. (2000). Determinación de aditivos oxigenados en gasolinas mexicanas por cromatografía de gases-espectrometría de masas. *Revista de la Sociedad Química de México*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932000000300012
- Gobierno de la República Mexicana. (2017). *Estrategia Nacional de Calidad del Aire 2017-2030*.
- Gobierno de México. (2020). *Refinación*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/6977/Refinacion_Web.pdf
- Gobierno de México. (Ene de 2021). *Antecedentes Historicos de la CONUEE*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conuee/que-hacemos#:~:text=La%20Comisi%C3%B3n%20Nacional%20para%20el,2008%2C%20y%20tiene%20como%20objetivo>
- Gobierno de México. (10 de Enero de 2021). *Construcción refinería Dos Bocas*. Obtenido de <https://www.gob.mx/refineriadosbocas>

- Gobierno de México. (28 de Febrero de 2021). *Rehabilitación de Refinerías*. Obtenido de <https://www.gob.mx/rehabilitacionrefinerias>
- Gobierno del Estado de Yucatán. (2013). *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Yucatán*. Yucatán. Obtenido de <http://www.ccpy.gob.mx/agenda-yucatan/gases-efecto-invernadero.php>
- Green Car Congress. (2010). *California ARB LEV III Concept Targeting Fleet-Average SULEV-Level Emissions Performance from New Vehicles by MY 2022*. Obtenido de <https://www.greencarcongress.com/2010/02/leviii-20100211.html>
- Guillermo Ibarra, L. (8 de Octubre de 2020). *El aprovechamiento sustentable de la energía en la administración pública federal mexicana: Un ejemplo de sobrerregulación*. Obtenido de Antecedentes Históricos y normativos en materia de eficiencia energética en México 1980-2005: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/8/3574/6.pdf>
- Haddad, R., & Bloomfield, J. (1964). *La Contaminación en América Latina*. Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana. Obtenido de <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/12603/v57n3p241.pdf?sequence=1>
- Hamid, H., & Ashraf Ali, M. (2005). *Handbook of MTBE and Other Gasoline Oxygenates*. Marcel Dekker.
- Hensher, D. (2008). Climate change, enhanced greenhouse gas emissions and passenger transport – What can we do to make a difference? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 95-111.
- ICCT & DieselNet. (15 de Oct de 2020). *JAPAN: FUELS: DIESEL AND GASOLINE*. Obtenido de <https://www.transportpolicy.net/standard/japan-fuels-diesel-and-gasoline/#:~:text=Diesel%20fuel%20has%20been%20limited,heavy%20penalties%20for%20non%2Dcompliance.>
- ICCT. (2015). *Policies to reduce fuel consumption, air pollution, and carbon emissions from vehicles in G20 nations*. Obtenido de https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_G20-briefing-paper_Jun2015.pdf

- ICCT. (May de 2017). *EVALUATION OF NEXT-PHASE GREENHOUSE GAS REGULATIONS FOR PASSENGER VEHICLES IN MEXICO*. Obtenido de https://www.globalfueleconomy.org/media/461055/namerica_omega_icct_2017.pdf
- ICCT. (27 de Junio de 2019). *Japan 2030 fuel economy standards*. Obtenido de <https://theicct.org/publications/japan-2030-fuel-economy-standards>
- ICCT. (25 de sep de 2020). *Japan regulation*. Obtenido de <https://theicct.org/japan>
- IEA. (2017). *Fuel Economy in Major Car Markets*. technology report. Obtenido de https://webstore.iea.org/download/direct/2458?fileName=Fuel_Economy_in_Major_Car_Markets.pdf
- INECC. (2007). *Marco Jurídico e Institucional de la Regulación Ambiental de la Industria*. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/259/marcojur.html>
- INECC. (2007). *Perspectivas sobre el plomo*. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/131/anexo2.html>
- INECC. (2007). *Tercer Almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas*. Obtenido de <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/3erAlmanaque.pdf>
- INECC. (2018). *Inventario Nacional de Emisiones de GAses y COmpuestos de Efecto Invernadero*. Obtenido de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei>
- INEGI. (10 de Dic de 2020). *Parque Vehicular*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/#Informacion_general
- International Agency for Research on Cancer. (1989). *Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes*. Obtenido de Volumen 46: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK531294/>
- Japan government. (16 de oct de 2020). *Act on the uality Control of Gasoline and Other Fuels*. Obtenido de http://www.japaneselawtranslation.go.jp/law/detail_main?re=02&ia=03&ph=&vm=02&id=2999

Japan Vehicle Inspection Association. (2020). *Japan Vehicle Inspection Association*. Obtenido de <https://info.japanesecartrade.com/content-item/1025-japan-vehicle-inspection-association>

Jeon, C.-H. e. (2017). Properties of Gasoline Stored in Various Containers. *Energies*.

Johnson, T., & Joshi, A. (2018). Review of Vehicle Engine Efficiency and Emissions. *SAE International*, 1307-1330 .

Lents, J., Walsh, M., He, K., Davis, N., Osses, M., Tolvett, S., & Liu, H. (2013). *HANDBOOK OF AIR QUALITY MANAGEMENT*. Obtenido de Fuels and Energy: <http://www.aqbook.org/read/?page=388>

Mendoza, J. E. (2011). El impacto de la crisis automotriz de EUA en el subsector automóviles y camiones de México. *Economía Mexicana Nueva Época*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-20452011000200002#:~:text=La%20industria%20automotriz%20de%20Estados,por%20la%20recesi%C3%B3n%20econ%C3%B3mica%20mundial.&text=La%20tendencia%20recesiva%20se%20agrav%C3%B3, en%20ese%20pa%C3%A

Mentado, P. (Octubre de 2020). *CRE extiende plazo a Pemex para cumplir con la norma de diesel de bajo azufre* . Obtenido de <https://energiahoy.com/2019/12/19/cre-extiende-plazo-a-pemex-para-cumplir-con-la-norma-de-diesel-de-bajo-azufre/>

Metrobús. (2021). *Metrobús, proyecto certificados por el Mecanismo de Desarrollo Limpio de la ONU*. Obtenido de <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/dependencia/acerca-de/reduccionemisiones>

Micheli, J. (2002). Política ambiental en México y su dimensión regional. *Región y sociedad*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252002000100005

Ministry of the Environment of Japan. (2019). *Motor Vehicle Exhaust Emission Standards*. Obtenido de https://www.env.go.jp/en/air/aq/mv/table_290628.pdf

Ministry of the Environment of Japan. (2020). *Calidad de Gasolinas y calidad del Aire*. Obtenido de diferentes documentos:

<http://www.env.go.jp/en/laws/air/diagram/afq.html>,
https://www.env.go.jp/en/air/aaq/mv/table_290628.pdf,
<https://www.env.go.jp/en/air/aaq/mv/vehicle-8th.pdf>, <https://www.env.go.jp/en/air/>

Morisaki, k., & Takahashi, K. (16 de Sep de 1980). Legal System of Japan on Motor Vehicles. Outline of Legal System on Motor Vehicles. *Society of Automotive Engineers of Japan*, 95-101. Obtenido de <https://trid.trb.org/view/187219#:~:text=The%20Road%20Vehicles%20Act%2C%20or,and%20repair%20of%20motor%20vehicles>.

Naciones Unidas. (16 de Sep de 2020). *Sustainable Development Goals Partnership Platform*. Obtenido de <https://sustainabledevelopment.un.org/partnership/?p=2020>

Niven, R. K. (2004). Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 535-555.

OECD. (s.f.). Resumen-Regulacion-Transporte-Mexico. Obtenido de <https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/Resumen-Regulacion-Transporte-Mexico.pdf>

Open Chemistry Database. (29 de Octubre de 2018). *Open Chemistry Database*. Obtenido de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>

Parlamento Europeo. (2015). *Directiva 2015/652 por la que se establecen métodos de cálculo y requisitos de notificación de conformidad con la Directiva 98/70/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la calidad de gasolina y gasóleo*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0652&from=EN>

Parlamento Europeo. (2015). *Directiva 98/70/CE relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:01998L0070-20151005&from=EN>

Parlamento Europeo. (17 de abril de 2019). *REGLAMENTO (UE) 2019/631 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de CO2 de los*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0631&from=ES>

PEMEX. (2010). *Términos usados en la industria petrolera*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2018 a las 13:30 hrs., de <http://www.ri.pemex.com/files/content/Glosario%2020101221.pdf>

PEMEX. (s.f.). Características del Diésel. Obtenido de <https://www.pemex.com/comercializacion/productos/Paginas/refinados/diesel.aspx>

Perevochtchikova, M. (Dic de 2009). *La situación actual del sistema de monitoreo ambiental en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-72102009000300513&lng=es&nrm=iso

Perez Fernandez, A., & Venegas Venegas, J. (2017). Producción de Bioetanol en México: implicaciones socio-económicas. *Revista Internacional de Administración y Finanzas*, 13-24.

Puigcerver, M., & Carrascal, D. (2008). *El Medio Atmosférico: Meteorología y Contaminación*. Barcelona: Publicacions i Edicions.

Quattrochi, D. (2006). *MIT Thermodynamics and Propulsion Course*. Obtenido de <http://web.mit.edu/course/16/16.unified/www/SPRING/thermodynamics/notes/node26.html>

Secretaría de Desarrollo Sustentable de Querétaro. (2016). *Inventario de Emisiones de Efecto Invernadero en el Estado de Querétaro, año base 2015*. Obtenido de file:///C:/Users/sepulvce/Downloads/200_3962_99_953715136_Informe-Inventario-GEI-Qro.pdf

Secretaría de Energía de la república Argentina. (2003). *Conceptos sobre hidrocarburos*. Obtenido de https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos_didacticos/publicaciones/hidrocarburos.pdf

SEDEMA. (2018). *Información sobre el Programa de Autoregulación*. Obtenido de <https://sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/informacion-sobre-el-programa-de-autoregulacion>

SEDEMA. (2018). *Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016*. Ciudad de México.

Obtenido de

<http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-2016/mobile/inventario-emisiones-2016.pdf>

SEDEMA. (2020). *Historia de la Verificación Vehicular en la Ciudad de México*. Obtenido de

<http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/centros-verificacion-vehicular/historia1.html>

SEDEMA. (10 de Nov de 2020). *Historia del Monitoreo de la Calidad del Aire en la Ciudad de*

México. Obtenido de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/simat-cartel-linea-tiempo.pdf>

SEMARNAT e INECC. (2019). *Impacto ambiental del contenido de azufre en el diésel vehicular comercializado en México*.

SEMARNAT, INE y Western Governors' Association. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*.

SEMOVI. (2021). *Programa de Sustitución de unidades de transporte público de ruta con 10 o más años de antigüedad*. Obtenido de <https://www.semovi.cdmx.gob.mx/tramites-y-servicios/transporte-de-pasajeros/sustitucion-de-unidades-de-ruta>

SEMOVI, Banco Interamericano de Desarrollo, IDOM. (2020). *Programa Integral de Seguridad Vial de la Ciudad de México 2020-2024*. Obtenido de

https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Diagnostico_PISVI_2020.pdf

Senado de la República. (2019). *Hacia la reducción de la dependencia en las*. Obtenido de

<http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/4546/1%20Publicaci%C3%B3n%20NE%20Petr%C3%B3leo%20y%20petrol%C3%ADferos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SENER. (2013). *PROSPECTIVA DE PETRÓLEO Y PETROLÍFEROS 2013-2027*. Obtenido de

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62951/Prospectiva_de_Petr_leo_y_Petrol_feros_2013-2027.pdf

- SENER. (2018). *Balance Nacional de Energía 2017*. México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance_Nacional_de_Energia_2017.pdf
- SENER. (2019). *Balance de Energía 2018*.
- SENER, GTZ. (2010). *Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas E6, y la infraestructura para su manejo en México*. México. Obtenido de https://energypedia.info/images/4/4b/GIZ_Especificaciones_etanol_2010.pdf
- Servicio Geológico Mexicano . (s.f.). *Características del Petróleo*. Recuperado el 22 de 10 de 2018, de https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Caracteristicas-del-petroleo.html
- Servicio Meteorológico Nacional. (19 de Marzo de 2021). *Mapas de Temperatura*. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/temperatura-form>
- Sistema de Información Energética*. (2018). Recuperado el 03 de noviembre de 2018 a las 15_30 hrs., de GLOSARIO DE TERMINOS USADOS EN EL SECTOR ENERGETICO: http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_hc_es.pdf
- Sistema de Información Energética de México. (2020). *Glosario SENER-PEMEX*. Obtenido de http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_hc_es.pdf
- Skolniak, M., Bukrejewski, P., & Frydrych, J. (2014). *Analysis of Changes in the Properties of Selected Chemical Compounds and Motor Fuels Taking Place During Oxidation Processes*. Recuperado el 03 de noviembre de 2018 a las 18:46 hrs., de C:\Users\casan\Downloads\Documents\47923_2.pdf
- Song, C.-L., & et al. (2005). Comparative effects of MTBE and ethanol additions into gasoline on exhaust emissions. *Atmospheric Environment*, 1957-1970. doi:doi:10.1016/j.atmosenv.2005.11.028
- Sosa; Gustavo et al. (2018). *La Transversalidad de la Política de la Calidad del Aire en México*. México: Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.

The Energy Conservation Center, Japan. (10 de Nov de 2020). *Final Reports on the Top Runner Target Product Standards*. Obtenido de https://www.eccj.or.jp/top_runner/

The National Academy of Sciences, Engineering and Medicine. (2010). *Real Prospects for Energy Efficiency in the United States*. Obtenido de <https://www.nap.edu/read/12621/chapter/5>

Totten, G. E., Westbrook, S. R., & Shah, R. J. (2003). *Fuel and Lubricants Handbook: Technology, properties, Performance and testing*. ASTM International.

Transport Policy. (Mar de 2021). *CALIFORNIA: LIGHT-DUTY: EMISSIONS*. Obtenido de <https://www.transportpolicy.net/standard/california-light-duty-emissions/>

U.S. Department of Energy. (Dic de 2020). *Diesel Vehicles*. Obtenido de https://www.fueleconomy.gov/feg/di_diesels.shtml#:~:text=Diesel%20engines%20are%20more%20fuel,fuel%20than%20their%20gasoline%20counterparts.

Unión Europea. (2020). *Unión Europea, Cómo Se toman las decisiones en la UE*. Obtenido de https://europa.eu/european-union/law/decision-making/procedures_es

Unión Europea. (Enero de 2021). *Emissions in the automotive sector*. Obtenido de https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/environment-protection/emissions_es

US department of Energy. (2014). *Alternative Fuels Data Center-Fuel Properties Comparison*. Obtenido de https://afdc.energy.gov/fuels/fuel_comparison_chart.pdf

Volkswagen . (19 de Nov de 2019). *Emissions Designations*. Obtenido de <https://www.schworervolkswagen.com/blog/what-does-ulev-mean/>

Vouk, V., & Piver, W. (21 de Nov de 2020). *Metallic Elements in Fossil Fuel Combustion Products: Amounts and Form of Emissions and Evaluation of Carcinogenicity and Mutagenicity*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1569408/pdf/envhper00453-0202.pdf>

9. Acrónimos y definiciones

Término	Significado/ Definición
AT-PZEV	Advanced tech PZEV. PZEV avanzados, con condiciones de ZEV como los vehículos híbridos. (Dieselnet, 2021)
Calidad del Aire	<i>el estado de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos, en un periodo y lugar determinado</i> (Gobierno de la República Mexicana, 2017)
CAME	Comisión Ambiental de la Megalopolis
Cetanaje (índice de Cetano)	Medición de la capacidad del combustible para efectuar una combustión uniforme. Utilizado para diésel.
Compuestos Aromáticos	Hidrocarburos con enlaces bencénicos (ciclos de carbono con dobles enlaces como el del benceno). (Servicio Geológico Mexicano)
Consumo de combustible	(The National Academy of Sciences, Engineering and Medicine, 2010) Se refiere a la cantidad de combustible consumido por un vehículo al recorrer cierta distancia. Se expresa en litros por kilómetro (a veces litros por cada 100km).
Contaminación atmosférica	es el proceso en el que en un espacio determinado se emiten uno o más contaminantes en cantidad y frecuencia que exceden los procesos naturales para su transformación, precipitación, disposición o dilución a través del viento y movimiento del aire (Sosa; Gustavo et al, 2018).
Contaminantes del aire	son sustancias que pueden causar daño al ser humano, a los animales, a la vegetación y/o a los materiales; difiriendo en su composición química, reactividad, persistencia en el ambiente, habilidad para transportarse a cortas y largas distancias y en su eventual impacto a la salud (Sosa; Gustavo et al, 2018). Algunos de los gases tratados como contaminantes son componentes naturales de la atmósfera, como el Dióxido de Carbono (CO ₂) o el ozono (O ₃); convirtiéndose en contaminantes cuando se presentan en una mayor proporción a la de una atmósfera limpia (Puigcerver & Carrascal, 2008).
CRE	Comisión Reguladora de Energía
Diésel	Fracción de petróleo líquida conocida como gasóleo ligero que se obtiene de la destilación atmosférica del petróleo crudo entre 175 y 380°C. (PEMEX, 2010).
Eficiencia de combustible	(The National Academy of Sciences, Engineering and Medicine, 2010) Es un término relativo utilizado para describir la cantidad de trabajo útil obtenido de la combustión de un combustible. En este término no se toma en cuenta para qué es utilizada la energía generada mediante la combustión, puede ser que el trabajo obtenido se utilice para avanzar cierta distancia, para poder mover cierta carga o para proveer al usuario de otras amenidades como aire acondicionado o calefacción.
Estándar de calidad del aire	es un nivel establecido de un contaminante en el aire exterior que no se debe superar en un periodo específico, con el fin de proteger la salud pública (establecido por los gobiernos estatales y federales) (California Air Resources Board, 2018).
Estándares vehiculares europeos	Regulación europea, con numerales arábigos en el caso de vehículos ligeros y con numerales romanos en el caso de vehículos pesados. Han progresado del Euro 1/I (1992) hasta el Euro 6/VI (2015). Cada estándar de emisión se encuentra relacionado a una calidad de combustible.
Gasolina	Fracción de petróleo que se encuentra conformada por una mezcla de hidrocarburos C ₄ a C ₁₂ que contienen enlaces sencillos y/o dobles con un rango de temperatura de ebullición de 30 a 220°C. Dicha fracción se evapora fácilmente a temperatura ambiente y presión atmosférica. (Jeon, 2017)
Gasolina con volatilidad de clase AA	La denominación de volatilidad AA corresponde a la especificación de las gasolinas que se comercializan todo el año en las Zonas Metropolitanas del Valle de México y Guadalajara, sin considerar la variación de la temperatura ambiente por estacionalidad. (NOM-016-CRE-2017)
Gasolina Regular:	Gasolina con un índice de octano ((RON+MON)/2) mínimo de 87. (NOM-016-CRE-2017)

GEI	Gases de Efecto Invernadero
Hidrocarburos	Compuestos de carbono e hidrogeno (Servicio Geológico Mexicano)
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
Iso-parafinas	Hidrocarburos con cadena ramificada (Servicio Geológico Mexicano)
LEV	Low-emission vehicle. Vehículos de bajas emisiones. Estándar utilizado en California. (Dieselnet, 2021)
MTBE (Metil-terbutil-éter)	Líquido incoloro utilizado para incrementar el número de octano de las gasolinas y el porcentaje de oxígeno en las mezclas, utilizado para reducir las emisiones hacia la atmósfera de hidrocarburos no quemados en los motores de combustión y cumplir con las especificaciones ambientales vigentes. (PEMEX, 2018).
Naftenos	Hidrocarburos que presentan ciclos de carbono (Servicio Geológico Mexicano)
NOM	Norma Oficial Mexicana
Número de cetano	Índice que mide la habilidad de un combustible para tener una ignición espontánea. Medido para diésel.
Número de octano	Índice mediante el cual se mide la capacidad antidetonante de la gasolina, es decir la capacidad del combustible de ser comprimido en el motor sin sufrir detonaciones o combustiones prematuras. Un alto índice de octano proporciona mayor eficiencia de la combustión, mayor potencia, menores depósitos de carbón y mejor funcionamiento del motor, así como menor contaminación. (PEMEX, 2018). Utilizado para gasolinas
Número de octano MON	(Motor Octane Number) Medición del número de octano en condiciones de ensayo más agresivas que el número RON. (Sistema de Información Energética, 2018)
Número de octano RON	(Research Octane Number). Medición del número de octano en condiciones de ensayo moderadas (simulando condiciones de manejo en una ciudad). (Sistema de Información Energética, 2018)
Olefinas	Hidrocarburos con dobles enlaces (Servicio Geológico Mexicano)
Parafinas	Hidrocarburos con cadena lineal. (Servicio Geológico Mexicano)
Pemex diésel	Combustible diésel con fines de uso en el ramo de autotransporte, el cual ha cambiado sus especificaciones conforme lo requerido en las zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de México.
PZEV	Partial-zero-emission vehicle. Vehículos de cero emisiones parciales. Similar a los SULEV pero sin emisiones evaporativas (Dieselnet, 2021)
Rendimiento de combustible combinado:	valor promedio ponderado aritmético o armónico de los rendimientos de ciudad y carretera. (CONUEE, 2020)
Rendimiento de combustible en carretera	es el combustible necesario para recorrer una distancia predeterminada con un vehículo automotor, operando bajo un ciclo que simula las condiciones típicas de tránsito de una carretera. (CONUEE, 2020)
Rendimiento de combustible en ciudad:	es el combustible necesario para recorrer una distancia predeterminada con un vehículo automotor, operando bajo un ciclo que simula las condiciones típicas de tránsito de una zona urbana. (CONUEE, 2020)
Rendimiento del combustible	(The National Academy of Sciences, Engineering and Medicine, 2010) Expresa la cantidad de kilómetros recorridos por litro de combustible consumido. Es el término inverso al consumo de combustible.
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SULEV	Super-ultra-low-emission vehicle. Vehículo de super ultra bajas emisiones. Emite 90% menos emisiones que otros vehículos. (Dieselnet, 2021)
ULEV	Ultra-low-emission vehicle. Vehículos de ultra bajas emisiones. Emite 50% menos que otros vehículos. (Dieselnet, 2021)
ZEV	Zero-emissions vehicle. Vehículos cero emisiones, sin emisiones de escape (ejemplo: autos eléctricos y vehículos de hidrógeno). (Dieselnet, 2021)
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

10. Anexos

Cada país tiene su propia historia con el uso del etanol, siendo la de Estados Unidos la más importante para México en términos de cercanía y relaciones comerciales. En la Tabla 54 se resumen los puntos más importantes de la historia de Estados Unidos con el uso de etanol en la industria automotriz.

Tabla 54. Resumen cronológico del uso de Etanol como oxigenante en EUA

Período	Resumen del uso del etanol
70s-80s	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de mezclas de gasolina y etanol durante épocas de precios altos en los combustibles.
90s	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación del uso de oxigenantes y eliminación del plomo en gasolinas, debido a la introducción de políticas ambientales (programa de gasolina reformulada, adición de compuestos oxigenados a las gasolinas para controlar las emisiones de CO y las problemáticas de ozono en ciertas ciudades por todo el país). • Debido a fugas en los tanques de almacenamiento y a contaminación de acuíferos, el estado de California pasó una ley para prohibir el uso de MTBE como oxigenante en gasolinas en dicho estado. California empezó poco a poco a disminuir el uso de MTBE en favor del etanol y poco a poco otros estados siguieron la iniciativa de California, prohibiendo el uso de MTBE.
2000-2010	<ul style="list-style-type: none"> • El debate respecto a las consecuencias ambientales del uso de MTBE como oxigenante en gasolinas provocó una serie de estudios internacionales realizados para determinar los riesgos y afectaciones de este compuesto al ambiente y la salud de los seres humanos. En noviembre del año 2000, el grupo de trabajo de la unión europea para la clasificación del etiquetado de substancias peligrosas examinó el estatus del MTBE, decidiéndose que la Unión Europea no clasificaría al MTBE como carcinogénico, mutagénico o un tóxico reproductivo (Hamid & Ashraf Ali, 2004) • 2004. Estímulos fiscales para la diseminación del uso de etanol a través del Volumetric Ethanol Excise Tax Credit (VEETC).- recompensa de adquisición de etanol con 45 centavos de dólar por galón. • En el 2005 el gobierno de Estados Unidos promulgó el “Renewable Fuel Standard RFS” o estándar de combustible renovable, con el cual se comprometieron metas de crecimiento en la producción de etanol a un nivel de 26 mil millones de galones para 2022 (US Energy Information Administration, 2018).
Actualmente	<ul style="list-style-type: none"> • 2011.- Eliminación del subsidio y de los aranceles al etanol • Con la sustitución del MTBE como oxigenante y los estándares de biocombustibles, la industria del etanol en Estados Unidos creció exponencialmente; teniéndose incrementos en la producción de 1.6 mil millones de galones en el año 2000 a más de 15 mil millones de galones producidos en 2017 (United States Department of Agriculture, 2015) y (US Energy Information Administration, 2017).

Fuentes: Elaboración propia a partir de información de (US Energy Information Administration, 2018), (United States Department of Agriculture, 2015), (Hamid & Ashraf Ali, 2004, pág. 5).