

Actualización de la NOM-044. Información para la toma de decisiones

Por: Kate Blumberg, Francisco Posada y Josh Miller

Traducción: Verónica Garibay Bravo y Rocío Fernández Ramírez

Fecha: mayo de 2014

Palabras clave: vehículos pesados, normas de emisiones, diésel de ultrabajo azufre (UBA), diagnóstico a bordo (OBD), reducción catalítica selectiva (SCR), EPA 2010, Euro VI

1. Introducción

México actualmente revisa la norma vigente que limita las emisiones de los vehículos pesados (NOM-044), con el propósito de actualizarla de acuerdo con los estándares más avanzados en el mundo y vigentes desde 2010 y 2013 en Estados Unidos y Europa, respectivamente. La modificación a la norma propone la homologación con los estándares de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, EPA 2010, y de Europa, Euro VI, a partir de 2018. La norma incluye la obligación de contar con los más completos sistemas de “diagnóstico a bordo” (*on-board diagnostic systems*, OBD), tal como lo exigen para 2017 las normas de Estados Unidos y Europa para todos los vehículos pesados. El calendario de implementación de esta norma está ligado a la disponibilidad de diésel de ultrabajo contenido de azufre (con una concentración de 15 ppm), que se espera que ocurra para dicho año.

El Consejo Internacional del Transporte Limpio (ICCT) analizó los costos y beneficios de las modificaciones propuestas a la NOM-044, tomando en cuenta los beneficios para el clima y la salud pública y el aumento en los costos de producción y de operación de los vehículos que cumplan con estos nuevos estándares. Los costos y beneficios se estimaron hasta el año 2037, para lo cual se les asignó un valor económico y se calculó su valor presente neto. Estas estimaciones dieron como resultado que la implementación de la nueva NOM-044

entre 2018 y 2037 tendrá un beneficio neto de 123 mil millones de dólares (1.6 billones de pesos). El resultado incluye el valor social de evitar muertes prematuras por la contaminación del aire asociada con las emisiones de los vehículos pesados, así como los beneficios para el clima derivados de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de este tipo de vehículos.

El análisis costo-beneficio indica que las modificaciones a la NOM-044 redundarán en beneficios importantes para la salud de la población y, además, repercutirán en ahorros sustanciales en el consumo de combustible. Esto se debe a que los motores EPA 2004, que cumplen con la norma vigente en nuestro país, representan el 90 % de las ventas en México hoy en día y son los motores nuevos menos eficientes en el mercado mundial. El diseño de los motores cambió bastante para cumplir con los estándares de emisiones EPA 2010 y Euro VI, y se hizo mucho más eficiente. Se espera, pues, que los fabricantes incorporen estas mejoras en eficiencia para cumplir con la nueva NOM-044 y, además, que esta norma impulse al mercado a aprovechar los avances que la investigación y el desarrollo más recientes han producido en estos motores.

Los fabricantes de vehículos pesados para el mercado mexicano ya cumplen con los requisitos establecidos en aquellos mercados y están muy bien preparados para hacerlo también en México. Esto se ilustra claramente con el siguiente ejemplo: aproximadamente el 85 % de los vehículos producidos en la planta de Daimler/Mercedes

AGRADECIMIENTOS: Esta investigación fue generosamente financiada por la Coalición de Clima y Aire Limpio para Reducir los Contaminantes del Clima de Vida Corta (CCAC, por sus siglas en inglés) y la Fundación William y Flora Hewlett.

ACERCA DE LOS AUTORES: Kate Blumberg es directora de Programas Globales y encabeza las actividades del Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT, por sus siglas en inglés) en México. Francisco Posada es investigador del programa del ICCT sobre vehículos ligeros y pesados. Josh Miller es investigador del equipo de planeación y modelación de políticas globales del ICCT.

SOBRE LA SERIE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA VEHÍCULOS PESADOS: El propósito de esta serie de documentos es proporcionar insumos técnicos para apoyar el desarrollo de políticas ambientales y de transporte en México, de manera que se reduzcan las emisiones de contaminantes, el consumo de combustibles y los impactos de los vehículos pesados sobre la salud y el medioambiente. La serie incluye análisis comparativos a escala global, estudios técnicos y análisis costo-beneficio.

en Santiago Tianguistenco, estado de México, se fabrican para los mercados de Estados Unidos y Canadá. Esta planta está perfectamente preparada para fabricar exactamente los mismos vehículos para el mercado mexicano. Incluso, al responder a una pregunta posterior a una presentación en esa planta el 1º de octubre de 2013, el director de la planta aseguró que si el diésel de ultrabajo azufre estuviera disponible, Daimler podría empezar a vender este tipo de vehículos “mañana”¹.

Las dos opciones que tendrán los fabricantes para cumplir con la NOM-044 actualizada son estándares funcionalmente equivalentes, que ofrecen las mismas tecnologías, imponen niveles de emisiones igualmente bajos, tienen requerimientos muy similares de OBD y presentan mejoras en eficiencia comparables a los motores EPA 2004. Además, los incrementos esperados en los costos de producción de las tecnologías EPA 2010 y Euro VI se espera que sean muy parecidos para el mercado mexicano. Debido a que se trata de las mismas tecnologías, el diésel con un contenido nominal máximo de 15 ppm es adecuado para ambas opciones de cumplimiento.

2. Normas vigentes en México

La norma actual de emisiones ofrece a los fabricantes la opción de cumplir el estándar EPA 2004 o el estándar Euro IV. Estos dos estándares son muy diferentes en muchos aspectos, como límites de emisión, costo de cumplimiento, requisitos de combustible, tecnologías preferentes y desempeño en condiciones reales.

Los perfiles de emisión de ambas opciones son muy distintos. Por ejemplo, los niveles requeridos por Euro VI son un poco más altos en óxidos de nitrógeno (NO_x), pero más bajos en partículas (PM) que los límites que requiere la norma EPA 2004. Para alcanzar los niveles del estándar Euro IV es necesario utilizar tecnologías de reducción catalítica selectiva (SCR, por sus siglas en inglés), mientras que para cumplir con EPA 2004 únicamente se requiere el uso de tecnologías de recirculación de gases del escape (EGR, por sus siglas en inglés). Como resultado, 9 de cada 10 vehículos vendidos en México cumplen con los estándares EPA 2004, que son de más bajo costo. Además, los motores Euro IV requieren combustible con 50 ppm de azufre, mucho más bajo que el contenido de azufre en el diésel disponible

¹ La visita a la planta de Daimler/Mercedes formó parte del taller de intercambio de expertos mexicanos y colombianos sobre las acciones de mitigación apropiadas para cada país (NAMA, por sus siglas en inglés), organizado por la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GIZ, por sus siglas en alemán). En el taller participaron personal de la GIZ, el ICCT, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional para el Uso y Aprovechamiento Eficiente de la Energía (CONUEE) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), entre otros.

a nivel nacional (500 ppm). Es más probable encontrar autobuses certificados con el estándar europeo en las ciudades donde está disponible el combustible de bajo contenido de azufre. Ni el estándar Euro IV ni el EPA 2004 requieren el uso de filtros para el control de las emisiones de partículas. Los filtros de partículas son esenciales para capturar partículas de todos los tamaños, especialmente las finas y ultrafinas, que dañan más la salud (MECA 2013).

Una vez que se encuentran en uso, las diferencias entre Euro IV y EPA 2004 se vuelven más complejas, pues las tecnologías SCR que se utilizan comúnmente para cumplir con los niveles requeridos de NO_x en la norma Euro IV no han sido efectivas para controlar estas emisiones bajo condiciones reales de manejo, especialmente en zonas urbanas. Por lo tanto, los vehículos Euro IV tienden a emitir más NO_x de lo que se esperaría (Lowell y Kamakaté 2012). Esta misma tecnología SCR permite que las emisiones de partículas se reduzcan mediante la afinación de los motores, es decir, sin el uso de filtros de partículas. En consecuencia, a pesar de ser una tecnología más cara, Euro IV no le gana a EPA 2004 en lo que a beneficios en la salud y ambientales se refiere.

3. Comparación EPA 2010 y Euro VI

Los estándares EPA 2010 y Euro VI que se presentan en la nueva NOM-044 son opciones muy sólidas y funcionalmente equivalentes, pues para cumplirlos se requieren las mismas tecnologías de control de emisiones y, por lo tanto, dan como resultado los mismos beneficios en emisiones. En comparación con el estándar EPA 2004, el más usado actualmente en el mercado mexicano para cumplir la NOM-044, los vehículos que se certificaran bajo los estándares EPA 2010 o Euro VI reducirían sus emisiones de NO_x un 90 % o más, y sus emisiones de partículas (PM) disminuirían entre 97 % y 98 % (EPA 2010). Ahora bien, hay dos diferencias significativas entre EPA 2010 y Euro VI. Por un lado, los estándares EPA tienen un requisito de durabilidad un poco más exigente; por otro lado, los estándares Euro VI limitan la cantidad real de partículas que se emiten (8x10¹¹/kWh en el ciclo de prueba estacionario homologado globalmente [WHSC, por sus siglas en inglés] y 6x10¹¹/kWh en el ciclo de prueba transitorio homologado globalmente [WHTC, por sus siglas en inglés]), lo que implica que, además de certificar la masa total emitida, deben realizarse pruebas de certificación adicionales sobre el número real de partículas emitidas.

Como puede observarse en la tabla 1, ambos estándares son básicamente equivalentes, a diferencia de lo que ocurre con la NOM-044 vigente y con cualquiera de los estándares intermedios que han sido considerados (ver apéndice A).

Tabla 1. Comparación de los estándares EPA 2010 y Euro VI

Características de los estándares	EPA 2010	Euro VI	Comentarios
PM (gramos por kilovatio-hora, g/kWh)	0.013	0.010	Son equivalentes. Las emisiones de partículas (PM) son cercanas a cero, porque ambos estándares requieren filtros de partículas diésel (DPF, por sus siglas en inglés).
NO_x (g/kWh)	0.27	0.40	Las altas emisiones de NO _x en áreas urbanas observadas en los vehículos Euro IV y Euro V han sido resueltas en el estándar Euro VI.
Tecnología predominante	DPF + SCR	DPF + SCR	Tecnologías equivalentes.
Requerimientos OBD	Completa aplicación en 2016	Completa aplicación en 2016	Los requisitos incluyen monitoreo de umbrales (en los sistemas de control de emisiones) y otros tipos de monitoreo (funcional, racional y de señales eléctricas), así como validación de las pruebas OBD.
Ciclo de prueba	Federal Test Procedure (FTP) + Supplemental Emissions Test (SET)	WHTC + WHSC	Ciclos de prueba diferentes, vinculados con los límites de emisión. FTP y WHTC son ciclos transitorios; SET y WHSC son ciclos en estado estable.
Pruebas en condiciones reales	Pruebas "Not-to-exceed" (NTE)	"In-service-conformity" (ISC)	En Estados Unidos es obligatorio realizar pruebas NTE desde 2007. En Europa el requisito ISC entra en vigor con la implementación del estándar Euro VI.
Vida útil	700 000 km/10 años	700 000 km/7 años	Se refiere a lo que ocurra primero. La discrepancia entre los estándares es menor que en las versiones anteriores, porque es cada vez más común que los vehículos alcancen el límite de kilometraje antes que el límite de edad, pero persiste.
Rendimiento de combustible	Los fabricantes calculan entre 3 % y 5 % de mejora en comparación con EPA 2004		Cuando la norma se implemente en México, en Estados Unidos estarán vigentes los estándares de eficiencia de combustible que requieren mejoras de entre 5 % y 9 % en la eficiencia de los motores, con respecto a la línea base de motores EPA 2010.
Costos por vehículo	Incremento de entre 3700 y 8500 dólares en comparación con EPA 2004		Los costos son proporcionales al tamaño del motor. El costo incremental partiendo de la tecnología Euro IV sería menor.
Vehículos medianos	La certificación de chasis es opcional para peso bruto vehicular menor o igual a 6350 kg	Se requiere la certificación del motor para peso de referencia (RM, por sus siglas en inglés) mayor a 2610 kg. La certificación de chasis es obligatoria para RM menor o igual a 2610 kg	La diferencia entre ambas métricas de peso (el peso de referencia es con carga, mientras que el peso bruto vehicular es sin carga) hace que algunos vehículos que originalmente estarían sujetos a normas para vehículos ligeros en Europa, se considerarían vehículos pesados en México. Esto se explica en otro documento publicado por el ICCT (ver Blumberg 2014).
Implicaciones/ impacto en el mercado	Desde 2010 es obligatorio en todos los vehículos nuevos que se venden en los Estados Unidos de América (EUA)	Es obligatorio en Europa desde 2013	Las implicaciones, el impacto en el mercado y los costos son prácticamente equivalentes. Actualmente, debido a que EPA 2010 entró en vigor antes, se cuenta con más información sobre su implementación, en comparación con el caso europeo. Sin embargo, en 2018, cuando entre en vigor la nueva NOM-044, habrá también experiencia suficiente con Euro VI, y la diferencia en las fechas de implementación será insignificante. Por lo tanto, es más probable que los fabricantes opten por una estrategia de cumplimiento mixta, en vez de inclinarse por una opción, como ocurre ahora.

Debido a que los estándares EPA 2010 y Euro VI son funcionalmente equivalentes, las tecnologías usadas para el cumplimiento también lo son. Por ejemplo, los requisitos de diagnóstico a bordo (OBD, por sus siglas en inglés), indispensables para cumplir con cualquiera de los dos estándares, son muy similares y serán obligatorios en todas las unidades en 2016/2017 (ver el apéndice B y el documento publicado por el ICCT sobre el tema del OBD [Posada 2014] para más detalles). Además, ambos estándares requieren sistemas de respaldo, alertas y dispositivos de paro de motor en caso de que el nivel de fluido en el tanque de almacenamiento sea muy bajo, para asegurar que los sistemas SCR operan correctamente y, por tanto, que las emisiones se mantienen bajas (ver el apéndice C). Como resultado, no se espera una diferencia

medible en los impactos ambientales como consecuencia de variaciones en el porcentaje del mercado que adopte uno u otro estándar.

Los niveles de emisión que estuvieron vigentes antes en Estados Unidos y Europa no eran equivalentes entre sí. En la sección anterior se resumieron las diferencias más importantes entre EPA 2004 y Euro IV, y el apéndice C contiene una comparación de los niveles de certificación EPA 2007 y Euro V.

La tabla 2 proporciona una breve descripción de las normas EPA y Euro para vehículos pesados. Como puede observarse, desde 2006 se permitió que los fabricantes optaran por cumplir mediante el estándar estadounidense (EPA 1998) o el europeo (Euro III) (SEMARNAT 2006;

Ecología 1993). Los estándares EPA 2007, EPA 2010 y Euro VI son las únicas opciones que requieren filtros, que son los equipos más recomendados para controlar las emisiones de partículas.

Tabla 2. Breve descripción de los estándares EPA y Euro para vehículos pesados

País	Estándar	Año	Requerido en México	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	Filtro	Combustible (ppm azufre)	(los más pesados)
Estados Unidos	EPA 1991	1991	1993	6.7	0.34		2500	470 000 km/ 8 años
	EPA 1994	1994	1994	6.7	0.13		500	
	EPA 1998	1998	1998	5.4	0.13		500	
	EPA 2004	2002	2008	2.7	0.13		500	700 000 km/ 10 años
	EPA 2007	2007		1.6	0.013	X	15	
	EPA 2010	2010		0.27	0.013	X	15	
Europa	Euro I	1992		8.0	0.36		2000	500 000 km/ 7 años
	Euro II	1996		7.0	0.25		500	
	Euro III	2000	2006	5.0	0.16		350	
	Euro IV	2005	2008	3.5	0.03		50	
	Euro V	2008		2.0	0.03		10	700 000 km/ 7 años
	Euro VI	2013		0.4	0.01	X	10	

En lo que respecta a las tecnologías vehiculares, no hay una diferencia palpable entre las opciones de cumplimiento EPA 2010 y Euro VI. Ambas requieren sistemas de inyección de combustible de alta presión

y acción variable, o “*common-rail*”, turbocargadores de geometría variable y filtros de control de partículas y sistemas SCR altamente eficientes (figuras 1 y 2).

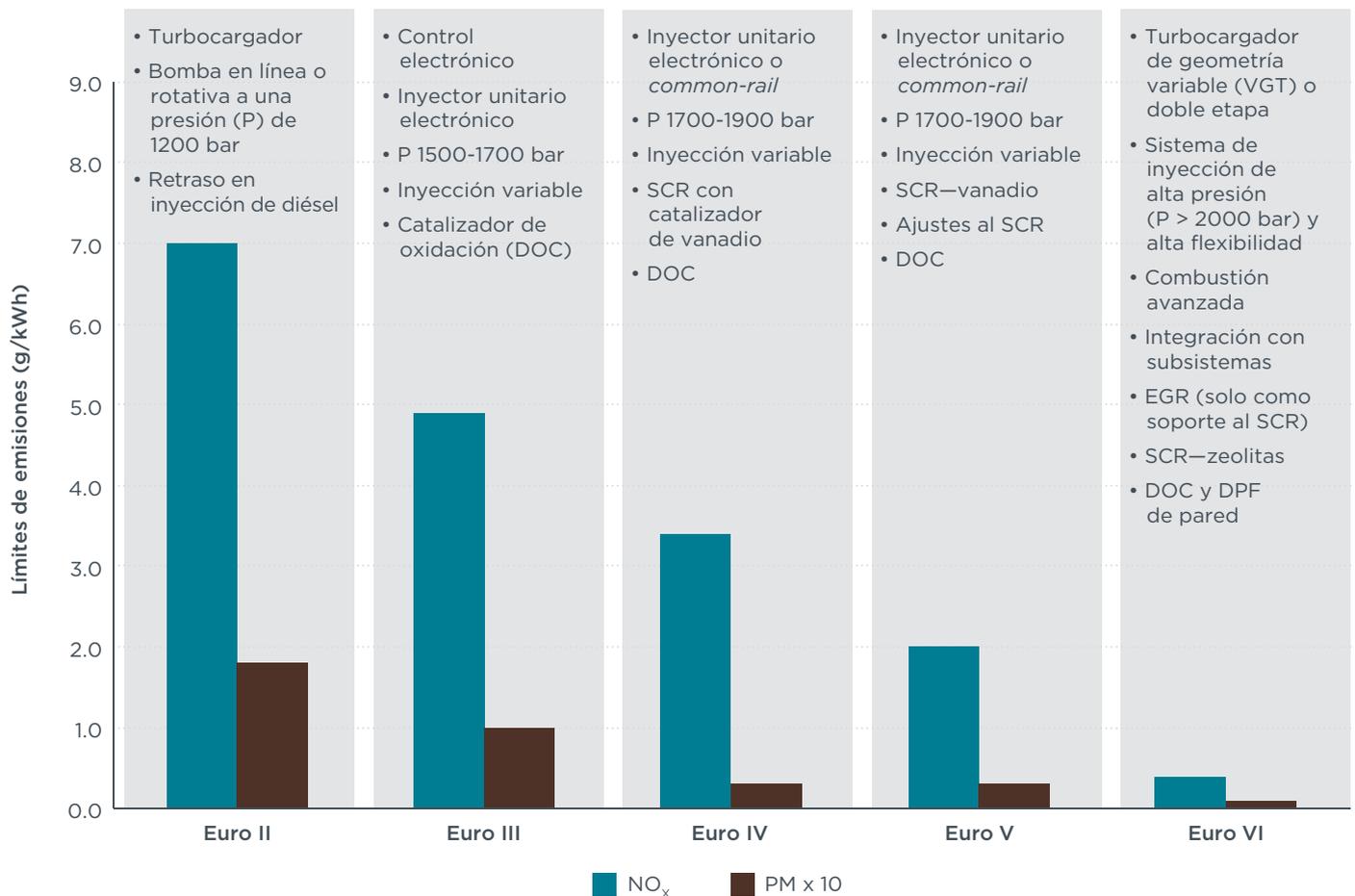


Figura 1. Tecnologías utilizadas para cumplir con los estándares Euro

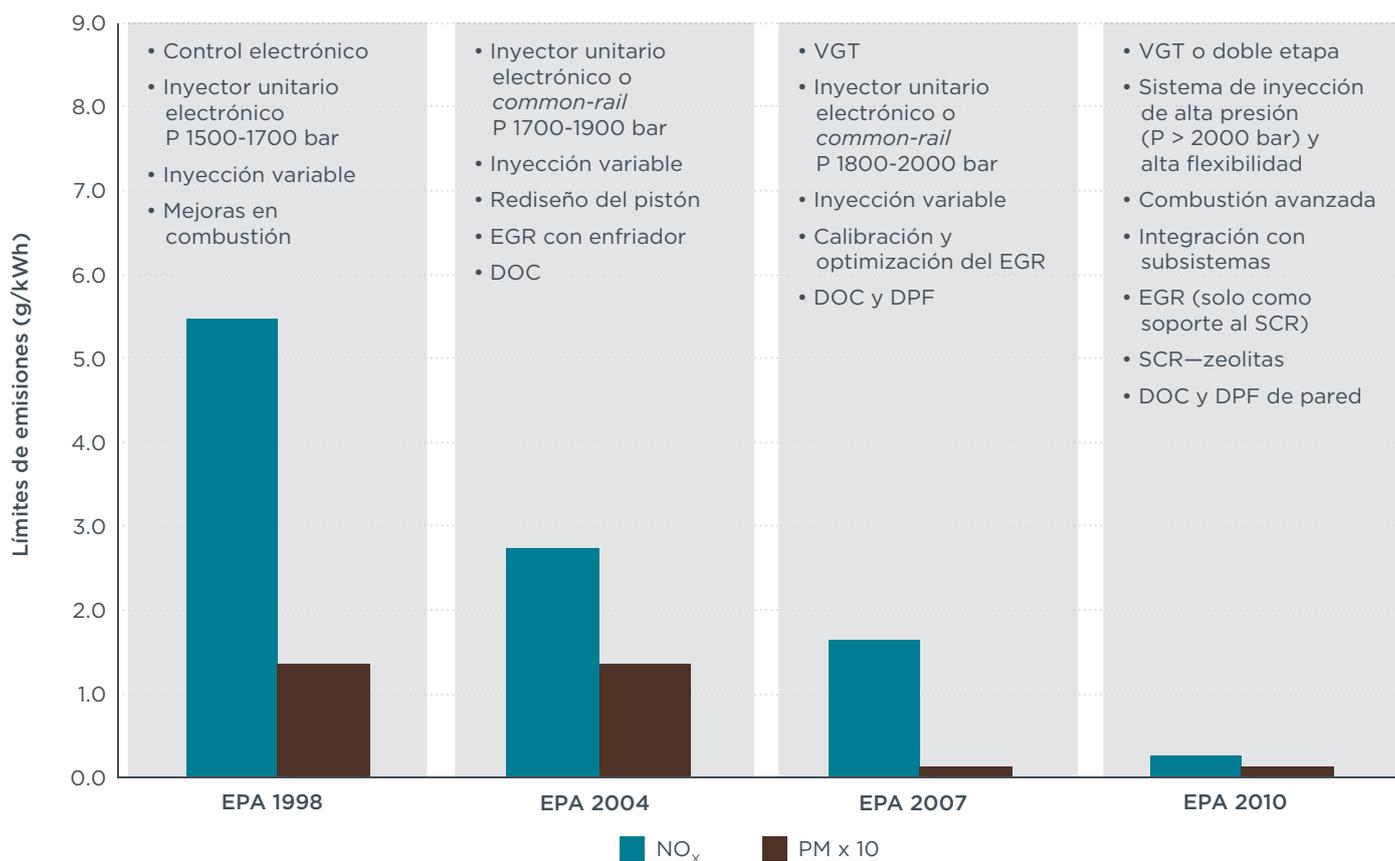


Figura 2. Tecnologías utilizadas para cumplir con los estándares EPA

4. Requisitos de contenido de azufre en el combustible

Para poder adoptar los límites de emisión propuestos para la nueva NOM-044 es indispensable, además de utilizar tecnologías de control, cumplir con dos requisitos adicionales: contar con diésel de ultrabajo contenido de azufre y con fluido de escape para vehículos diésel (DEF) o urea de grado automotriz.

El contenido de azufre en el diésel tiene un efecto importante en el desempeño de las tecnologías avanzadas de control de emisiones, y además puede afectar a las emisiones de los vehículos que están en circulación y que no cuentan con estas tecnologías. Los requisitos de contenido máximo de azufre en el diésel, tanto en los Estados Unidos (de 15 ppm) como en Europa (de 10 ppm), se consideran ultrabajos o “cerca de cero”. Estos límites de concentración de azufre representan una reducción de entre el 97 % y el 98 % en la concentración de azufre en el diésel que se vende en México (500 ppm).

Ahora bien, a pesar de la diferencia de 5 ppm en los límites de azufre establecidos en EUA y Europa, los estándares de calidad de combustible de ambos lugares

pueden ser considerados funcionalmente equivalentes, principalmente por tres razones:

1. las tecnologías vehiculares que se ofertan y se venden en ambos lugares son las mismas;
2. el impacto que tiene esta diferencia de contenido de azufre en las emisiones es marginal; y
3. los niveles de 10 y 15 ppm son límites máximos, así que el contenido real de azufre en las estaciones de servicio es normalmente menor, y son equivalentes en cada región.

En contraste con lo ocurrido en Europa, donde la norma de calidad de combustible se definió antes que los límites de emisiones, en Estados Unidos las normas de combustibles y de emisiones aparecieron conjuntamente. En Estados Unidos se estableció el límite superior de 15 ppm de contenido de azufre con base en la evaluación que realizó la EPA sobre las tecnologías que usarían los fabricantes para cumplir con los límites de las normas más estrictas. Al final, la tecnología conocida como trampas de NO_x (*lean NO_x traps*, LNT), que resultó ser la más sensible a los niveles de azufre y que sirvió como base para definir el límite superior de 15 ppm, no se ha comercializado aún en vehículos pesados, solo en ligeros.

Como se comentó en la sección 3, no hay una diferencia palpable entre las normas estadounidense y europea en lo que respecta a las tecnologías que se utilizan para el cumplimiento.

Es decir, la diferencia entre 10 ppm y 15 ppm de azufre no implica un sacrificio en términos de cumplimiento de los límites de emisiones ni en cuanto al rendimiento de combustible o la durabilidad. Si se utiliza combustible de 15 ppm, las emisiones del motor serían aproximadamente un 0.5 % mayores que las que se producen con el diésel de 10 ppm, lo cual no sería detectable en el escape, una vez que pasaran por el DPF. El fundamento técnico para establecer el límite de concentración de azufre en 15 ppm en Estados Unidos se describe con detalle en el apéndice D.

En lo que se refiere a los combustibles vendidos en las estaciones de servicio, la implementación de los estándares de Estados Unidos y Europa ha tenido prácticamente el mismo resultado, pues los niveles promedio de azufre en el diésel que se vende en ambos lugares fluctúan entre 5 ppm y 8 ppm. Las autoridades europeas vigilan que se cumplan los límites de contenido de azufre mediante pruebas en las estaciones de servicio, por lo que el contenido de azufre promedio en el diésel que sale de las refinerías europeas es de 5 ppm. En EUA, con el fin de asegurar que se cumpla el límite de 15 ppm, los distribuidores del combustible rechazan el diésel con más de 8 ppm de contenido de azufre (Szalkowska 2013; *Oil & Gas Journal* 2006). Así, como puede verse en la figura 3, el contenido de azufre que se reporta en más del 90 % de los muestreos realizados en EUA (donde se realizan más de 4500 muestreos cada año) es menor a 10 ppm (EPA 2013).

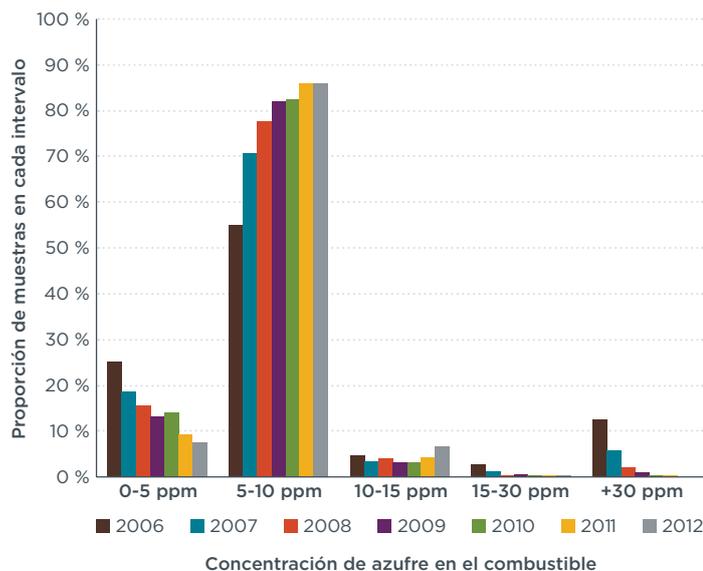


Figura 3. Resultados de las pruebas de la calidad de combustible en Estados Unidos (EPA 2013)

En Estados Unidos la EPA previó un periodo de transición de cuatro meses (como máximo) entre el comienzo de la introducción paulatina de diésel de 15 ppm de azufre y la entrada en vigor de los estándares de emisión correspondientes. Para evitar problemas con el suministro de combustible y asegurar que el diésel de 15 ppm estuviera disponible en todo el país, se dispuso que este fuera penetrando gradualmente el mercado en un periodo de cuatro años. Así, para el primer día de septiembre de 2006, al menos el 80 % del combustible debería cumplir con el límite de 15 ppm de azufre. En paralelo, en las normas para motores año-modelo 2007² se establecieron límites que requerían el uso de filtros DPF, para los cuales es necesario el diésel de ultrabajo contenido de azufre. Es decir, entre 2007 y 2010 un pequeño pero importante porcentaje del combustible distribuido en EUA contenía más de 15 ppm de azufre: de 5 % a 15 % en los primeros 18 meses hasta llegar a tener entre 1 % y 2 % en los siguientes dos años. Este combustible debía identificarse claramente como combustible con alto contenido de azufre, de manera que no se utilizara en vehículos con tecnología EPA 2007 o más reciente (EPA 2001).

En Brasil la transición hacia el diésel de ultrabajo azufre fue aún más gradual. Las normas establecieron un límite obligatorio de 50 ppm de azufre (correspondiente a Euro IV) en ciertas ciudades. En algunas entró en vigor a partir de 2010, y en otras, a partir de 2011 (ANP 2009). Posteriormente, en 2012, entraron en vigor normas de emisión equivalentes a Euro V, pero el diésel de 10 ppm (adecuado para esta tecnología) no estuvo disponible sino hasta un año después (ANP 2011a). Estas normas de emisión obligaron a la Agencia Nacional Brasileña para el Petróleo, el Gas Natural y los Biocombustibles (ANP, por sus siglas en portugués) a establecer un plan de suministro que garantizara la disponibilidad nacional del diésel de bajo azufre (CONAMA 2008). Como parte de este plan, la ANP designó ciertas estaciones de servicio en las que fuera obligatoria la venta de diésel de bajo azufre, de 50 ppm en 2012 y de 10 ppm en 2013 (ANP 2011b). Estas estaciones y otras en las que el despacho de diésel UBA es voluntario representan aproximadamente el 35 % del total de estaciones de servicio en el país, de acuerdo con datos actualizados a mayo de 2014 (ANP 2014; Kardec Duailibe 2011).

Además del diésel de ultrabajo contenido de azufre, los sistemas SCR de control de emisiones de óxidos de nitrógeno requieren una solución de urea conocida como fluido de escape para vehículos diésel (DEF, por sus siglas en inglés), mencionada en párrafos anteriores. Para asegurar que el suministro de DEF sea suficiente en Estados Unidos, la EPA exige, como parte del proceso de certificación, que los fabricantes presenten un plan

2 El año-modelo de un motor debe incluir el 1º de enero del año de que se trate, pero puede comenzar antes.

para que el DEF esté disponible y sea accesible para los conductores (EPA 2011a). La introducción gradual de DEF ha sido más lenta que la del diésel UBA, pues su consumo es cerca del 2 % del consumo de diésel. Por lo tanto, la norma estadounidense requiere que el tanque de DEF cuente con una capacidad mínima tal que solo requiera llenarse una vez por cada 2 a 3 veces que se llene el tanque de diésel. Una revisión del mercado muestra que los fabricantes han diseñado tanques de DEF y controlado su consumo de forma tal que los camiones vendidos actualmente tienen un tanque de DEF (con capacidad de 20 a 50 galones) que permite recorrer la distancia equivalente a 6 a 8 veces lo que posibilita el tanque de combustible (de 150 a 200 galones). Por lo tanto, los conductores pueden programar el llenado del tanque de urea en ciertas estaciones de servicio o en su base.

Los sistemas SCR se utilizan ampliamente en varios países y en ninguno de ellos ha sido un problema la disponibilidad de este fluido. En Brasil, por ejemplo, el suministro de urea no ha impedido la adopción de los estándares Euro V, pues al entrar en vigor, los proveedores de DEF inmediatamente entraron al mercado.

En México ya se vende DEF para llenar los tanques de los vehículos de exportación que se ensamblan en el país y para un creciente número de autobuses urbanos que cumplen con los estándares Euro IV o Euro V y que circulan en las ciudades más grandes. TerraCair, uno de los proveedores más importantes de DEF en Estados Unidos, estableció ya una alianza comercial y una red de distribución en México con Alveg Distribución Química para surtir DEF a los fabricantes y las flotillas, y ya se cuenta con buena cobertura territorial en México (TET 2012). Además, PEMEX adquirió una planta de urea en Veracruz y tiene programado invertir en su adaptación para ponerla en marcha en 2015 (Naso 2014).

5. Beneficios en el rendimiento de combustible

Uno de los beneficios colaterales más importantes de las modificaciones a la NOM-044 es que con ellas se mejora significativamente la eficiencia en el uso de combustible del motor³. Como se observa en la figura 4, si bien la eficiencia de los motores pesados mejoró desde la década de los setenta, la aplicación de las normas EPA 2004 provocó una abrupta reducción en la eficiencia de estos motores. La adopción de los sistemas EGR solucionó la necesidad de reducir las emisiones de NO_x

sin disminuir las de partículas. Estos sistemas fueron una vía más económica para el control de emisiones que los SCR, pero tuvieron como consecuencia una pérdida en la eficiencia del motor⁴. Por lo tanto, con la introducción de EPA 2004 se perdieron las mejoras en eficiencia que se habían logrado en los 15 años anteriores.

Sin embargo, con la publicación de los estándares EPA 2010 la eficiencia de combustible mejoró sustancialmente, con lo que se recuperó el camino andado y se vislumbran reducciones adicionales en el consumo de combustible de los motores pesados. La razón principal es que los motores que cumplen con el estándar EPA 2010 cuentan con sistemas SCR. La alta capacidad que tienen estos dispositivos para reducir óxidos de nitrógeno permite que los motores se ajusten para ser altamente eficientes, lo que incrementa sus emisiones de NO_x y reduce las de partículas. Los sistemas SCR reducen hasta un 80 % las emisiones de NO_x del motor, y los filtros DPF reducen más del 95 % las de por sí bajas emisiones de partículas, antes de salir por el escape. Si bien los filtros pueden ocasionar pérdidas en eficiencia, los fabricantes han podido eliminarlas, en gran parte porque las emisiones de PM del motor son, como ya se dijo, de por sí bajas. La figura 4 muestra una dramática reducción en el consumo de combustible al freno (*brake specific fuel consumption*, BSFC) entre 2004 y 2010, que continúa entre 2014 y 2017 por la implementación de los estándares de rendimiento de combustible. De acuerdo con esta misma figura, la eficiencia de los motores certificados con EPA 2010 mejoró aproximadamente un 6 % con respecto a los motores EPA 2004.

En Estados Unidos los fabricantes pronosticaron que al cumplir los estándares EPA 2010 la eficiencia de los motores mejoraría entre 2 % y 4 % con respecto a EPA 2004. Posteriormente, un estudio retrospectivo de la compañía Volvo mostró que el incremento histórico real en la eficiencia está más cerca del 6 % (National Research Council 2010; Greszler 2011). Además, las investigaciones de Cummins revelan reducciones en costos de operación entre 2007 y 2010 de 4 % a 5 %, considerando tanto la reducción del consumo de combustible como el incremento en el costo (Charlton *et al.* 2010). La norma de rendimiento de combustible de Estados Unidos requiere que la eficiencia en el uso de combustible sea de un 5 % a un 9 % superior en 2017 con respecto a 2010, dependiendo del tipo de vehículo (EPA y DOT 2011). Con esto, en total se lograría un incremento de entre 7 % y 15 % en la eficiencia de los motores EPA 2010 con respecto a los EPA 2004 que todavía se venden en el mercado mexicano⁵.

3 Las normas de emisiones permiten mejoras en la eficiencia del motor, pero no promueven la incorporación de tecnologías vehiculares que resulten en mejoras adicionales en el rendimiento de combustible. Un nuevo documento del ICCT explica cómo las mejoras en eficiencia del motor pueden contribuir a reducir el consumo de combustible en vehículos pesados (ver *The U.S. Supertruck Program: Expediting the development of advanced heavy-duty vehicle efficiency technologies*, por Oscar Delgado y Nic Lutsey, por publicarse en 2014).

4 Al ajustar un motor para optimizar su eficiencia, aumentan sus emisiones de NO_x y se reducen sus emisiones de partículas y viceversa.

5 La EPA no ha publicado ninguna estimación sobre los beneficios en eficiencia por la transición hacia los estándares EPA 2010.

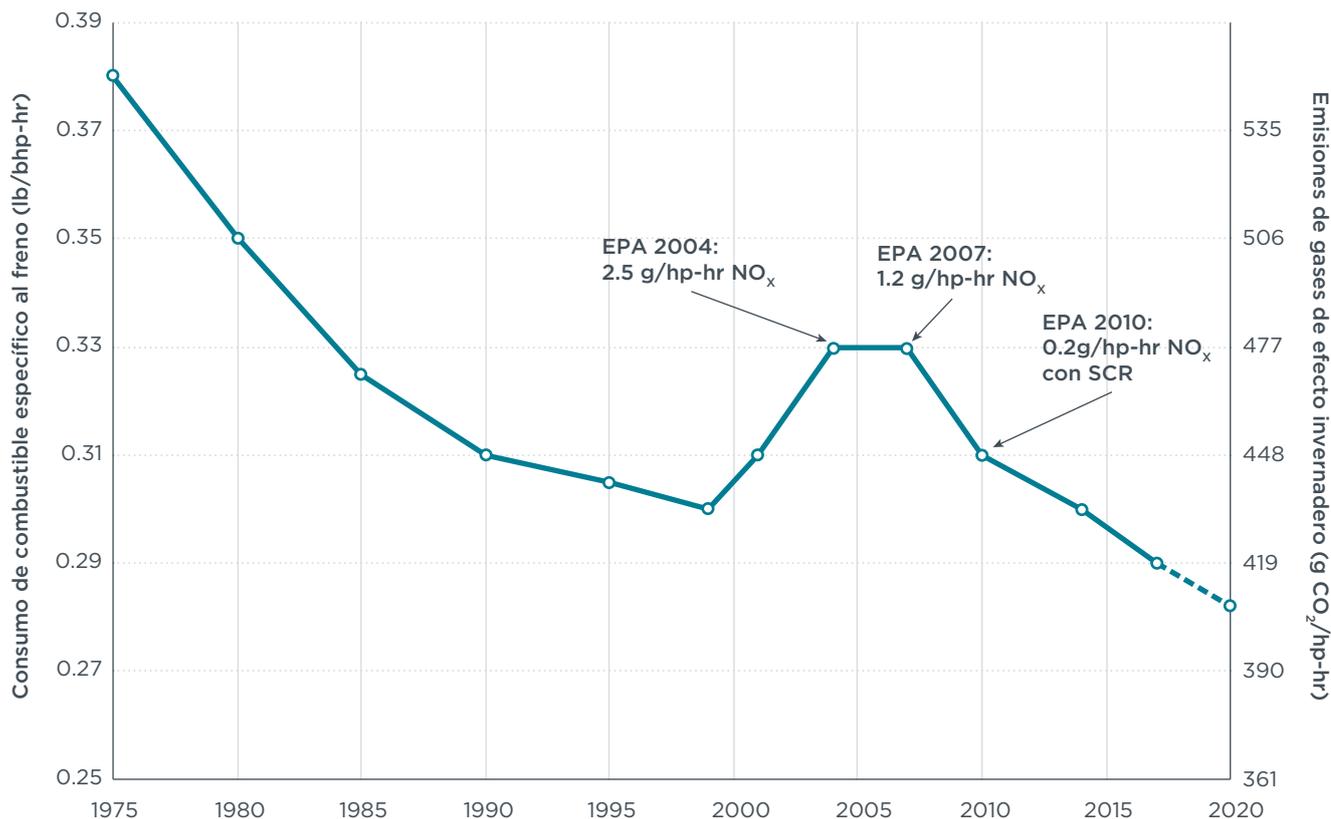


Figura 4. Eficiencia histórica y proyectada de los motores pesados (Greszler 2011)

Muchos de los beneficios descritos en los párrafos anteriores pueden materializarse en México si se homologa totalmente la NOM-044 con los estándares EPA 2010 y Euro VI, incluidos los requisitos de OBD, y se implementa correctamente. Esto se debe a que los fabricantes de vehículos pesados producen un número limitado de modelos de motor y, a través de la homologación, se esperaría que México aprovechara los beneficios de los esfuerzos de investigación y desarrollo para reducir tanto las emisiones como el consumo de combustible de los vehículos.

Si bien es posible que unos fabricantes opten por cumplir con la norma estadounidense y otros con la europea, y que eso repercuta en cambios en las ventas de uno y otro tipo de motor, ambas tecnologías requieren la adopción de sistemas SCR (que permiten ajustar los motores para que sean más eficientes), por lo que se espera que la eficiencia en el consumo de combustible aumente y se reduzca el consumo de combustible, independientemente de la opción que escojan los fabricantes.

6. Costos tecnológicos

Las figuras 5 y 6 muestran los resultados de un análisis de ingeniería por medio del cual se estimaron los costos

directos de la adopción de estos estándares para los fabricantes (ICCT 2013). Este estudio incluye los costos variables (que dependen del desplazamiento del motor, por ejemplo, el volumen, el sustrato y el recubrimiento del catalizador y el sistema de inyección de urea), así como costos fijos (como los sensores, otros componentes y accesorios).

Algunos resultados sobresalientes de este análisis son los siguientes:

- Se calcula que cumplir con el estándar EPA 2004 costó entre 1000 y 2000 dólares menos por vehículo que cumplir con el estándar Euro IV. Esta diferencia tan marcada explicaría por qué los fabricantes optaron más por EPA 2004 para cumplir con los estándares vigentes en el mercado mexicano.
- Los costos calculados para cumplir con los estándares Euro IV y Euro V son esencialmente iguales, porque involucran la misma tecnología.
- Los costos calculados para cumplir con los estándares EPA 2010 y Euro VI también son iguales, porque involucran la misma tecnología y son estándares funcionalmente equivalentes.
- Se espera que el costo adicional real de adoptar EPA 2010 o Euro VI varíe entre 3700 y 8500 dólares, según el tamaño del motor, tomando en cuenta

que, en la actualidad, la mayoría de los fabricantes producen vehículos EPA 2004 para cumplir con la NOM-044 actual. La estimación más baja corresponde a los vehículos más ligeros de esta categoría, y los costos más altos corresponden a los más pesados.

los costos de implementación de estos estándares⁶. Se calculó el valor monetario de estos costos y beneficios y se trajeron a valor presente, lo que permitió compararlos y evaluar los beneficios netos de estas modificaciones hasta el año 2037. Los detalles de la metodología para llevar a cabo esta evaluación se encuentran en el documento *Cost-Benefit Analysis of NOM 044 Regulation*, que el ICCT publicará próximamente (Miller 2014).

Para calcular los costos y beneficios de la adopción de las modificaciones a la NOM-044 se compararon los costos y beneficios calculados para dos escenarios: un escenario base que considera que la NOM-044 permanece sin cambios (y por tanto continúa la aplicación del estándar EPA 2004), y otro en el que se incorporan los estándares EPA 2010 y Euro VI a partir de 2018.

La tabla 3 muestra el resumen de la información que se utilizó para los cálculos y las proyecciones del escenario base sin cambios en la NOM-044.

Para proyectar el tamaño de la flota y los costos de la norma en el periodo de análisis, se supuso lo siguiente:

- las ventas de vehículos pesados en México se incrementan 3 % cada año,
- el costo adicional promedio de transitar de EPA 2004 a EPA 2010/Euro VI es aproximadamente 5300 dólares, con un costo menor para vehículos más pequeños y mayor para los más pesados,
- el consumo de DEF es equivalente al 2 % del consumo total de diésel⁷; su costo se considera igual al 80 % del costo del diésel⁸, y
- el costo adicional de suministrar diésel con ultrabajo contenido de azufre es de 2.5 centavos de dólar por litro⁹.

6 Este análisis incluye únicamente el costo adicional de las tecnologías que se utilizarían en vehículos nuevos para cumplir con la norma y los costos de operación adicionales asociados con el suministro de DEF y de diésel de ultrabajo azufre. No incluye los costos de mantenimiento.

7 El consumo real depende del ciclo de manejo, la operación del vehículo, etc., pero el consumo estándar es aproximadamente de un 2 % (ARB 2014).

8 En Estados Unidos el precio de la recarga de DEF equivale, en promedio, al 70 % del precio del diésel, y se ha mantenido estable por varios años. En Canadá es similar, pero debido a que en México no se conocen todos los factores que influyen en el precio del DEF, en este análisis se utilizó un valor conservador, aproximadamente un 10 % más alto que los precios imperantes en el resto de la región de Norteamérica. Para reflejar el efecto de la inflación, el precio del DEF se calculó a partir de las proyecciones del precio del diésel realizadas por la Oficina de Administración de Información sobre Energía (Energy Information Administration) de Estados Unidos, de acuerdo con las recomendaciones del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México (Integer 2014; EIA 2013; EIA 2014).

9 En este análisis se utilizan parámetros de inversión específicos para México obtenidos a partir de un estudio de los costos (por litro) de obtener diésel de 10 ppm en el Sistema Nacional de Refinación. Debido a que se importa aproximadamente un 30 % del diésel y este ya es de 10 ppm, se espera que los costos adicionales reales sean menores que los calculados (Hart Energy and MathPro Inc 2012; PEMEX 2013).

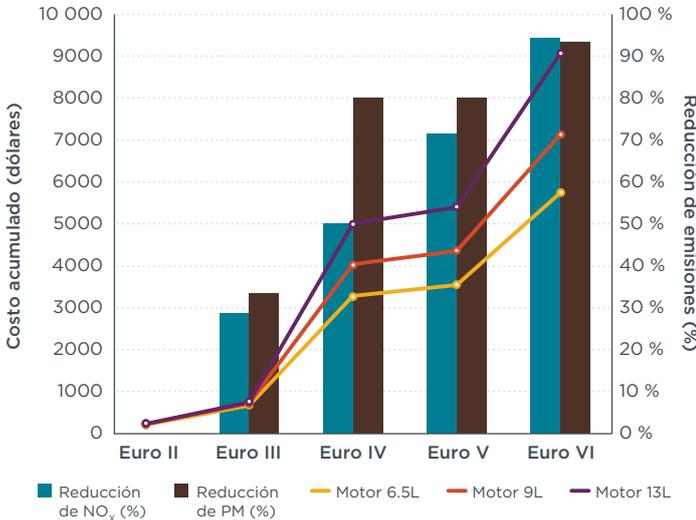


Figura 5. Costo estimado del cumplimiento de los estándares Euro para vehículos con motores de diferente tamaño

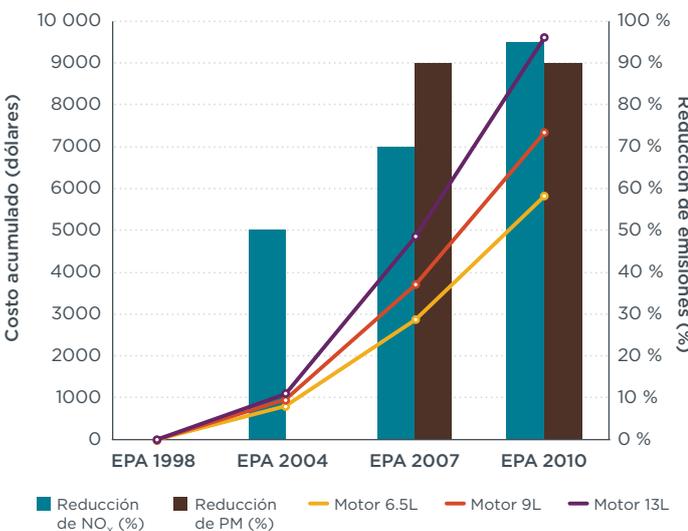


Figura 6. Costo estimado del cumplimiento de los estándares EPA para vehículos con motores de diferente tamaño

7. Análisis de costos y beneficios

El ICCT analizó los costos y beneficios para México de la transición hacia EPA 2010 y Euro VI en la NOM-044, tomando en cuenta los beneficios esperados para la salud pública y el clima por la reducción de emisiones, y

Tabla 3. Contribución de cada tipo de vehículo a las ventas, la actividad vehicular, el consumo de combustible y las emisiones en el escenario sin cambio

Tipo de vehículo (año-modelo 2018)	Ventas	Actividad vehicular (VKT, por sus siglas en inglés)	Consumo de combustible/ Emisiones de CO ₂	Emisiones de PM	Emisiones de NO _x
Camioneta pickup/van de trabajo pesado	26 %	11 %	7 %	4 %	5 %
Tractocamión	15 %	40 %	35 %	33 %	33 %
Vehículo utilitario	59 %	49 %	58 %	64 %	62 %
Total	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

De acuerdo con este estudio, al implementar las modificaciones a la NOM-044 entre 2018 y 2037 se evitaría la emisión de

- 225 mil toneladas de PM_{2.5}
- 160 mil toneladas de carbono negro
- 4 millones de toneladas de NO_x

En consecuencia, se evitarían impactos en la salud pública que pueden cuantificarse y valorizarse. El ICCT desarrolló una metodología para evaluar el número de muertes prematuras evitadas por la reducción de emisiones vehiculares de PM_{2.5} en áreas urbanas (Chambliss *et al.* 2013). En este estudio se consideró una estructura de desfase entre la exposición y la manifestación de los impactos adversos en la salud (latencia), distribuida a lo largo de todo el periodo de 20 años, de acuerdo con la metodología usada por la EPA para evaluar los costos y beneficios de reducir la contaminación del aire (EPA 2011b). Dicha metodología captura todos los costos y beneficios que ocurren en un periodo de 20 años, comenzando con el primer año de implementación de la medida y terminando en el año 2037. En esta evaluación no se incluyen los beneficios por muertes evitadas después de este periodo, aun cuando sean consecuencia de las emisiones evitadas dentro del periodo.

Entre 2018 y 2037 se evitarían más de 55 mil muertes prematuras por cáncer de pulmón, enfermedades cardiopulmonares y enfermedades respiratorias agudas causadas por las emisiones de vehículos diésel. Además, con la nueva NOM-044 se evitarían emisiones de carbono negro, carbono orgánico y sulfatos equivalentes a 500 millones de toneladas de CO₂ (si se considera el potencial de calentamiento global a 20 años o GWP-20, por sus siglas en inglés) o 140 millones de toneladas de CO₂ (si se considera el potencial a 100 años, el GWP-100). El impacto en el clima es principalmente de calentamiento

por el carbono negro, pues el efecto “enfriador” de las emisiones de carbono orgánico y los sulfatos es mínimo y no es suficiente para contrarrestarlo.

Una vez que se calculan los costos y los beneficios, es posible compararlos en todo el periodo de análisis para obtener los beneficios netos de las modificaciones a la norma. En este caso, el valor presente de los beneficios se estimó en 135 mil millones de dólares, 11 veces la suma de los costos directos adicionales (6 mil millones de dólares) y los costos adicionales asociados con el suministro de combustible (6 mil millones de dólares). Se toman en cuenta ambos costos en el cálculo porque, si bien en México se regulan las emisiones y los combustibles por separado, el ICCT los considera partes integrales de un sistema. Los beneficios netos (resultado de la diferencia entre beneficios y costos) equivalen a 123 mil millones de dólares. La mayor parte de los beneficios provienen de las muertes prematuras evitadas por la reducción de emisiones de PM_{2.5}. La figura 7 muestra cómo los beneficios netos anuales se incrementan a lo largo del tiempo.

Además de los beneficios para la salud pública, las modificaciones a la NOM-044 promoverán la adopción de motores más eficientes, por lo que se esperaría que el consumo de combustible se redujera y que se emitieran menos gases de efecto invernadero. Los costos de la implementación de la NOM-044 podrían recuperarse en forma de ahorros en el consumo de combustible. Si México aprovecha la ventaja que conllevan las tecnologías EPA 2010 y los sistemas OBD, podría publicar una norma de rendimiento de combustible y emisiones de gases de efecto invernadero para vehículos pesados (homóloga a la de Estados Unidos), y aumentar significativamente la eficiencia energética de los motores y vehículos de este tipo.

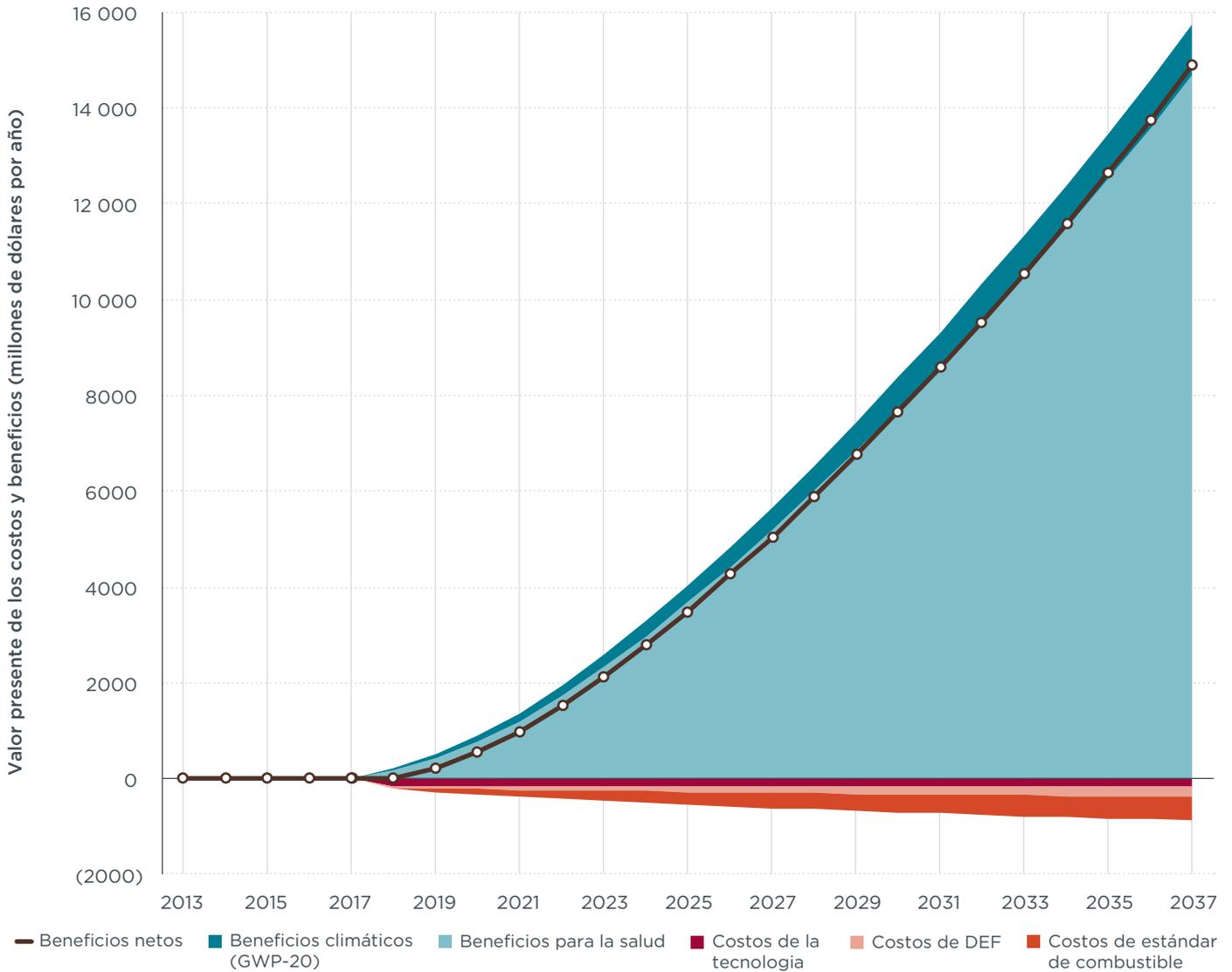


Figura 7. Valor presente de los costos y beneficios anuales estimados por la implementación de la NOM-044

8. Conclusiones para México

Es indispensable transitar directamente a los estándares EPA 2010/Euro VI. Estos estándares son funcionalmente equivalentes e involucran las mismas tecnologías y los mismos costos de implementación. Los costos tecnológicos y operativos que implica esta transición (12 mil millones de dólares) representan menos de una décima parte de los beneficios para la salud y el clima calculados para esta transición (135 mil millones de dólares).

Los sistemas OBD y otros dispositivos de control que aseguren el adecuado funcionamiento del sistema SCR son esenciales tanto para el estándar EPA 2010 como para el Euro VI. Estos son imprescindibles para asegurar que efectivamente se reduzcan las emisiones contaminantes y para promover que los vehículos que se vendan en México sean aquellos con los motores más avanzados y eficientes disponibles en el mercado.

Los fabricantes cumplirán, sin dificultad, con los nuevos estándares para México, y los propietarios de camiones pesados se beneficiarán con los ahorros esperados en el consumo de combustible de sus unidades. En comparación con el estándar que prevalece ahora en el mercado mexicano (EPA 2004), los nuevos estándares hacen que los motores sean más eficientes y permiten ahorros sustanciales en el consumo de combustible.

La experiencia internacional muestra que estas modificaciones pueden entrar en vigor tan pronto como el diésel de ultrabajo azufre se distribuya en todo el país, aun cuando la cobertura de suministro no sea total. Actualmente se producen en México vehículos y motores que ya cumplen con estos estándares, y PEMEX irá aumentando la producción de diésel de ultrabajo azufre y ampliando la cobertura de suministro en los próximos años. En Estados Unidos la EPA otorgó un periodo de gracia

de únicamente cuatro meses a partir de que la mayoría (80 %) del combustible cumplió con los estándares de bajo contenido de azufre, para exigir la implementación de los primeros estándares que requerían tecnologías de control de emisiones de partículas en los vehículos.

La diferencia entre los límites de 10 ppm y 15 ppm de contenido de azufre en el diésel no tiene un efecto significativo en los vehículos. El límite de 15 ppm se definió con base en evidencia suficiente para garantizar que no hay impactos en el desempeño, la eficiencia o los sistemas de control de emisiones de los vehículos.

El abasto del DEF, que se requiere para los sistemas de control de emisiones SCR, puede crecer sin problema para satisfacer la demanda a futuro. México cuenta ya con una red de distribución nacional para este producto, y a la

fecha no hay antecedentes de problemas de desabasto por un crecimiento acelerado del mercado en ninguno de los países que ya adoptaron los sistemas SCR para el control de emisiones.

Las autoridades federales y locales deben promover la adopción anticipada o gradual de estos nuevos estándares. Las flotas de transporte urbano y las flotillas que transitan en los principales corredores de carga del país y en la zona fronteriza podrían empezar a renovarse con vehículos más limpios con las más avanzadas tecnologías de control. Esto es perfectamente factible porque actualmente el 30 % del diésel en México, incluso el que se vende en las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara, ya es de ultrabajo contenido de azufre, y se espera que esta proporción continúe aumentando en los próximos años.

Apéndice A. Comparación entre EPA 2007 y EURO V

Tabla A1. Características principales de los estándares EPA 2007 y Euro V

	EPA 2007	Euro V	Comentarios
Límite de emisión de PM (g/kWh)	0.013	0.03	El estándar europeo permite emisiones más altas de partículas, sobre todo de partículas finas.
Límite de emisión de NO_x (g/kWh)	1.6	2.0	El estándar europeo permite emisiones más altas en condiciones reales de manejo, especialmente en las ciudades.
Tecnología predominante	DPF + EGR	SCR	Las tecnologías que se utilizan para cumplir los límites de emisión son completamente diferentes.
Ciclo de prueba	FTP + SET + NTE	ESC + ETS	El ciclo de prueba europeo no es representativo de las condiciones de manejo en zonas urbanas, por lo que las emisiones de NO _x en condiciones reales son mucho mayores que las reportadas en laboratorio. Los nuevos ciclos de prueba que se usan para certificar Euro VI ya no tienen este problema.
Vida útil	700 000 km/ 10 años	500 000 km/ 7 años	Los requisitos de durabilidad europeos son mucho más cortos que la vida útil esperada de los vehículos. Los filtros que usan los vehículos estadounidenses pueden causar pequeñas pérdidas de eficiencia.
Diferencia en rendimiento de combustible, comparado con EPA 2004	-0 a -2 % (se reduce)	+5 % (mejora)	La tecnología SCR, predominante en los motores europeos, permite ajustar los motores a altos niveles de NO _x y mejora la eficiencia. EPA: un DPF puede tener una insignificante penalización de combustible.
Diferencia en costos con EPA 2004/Euro IV (dólares)	+\$2100 - \$3700	\$0 partiendo de Euro IV, \$2600 - \$4300 partiendo de EPA 2004	Para implementar ambos estándares se requieren inversiones cuantiosas, en comparación con EPA 2004. Casi no hay diferencia en costos entre Euro IV y Euro V, pues usan tecnología prácticamente equivalente.
Consideraciones de mercado	En la actualidad no se vende en ningún mercado	Todavía se vende en muchos mercados	Si se diera la opción de cumplir con EPA 2007 o Euro V, es probable que la mayoría del mercado se certificara con el estándar europeo, pues sus costos son más bajos y tiene mejor rendimiento de combustible, aunque sacrificando las emisiones y los beneficios para la salud pública.

En condiciones reales de manejo, los estándares Euro IV y V no garantizan que las emisiones de NO_x se mantengan por debajo de los límites. Esto se explica más a detalle en el documento *Urban off-cycle emissions from Euro IV/V trucks and buses* (Lowell and Kamakate 2012). Para la certificación de estos estándares se utilizan ciclos de prueba que no son representativos de las condiciones típicas de manejo en zonas urbanas, que frecuentemente presentan arranques “en frío” y bajas temperaturas en el escape. Por lo tanto, los sistemas SCR con los que cuentan los vehículos tienen un desempeño muy pobre a temperaturas bajas, y esto aumenta sus emisiones de NO_x en zonas urbanas, precisamente donde es más importante que se reduzcan.

Estos problemas en la “aprobación típica”¹⁰ de los estándares Euro IV y V han ocasionado que se utilicen tecnologías SCR de bajo costo y desempeño en condiciones de carga ligera, lo que aumenta las emisiones de NO_x. Además, ni el estándar Euro IV ni el Euro V requieren el uso de filtros DPF, considerados como la mejor tecnología disponible de control de emisiones de partículas.

¹⁰ En el sistema europeo los fabricantes someten cada nuevo modelo de motor a una “aprobación típica” y no es necesario que renueven esta certificación hasta que los estándares se modifiquen o hasta que quieran comercializar un nuevo modelo de motor. En cambio, en Estados Unidos los fabricantes de vehículos deben “certificar” que cumplen con los estándares de emisiones para cada año modelo.

Los vehículos que cumplen con las normas estadounidenses tienen un mejor desempeño en condiciones reales de manejo, pues cuentan con catalizadores diferentes para sus sistemas SCR, se certifican con un ciclo de manejo más representativo de las condiciones urbanas y se someten a una verificación de cumplimiento más estricta. Sin embargo, se espera que el desempeño de los motores europeos se equipare al de los estadounidenses a partir de la implementación de Euro VI, mediante:

1. la transición hacia el ciclo de prueba mundial armonizado (WHTC), que representa mejor las condiciones urbanas de manejo y operación,
2. la adición de un requisito de arranque en frío a la prueba de certificación, y
3. la adición de pruebas obligatorias con equipos portátiles de medición de emisiones (PEMS, por sus siglas en inglés) para asegurar que las emisiones se mantienen bajas en condiciones normales de uso y en aquellas no consideradas en el ciclo de prueba.

Los requisitos con que cuenta el programa Euro VI de cumplimiento de límites de emisión en condiciones reales son muy parecidos a las especificaciones “*Not-to-Exceed*” de Estados Unidos, diseñadas para verificar el cumplimiento en condiciones normales de operación.

Apéndice B. Sistemas de diagnóstico a bordo (OBD)

Los sistemas OBD monitorean el comportamiento del motor y los dispositivos de postratamiento, incluso aquellos responsables de controlar las emisiones¹¹. Estos sistemas OBD fueron adoptados por primera vez en 1991 en vehículos ligeros de EUA, y 10 años después se incorporaron en los europeos. Aquellos primeros sistemas OBD eran bastante sencillos y carecían de estandarización, por lo que cada fabricante adoptaba un sistema diferente para intercambiar información entre el vehículo y el conductor.

Para 1996 los sistemas OBD se estandarizaron, y todos los fabricantes en EUA tuvieron que instalar los mismos sistemas de monitoreo y utilizar los mismos umbrales de alerta de mal funcionamiento. Posteriormente, en 2005 se introdujeron los sistemas OBD para vehículos pesados en Europa, y algunos años después en EUA, pero solo para vehículos y aplicaciones con peso bruto vehicular (PBV) por debajo de los 6360 kg.

En 2010 comenzó a extenderse el requerimiento de OBD a todos los vehículos pesados. La tabla 3 muestra los

calendarios de implementación de los requisitos OBD en EUA y Europa para vehículos pesados con PBV de más de 6360 kg.

Para enero de 2018, la fecha propuesta para que entre en vigor la actualización de la NOM-044, EUA y Europa ya habrán implementado la siguiente generación de sistemas OBD (OBD II) en todas las categorías de vehículos, tanto en los modelos actuales como en los que surjan en los próximos años. De hecho, todos los vehículos pesados en Europa y muchos vehículos y motores en EUA contarán con algún tipo de monitoreo OBD antes de 2016, lo que sugiere que México podría adelantarse y promover la instalación de estos sistemas antes de 2018.

Para mayor detalle sobre los sistemas OBD y las especificaciones que las normas de Estados Unidos y Europa contienen a este respecto, se puede consultar el documento *On-board diagnostics for heavy-duty vehicles: Considerations for Mexico* (Posada 2014).

Tabla 3. Calendario de implementación de vehículos pesados en EUA y Europa

Año	Unión Europea	EUA
Pre-2013	Euro V (OBD y monitoreo del control de NO _x)	EPA 2010
2013	Euro VI (01.01.2013, nuevos vehículos) • Entrada de Euro VI OBD	EPA 2010 • Entrada del OBD para diésel en vehículos pesados, PBV >14 000 lb • Completa adopción del OBD para 1 a 3 familias de motor por año, extrapolándolo para el resto de las familias • El OBD es estandarizado a todos los fabricantes
2014	Euro VI (01.01.2014, todo tipo de vehículos)	Completa adopción del OBD para familias de 1 a 3 motores por año, extrapolándolo para el resto Fase 1 de la Norma de Gases de Efecto Invernadero (GEI)/Rendimiento de combustible
2015	Monitoreo DPF alternativo (caída de presión, en lugar de sensor de PM) Sensor de PM (01.09.2015)	Completa adopción del OBD para familias de 1 a 3 motores por año, extrapolándolo para el resto • Sensor de PM • Sensor de calidad de urea
2016	OBD final Euro VI (01.01.2016, nuevos vehículos)	Completa adopción del OBD para vehículos pesados, todos los motores y vehículos • Adopción completa de sensor PM
2017	OBD final Euro VI (01.01.2017, todos tipos de vehículos)	
2018		
2019		Fase 2 de la Norma de GEI/Rendimiento de combustible

¹¹ Definición de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Apéndice C. Fluido del escape de motores diésel (DEF) para sistemas SCR

Para que funcionen correctamente, los sistemas SCR requieren que el tanque de DEF se encuentre suficientemente lleno para cada recorrido. Asimismo, el DEF debe ser de calidad adecuada. Si el DEF se agota, el sistema SCR deja de funcionar y las emisiones de NO_x pueden aumentar drásticamente y superar, con mucho, los niveles de certificación y ser iguales que para los vehículos que se vendían en la década de 1990, que emitían 20 veces más.

Para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas SCR es indispensable que los equipos cuenten con dispositivos de seguridad que garanticen que el suministro

de DEF es el adecuado durante los recorridos. Por esta razón los estándares estadounidense y europeo incluyen especificaciones sobre señales de alerta para el conductor y otros dispositivos de seguridad para monitorear el nivel de DEF en el tanque y asegurar que se utiliza DEF de buena calidad y que se cuenta al menos con un nivel mínimo para el funcionamiento del sistema SCR.

La tabla C1 contiene más detalles sobre los dispositivos que se requieren en las normas de EUA y Europa para este propósito.

Tabla C1. Dispositivos para asegurar el uso adecuado del DEF en los sistemas SCR

Requisito		Europa ¹	Estados Unidos ²
Control de DEF	Nivel	Indicador en tablero obligatorio	Indicador en tablero
	Calidad	Obligatorio	Obligatorio (directo o indirecto ³)
	Dosificación	Obligatorio	Obligatorio
	Prevención de congelamiento	Sin requisitos específicos por debajo de los -7° C	Prueba de "capacidad de arranque en estado congelado" ⁴
Advertencias al conductor		Advertencia de nivel bajo de DEF (volumen del 10 % o equivalente a reserva de combustible) ⁴	Advertencia de nivel bajo de DEF (volumen del 10 %)
Degradación del rendimiento del vehículo		Limitador de par de torsión ^{5,6} (60-75 % máx.) en las siguientes condiciones: 1. Sin DEF 2. Mala calidad del DEF 3. Dosis incorrecta 4. Emisiones de NO _x >7 g/kWh	Disminuye el 25 % la capacidad normal del motor, comienza cuenta regresiva de recorrido o se fija una velocidad máxima de 55 mph cuando: 1. el volumen de DEF es inferior al 5 % 2. el DEF es de mala calidad Se fija una velocidad máxima de 5 mph cuando se cumple cualquiera de estas condiciones: 1. no hay DEF + 15 % de reabastecimiento de combustible, nuevo arranque o motor encendido con el vehículo en reposo durante 1 hora o más 2. el DEF es de mala calidad para un recorrido de 250 millas/5 horas + 15 % de reabastecimiento de combustible, nuevo arranque o motor encendido con el vehículo en reposo durante 1 hora o más
El vehículo vuelve a funcionar		Si está encendido pero en reposo y las condiciones que activaron el limitador del par desaparecen	Si el nivel de DEF en el tanque es mayor o igual a 2.5 % o si las condiciones que activaron el limitador del par de torsión desaparecen
NH₃ sin reaccionar		Promedio <25 ppm (Euro IV/V) <10 ppm (Euro VI)	≤10 ppm durante la vida útil (ARB) 50 ppm (EPA)
Otros		Registro de fallas: 400 días o 9600 horas operativas	1. Diseños resistentes a alteraciones en señales de advertencia por disminución del rendimiento, dosificación del DEF 2. Es obligatorio informar al conductor

Notas:

1. Fuente: European Parliament and Council of the European Union 2005 y European Commission 2011.
2. Se propuso por los fabricantes de motores equipados con sistemas SCR a la EPA y a la ARB. La decisión final estará sujeta a revisiones y certificaciones por parte de la EPA y la ARB. Fuente: ARB 2010 y EPA 2012.
3. Detector de NO_x, etc.
4. Demostrar dosis adecuada más allá de -18 Celsius por 72 horas o hasta que se congele el DEF. Operación por 70 minutos (20 minutos en reposo, 50 minutos a velocidad controlada y con carga menor a 40 %) a -18 Celsius.
5. El monitoreo OBD se interrumpe temporalmente si el nivel de DEF en el tanque es menor al 20 %.
6. Dentro de las 50 horas posteriores a la detección de la falla, después de la primera vez que el vehículo se detiene (Bodek 2008).

Apéndice D. Fundamento técnico para la definición del límite de 15 ppm de contenido de azufre en el diésel en Estados Unidos

La EPA estableció el límite de contenido de azufre en 15 ppm para permitir el funcionamiento adecuado de dos sistemas de postratamiento de emisiones: los filtros de partículas y los dispositivos de adsorción de NO_x (EPA 2000). Asimismo, se tomó en cuenta la reducción en el rendimiento de combustible que conllevan estos sistemas.

Como se observa en la tabla C1, el límite superior de 15 ppm de azufre, que representa un contenido promedio de 7 ppm, se definió para reducir a menos del 1 % el impacto que sobre el rendimiento del combustible tienen los dispositivos de adsorción de NO_x, en ausencia de otros cambios en el diseño de los motores. Sin embargo, la tecnología de adsorción de NO_x no se ha utilizado hasta ahora en vehículos comerciales, y los filtros de partículas que actualmente se utilizan en los vehículos tienen un impacto pequeño en el rendimiento de combustible.

Tabla D1. Impacto estimado en el rendimiento de combustible como resultado de la reducción del contenido de azufre en un dispositivo de adsorción de NO_x con 90 % de eficiencia (EPA 2000)

Contenido máximo de azufre (ppm)	Contenido promedio de azufre en el combustible (ppm)	Reducción del rendimiento de combustible (%)
500	350	27
50	30	2
25	15	1
15	7	< 1
5	2	<<< 1

De acuerdo con el reporte del Proyecto sobre los Efectos del Azufre en los Sistemas de Control de Emisiones de Vehículos Diésel (DECSE, por sus siglas en inglés), el impacto que tiene incrementar la concentración de azufre en un intervalo considerado “ultrabajo” en las emisiones de partículas provenientes del motor es mínimo. El reporte del DECSE muestra que las emisiones de partículas del motor aumentan linealmente con la concentración de azufre: al incrementar la concentración de azufre de 3 ppm a 30 ppm, las emisiones aumentan un 3 % (DECSE 2001). Si se utiliza esta razón de cambio para calcular el incremento en las emisiones de partículas del motor como resultado de pasar de 10 ppm a 15 ppm en el combustible, el resultado es que aquellas aumentarían un 0.52 %. Cabe recordar que estas emisiones provenientes del motor reciben postratamiento en el filtro DPF, y este dispositivo soporta fluctuaciones de más del 1 % en las emisiones sin que se afecte su eficiencia.

En la evaluación del impacto regulatorio que llevó a cabo la EPA para publicar el estándar EPA 2010 se indica: “Para asegurar una operación confiable y económica [de los equipos de control de emisiones] en una amplia gama de condiciones de operación, consideramos, por tanto, que se requerirá un nivel de azufre en el combustible de 15 ppm. Con estos niveles tan bajos de contenido de azufre consideramos que, como lo demuestra la experiencia en Europa, los [filtros de partículas catalizados para vehículos diésel] CDPF (por sus siglas en inglés) serán durables y efectivos para reducir las emisiones de PM de vehículos diésel hasta los niveles tan bajos que requiere esta norma” (EPA 2000).

Referencias

- ANP. 2009. RESOLUÇÃO ANP Nº 42, DE 16.12.2009— DOU 17.12.2009—RETIFICADA DOU 14.1.2010. Agencia Nacional (de Brasil) de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles.
- ANP. 2011a. RESOLUÇÃO ANP Nº 65, DE 9.12.2011 - DOU 12.12.2011. National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels.
- ANP. 2011b. RESOLUÇÃO ANP Nº 62, DE 1º.12.2011 - DOU 2.12.2011. Agencia Nacional (de Brasil) de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles.
- ANP. 2014. Obrigados a Comercializar. Excel document listing fueling stations providing ULSD nationwide. Versión de 02 de mayo 2014, descargado de www.anp.gov.br/?dw=58835 el 14 de mayo 2014. Agencia Nacional (de Brasil) de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles.
- ARB. 2010. California Code of Regulations. On-Board Diagnostic System Requirements—2010 and Subsequent Model-Year Heavy-Duty Engine. Title 13, Section 1971.1.
- ARB. 2013. Field Evaluation of Heavy-duty NO_x Control Strategies. January 2013. Air Resources Board.
- Blumberg, K. 2014. Tratamiento para los vehículos medianos bajo la NOM 044. International Council on Clean Transportation.
- Bodek, K. 2008. Heavy-Duty Diesel Vehicle NO_x Aftertreatment in 2010: The Infrastructure and Compliance Challenges of Urea-SCR. Thesis, Massachusetts Institute of Technology. February.
- Charlton, S., Dollmeyer, T., & Grana, T. 2010. Meeting the US Heavy-Duty EPA 2010 Standards and Providing Increased Value for the Customer. SAE International. Vol. 3. Issue 1.
- Chambliss, S., Miller, J., Façanha, C., Minjares, R., & Blumberg, K. 2013. The Impact of Stringent Fuel and Vehicle Standards on Premature Mortality and Emissions. The International Council on Clean Transportation.
- CONAMA. 2008. Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências. Data da legislação: 11/11/2008— Publicação DOU nº 220, de 12/11/2008, págs. 92-93. Consejo Nacional del Medio Ambiente, Ministerio de Medio Ambiente (de Brasil).
- Diesel Emission Control Sulfur Effects (DECSE) Program. 2000. Phase I Interim Data Report No. 4: Diesel Particulate Filters—Final Report. Sponsored by: The U.S. Department of Energy (DOE), Engine Manufacturers Association, and Manufacturers of Emissions Controls Association.
- Ecología. 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-044-ECOL-1003. Instituto Nacional de Ecología. Descargado de http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/sedesol_nom_044_ecol_1993.pdf.
- EIA. 2013. Annual Energy Outlook 2013 (AEO2013). DOE/EIA-0383(2013).
- EIA. 2014. Petroleum & Other Liquids. Diesel Fuel Release Date: May 5, 2014. Independent Statistics and Analysis, U.S. Energy and Information Administration, U.S. Department of Energy. Descargado de <http://www.eia.gov/petroleum/gasdiesel/>.
- EPA. 2000. Regulatory Impact Analysis: Heavy Duty Engine and Vehicle Standards and Highway Diesel Fuel Sulfur Control Requirements. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation. EPA420-R-00-026.
- EPA. 2001. Rules and Regulations: Control of Air Pollution from New Motor Vehicles: Heavy-Duty Engine and Vehicle Standards and Highway Diesel Fuel Sulfur Control Requirements. Federal Register: Vol. 66. No. 12. 5002-5193.
- EPA. 2009. Notice: Control of Emissions From New Highway Vehicles and Engines: Approval of New Scheduled Maintenance for Selective Catalyst Reduction Technologies. Federal Register: Vol. 74. No. 215. 57671-57674.
- EPA. 2010. User Guide for MOVES2010a. Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality, U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. 2011a. Request for Comments: Control of Emissions From New Highway Vehicles and Engines; Guidance on EPA's Certification Requirements for Heavy-Duty Diesel Engines Using Selective Catalytic Reduction Technology. Federal Register: Vol. 76. No. 109. 32886-32896.
- EPA. 2011b. The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020. Office of Air and Radiation, U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA and DOT. 2011. Rules and Regulations: Greenhouse Gas Emissions Standards and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles. Federal Register: Vol. 76. No. 179. 57106-57513.

- EPA. 2012. Notices: Control of Emissions From New Highway Vehicles and Engines; Approval of New Scheduled Maintenance for Selective Catalytic Reduction Technologies. Federal Register: Vol. 77. No. 3. 488-497.
- EPA. 2013. Spreadsheet of ULSD Data provided to ICCT of results of the consortium ULSD surveys, September 2006 through the second quarter of 2013. La fecha del correo: 22 de octubre de 2013.
- European Parliament and Council of the European Union. 2005. Directive 2005/55/EC of the European Parliament and of the Council of 28 September 2005 on the approximation of the laws of the Member States relating to the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression-ignition engines for use in vehicles, and the emission of gaseous pollutants from positive-ignition engines fuelled with natural gas or liquefied petroleum gas for use in vehicles. Official Journal of the European Union. L 275. Vol. 48. 20 October 2005.
- European Commission. 2011. Commission Regulation (EU) No 582/2011 of 25 May 2011 implementing and amending Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and amending Annexes I and III to Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union. L 167. Vol. 54. 25 June 2011.
- Greszler, T. 2011. Volvo's Achievements and Plans for Fuel Efficiency and GHG Reduction. The Role of the Internal Combustion Engine in our Energy Future. Diesel Emissions Conference 2011.
- Hart Energy and MathPro Inc. 2012. Technical and Economic Analysis of the Transition to Ultra-Low Sulfur Fuels in Brazil, China, India and Mexico. Preparado por International Council on Clean Transportation. October 2012.
- ICCT. 2013. Draft: Estimated Cost of Emission Reduction Technologies for Heavy-Duty engines.
- Integer. 2014. DEF Tracker. Abril 2014. Descargado de <http://www.integer-research.com/environment-emissions/products/def-tracker/diesel-exhaust-fluid-def-price-tracker/>.
- Kardec Duailibe, A. 2011. Plano de Abastecimento do Novo Diesel S50 e S10. Presentation by ANP to the association of motor vehicle producers (ANFAVEA) on May 30, 2011. Descargado de <http://www.altanova.com.br/anp.pdf>.
- Lowell, D. and Kamakate, F. 2012. Urban Off-Cycle NO_x Emissions from Euro IV/V Trucks & Buses: Problems and Solutions for Europe and Developing Countries. International Council on Clean Transportation.
- MECA. 2013. Ultrafine Particulate Matter and the Benefits of Reducing Particle Numbers in the United States. Manufacturers of Emissions Controls Association. Preparado por Gladstein, Neandross, and Associates.
- Miller, J. 2014. Cost-Benefit Analysis of NOM 044 Regulation. International Council on Clean Transportation.
- Naso, C. 2014. Mexico's Pemex Drops \$475M To Buy, Revamp Fertilizer Plant. Law360. Descargado de <http://www.law360.com/articles/502152/mexico-s-pemex-drops-475m-to-buy-revamp-fertilizer-plant>.
- National Research Council. 2010. Technologies and Approaches to Reducing the Fuel Consumption of Medium- and Heavy-Duty Vehicles. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oil & Gas Journal. 2006. Pipeline engagement Eases Move to ULSD. Vol 104, Issue 40.
- PEMEX. 2013. Anuario Estadístico 2013. Descargado de http://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Documents/anuario_estadistico_2013/anuario-estadistico-2013_131014.pdf.
- Posada, F. 2014. On-board diagnostics for heavy-duty vehicles: Considerations for Mexico. International Council on Clean Transportation.
- Rutherford, D., Kamakate, F., Fung, F., and Sharpe, B. 2011. Mobile SCR Applications to meet Euro Standards: Implementation Challenges and Recommendations for Policymakers in Developing Countries. International Council on Clean Transportation.
- SEMARNAT. 2006. Norma Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2006. Diario Oficial de la Federación (DOF): 12 de octubre de 2006.
- Szalkowska, U. 2011. Comunicación personal con Urszula Szalkowska, Directora de la Union Europa y Africa, International Fuel Quality Center, Hart Energy. La fecha del correo: 02 de diciembre de 2011.
- TET. 2012. TerraCair - Diesel Exhaust Fluid Market Update August 2012. Descargado de <http://www.epa.gov/international/air/9-dieselfluid-presentation.pdf>.