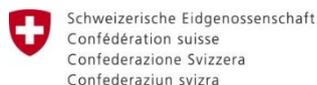




# Propuesta de Sistema de fiscalización y control de flota vehicular Euro V y Euro VI para Colombia



Elaborado en el marco del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina – CALAC+



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE



*CALAC+ es un programa de COSUDE ejecutado por Swisscontact*

Documento elaborado en el marco del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ (Fase 1) financiado por COSUDE y ejecutado por Swisscontact

Equipo responsable de elaboración del documento:

Roberto Custode

Aliosha Reinoso

Freddy Koch

Revisión:

Adrián Montalvo

Octubre 2019

## Contenido

1	Antecedentes .....	4
1.1	Emisiones de material particulado ultrafino y salud pública .....	4
1.2	Los filtros de partículas y la tecnología vehicular.....	5
1.3	Experiencias de Retrofit en AL.....	7
1.4	Los modelos de fiscalización de flota en América Latina .....	11
1.5	EURO VI, en nuevo reto para la fiscalización.....	14
1.6	Discusión del parque del Colombia (Euro VI) .....	16
1.7	Discusión flota Transporte público de Bogotá .....	18
1.8	Procedimientos de homologación en LAT (Ecuador, Chile y Colombia). .....	19
1.9	Análisis de la recomendación internacional sobre calidad de combustible .....	21
2	El Sistema de Centros de Diagnostico Vehicular de Colombia.....	26
2.1	Institucionalidad de los CDAs .....	26
2.2	Características del sistema .....	27
2.3	Modernización del sistema de fiscalización en Colombia .....	28
2.4	Control en vía pública en Bogotá .....	29
2.5	Institucionalidad del sistema.....	32
2.6	Procedimientos actuales y generación de partes .....	33
2.7	Modernización del sistema de control en vía pública.....	34
3	Norma colombiana de medición de opacidad .....	35
3.1	La norma internacional SAE J 1667 .....	35
3.2	Norma ISO 11614 .....	36
3.3	La Norma colombiana .....	37
3.4	Recomendaciones para la actualización normativa .....	38
4	Alternativas de sistemas de fiscalización de flota nueva que ingresa a Bogotá .....	39
4.1	Antecedentes sobre fiscalización de flota nueva .....	39
4.2	Alternativa 1. CDA's como base de una nueva fiscalización .....	43
4.3	Alternativa 2. Auto fiscalización de buses por empresas operadoras .....	43
4.4	Alternativa 3. Creación de un nuevo modelo para la fiscalización de flota EURO VI.....	45
4.5	Recomendaciones de procedimiento y equipamiento requerido .....	46
4.6	Matriz de alternativas y ponderación en base a criterio experto .....	47
5	Conclusiones y recomendaciones .....	48
6	Anexos .....	50

# 1 Antecedentes

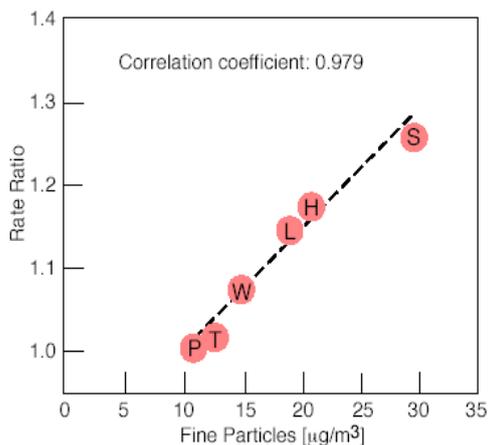
## 1.1 Emisiones de material particulado ultrafino y salud pública

Las partículas son diminutas partes, líquidas o sólidas, dispersas en un medio gaseoso. Éstas resultan nocivas dependiendo de su capacidad para ingresar al tracto respiratorio humano, lo que a su vez tiene relación con su tamaño y el tiempo de residencia en el ambiente (antes de depositarse en el suelo). En el caso de las partículas sólidas emitidas por los motores diésel, éstas cuentan con ambas características pues por su tamaño en torno a los 100 nm, son respirables y pueden residir varios días o incluso semanas en la atmósfera, con una velocidad de sedimentación de  $8,6 \times 10^{-3}$  cm/s.

Con respecto a los efectos en la salud, se consideran críticos también dos aspectos: la vida media de las partículas en los pulmones y su toxicidad ya sea que contienen sustancias tóxicas y/o acumulan sustancias tóxicas en su superficie. Para el caso de las partículas diésel, se cumplen ambos aspectos, ya que no se disuelven en el organismo y además por su extensa superficie sirven de transporte para otras sustancias tóxicas provenientes del motor tal como los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP).

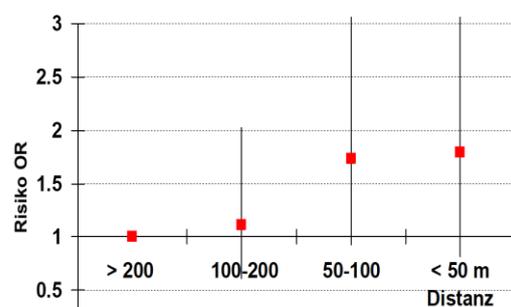
Es así como la incidencia que estas partículas tienen en las enfermedades respiratorias, en el origen de diversos tipos de cáncer y en los infartos al corazón, se encuentran suficientemente documentadas por la comunidad científica, tanto toxicológicamente (efectos en el organismo humano) como epidemiológicamente (estadísticos de la salud de la población). A continuación, se muestran los efectos de las partículas en la mortalidad (Dockery 1993) y en los infartos al corazón (Hoffmann 2006).

**Figura 1: Correlación entre mortalidad y concentración de partículas.**



Fuente: Dockery 1993

**Figura 2: Riesgo de ataque cardiaco en relación con la distancia del hogar a la carretera.**



Fuente: Hoffmann 2006

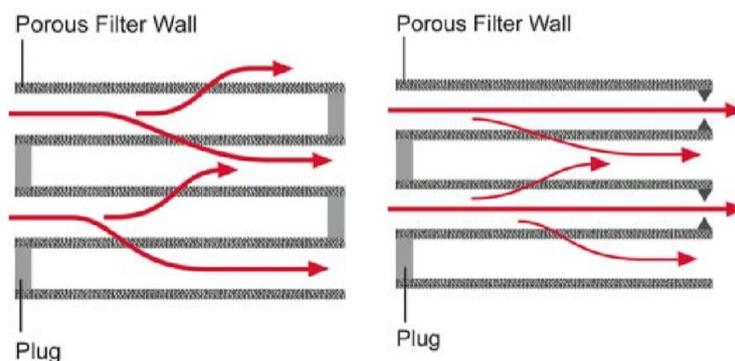
En cuanto a su impacto en el cambio climático, las partículas diésel están formadas por carbono negro (hollín), que es un material de efecto invernadero clasificado como segundo, después del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), en la responsabilidad por el calentamiento global a nivel del derretimiento de glaciares. Adicionalmente, por tratarse de un contaminante de efecto invernadero de vida corta, su reducción presenta efectos casi inmediatos en el clima.

## 1.2 Los filtros de partículas y la tecnología vehicular

Los Filtros de Partículas Diésel (DPF por sus siglas en inglés), son dispositivos que capturan las partículas provenientes de los motores diésel y que han demostrado ser los más eficaces para el control de estas emisiones, medidas en masa (reduce aproximadamente el 90% de la masa del material particulado), o en número (reduce aproximadamente el 99% de la cantidad de partículas emitidas).

Los DPF retienen el material particulado que viaja en los gases de escape, haciéndolos pasar por un sustrato poroso. La retención de las partículas se produce mediante el contacto de las partículas con la superficie filtrante, mediante las tensiones superficiales que adhieren la partícula a las paredes del sustrato. Cuando todos los gases de escape son forzados a pasar a través del sustrato poroso se trata de un filtro cerrado (“full-flow filter”), por el contrario, cuando existe una fracción del flujo que puede pasar directamente a la atmósfera sin filtrarse, se habla de un filtro abierto (“partial flow filter”).

**Figura 3: Esquema de un filtro cerrado (“full-flow filter”) y uno abierto (“partial flow filter”)**



Fuente: SAE 2009-01-1087, Mayer et al

Para el caso de los filtros abiertos, la fracción de los gases que pasan a través del sustrato poroso depende de al menos dos parámetros: las condiciones de operación del motor (torque y revoluciones por minuto – RPM) y la acumulación de partículas que obstruyan el paso de los gases a través de los poros del sustrato (carga del sustrato). Por lo tanto, la fracción de gases filtrados, y la eficiencia total del filtro abierto son mayores mientras el sustrato se mantenga limpio o una mayor velocidad de los gases de escape no fuerce a la liberación de una mayor fracción de gases de escape sin filtrar. En la práctica se observa que la eficiencia de los filtros abiertos se deteriora con el uso, perdiendo una eficiencia del 30%<sup>1</sup>.

Adicionalmente al sustrato poroso, un DPF debe contar con un sistema de regeneración que permita la combustión de las partículas retenidas y de una unidad de control electrónico que registre la contrapresión y la temperatura de los gases de escape.

Los cada vez más exigentes estándares de emisión en masa de material particulado (MP) y número de partículas (NP), para motores diésel, han obligado a la incorporación de los sistemas DPF en vehículos. Es el caso del estándar Euro VI para vehículos pesados y Euro 6 para vehículos livianos, que incorporan límites de número de partículas (NP), y que ha hecho necesario el uso de sistema DPF cerrados. También es posible la incorporación en fábrica de estos sistemas DPF en motores de estándar inferior

<sup>1</sup> SAE 2009-01-1087, Mayer et al.

(por ejemplo, en motores Euro V), alcanzando niveles de emisión en MP y NP equivalentes a Euro VI, aunque en este caso no hay reducciones adicionales en las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).

Para el caso de los nuevos buses articulados y biarticulado diésel de Transmilenio, marca Volvo, con motor DH12E340 EUV CRT, se cuenta con certificación de emisiones conforme protocolos y límites Euro V, entregados por la contraparte colombiana y que se tuvo oportunidad de revisar<sup>2</sup>. En las especificaciones del motor que se declaran en el Test Report de los ensayos, aparece como uno de los componentes del post tratamiento de emisiones, un sistema DPF con convertidor catalítico, lo que técnicamente corresponde a un sistema del tipo CRT (Continues Regeneration Trap), lo que se confirma en el documento de Volvo anexo al Test Report (Job No. BSU446973), específicamente en su punto 2.2.5. Dicho sistema se describe en los adjuntos 1a y 1b del mismo documento como una variante incorporada al motor antes del sistema SCR (reducción catalítica selectiva). Por último, en el Manual de Servicio, facilitado por Volvo para este motor, se indica específicamente que se trata de un filtro “wall flow” (ver página 2 del manual).

Podemos ver en el Test Report de los ensayos los siguientes resultados:

**Tabla 1: Resultados de las pruebas en Ciclo Transiente Europeo (ETC)**

DF	CO	NMHC	CH4	NOx	PT	NH3
Mult	1,3	1	1,20	1	1,0	-
Emissions	CO	NMHC	CH4	NOx	PT	NH3
Diesel engine	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(ppm)
Measured with regeneration	Results from periodic regeneration event, if applicable					
Measured without regeneration	0,008	0,0100		1,035	0,0026	0,700
Measured/Weighted	0,008	0,0100		1,035	0,0026	0,70
Calculated with DF	0,01	0,010		1,04	0,003	0,7
Limit (Row B2)	4,0	0,55		2,0	0,03	25
% Limit	0%	2%		52%	9%	3%

Nota: FC: factor de corrección de las emisiones medidas del motor nuevo por deterioro, **Measured** son las emisiones medidas en el ciclo, **Measured With Regeneration** son las emisiones medidas sin considerar un ciclo o protocolo adicional para medir los efectos de la regeneración del DPF (no exigible en sistemas con regeneración continua), **Calculated with DF** son las emisiones incluyendo la corrección por deterioro, **Limit (Row B2)** son los valores límite de emisiones para Euro V.

**Fuente: Test Report motor DH12E340 EUV CRT, antecedente proporcionado por la contraparte.**

<sup>2</sup> Test Report: Heavy Duty Emissions (Euro V), Vehicle Certification Agency, United Kingdom. Report Number T41 3973 01, 11/12/2018.

**Tabla 2: Resultados de las pruebas en Ciclo Estacionario Europeo (ESC)**

DF	CO	THC	NOx	PT	NH3
Mult	1,54	1,0	1,0	1,0	-
Emissions	CO (g/kWh)	THC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PT (g/kWh)	NH3 (ppm)
Measured	0,008	0,0070	1,110	0,0043	2,30
Calculated with DF	0,01	0,007	1,11	0,004	2,3
Limit (Row B2)	1,5	0,46	2,0	0,02	25
% Limit	1%	2%	56%	21%	9%

Nota: **Mult** factor de corrección de las emisiones medidas del motor nuevo por deterioro, **Measured** son las emisiones medidas en el ciclo, **Calculated with DF** son las emisiones incluyendo la corrección por deterioro, **Limit (Row B2)** son los valores límite de emisiones para Euro V.

**Fuente: Test Report motor DH12E340 EUV CRT, antecedente proporcionado por la contraparte.**

Conforme presentado en las tablas anteriores, provenientes de la certificación en emisiones de acuerdo con los protocolos de la legislación europea para un estándar Euro V, las emisiones del motor DH12E340 EUV CRT, con DPF incorporado de fábrica, muestran reducciones significativas respecto del límite de emisiones, que pueden ser atribuibles al sistema CRT incorporado, en los siguientes contaminantes:

**Tabla 3: % Reducción respecto del límite Euro V**

Ciclo Transiente Europeo (ETC)		
Monóxido de carbono (CO)	Hidrocarburos no metánicos (HCNM)	Material Particulado (en masa)
99,80%	98,18%	91,33%
Ciclo Estacionario Europeo (ESC)		
Monóxido de carbono (CO)	Hidrocarburos totales de carbono (THC)	Material Particulado (en masa)
99,47%	98,48%	78,50%

**Fuente: Elaboración propia**

Estas reducciones consideran el valor calculado sin factor de deterioro, aunque para los factores de deterioro registrados, no hay cambios significativos al considerar el valor corregido. No corresponde a la eficiencia del DPF ya que las emisiones finales se comparan contra el límite de emisiones Euro V y no con las emisiones brutas del motor antes del DPF.

### 1.3 Experiencias de Retrofit en AL

#### 1.3.1 Programa de Santiago de Chile

El concepto para el Programa DPF de Santiago de Chile se elaboró en estrecha cooperación entre el Ministerio del Medio Ambiente, el Centro de Control y Certificación Vehicular (perteneciente al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones), el Sistema de Transporte Público de Santiago (Transantiago) y un Equipo Asesor Suizo (por encargo de la Agencia Suiza de Cooperación y Desarrollo). Este contó con los siguientes tres componentes principales:

- Programa piloto de adaptación DPF
- Certificación local de DPF

- Implementación de DPF

Además de estos tres componentes principales, otras dos características fueron decisivas para el éxito de todo el programa:

- Desarrollo de capacidades y transferencia de conocimientos y
- Asociación público-privada con fabricantes internacionales de DPF.

### **Programa Piloto**

Para demostrar el funcionamiento de los sistemas DPF en el contexto local chileno con sus tipos de autobuses, modo de operación, condiciones de mantenimiento y rutas, en 2004 se realizó un proyecto piloto con doce autobuses en condiciones representativas de operación.

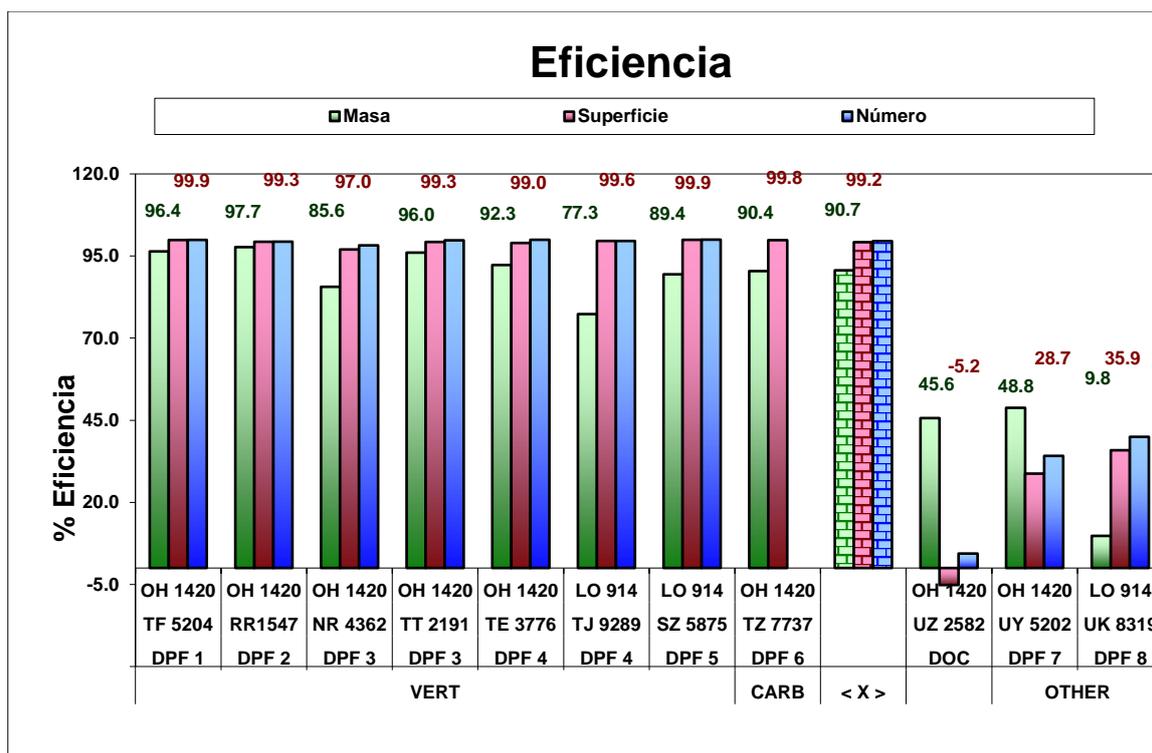
Nueve autobuses se reacondicionaron con un sistema DPF certificado internacionalmente (con certificación VERT o CARB), dos autobuses con un sistema DPF no certificado y un bus fue equipado con un catalizador de oxidación diésel (DOC).

Durante dos meses, estos sistemas fueron evaluados para comprobar la eficiencia y la durabilidad de los sistemas. La flota piloto fue monitoreada en parámetros operacionales tales como: la opacidad de los gases de escape, las emisiones de gases, el ruido, el consumo de lubricante y combustible, la temperatura del gas de escape y la contrapresión DPF.

Todos los proveedores de DPF o DOC, que participaron en las pruebas piloto a su propio costo, fueron informados de los criterios de evaluación. La eficiencia de filtración tenía que ser superior al 70% (en masa de partículas), y no debería producirse un deterioro de la eficiencia entre la primera medición (al principio) y la segunda medición (al final de la fase de prueba de dos meses). Además, no se permitió ningún incremento de ruido en los casos de reemplazo del silenciador original del vehículo por un DPF; por lo tanto, también se midió el ruido con instrumentos de acuerdo con la legislación local. Todos los participantes sabían que solo aquellos sistemas que cumplan con estos criterios serían certificados localmente para competir en la fase posterior de implementación masiva.

Como parte del programa piloto, se introdujo la mejor tecnología disponible (BAT) de técnicas de medición para nanopartículas, utilizando métodos de medición del número de partículas y también de su superficie. Estas técnicas se aplicaron en paralelo con los métodos gravimétricos convencionales.

Figura 4: Resultados de las mediciones de partículas en el programa piloto de Santiago de Chile.



Fuente: A. Reinoso – Retrofitting Program for Santiago Bus Fleet: Pilot Project Results. 9 ETH Conference.

El programa piloto de reacondicionamiento en Santiago demostró que un buen DPF, también en el contexto local chileno, logra eficiencias de filtración de partículas de más del 70% medida en masa y de más del 97% medida en número de partículas (partículas ultrafinas).

También demostró que la certificación internacional garantiza la calidad de los DPF y que los DOC tienen eficiencia muy baja en la reducción de emisiones de partículas. Este hallazgo se vuelve más impresionante si se compara no sólo la eficiencia de filtración, sino también el porcentaje de las partículas que salen después del DPF (penetración), que es la medida relevante para la contaminación del aire. Basado en el recuento del número de partículas, los siguientes valores promedio resultaron del programa piloto.

Tabla 4

N°	Tipo de sistema	Certificación	Eficiencia de filtración	de	Emisión de partículas	de
1-9	DPF Bueno	Certificado	99,5%		0,5%	
10-11	DPF Malo	No Certificado	37,0%		73,0%	
12	DOC	No Certificado	4,4%		95,6%	

Fuente: Elaboración propia a partir de "The Santiago de Chile Diesel Particle Filter Program for Urban Buses of Public Urban Transport". Swiss Agency for Development and Cooperation SDC.

Sobre la base de la experiencia piloto, las autoridades chilenas publicaron en agosto de 2004 el Decreto Supremo N° 65, que estableció el esquema de certificación local para los DPF. Para optar al reacondicionamiento el DPF debía someterse a este procedimiento. Sólo los DPF ya homologados internacionalmente (por VERT o CARB) pueden realizar la certificación local.

Hasta la fecha, 25 sistemas DPF han obtenido la certificación local y se publicaron en la lista oficial de filtros del 3CV, del Ministerio de Transportes.

Como se mencionó anteriormente, la introducción del sistema de transporte público Transantiago brindó la oportunidad de implementar un programa de reacondicionamiento con DPF como un elemento "incremental" con miras a los beneficios ambientales. Pero obviamente, siendo sólo un complemento del sistema general de Transantiago, el programa de implementación de DPF tuvo que adaptar su estrategia a Transantiago, particularmente a su esquema de concesión.

Originalmente, el esquema de concesión de Transantiago incluía:

- Reacondicionamiento obligatorio con DPF de los autobuses Euro I y Euro II usados,
- Implementación voluntaria de DPF en los autobuses Euro III nuevos para obtener una extensión del período de concesión como incentivo económico.

En septiembre de 2009 se modificó el Decreto Supremo N ° 130 de 2001 sobre normas de emisión de buses nuevos que operan en el área metropolitana. Esto implicó que todos los autobuses nuevos debían cumplir con Euro III más un sistema DPF, con una eficiencia de filtración de al menos 80% (medido como masa de partículas).

En consecuencia, la implementación de DPF obedeció a estos tres esquemas, como se indica a continuación.

**Tabla 5: Resultados de la implementación de DPF en la flota de Transantiago.**

Año	Incremento del número de buses con DPF	Modalidad de implementación	Razón de la implementación
2005	110 Euro III	Buses nuevos, equipados en fábrica	Incentivo
2010	+564 Euro III	Reacondicionamiento de buses usados	Incentivo
2010-2012	+2.025	Buses nuevos, equipados en fábrica	Estándar de emisiones obligatorio
2012	+500	Reacondicionamiento de buses usados	Incentivo

Fuente: Elaboración propia a partir de "The Santiago de Chile Diesel Particle Filter Program for Urban Buses of Public Urban Transport". Swiss Agency for Development and Cooperation SDC.

### 1.3.2 Otras iniciativas

El mecanismo de retro equipamiento de vehículos, para la reducción de emisiones contaminantes, es una estrategia planteada desde inicios del siglo XXI en diversos países del primer mundo, especialmente para el ajuste de emisiones en vehículos en circulación. En América Latina una de las más destacables experiencias de este tipo de herramientas de gestión, se constituyó dentro del programa PIREC<sup>3</sup> (Programa Integral para la Reducción de Emisiones Contaminantes) desarrollado por la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal de México, que impulsaba la certificación de convertidores catalíticos genéricos de recambio para vehículos con motor de ciclo Otto, así como la instalación de kits de reajuste de emisiones para unidades que no los equipaban de fábrica, especialmente taxis.

Paralelamente, el California Air Resources Board (CARB) desarrolló un programa de certificación de dispositivos y sistemas de reducción de emisiones para vehículos diésel, el cual contaba con tres niveles

<sup>3</sup> Referencia: <http://cofemersimir.gob.mx/expediente/19759/mir/42467/anexo/3419392>

de reducción de emisiones contaminantes, en los que se consideraba el control simultáneo de dos tóxicos criterio emitidos por los motores de ciclo diésel: NO<sub>x</sub> y PM, clasificándolos por bandas de reducción entre aquellos que logran hasta el 50% de reducción, los que alcanzan entre el 50% y 75% de reducción y aquellos que permiten alcanzar valores superiores al 75% de reducción<sup>4</sup>.

Sobre la base de estas experiencias, la extinta Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito Ecuador (CORPAIRE), desarrolló una investigación entre los años 2006-2008 con el propósito de homologar localmente dispositivos o sistemas que contaban con certificación CARB de nivel 2 o superior y también con dispositivos con certificación VERT<sup>5</sup>, ONG suiza dedicada a la certificación de dispositivos postcombustión para la reducción de emisiones de material particulado.

Los resultados de los estudios desarrollados en Ecuador partieron de la consideración de que el combustible a ser empleado en los vehículos debía ser el mismo que hasta el momento se expende en el país, con un contenido de azufre regulado por norma que puede llegar hasta las 500 ppm en masa, a lo que se suma el hecho de que los vehículos debían operar en las condiciones ambientales normales de operación de la ciudad, es decir, a 3000 msnm. Bajo estas premisas se probaron 8 tipos diferentes de dispositivos, entre DOC, DPF y micro emulsiones acuosas de combustible. Los dispositivos de tipo DPF, incluso los de flujo parcial, resultaron dañados durante las pruebas, mientras que la micro emulsión acuosa de combustible y los dispositivos de tipo DOC pudieron superar con normalidad los períodos de prueba fijados de más de 10.000 km de recorrido. Cabe señalar que los vehículos empleados durante la evaluación eran unidades de transporte colectivo regulares y que el mantenimiento de los motores estaba certificado por un programa de seguimiento minucioso. Por esta razón, la ciudad de Quito decidió el retro equipamiento de sus unidades de transporte masivo (90 buses articulados Volvo B10M) con dispositivos DOC, los cuales han operado por plazos de 10 años sin reportar inconvenientes, pero alcanzando disminuciones de menos del 10% en material particulado, aunque con reducciones de humo visible (opacidad) en torno al 40%. No se ha empleado hasta el momento la micro emulsión acuosa de combustible por falta de capacidad legal para la modificación del combustible en despacho y en terminal de carga, a pesar de que su uso generó resultados equivalentes a los reportados por CARB para la micro emulsión certificada dentro de su programa y que se comercializa en Estados Unidos bajo el nombre de PuriNOx®.

#### 1.4 Los modelos de fiscalización de flota en América Latina

En general en América Latina, las experiencias de control de emisiones contaminantes de flotas vehiculares en operación han ido progresivamente decantando hacia lo que se conoce como el sistema de Inspección Integral Centralizado, en el que un operador legalmente autorizado para hacerlo realiza una evaluación sistemática de todos los sistemas del vehículo que tienen relación con la seguridad en la circulación, así como en las emisiones contaminantes generadas por los mismos.

Este tipo de sistemas en la actualidad gozan de elevados niveles de confiabilidad, en la medida en que se han desarrollado normas de actuación específicas, tal como la ISO/IEC 17020 y también, debido a la alta informatización que poseen los sistemas integrados de control, lo cual ha permitido que los resultados de las mediciones tengan protección cada vez mayor a la manipulación, al tiempo que se han automatizado cada vez más las líneas de inspección técnica vehicular, lo que ha generado una sostenida reducción de los tiempos de inspección, conjuntamente con una mejora en el desempeño de cada evaluación individual.

---

<sup>4</sup> Referencia: <https://ww3.arb.ca.gov/diesel/verdev/vt/cvt.htm>

<sup>5</sup> Referencia: <https://www.vert-dpf.eu/j3/images/pdf/article/48/VERT-Filter-Liste-Stand-November-2018.pdf>

En lo concerniente al control de emisiones, los sistemas de control aún continúan agrupándose en dos grandes bloques, determinados por la tipología de la planta motriz del vehículo o más específicamente, por el ciclo termodinámico bajo el cual se diseña cada motor, es decir, Otto o Diésel.

Esta característica del control de emisiones tóxicas se debe a la diferencia sustancial que existe en las concentraciones de tóxicos presentes en las emisiones de escape de cada tipo de motor, vinculadas en mayor grado a la relación aire-combustible que cada uno emplea y en menor medida al tipo de combustible empleado.

#### *Evaluación en vehículos con motores de ciclo Otto*

El equipo predominante en el control de emisiones en motores de ciclo Otto, continúa siendo el analizador de gases con cámara NDIR (Non Dispersive InfraRed) y celdas electroquímicas, el cual permite medir la concentración volumétrica (idéntica a la concentración molar) de los tóxicos presentes en los gases de escape juntamente con los gases referentes de calidad de combustión (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>).

Este tipo de equipo se emplea tanto para evaluaciones con el motor en vacío y sin aceleración (prueba en ralentí) así como en altas RPM, lo que se conoce como prueba de dos velocidades en vacío (Two Speed Idle), la cual permite una mejor evaluación de la situación del motor y de sus sistemas de control de emisiones, especialmente del convertidor catalítico. Estos equipos habitualmente deben encontrarse certificados bajo la norma OIML R99 y para el caso de los que realizan control de emisiones obligatorio, deberían ser de clase 1 o superior; sin embargo, por su gran aceptación, habitualmente estos equipos pueden contar con certificaciones metrológicas norteamericanas, especialmente las BAR (Bureau of Automotive Repairs).

Una evolución del sistema de control de emisiones para vehículos con motor de ciclo Otto lo constituyen los protocolos dinámicos de evaluación, de los cuales el más comúnmente aceptado es el ASM (Acceleration Simulation Mode) desarrollado por el California Air Resources Board (CARB) como una alternativa al protocolo IM240 desarrollado por la EPA, con el objeto de lograr resultados correlacionables con los protocolos de certificación de laboratorio (FTP75) pero a un costo accesible para las plantas de inspección vehicular.

### Ilustración 1: Equipo para pruebas ASM



Fuente: Taxmexa - México

La ventaja que tienen los protocolos dinámicos de medición de emisiones es que permiten la evaluación de un quinto gas tóxico ( $\text{NO}_x$  – Óxidos de nitrógeno) que se forman cuando el motor siente una fuerza resistiva, es decir, con carga. Esta evaluación permite obtener resultados más precisos de la operatividad de los convertidores catalíticos de tres vías, los cuales pueden fallar en el canal de reducción y aún continuar operativos en el de oxidación, lo que genera valores incrementales de  $\text{NO}_x$ . Sin embargo, debido al costo de implementación de esta metodología de medición y a sus requerimientos operativos (los analizadores de gases deben calibrarse varias veces al día y el dinamómetro también), lo cual genera prácticamente el doble de tiempo que una inspección rutinaria, solo ha sido implementado en dos países de América Latina (México y Chile) y únicamente restringido a ciertas regiones de alta concentración urbana y vehicular.

#### Evaluación en vehículos con motores de ciclo Diésel

Históricamente la mayor preocupación en cuanto a las emisiones provenientes de motores ciclo diésel han estado relacionadas a la cantidad de material particulado sólido (hollín) emitidos por estos. Esta característica de los motores diésel es debida a la condición básica de operación (mezcla con un gran exceso de aire) y a que la combustión interna producida es una deflagración<sup>6</sup> a diferencia de la explosión habitual de los motores Otto.

Esta característica de los motores Diésel hizo que los mismos fueran asociados a emisiones considerables de humo visible proveniente de sus sistemas de escape, las cuales posteriormente fueron correlacionadas con efectos epidemiológicos, especialmente vinculados a enfermedades pulmonares crónicas. Es por esta razón, que los organismos internacionales de certificación y las

---

<sup>6</sup> Deflagración: Combustión rápida y progresiva sin explosión, que genera un frente de llama uniforme que abraza la cabeza del pistón pero que genera zonas más frías en la parte posterior de la misma.

autoridades ambientales a nivel mundial se han centrado en reducir cada vez más la cantidad de material particulado emitido por dichos motores, lo cual ha generado una consecuente reducción de la cantidad de humo visible emitida por los mismos. Esto se debe a que las diferentes regulaciones tanto europeas como norteamericanas han establecido valores cada vez menores para la masa total de material particulado emitido por los motores diésel.

Sin embargo, a partir de la primera década del siglo XXI, estudios realizados por diversas instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales europeas, alertaron sobre la presencia de material particulado no visible generado por los motores diésel de últimas generaciones, lo que inmediatamente provocó una alerta en investigadores de la salud, quienes encontraron relaciones significativas entre este “material particulado ultrafino” (actualmente denominado nanopartículas) y afecciones graves como el cáncer y enfermedades mutagénicas.

Este material particulado ultrafino no aporta en modo significativo a la masa total de material particulado emitido, pues su tamaño (y consecuentemente su peso) es más de 1000 veces menor al de las partículas de mayor tamaño registradas en los sistemas de medición de masa de PM emitido.

Por otra parte, esta característica del material particulado ultrafino se suma al hecho de que su tamaño está habitualmente por debajo de la longitud de onda de la luz visible, por lo que para todo fin práctico, este tipo de partículas no pueden ser detectadas por mecanismos ópticos.

Esta situación ha generado preocupación a nivel internacional, debido a que los métodos habitualmente empleados para la medición y control del material particulado emitido por motores diésel parece que no son adecuados a las nuevas realidades de la industria ni a los requerimientos de protección de la salud de población potencialmente expuesta a los mismos.

El modo habitual de medición de emisiones tóxicas de motores de ciclo diésel es la evaluación mediante opacímetros, los cuales son gobernados por la ley de Beer Lambert y permiten medir el grado de ennegrecimiento del humo visible emitido por los motores, bajo una condición denominada “Prueba de Aceleración Libre” y que consiste en realizar varias aceleraciones rápidas y hasta corte de revoluciones por el sistema de gobernación del motor.

Los motores modernos de ciclo diésel ya no emiten humo visible, por lo que el grado de toxicidad de sus emisiones ya no puede ser determinado por la medición de opacidad y, por otra parte, tampoco puede evaluarse en forma objetiva el estado de sus sistemas de control de emisiones, especialmente los post combustión.

### 1.5 EURO VI, en nuevo reto para la fiscalización

Como mencionado en el punto 1.2 del informe, la incorporación de los exigentes estándares de emisiones en la legislación internacional, han obligado a la incorporación de sistemas de post tratamiento de emisiones, también cada vez más sofisticados y eficientes para el control principalmente del NOx y el material particulado. Esto ha hecho que las emisiones de los motores modernos en uso sean ahora más sensibles a fallas en estos sistemas de post tratamiento, con un alto impacto en las emisiones del vehículo. Como resultado de lo anterior, la estabilidad de las emisiones de los motores es ahora más dependiente del deterioro de estos sistemas y si bien antes el deterioro de los motores diésel podía afectar a sus emisiones con un 20% a un 50% de incremento, hoy una falla en un sistema de post tratamiento de un motor diésel puede incrementar las emisiones de 2 a 3 órdenes de magnitud.

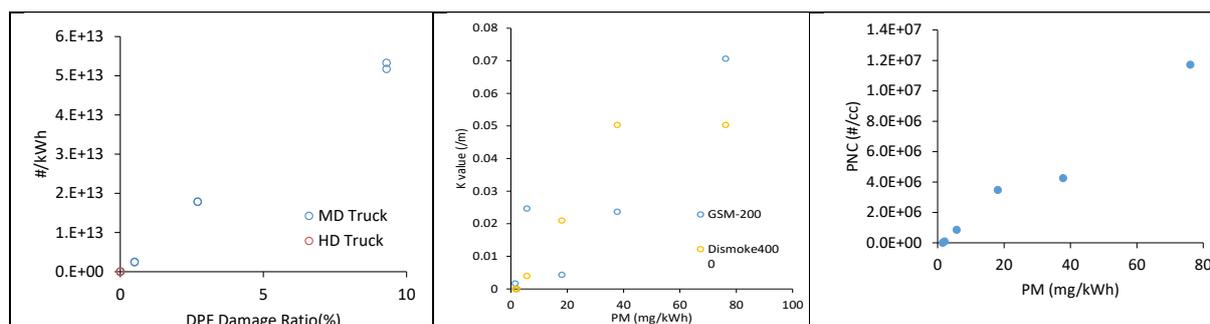
**Tabla 6: Evolución de los Sistemas de control de emisiones y sistemas de post tratamiento**

ESTANDAR	SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES
EU III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DOC+EGR – sin DPF; inyección mecánica</li> <li>• DOC, sin EGR; inyección electrónica</li> <li>• sin DOC, sin EGR; inyección electrónica</li> </ul>
EU IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DOC+SCR – sin DPF; inyección electrónica</li> <li>• DOC, EGR + Filtro Abierto; inyección electrónica</li> </ul>
EU V	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DOC+SCR – no DPF; inyección electrónica</li> </ul>
EU VI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DOC, SCR + DPF; inyección electrónica</li> <li>• DOC, SCR+EGR+DPF; inyección electrónica</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Un estudio realizado por Yamada et al (NTSEL-2015), demostró que con daño del 0,5% en la superficie del DPF las emisiones de un motor Euro VI puede exceder el límite de emisiones de Número de Partículas (NP), no obstante, no fue posible de detectar este nivel de daño con un opacímetro. Sin embargo, la medición en NP es capaz de detectar el daño aún en ralentí. Con un 100% de daño en el DPF las emisiones superaron el límite de NP en 40.000 veces.

**Figura 5: Emisiones en función de la tasa de daño en un DPF.**



Fuente: Yamada et al (NTSEL-2015)

No obstante, la importante reducción en las concentraciones de partículas en la atmósfera que han significado los nuevos sistemas DPF<sup>7</sup>, y el alto impacto que tienen estos sistemas de control de emisiones, ha hecho del control un tema prioritario, especialmente a partir de la introducción de la norma Euro 6/VI, en Europa. Una solución es la definición de mecanismos de control, tipo inspección técnica periódica (denominados PTI, en Europa), que permita la medición, detección y reparación de los vehículos altamente contaminantes por falla en sus sistemas de control. Esto ha significado regresar de las estrategias OBD a las de inspección, considerando las dificultades para el monitoreo del material particulado y a las desconfianzas con la industria automotriz que representa el OBD.

La estrategia propuesta a partir de varios estudios al respecto apunta a la medición del NP en sustitución de la opacidad, que, dada su alta sensibilidad en las mediciones, permite la detección de

<sup>7</sup> Resultados medidos en Suiza por Hüglin, reveló una tasa de reducción anual del 11,6% en el Carbono Negro proveniente del tráfico, entre los años 2008 al 2018 (Effects of Traffic Related Abatement Policies on Swiss Air Quality Trends. Proc. 21st ETH-Conference on Combustion Generated Nanoparticles, June 19th - 22nd, Zurich, Switzerland 2017 [http://nanoparticles.ch/archive/2017\\_Hueglin\\_FO.pdf](http://nanoparticles.ch/archive/2017_Hueglin_FO.pdf))

fallas del DPF con pruebas en ralentí, las que han demostrado buena correlación con las emisiones medidas en ciclos sobre dinamómetro de chasis usados en la certificación de emisiones (NEDC)<sup>8</sup>.

En la actualidad, varios países de Europa han preparado ya un protocolo de certificación para los nuevos instrumentos de NP, que ciñéndose al mismo principio de medición que los exigidos para la certificación (protocolos PMP), incorporan simplificaciones necesarias y requerimientos constructivos propios de un equipo para trabajo en terreno.

En la actualidad existe un documento final en calidad de *recomendación internacional* para un contador de número de partículas que ha sido preparado inicialmente por el Instituto de Metrología de los Países Bajos (NMI), en el marco de un grupo de trabajo internacional NPIT<sup>9</sup>. Los miembros que participaron en este grupo de trabajo fueron Suiza (VERT), Alemania, Bélgica, Países Bajos, la Comisión Europea (JRC) y unos ocho fabricantes de contadores de partículas, el Instituto de Metrología de los Países Bajos NMI, el Instituto de Metrología de Alemania PTB, la autoridad de vehículos de los Países Bajos RDW, la organización de investigación holandesa TNO y otros. Además, este documento fue propuesto a la OIML por Alemania.

Varios fabricantes ya han desarrollado equipos de contadores de partículas que cumplen estos requisitos. Algunos ejemplos de equipos disponibles o en desarrollo son el NPET (de TSI) o un reciente equipo de SENSORS (<http://www.sensors-inc.com/Products/SEMTECH/CPN>) o el Nanomet3 de Testo (<https://www.testo.com/de-CH/produkte/nanoparticle>).

Con respecto al procedimiento de medición, se debe considerar un procedimiento simple y rápido. En este sentido se cuenta con la experiencia de Suiza en la medición de NP en máxima RPM para maquinaria de construcción, también con experiencias en los Países Bajos y Chile, con la aplicación de medición en ralentí. Este último ha demostrado ser mucho más simple y permite muy buenos resultados en la detección de sistemas dañados.

Respecto del límite a utilizar para la calificación de los vehículos con fallas, la recomendación más absoluta es que se encuentre por debajo de  $10^6 \text{ \#/cm}^3$ . No obstante, un valor más específico se puede definir en base a pruebas y análisis locales del comportamiento de la flota.

## 1.6 Discusión del parque del Colombia (Euro VI)

El parque automotor de Colombia ha tenido un crecimiento sostenido en los últimos 15 años. Según los datos del Ministerio de Transporte - Registro Único Nacional de Tránsito – RUNT, su tasa de crecimiento más baja la ha tenido en el año 2002 con 4% y la más alta el 2008 con 14%. De ahí en más tiene una estabilización alrededor del 6% anual. A julio de 2019, se tiene un registro de 14, 957.654 vehículos<sup>10</sup>.

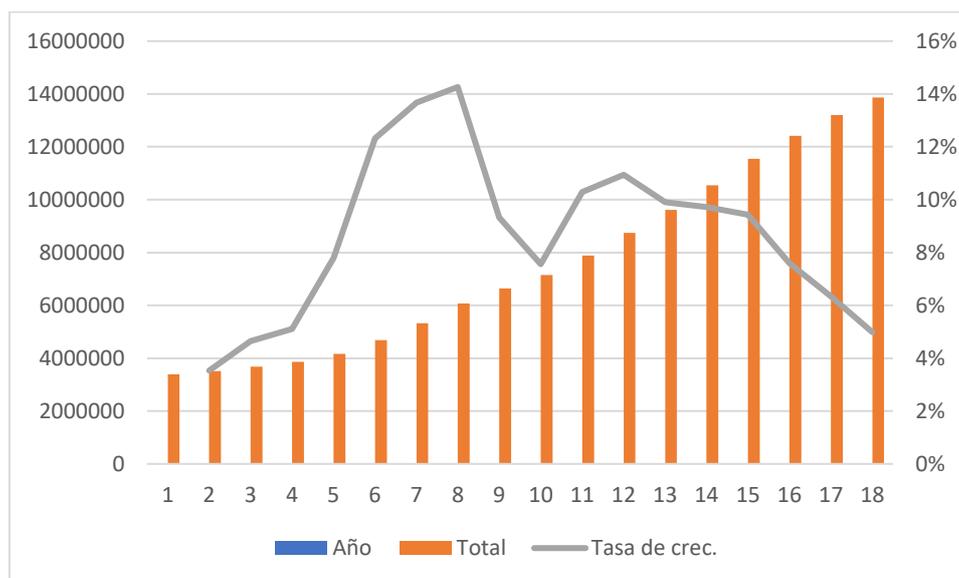
---

<sup>8</sup> Kadijk, G., Elstgeest, M., Ligterink, N.E., van der Mark, P.J.: Investigation into a periodic technical inspection (PTI) test method to check for presence and proper functioning of diesel particulate filters in light-duty diesel vehicles – part 2. Report TNO 2017 R10530, (2017)

<sup>9</sup> Instruments for measuring vehicle exhaust particulate number emissions. Part 1: Metrological and technical requirements. Anexo 4.

<sup>10</sup> <https://www.runt.com.co>

**Figura 6 Parque automotor de Colombia**



Fuente: Elab. Propia en base a datos RUNT.

Un aspecto que diferencia a Colombia de otros registros nacionales de la Región es la cantidad de motocicletas que forman parte del parque automotor. El 58% del parque está constituido por este tipo de vehículos motorizados, generando todas las externalidades negativas ampliamente conocidas en el marco de la movilidad urbana.

Bajo las tendencias históricas, Colombia cerrará la presente gestión cerca a los 15 millones de motorizados. El parque vehicular incorporado anualmente está alrededor de los 800.000 vehículos.

Para fines del estudio, es importante identificar la incorporación anual de vehículos pesados (Microbuses, Buses, Camiones, Tractocamiones y Volquetas) que en su mayoría deberían ser propulsados con motores a diésel, que, bajo las tendencias y políticas previstas, deberían contar con sistemas EURO V e idealmente EURO VI. Con los datos oficiales de 2018, se calcula que este segmento de vehículos alcanza los 530.000 motorizados. Si bien el segmento representa el 2% de las nuevas incorporaciones, la tecnología actual de fiscalización no alcanza a la nueva tecnología (opacímetros). En el caso de los vehículos livianos, este se incrementa a razón de 220.000 vehículos por año. En este caso, el parámetro medido como indicador de contaminación (Monóxido de Carbono – CO) y los parámetros de eficiencia (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) estarán también en valores adecuados, sobre todo por los sistemas de control de la contaminación. Queda la discusión si Colombia irá a un control de las emisiones de NO<sub>x</sub> que requiere infraestructura con mediciones con carga o mediciones de número de partículas como se explica más adelante.

A nivel de conurbaciones, la mitad del parque vehicular está concentrado en cinco ciudades: Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga y Barranquilla<sup>11</sup>. Importante resaltar que el 25% corresponde a Bogotá<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> Asociación Nacional de Movilidad Sostenible con datos 2017.

<sup>12</sup> Incluye: Bogotá, Cota, Mosquera, La Calera, Cajica, Sibate, Funza, Chia, Facatitiva y Soacha.

### 1.7 Discusión flota Transporte público de Bogotá

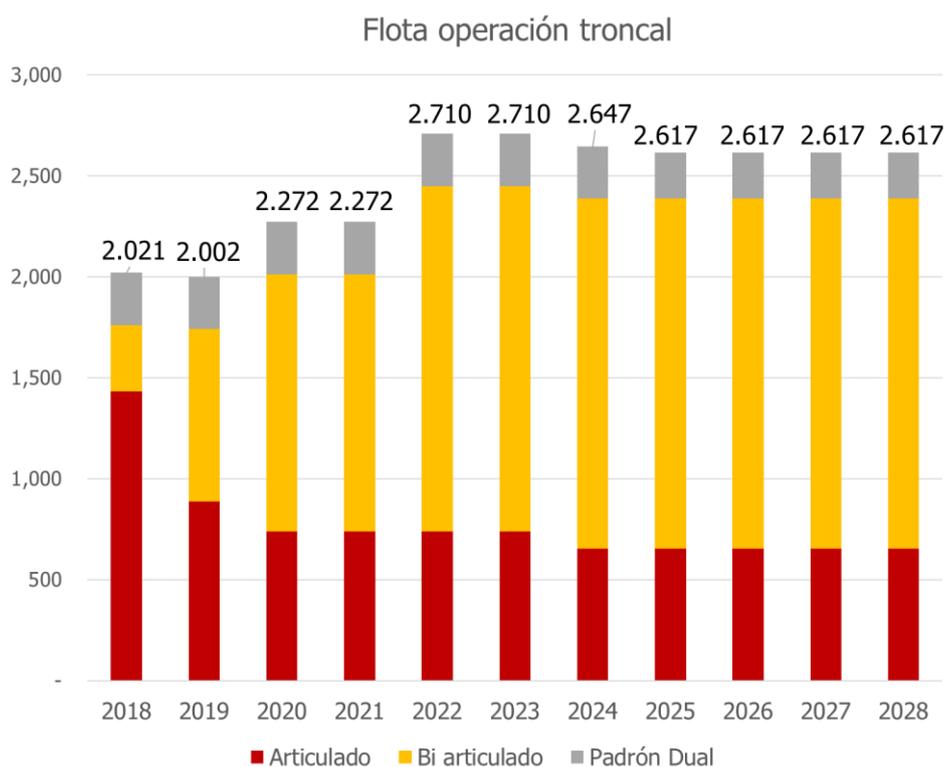
Bogotá, como se mencionó anteriormente, agrupa el 25% del parque automotor de Colombia. La relación motocicletas/vehículos de 4 ruedas, es diferente al promedio nacional. Las motocicletas solamente ocupan el 28% del parque y los automóviles el 43%. La gran cantidad de motocicletas de Colombia está fuertemente concentrada en las ciudades tropicales.

Los vehículos pesados incluidos los microbuses que potencialmente son a diésel llegan al 5,3% que en volumen no superan las 180.000 unidades. Si aplicamos la tasa de crecimiento anual nacional a este valor, se tiene un incremento anual de 3600 vehículos que requerirían nuevos sistemas de fiscalización.

Transmilenio ha iniciado el proceso de renovación de su flota. La primera etapa de renovación implicó retirar de circulación 1152 buses articulados y 10 buses biarticulados para dar paso al ingreso de 458 buses articulados y 925 buses biarticulados<sup>13</sup>. Los buses que ingresaron fueron a gas natural (EURO VI) los articulados y a diésel los biarticulados (EURO V + DPF).

La composición de la Flota Troncal estaría distribuida como se muestra en la Figura 10 hasta el 2028 de acuerdo a la programación del Transmilenio.

**Figura 7: Composición Flota Transmilenio**



Fuente: Transmilenio S.A.

Esta composición de flota y la renovación tecnológica estará condicionada a los avances de la movilidad eléctrica. No existen dudas que parte flota será eléctrica, pero con seguridad una parte será EURO VI. En este contexto es impredecible saber el potencial de vehículos que requerirán los nuevos sistemas de fiscalización, más allá de los 1383 recién ingresados.

<sup>13</sup> Transmilenio S.A. **Renovación de la flota de Transmilenio Fase I y II.**

En cuanto a los camiones, existe una fuerte presión social y pública por acciones de reducción de la contaminación de material particulado, particularmente de este sector, ya que según el inventario de emisiones de Bogotá, aportan con el 43% en masa contra solamente 9.8% del SITP, como se muestra en la Tabla 8

**Tabla 7: Porcentaje de emisiones de PM<sub>10</sub> en Fuentes Móviles en 201,2012,2014 y 2016**

Participación emisiones de PM <sub>10</sub> Fuentes Móviles (%)				
Categoría	2010	2012	2014	2016
1. Vehículos privados	1,80%	3,80%	3,80%	2,74%
2. Camperos y Camionetas	1,20%	10,20%	11,00%	10,13%
3. Camiones	33,30%	36,40%	39,90%	43,60%
4. TPC	39,30%	36,20%	13,80%	13,62%
5. SITP (Servicio Zonal y Troncal)	2,60%	3,90%	9,00%	9,80%
6. Taxi	1,00%	0,30%	0,20%	0,25%
7. Motocicletas	20,80%	7,40%	7,40%	9,05%
8. Transporte Especial	NA	2,00%	14,80%	10,13%
9. Otros	NA	NA	NA	0,66%
<b>Totales</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Inventarios de Emisiones de Bogotá – Secretaría Distrital de Ambiente

El volumen de camiones de la ciudad según el reporte del RUNT 2017 alcanzaba los 87260 motorizados a los que habría que sumar los registrados en otras ciudades de Colombia que tienen un flujo interdistrital y que circulan rutinariamente por la ciudad. Aquí existe un nicho potencial de renovación tecnológica que con mayor probabilidad será EURO VI en lugar de eléctrico. Asumiendo una política agresiva de renovación se podría pensar en la incorporación de al menos 10% de la flota, lo que representaría 8700 motorizados.

## 1.8 Procedimientos de homologación en LAT (Ecuador, Chile y Colombia).

### Límites de emisiones regulados en Colombia

De la información entregada al equipo consultor, aparentemente Colombia no cuenta con un programa oficial de homologación vehicular para emisiones contaminantes de vehículos que ingresan al país. La resolución 910 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establece determinados límites que deben ser respetados por los vehículos tanto en circulación cuanto por unidades nuevas que ingresan al parque vehicular, pero carece de los elementos administrativos requeridos para constituirse en un sistema de homologación vehicular.

La resolución 910 anteriormente citada establece en Colombia lo que se conoce como el mecanismo de “auto certificación”, es decir, que el importador o ensamblador del vehículo debe emitir una certificación en la que constan los valores de emisiones reportados por un laboratorio independiente avalado por el IDEAM<sup>14</sup>; sin embargo, en un sistema de homologación vehicular debe ser consistente con el sistema mundial de acreditación, por tanto, los laboratorios reconocidos deberían ser aquellos acreditados bajo la norma ISO 17025 y que se encuentren dentro del registro de laboratorios que posee el ONAC (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia).

<sup>14</sup> Resolución 910 - IDEAM

Por otra parte, la Ley 1972 de 18 de julio de 2019, establece que a partir del 1 de enero de 2023 todos los vehículos con motor de ciclo Diésel deben cumplir con límites máximos de emisiones correspondientes a tecnologías Euro VI, equivalentes o superiores, pero tampoco detalla el procedimiento administrativo de control, por lo que se supondría que se atendería a lo dispuesto en la resolución 910, es decir, la auto certificación del importador o ensamblador, aunque el documento tampoco lo aclara.

#### *Sistema de homologación ecuatoriano<sup>15</sup>*

A modo de ejemplo comparativo, se establece la referencia al sistema de homologación vehicular de Ecuador, el cual se encuentra consignado en los Reglamentos Técnicos INEN 017 (emisiones contaminantes) y 034 (elementos de seguridad). Este sistema es al momento únicamente documental, pero establece los mecanismos de validación de la documentación que el representante comercial de marca debe radicar ante el ente de control (Agencia Nacional de Tránsito) con el propósito de obtener el certificado de homologación vehicular, el cual es un documento indispensable para la comercialización y registro del vehículo en el país.

El sistema de homologación vehicular se sustenta en el sistema de acreditación internacional y exige que el laboratorio que emita el “Test Report” (informe de ensayo) debe estar acreditado bajo la norma ISO 17025.

La Agencia Nacional de Tránsito posee también capacidad auditora y por tanto está en la posibilidad de revocar documentos de homologación y/o establecer requisitos adicionales en caso de que existan dudas sobre la veracidad de los resultados consignados en los documentos o sobre los valores que los vehículos emitan en la realidad.

#### *Sistema de homologación chileno<sup>16</sup>*

En el caso de Chile, la homologación vehicular es realizada por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, a través del 3CV (Centro de Certificación y Control Vehicular) y consiste en el análisis técnico de vehículos motorizados livianos, medianos y motocicletas, que sean prototipos o vehículos de producción de modelos que pretendan comercializarse en el país.

Dicho análisis contempla la constatación del nivel de emisiones de gases de escape y por evaporación de hidrocarburos y cumplimiento de los requisitos de seguridad, dimensionales y funcionales, incluyendo sistemas y componentes. Por cada modelo aprobado mediante este procedimiento, el 3CV emite un Certificado de Homologación que señala el modelo de que se trata con sus principales especificaciones. Dicho certificado tiene validez mientras éste no cambie respecto del prototipo que fue objeto de la homologación.

A su vez, los fabricantes, armadores, importadores o sus representantes deben emitir certificados individuales para cada vehículo que comercializan de los que conforman la o las partidas de los modelos aprobados. El vehículo cubierto por un Certificado de Homologación Individual (C.H.I.) vigente, está liberado de revisión técnica y de gases para efectos de obtener permiso de circulación durante el período de validez del Certificado.

La revisión técnica y de gases debe realizarse en un plazo no inferior a veinticuatro ni superior a treinta y seis meses contados desde el mes en que se otorgó dicho documento y según corresponda de acuerdo con el último dígito de su placa.

---

<sup>15</sup> Normativa de referencia aplicable: <https://www.ant.gob.ec/index.php/descargable/category/56-homologacion-vehicular>

<sup>16</sup> Adaptado de: <https://www.mtt.gob.cl/archivos/5609>

No obstante, en el caso chileno la base normativa establece un sistema de homologación para vehículos livianos, medianos y motocicletas, mientras que a los vehículos pesados los certifica localmente a través de los laboratorios propios del 3CV, generando un sistema particular para el control de este tipo de unidades.

### 1.9 Análisis de la recomendación internacional sobre calidad de combustible

La Carta Mundial del Combustible (World Wide Fuel Charter) se estableció por primera vez en 1998 para promover una mayor comprensión de las necesidades de calidad del combustible, respecto de las tecnologías de los vehículos motorizados y para armonizar la calidad del combustible en todo el mundo de acuerdo con las necesidades de los vehículos, atendiendo especialmente a las nuevas tecnologías de reducción de emisiones contaminantes.

Esta guía proporciona especificaciones de combustible recomendadas para una gama de grados de gasolina y diésel combustible (ACPM) que deben ser empleados cuando se tienen flotas vehiculares con motores diseñados para diferentes niveles de control de emisiones. También proporciona una explicación completa de los diversos aspectos de la calidad del combustible y sus efectos sobre las emisiones de los vehículos.

El World Wide Fuel Charter está desarrollado y publicado por el Comité de la Carta Mundial del Combustible, el cual está compuesto por representantes de la Asociación de Fabricantes de Automóviles de Europa (ACEA), la Asociación de Fabricantes de Automóviles de los Estados Unidos (AAM), la Asociación de Fabricantes de Automóviles de Japón (JAMA) y la Asociación de Fabricantes de Motores (EMA), conjuntamente con miembros asociados de la mayoría de los otros países donde se fabrican automóviles, y con el apoyo de la Organización de Fabricantes de Vehículos Motorizados (OICA).

Este documento se ha convertido a lo largo de los años, en la mejor y más completa referencia sobre calidad de combustibles a nivel internacional, por lo que todo país con metas específicas de mejoramiento de la calidad de los combustibles, vinculado a programas de reducción sostenida de emisiones vehiculares debería considerarlo su referente fundamental.

Considerando las especificaciones de tecnología de reducción de emisiones que actualmente tiene el parque vehicular de Colombia y aquellas que entrarían en vigencia a partir del 1 de enero de 2023 (EURO VI), se consideraría que la calidad de combustible requerida por estos vehículos correspondería a la especificación más alta contenida en la recomendación internacional y que se transcribe en la siguiente tabla<sup>17</sup>:

**Tabla 8: Especificación recomendada de calidad de combustible diésel para mercados con requerimientos altamente avanzados de control de emisiones y/o eficiencia de combustible. Incluye sistemas de postratamiento para material particulado y NOX (SCRT).**

Parámetro	Unidad	Límite	
		Mínimo	Máximo
Número de cetano		55	
Índice de cetano		55 (52) <sup>(1)</sup>	
Densidad @ 15°C	kg/m <sup>3</sup>	820 <sup>(2)</sup>	840
Viscosidad @ 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2 <sup>(3)</sup>	4

<sup>17</sup> Referencia a la quinta edición del World Wide Fuel Charter, 2013: <http://www.oica.net/wp-content/uploads//WWFC5-2013-Final-single-page-correction2.pdf>

Parámetro	Unidad	Límite	
		Mínimo	Máximo
Contenido de azufre	mg/kg <sup>(4)</sup>		10
Trazas de metales <sup>(5)</sup>	mg/kg		1 o no detectable, lo que sea menor
Aromáticos totales	% en masa		15
PAH (di+, tri+)	% en masa		2
T90 <sup>(6)</sup>	°C		320
T95 <sup>(6)</sup>	°C		340
Punto final de ebullición	°C		350
Flash point	°C	55	
Residuo carbonoso	% en masa		0,2
CFPP o LTFT o CP	°C		Igual o menor que la temperatura ambiente más baja esperada <sup>(7)</sup>
Agua	mg/kg		200
Estabilidad a la oxidación	g/m <sup>3</sup>		25
Volumen de Espuma	ml		100
Tiempo de desvanecimiento de la espuma	segundos		15
Crecimiento biológico <sup>(8)</sup>		Sin crecimiento	
FAME		No detectable	
Otros biocombustibles <sup>(9)</sup>			
Ethanol/Methanol	% en volumen	No detectable <sup>(10)</sup>	
TAN (número de acidez total)	mg KOH/g		0,08
Corrosión ferrosa			Corrosión ligera
Corrosión a la lámina de cobre	Nivel		Clase 1
Cenizas	% en masa		0,001 <sup>(11)</sup>
Contaminación total de material particulado	Ver método de prueba		10
Distribución de tamaño de contaminación de material particulado	Nivel codificado		18/16/13 por ISO 4406
Apariencia		Limpio y claro; libre de agua y partículas	
Limpieza de inyectores (método 1)	% de pérdida de flujo de aire		85
Limpieza de inyectores (método 2)	% de pérdida de potencia		2
Lubricidad (Diámetro de muesca por uso HFRR @ 60°C)	Micrómetros		400

Fuente: World Wide Fuel Charter; 5ta. Edición; 2013.

Notas:

<sup>(1)</sup> El índice de cetano es aceptable en lugar del número de cetano si no está disponible un motor estandarizado para determinar el número de cetano y si no se utilizan mejoradores de cetano. Cuando se usan mejoradores de cetano, el número de cetano estimado debe ser mayor o igual que el valor especificado y el índice de cetano debe ser mayor o igual que el número entre paréntesis.

<sup>(2)</sup> Es posible flexibilizar el límite mínimo a 800 kg/m<sup>3</sup> cuando la temperatura ambiente es inferior a -30 °C. Para propósitos de mejoramiento de la calidad ambiental, se puede adoptar un mínimo de 815 kg/m<sup>3</sup>.

<sup>(3)</sup> Puede flexibilizar el mínimo a 1.5 mm<sup>2</sup>/s cuando la temperatura ambiente es inferior a -30 °C o a 1.3 mm<sup>2</sup>/s cuando la temperatura ambiente es inferior a -40 °C.

<sup>(4)</sup> La unidad mg/kg a menudo se expresa como ppm.

<sup>(5)</sup> Los ejemplos de trazas metálicas incluyen, entre otros, Cu, Fe, Mn, Na, P, Pb, Si y Zn. Otro elemento indeseable es Cl. Las trazas de metal no deben exceder 1 mg/kg. No se permite la adición intencional de aditivos a base de metal (incluye organometálicos).

<sup>(6)</sup> Se requiere el cumplimiento de una de las dos, T90 o T95.

<sup>(7)</sup> Si el cumplimiento del parámetro de calidad se demuestra alcanzando el CFPP, entonces este no debe ser más de 10 °C menor que el punto de nube.

<sup>(8)</sup> Se pueden utilizar métodos de prueba alternativos, con límites apropiados para la condición de "sin crecimiento biológico".

<sup>(9)</sup> Otros biocombustibles incluyen HVO (Hidrobiocombustible) y BTL (Biocombustible líquido basado en biomasa sólida). El nivel de mezcla debe permitir que el combustible terminado cumpla con todas las especificaciones requeridas.

<sup>(10)</sup> En o por debajo del límite de detección del método de prueba utilizado.

<sup>(11)</sup> El límite y el método de prueba están bajo revisión, para asegurar la resistencia de los sistemas DPF, se recomienda emplear los métodos ASTM de laboratorio más desarrollados para cada parámetro.

Como puede evidenciarse, el combustible de alta especificación para sistemas de control de emisiones con postratamiento avanzado sugiere no utilizar bicombustibles en mezcla con el combustible base.

Los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME por sus siglas en inglés), también conocidos como biodiesel, se utilizan cada vez más para extender o reemplazar combustible diésel. Tal uso ha sido impulsado en gran medida por los esfuerzos en muchas naciones para explotar los productos agrícolas y/o para reducir la dependencia de productos derivados del petróleo, especialmente vinculados a estrategias de mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero también llamadas "neutralización de carbono".

Se pueden usar varios aceites diferentes para hacer biodiesel, por ejemplo, colza, girasol, palma, soja, aceites de cocina usados, grasas animales y otros. Estos aceites deben hacerse reaccionar con un alcohol para formar compuestos de éster antes de que se puedan utilizar como biodiésel. Los aceites vegetales no procesados, las grasas animales y los ácidos grasos no esterificados no pueden ser empleados como combustible para motores de combustión interna debido a su muy bajo nivel de cetano, propiedades inadecuadas de flujo en frío, alta tendencia a ensuciar los inyectores y al alto nivel de viscosidad cinemática. Históricamente, el metanol ha sido el alcohol más utilizado para esterificar los ácidos grasos, y el producto resultante se llama éster metílico de ácido graso (FAME).

Se están realizando investigaciones para permitir el uso de etanol como alcohol reactivo, en cuyo caso el producto se llama éster etílico de ácido graso (FAEE).

La organización europea de estándares, CEN, ha publicado un estándar FAME (EN 14214) que establece especificaciones para el uso de biodiesel como un combustible final en motores diseñados o adaptados para uso de biodiesel, o un material de mezcla para combustible diésel convencional. Del mismo modo, ASTM Internacional ha establecido especificaciones para biodiésel puro (ASTM D 6751) pero solo para usar como componente de mezcla, no como combustible final.

En general, se cree que el biodiesel mejora la lubricidad del combustible diésel convencional y reduce la cantidad de material particulado en los gases de escape. Al mismo tiempo, los fabricantes de motores y vehículos tienen preocupaciones acerca de la introducción de biodiesel en el mercado, especialmente en los niveles superiores, debido a las siguientes consideraciones:

- El biodiesel puede ser menos estable que el combustible diésel convencional, por lo que se necesitan precauciones para evitar problemas vinculados a la presencia de productos de oxidación en el combustible. Algunos datos relacionados a pruebas en sistemas modernos de

inyección sugieren que los problemas pueden incrementarse significativamente cuando el biodiesel se mezcla con combustibles diésel con contenido ultra bajo de azufre.

- El biodiesel requiere un cuidado especial a bajas temperaturas para evitar un aumento excesivo de la viscosidad y la pérdida de fluidez. Se pueden requerir aditivos para aliviar estos problemas.
- Al ser higroscópicos, los combustibles con mezclas altas de biodiesel requieren un manejo especial para evitar un alto contenido de agua y el riesgo consiguiente de corrosión y crecimiento microbiano.
- La formación de depósitos en el sistema de inyección de combustible puede ser mayor con las mezclas de biodiesel que con el combustible diésel convencional, por lo que se recomiendan tratamientos con aditivos detergentes.
- A bajas temperaturas ambientales, los FAME pueden producir sólidos precipitados por encima del punto de la nube, lo que puede causar problemas de filtrabilidad en los sistemas de alimentación de combustible.
- El biodiesel puede impactar negativamente los sellos de caucho natural y nitrilo en los sistemas de combustible. Además, metales como el latón, el bronce, el cobre, el plomo y el zinc pueden oxidarse por el contacto con el biodiesel, creando sedimentos, razón por la que no se lo recomienda para motores antiguos que posean estos materiales.
- La transición del combustible diésel convencional a las mezclas de biodiesel puede aumentar significativamente los sedimentos de los tanques de combustible de los vehículos, debido a la mayor polaridad del biodiesel, y estos sedimentos pueden obstruir los filtros de combustible. Por lo tanto, las partes del sistema de combustible deben ser especialmente elegidos por su compatibilidad con biodiesel (certificaciones del fabricante).
- El combustible de biodiesel puro (100%) y las mezclas de biodiesel de alta concentración han demostrado un aumento significativo en los niveles de emisiones de gases escape de NO<sub>x</sub>.
- El combustible biodiesel que entra en contacto con la carcasa del vehículo puede disolver los recubrimientos de pintura utilizada para proteger superficies externas.

El biodiesel (FAME) tiene una baja estabilidad a la oxidación debido a la naturaleza de su composición química. La mayoría de FAME contiene enlaces dobles carbono a carbono en su composición química, los cuales se oxidan fácilmente después de la producción y durante el almacenamiento y uso del combustible. Tales reacciones de oxidación son la razón principal de las precauciones adicionales que deben tomarse en el almacenamiento y distribución de este tipo de mezclas. Particularmente se recomienda el uso de aditivos que mejoran la estabilidad de oxidación, tal como el BHT (Butilhidroxitolueno, Butilfenol o E321) también empleado en la industria alimenticia con el mismo fin.

Para asegurar la calidad del combustible mezclado de biodiesel, se están introduciendo criterios adicionales de estabilidad de oxidación en las especificaciones del combustible terminado para ciertas regiones. El estándar europeo para B7 requiere un mínimo de 20 horas período de inducción por el método Rancimat modificado (EN 590). Como parte de un estándar obligatorio para B5, Japón requiere un delta Máximo de 0,12 mg de KOH/g<sup>18</sup>, o un mínimo de 65 minutos por el método PetroOXY. El crecimiento en el índice de acidez se reporta como delta TAN.

No obstante, se ha discutido que el límite europeo actual es inadecuado para evitar la corrosión en partes metálicas como los tanques de combustible de vehículos. Debido a las continuas consultas sobre la adecuación de varios métodos y límites, Europa y Japón están trabajando para armonizar la prueba de estabilidad a la oxidación mediante la introducción del método PetroOXY. El objetivo de la investigación es acortar la duración de la prueba y mejorar la repetibilidad de los resultados. Esta

---

<sup>18</sup> El método delta TAN mide el valor de ácido antes y después del envejecimiento según ASTM D2274 (@ 115 ° C)

investigación puede conducir a futuras revisiones en el criterio de oxidación y del método de prueba para combustibles mezclados con biodiesel.

En contraposición a lo anteriormente expuesto, los ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, Minas y Energía y de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, han emitido la resolución No. 4-0666 de fecha 20 de agosto de 2019, la cual establece la mezcla del 12% de biodiesel para el combustible empleado en motores vehiculares en algunas zonas del país, incluyendo las grandes áreas metropolitanas del país, a partir del 1 de septiembre del presente año, lo cual podría incidir en los efectos no deseados enlistados anteriormente.

Por estas razones, se sugiere al Gobierno Nacional de Colombia informar oficialmente a los representantes comerciales de marca de vehículos con motor diésel, respecto de la decisión del cambio de calidad de combustible antes mencionado y al mismo tiempo, que se solicite a dichos representantes comerciales la emisión de sendas certificaciones respecto de que sus vehículos podrán operar normalmente con la concentración de biodiesel normada (B12), sin que ello condicione las garantías de fábrica de los vehículos nuevos a ser vendidos en el territorio nacional.

Se ha incluido como anexo 1 al presente documento, la Guía de Manejo y Uso de Biodiesel<sup>19</sup>. Este documento está especialmente recomendado para la utilización de vehículos de alta especificación en sistemas de control de emisiones y equipados con dispositivos de postratamiento (SCR y CRT), previo al uso de combustibles que poseen contenidos significativos de biodiesel en su composición. Se sugiere a las autoridades emplear este documento como referencia y emitir uno similar para Colombia, a fin de orientar a los usuarios en el uso adecuado del combustible.

---

<sup>19</sup> [https://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/biodiesel\\_handling\\_use\\_guide.pdf](https://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/biodiesel_handling_use_guide.pdf)

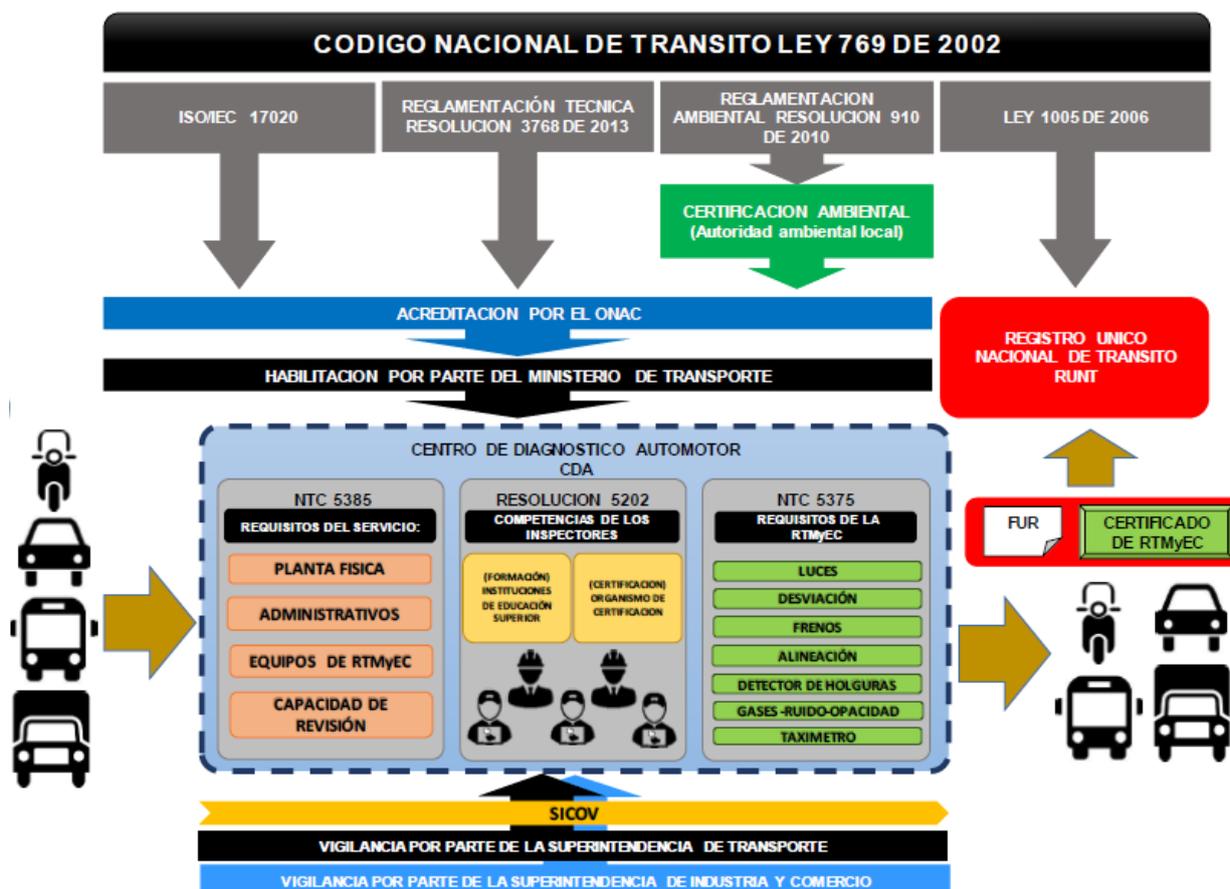
## 2 El Sistema de Centros de Diagnostico Vehicular de Colombia

### 2.1 Institucionalidad de los CDAs

El sistema nacional colombiano de Centros de Diagnóstico Automotor (Sistema de Revisión Técnico-Mecánica y de Emisiones Contaminantes) se sustenta en jurídicamente en la ley 769 del año 2002 (Código Nacional de Tránsito) y se detalla en extenso en la Resolución 3768 del año 2013 del Ministerio de Transporte.

En cuanto a su característica constitutiva, el sistema de CDA obedece a un modelo Integral No Centralizado, también denominado de autorización liberal, en el cual el órgano de control competente (Ministerio de Transporte) determina las características y requerimientos operativos que deben cumplir las plantas de inspección vehicular y aprueba mediante habilitación operativa su funcionamiento, pero no limita su número ni tipología, pues se considera un proyecto privado de inversión de riesgo, de forma similar a cualquier otro emprendimiento de tipo comercial o productivo.

**Ilustración 2: Esquema jurídico institucional de la Revisión Técnico-Mecánica y de Emisiones Contaminantes de Colombia.**



No obstante, como puede observarse en la ilustración 2, el sistema de Revisión Técnico-Mecánica y de Emisiones Contaminantes de Colombia se sostiene en una serie de normativas adicionales a la ya citada, que lo vuelven considerablemente complejo, pues articulan numerosas autoridades de control en su entorno. Es así como los CDA deben acreditarse bajo la norma ISO/IEC 17020, cuya versión oficial en Colombia debe ser emitida por el ICONTEC. Por otra parte, el ente de verificación y que emite la

acreditación bajo la norma citada es el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), en base a las atribuciones que para ello le confiere el Sistema Internacional de Acreditación. Adicionalmente, estos estamentos deben cumplir con la Reglamentación Ambiental contenida en la Resolución 910 de 2010 del Ministerio de Ambiente, la cual se instrumenta mediante las autoridades locales, tanto departamentales cuanto municipales o de región metropolitana como en el caso del Valle de Aburrá o el Distrito Capital. Finalmente, los CDA deben cumplir con los requerimientos establecidos en la Ley 1005 de 2006, que crea el Registro Único Nacional del Tránsito RUNT, el mismo que aun cuando es un ente privado igual que los CDA, tiene características propias de la autoridad nacional de transporte, pues su vinculación con la misma es mediante un contrato de concesión.

En virtud de lo expuesto, el arreglo institucional de los CDA de Colombia es uno de los más complejos de la región latinoamericana, lo cual hace que sea también muy complicada su fiscalización y la instrumentación de políticas por su intermedio, al tener que acudir a diferentes estamentos regulatorios y normativas de base, lo que puede generar conflictos entre las autoridades y descoordinaciones en los procesos de implementación, las cuales, por los comentarios vertidos por los propios actores involucrados con los que el equipo consultor tuvo contacto durante la visita de campo en Bogotá, se dan con regular frecuencia.

## 2.2 Características del sistema

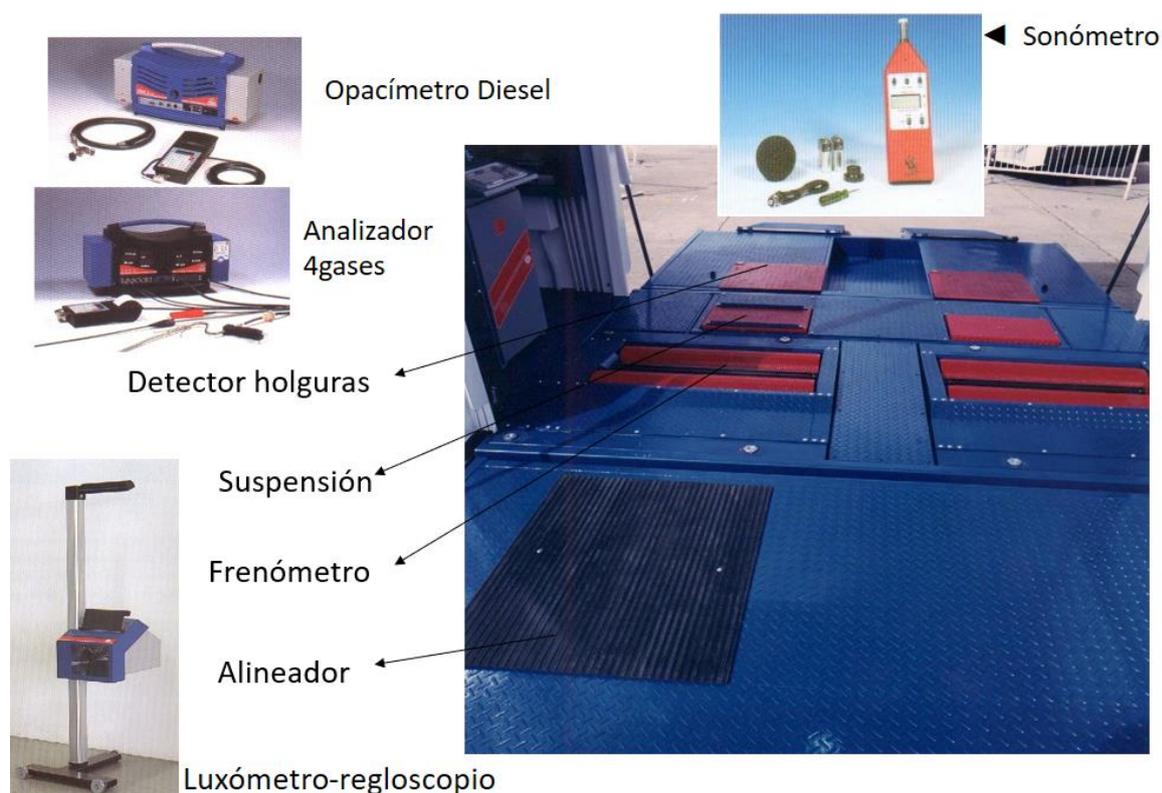
El sistema de RTV de Colombia (localmente denominado Revisión Técnico-Mecánica y de Emisiones), responde al modelo conocido internacionalmente como “Integral No Centralizado” en el que cada planta de inspección actúa de forma autónoma, regulada por un conjunto de normas técnicas y legislación específica, controlada por diferentes autoridades locales y nacionales.

En este sentido, el modelo colombiano tiene similitudes al modelo instrumentado en Perú y en ciertos estados de la Unión Mexicana, mientras que se diferencia de los implementados en Ecuador, Chile, Argentina y Costa Rica, los cuales obedecen a la lógica denominada “Integral Centralizada”, en la que el sistema es administrado por una única autoridad local y a menudo, se implementa mediante un contrato de concesión o asociación público-privada.

La característica de integralidad en la RTV corresponde a la ejecución de pruebas de diagnóstico de diversos sistemas del vehículo en un solo lugar y mediante la ejecución de diversas evaluaciones secuenciales. Estas evaluaciones regularmente obedecen a normas técnicas locales, generalmente basadas en recomendaciones y/o estándares internacionales, para los aspectos de emisiones, luces, frenos, suspensión, alineación, desajustes del tren inferior y carrocería, ruido, entre otros.

En forma general, una línea informatizada mecatrónica integral comprende los equipos que se muestran en la figura No. 3.

**Ilustración 3: Equipamiento de una línea de inspección integral informatizada mecatrónica.**



Fuente: Archivo Roberto Custode.

En esta configuración, todos los equipos son administrados por una única plataforma informática, que no solo permite la activación de cada uno de los módulos que la integran, sino que recoge las lecturas de la medición realizada por cada instrumento y las integra dentro de una plataforma única de base de datos o de archivo de salida, lo cual permite su almacenamiento y post procesamiento. En el mercado internacional existen varias marcas de equipos que en la actualidad obedecen a este tipo de requerimiento operativo siendo todas ellas miembros acreditados del Comité Internacional de Inspección Técnica Vehicular (CITA<sup>20</sup>).

### 2.3 Modernización del sistema de fiscalización en Colombia

A pesar de lo anteriormente señalado, existe en la práctica un sistema paralelo a los CDA que es instrumentado por varias autoridades autónomas, especialmente vinculado al área de emisiones contaminantes<sup>21</sup>. Se desconoce si este paralelismo obedece a una convergencia no aclarada de competencias en el área ambiental, por parte de autoridades municipales, metropolitanas, departamentales, regionales y nacionales, pero en la práctica genera un control redundante sobre las unidades vehiculares controladas, especialmente aquellas pertenecientes a los sistemas de transporte público de las ciudades más pobladas de Colombia.

<sup>20</sup> International Motor Vehicle Inspection Committee – CITA: <https://citainsp.org/>

<sup>21</sup> Este sistema paralelo a los CDA, del que habla este párrafo, fue constatado por el equipo consultor durante sus visitas de campo, en donde se evidenció que el control en vía pública y en los patios terminales de Transmilenio, lo ejecutaba la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (se conoce de una actuación similar por parte de la Autoridad Metropolitana Ambiental del Valle de Aburrá), limitando su actuación a las emisiones contaminantes (área de competencia). Dicho paralelismo también se ha discutido en el acápite número 2 del presente documento, referido al análisis del sistema de CDA y su arreglo jurídico-institucional.

Consecuentemente, existe el riesgo de generar una desarticulación de los mecanismos de fiscalización operativa del control de las emisiones vehiculares, por parte de las autoridades involucradas, lo cual potencialmente podría redundar en una baja eficacia del control y en una duplicación de esfuerzos, lo cual genera a su vez que los entes de control vean mermadas sus capacidades de respuesta ante los sujetos regulados y, por otra parte, se reduzca también las capacidades de intervención en la reducción del impacto ambiental causado por las unidades circulantes.

Sobre esta base, considerando especialmente que el sistema de CDA se encuentra ya en su décimo segundo año desde que fue implementado, es necesario plantear posibles escenarios de mejora de su modelo de gestión, pensando especialmente en el mejoramiento de la capacidad de intervención y en la evolución de éste a la luz del estado del arte en materia de gestión operativa de sistemas de RTV.

Por una parte, es necesario considerar que en la actualidad los sistemas basados en la “Inspección Técnica Integral Centralizada” son los que mejores resultados obtienen en cuanto a desempeño, eficacia y retroalimentación del proceso, pues pasan por tener una sola autoridad concedente o reguladora, la cual a su vez es plenamente competente en su control. Este mecanismo de implementación no es contrario a la posibilidad de coordinación por parte de varias autoridades sectoriales, pero permite armonizar los roles, pasando de una situación de convergencia de competencias (interferencia fiscalizadora) a una de coordinación y concurrencia operativa (sinergia en el control).

El requerimiento fundamental de este tipo de sistemas de control y gestión es que las competencias de implementación y fiscalización del sistema descansen en una sola autoridad y, al mismo tiempo, que exista un mecanismo de fiscalización unívoco entre los operadores de RTV y sus autoridades de gestión. Por otro lado, serán las propias autoridades locales de control (entes concedentes o delegantes de la operación de plantas) los que deban responder y enlazar con las autoridades nacionales de control.

Esto quiere decir en la práctica, que el sistema no debe partir de una concepción de facilitación e impulso del emprendimiento de MIPYMES, sino del diseño más efectivo para la prestación de un servicio público, en el que el operador de RTV es únicamente el instrumento articulador del control requerido por parte de la autoridad y no su fundamento, razón por la que el número de operadores, plantas y líneas requeridas se determina en función de la demanda y se controlan mediante una vinculación informática biunívoca entre el ente de control y su operador delegado, permitiendo actuaciones administrativas ejecutivas inmediatas, en lugar de complejos procedimientos jurídicos que pueden llegar incluso a ser judiciales, para la intervención en su control.

Esta evolución del sistema colombiano, con certeza requerirá un cambio y mejora en la legislación relativa al control, tanto a nivel legislativo cuanto a nivel técnico normativo, pero dicho esfuerzo se verá recompensado por la mejora en la calidad de las intervenciones realizadas. Sin embargo, en caso de que dicho mecanismo se considere demasiado complejo e inviable en el corto plazo, es necesario que al menos rediseñar los procedimientos de coordinación interinstitucional de fiscalización operativa de los estamentos de control (CDAs), pues se perciben importantes oportunidades de mejora en sus actuales mecanismos de interacción, en beneficio de los usuarios del sistema, la calidad ambiental y la seguridad vial.

#### 2.4 Control en vía pública en Bogotá

El procedimiento de fiscalización de los vehículos en circulación en la ciudad de Bogotá, documentado durante la visita del equipo consultor, tiene significativas oportunidades de mejora, tanto en la

evolución tecnológica de los sistemas informáticos de procesamiento de la información, cuanto por el instrumental empleado en dicho procedimiento.

**Ilustración 4: Opacímetro de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, conectado a una unidad de transporte público.**



Fuente: Archivo del equipo consultor

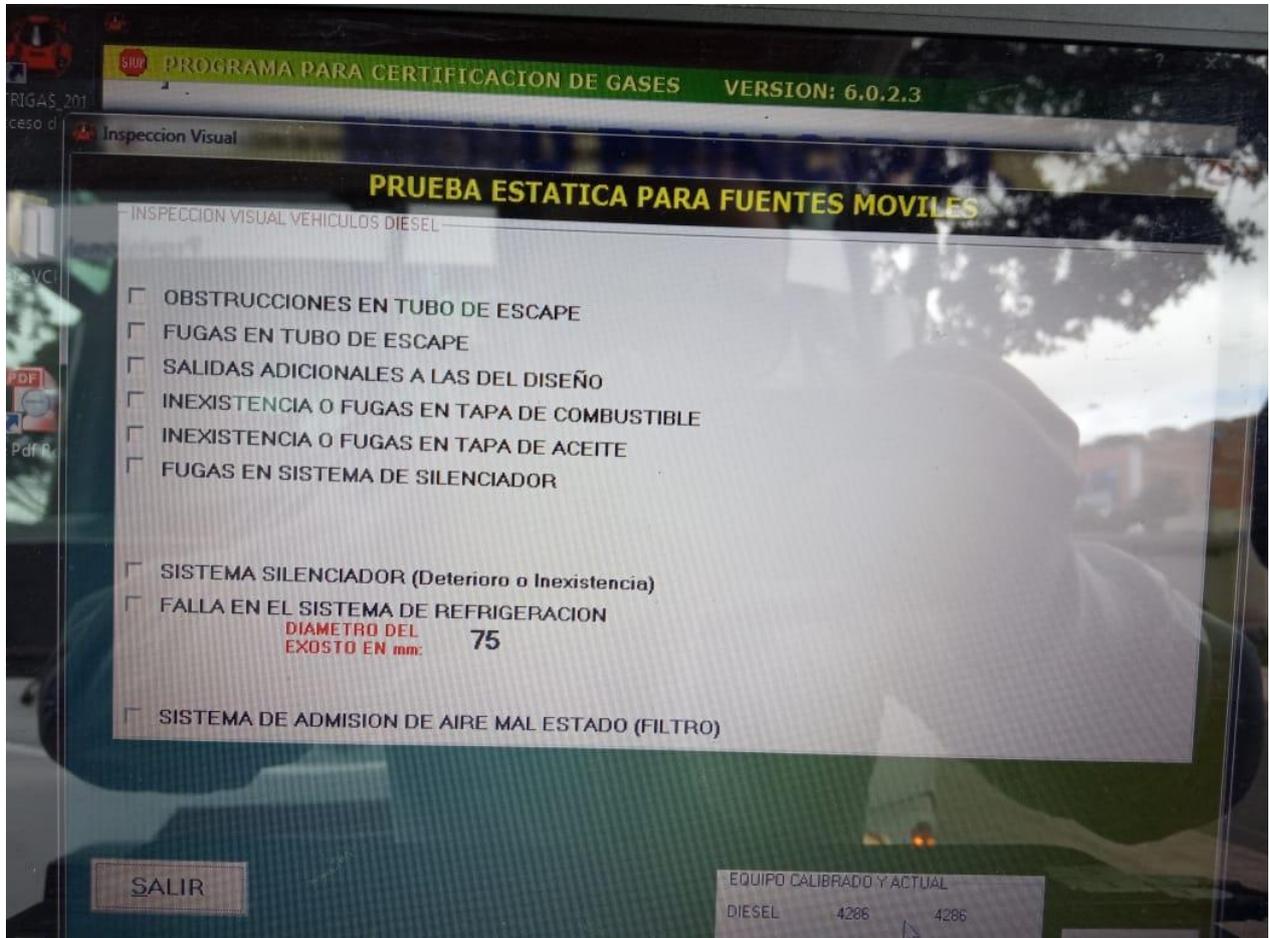
Entre los principales detalles observados durante la ejecución del procedimiento de control, se observó el largo tiempo que toma la evaluación operativa, la misma que parte desde la digitación manual en la plataforma informática de la unidad móvil de control, de todos los datos contenidos en la tarjeta de registro del vehículo evaluado, implicando una alta posibilidad de error, así como un considerable tiempo de espera (casi 10 minutos). Posteriormente a ello, se realizan todos los procedimientos establecidos en las normas NTC 4231, NTC 4983 y NTC 5365, dependiendo de si el motor es de ciclo Otto o Diésel y del tipo de unidad.

Estos procedimientos implican algunos poco adecuados para ser realizados en la vía pública, tales como la verificación de temperatura de aceite del cárter, evaluación de punto 0 y 100% de opacidad, entre otros. Todo ello vuelve aún más lento el proceso y genera retrasos significativos y poca efectividad del proceso. Este lento proceso de control vial no es bien recibido por la población, precisamente por no ser un control rápido y de paso.<sup>22</sup>.

<sup>22</sup> De la información recabada, en el transcurso del día de trabajo únicamente pueden ser evaluados de 8 a 10 unidades por punto de control (dato sujeto a verificación).

Se destaca además que el sistema informático de control empleado por la unidad móvil de fiscalización en vía pública carece de conectividad con los sistemas centralizados de la autoridad de control y por tanto deben ser descargados manualmente, a fin de ser oportunamente procesados y almacenados.

**Ilustración 5: Requerimientos de evaluación preoperativa del sistema de control en vía pública.**



Fuente: Archivo del equipo consultor

**Ilustración 6: Explicación de la operatividad del sistema de fiscalización en vía pública.**

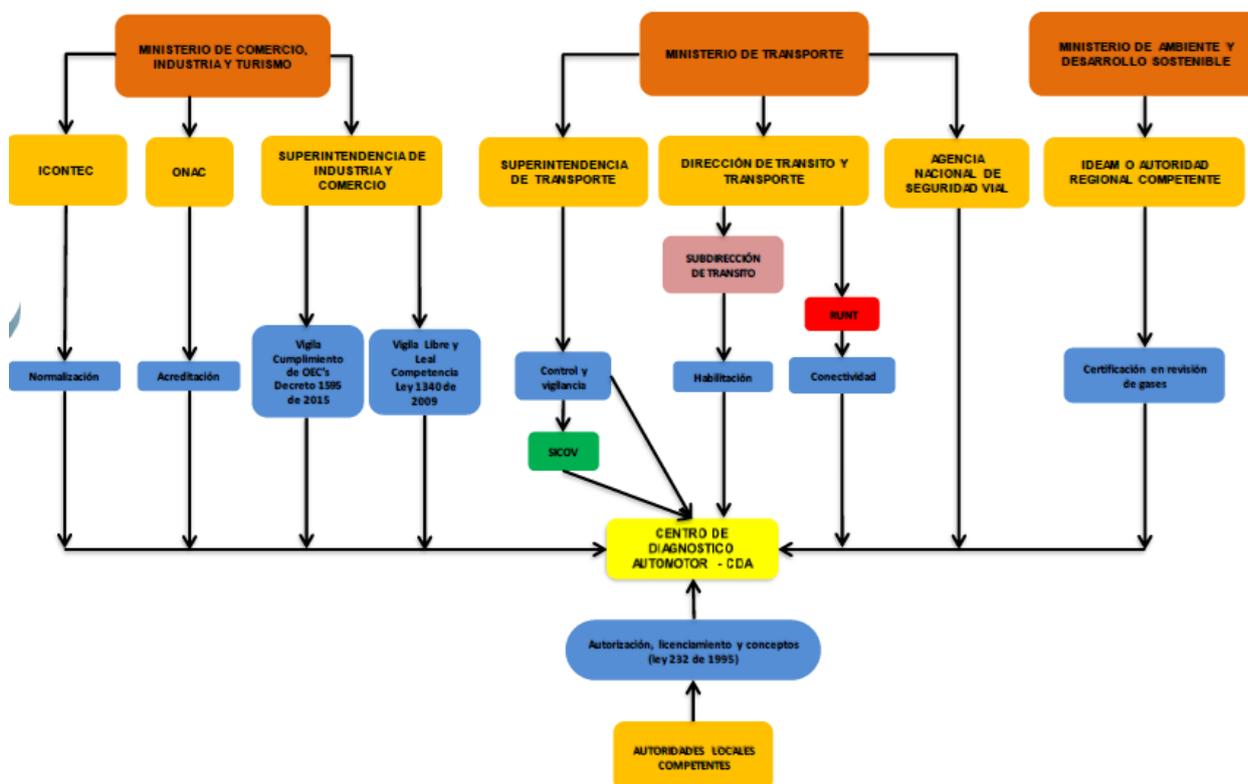


Fuente: Archivo del equipo consultor

## 2.5 Institucionalidad del sistema

El sistema de Revisión Técnica Vehicular de Colombia posee una gran cantidad de instituciones involucradas, las cuales poseen competencias simultáneas de control, regulación y fiscalización de las plantas de inspección, así como de los mecanismos de ejecución de políticas en vía pública.

**Figura 8: Esquema institucional de la Revisión Técnico-Mecánica y de Emisiones Contaminantes de Colombia.**



Fuente: El Sistema de Revisión Técnico-Mecánica y de Emisiones Contaminantes; Asociación Nacional de Centros de Diagnóstico Automotor; 2019.

Esto de alguna manera genera interferencias en la instrumentación de políticas, especialmente en la implementación de controles relativos a la medición de emisiones de unidades móviles con sistemas avanzados de postratamiento, tales como DPF y/o SCR.

La experiencia de los países con mayor tradición en la ejecución de la inspección técnica vehicular muestra que la articulación entre autoridades debe ser un tema primigenio y articulador del proceso de RTV, de modo que las plantas de inspección no se vean afectadas ni estén en riesgo de presentar confusiones respecto de determinados aspectos de la ITV.

Adicional a ello, es necesario reconocer que en el futuro cercano habrá la necesidad de la coexistencia de sistemas de control de emisiones diferenciados para los vehículos diésel, puesto que los opacímetros que se emplean en la actualidad carecen de utilidad para la evaluación de este tipo de unidades, lo cual abre un nuevo reto para el arreglo institucional relativo a la inspección vehicular, puesto que será necesario generar una normativa articuladora que lo vuelva ejecutable en la práctica.

## 2.6 Procedimientos actuales y generación de partes

Los partes emitidos por las unidades móviles de control y fiscalización en vía pública son procesados mediante vía judicial y emitidos localmente, pero sin respaldo electrónico en línea y tiempo real. Esto hace que el sistema sea susceptible de fallos tanto en el ingreso de los datos cuanto en la toma de procedimientos documentales, lo cual lo vuelve en cierta medida, vulnerable.

Esto apunta en la línea de la necesidad de evolucionar la plataforma en forma consecuente con los avances tecnológicos en materia de gestión del control de tránsito, transporte y emisiones de fuentes

móviles terrestres. Ello no implica necesariamente un cambio del tipo de equipamiento a utilizar, sino una evolución de los sistemas informáticos que soportan este trabajo.

En este sentido, las experiencias internacionales muestran que la mayor efectividad se alcanza con la simplificación operativa de procedimientos y con la tecnificación del ingreso de la data de registro, posiblemente mediante metodologías de información avanzadas, tales como los identificadores RFID/NFC entre otros, lo cual vuelve no solo muy ágil el procedimiento sino altamente confiable, reduciendo al máximo el riesgo de inconsistencias en el procesamiento de los partes de citación, logrando que los mismos concluyan de forma satisfactoria para las autoridades de control.

## 2.7 Modernización del sistema de control en vía pública

En la actualidad, prácticamente todos los sistemas de control se basan en plataformas centralizadas, interconectadas y basadas en servicios WEB, que interactúan con diversas bases de datos y sistemas de control. Esto implica que, en mayor o menor grado, los equipos de control en vía pública deben poseer capacidad de interconexión y transmisión de datos la cual de momento no existe.

La evolución tecnológica de las modernas plataformas de control, se basa fundamentalmente en su capacidad de gestión de la información en línea (interconexión), especialmente basados en tecnología de conectividad WEB y soportada por redes de comunicación móviles que en el presente momento se encuentran disponibles localmente en la gran mayoría de ciudades colombianas, teniendo en forma general una calidad adecuada para la transmisión bidireccional de la información de soporte requerida para la gestión operativa propuesta. Paralelamente, este tipo de plataformas habilita la posibilidad de lograr una mucho mayor efectividad y eficacia en los controles, mediante el incremento sustancial del número de unidades evaluadas.

Sin embargo, esta evolución tecnológica de las plataformas de gestión es insuficiente si no se encuentra acompañada de la modernización de la base jurídica y regulatoria del proceso, que sea consistente con el control que se desea ejecutar y con sus componentes, tanto físicos como humanos, de modo que la articulación de sea adecuada.

A modo de ejemplo, se puede comentar que no será eficiente el control, aún si la plataforma de gestión se moderniza y evoluciona, si se mantienen procedimientos de medición innecesarios o poco efectivos, tales como la medición de la temperatura de aceite del cárter, mediante la introducción de una sonda termocupla, a través del conducto del espadín de medición del nivel de aceite, pues este procedimiento además de riesgoso, toma un tiempo largo y no resulta de utilidad para la evaluación final.

### 3 Norma colombiana de medición de opacidad

#### 3.1 La norma internacional SAE J 1667

La normativa SAE J 1667 data de la mitad de la década de 1990 y fue desarrollada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices de los Estados Unidos (SAE, por sus siglas en inglés), para medir la opacidad del humo visible de vehículos pesados equipados con motores diésel, los cuales preferentemente poseen sistemas de escape elevados, razón por la que los equipos a los que esta norma hace referencia son los denominados de “cámara abierta” o también de “flujo total”, es decir, sistemas en los que la línea de escape se ubica en medio del emisor y del receptor luminoso del equipo y la pluma de humo los atraviesa generando una medición.

**Ilustración 7: Opacímetro SAE J 1667 (flujo total a cámara abierta).**



Fuente: <http://www.eiseverywhere.com>

Esta norma también habilita la posibilidad de uso de un sistema de muestreo de pluma de humo (aunque no describe ni determina un equipo de flujo parcial ni de cámara cerrada externa)<sup>23</sup>, pero bajo los mismos conceptos dimensionales y de desarrollo de un equipo de flujo total, razón por la que la mayor parte de equipos que cumplen este estándar son como el que se muestra en la figura No. 7.

La principal característica de este tipo de equipos es la sofisticada forma de corrección de las mediciones realizadas, las cuales son afectadas por reajustes en el cálculo debidos a factores externos como la temperatura y humedad ambiente, presión barométrica del lugar de medición, temperatura de bulbo seco y húmedo del lugar de medición, velocidad del viento, entre otros. De igual modo, el

---

<sup>23</sup> Ver acápite 6.1, literal a de la norma SAE J 1667, versión 201802.

equipamiento debe realizar una corrección de las mediciones en función de un algoritmo de filtración de segundo orden para el ajuste de la respuesta de la medición a 0.5 segundos. No obstante, la propia norma determina que las ecuaciones de ajuste no deben emplearse cuando se tienen densidades de aire por debajo de  $0.908 \text{ kg/m}^3$ , las cuales no son poco habituales durante días calurosos en ciudades de altura, por lo que dichos dispositivos deberían evitarse en estas condiciones. Igualmente sugiere evitar el empleo de las ecuaciones de corrección cuando se alcanzan temperaturas sobre los  $32^\circ\text{C}$  en locaciones por debajo de los 412 msnm, pues se han encontrado efectos sistemáticos de desviación respecto de las correcciones propuestas.

Estas sofisticadas características, tienen como propósito fundamental proveer al usuario del equipamiento y la autoridad de control involucrada de una medición de alta reproducibilidad y con confiabilidad en el tiempo; no obstante, adolecen del problema de generar mediciones frecuentemente más bajas que los opacímetros de flujo parcial y cámara cerrada (ISO 11614), los cuales generalmente reportan los valores pico de opacidad y no sus valores corregidos, por lo que no son comparables sus resultados.

Por otra parte, es necesario destacar que la norma SAE J 1667 está diseñada para la medición de opacidad en vehículos pesados y autobuses pero no cubre vehículos livianos con motores diésel, los cuales son muy comunes en América Latina, especialmente aquellos de procedencia europea y vehículos de carga media y liviana (camionetas pick up y furgones), lo cual de alguna manera castiga su uso en la región.

Los opacímetros que cumplen el estándar SAE J 1667 habitualmente se emplean en los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá, pero no han logrado popularizarse en la región latinoamericana, presumiblemente por el requerimiento normativo del diámetro uniforme de los tubos de escape, situación que es poco común en la región, dadas las adaptaciones que generalmente se realizan, respecto de las configuraciones originales de fábrica de los vehículos.

### 3.2 Norma ISO 11614

La normativa ISO 11614, cuya primera versión data del año 1999, fue desarrollada por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) con el propósito de realizar una evaluación del grado de opacidad de humos visibles en vehículos livianos y pesados, equipados con motor diésel. Esta norma específica además de los equipos de cámara abierta o flujo total, los equipos denominados de “cámara cerrada” o de “flujo parcial” y consisten en instrumentos que toman una muestra del flujo de escape de los vehículos evaluados y la hacen pasar por una cámara a condiciones controladas y de dimensiones conocidas, en la cual se encuentra tanto el emisor cuanto el receptor luminoso.

Paralelamente, es necesario destacar que la norma ISO 11614 no realiza la distinción señalada por la norma SAE J 1667, referente a la tipología de los vehículos a ser medidos, específicamente, no excluye del alcance de la recomendación a las unidades de carga liviana y de carga media, razón por la que su aplicación es considerablemente más general y aplicable a los países de Latinoamérica, por las razones expuestas anteriormente.

La normativa ISO 11614 no propone la corrección de la medición por condiciones atmosféricas ni tampoco sugiere los sofisticados algoritmos de corrección de respuesta que plantea su equivalente SAE, por lo que la evaluación generalmente se orienta a la determinación de los valores pico de las opacidades medidas. En este sentido, sus resultados aun cuando adolecen de menor reproducibilidad también pueden considerarse más correlativos y comparables, pues no son afectados en una medida tan importante por factores externos, sino que se limitan a los resultados instantáneos.

**Ilustración 8: Opacímetro certificado bajo ISO 11614 de flujo parcial (cámara cerrada).**



Fuente: <https://koeng.page.tl/Opacity-Meter.htm>

Estas razones han llevado a que la gran mayoría de países latinoamericanos hayan optado por emplear este estándar, en lugar del emitido por la SAE, lo cual hace ínter comparables sus resultados. Sin embargo de lo anteriormente anotado, la tendencia de la emisión de valores elevados de opacidad en ciudades de altura resulta una constante regional, la cual no necesariamente se debe a una u otra metodología de medición de opacidad, sino a una realidad objetiva debida fundamentalmente al cambio de las condiciones operativas de los motores si se comparan sus condiciones a nivel del mar, respecto de locaciones de altura (sobre los 1500 msnm).

### 3.3 La Norma colombiana

El equipo consultor no posee información respecto a los responsables de la preparación del proyecto de Norma Técnica Colombiana NTC 4231<sup>24</sup>; no obstante, la misma detalla varios aspectos inherentes tanto a la norma ISO 11614 cuanto a la norma SAE J 1667, en un aparente intento de recopilar las mejores prácticas de diseño y operación de ambos estándares, resumiéndolas en un equipo de medición de flujo parcial. Sin embargo, se debe iniciar señalando que las dos normas no son compatibles en numerosos aspectos y, por otra parte, los demás países de la región latinoamericana han adoptado en forma general la norma ISO 11614, de modo que los resultados históricos de las evaluaciones hechas en Colombia no son correlacionables con los realizados en los demás países, al emplear aparentemente diferentes sistemas normativos.

---

<sup>24</sup> Procedimientos de evaluación y características de los equipos de flujo parcial necesarios para medir las emisiones de humo generadas por las fuentes móviles accionadas con ciclo diésel. Método de aceleración libre

Adicionalmente, la normativa NTC plantea varios requerimientos de certificación metrológica que posiblemente no sean factibles de desarrollar localmente, como la verificación del algoritmo de filtración de respuesta de segundo orden, la longitud de onda del bulbo emisor LED de luz verde, la respuesta de los sistemas inter ferométricos (respuesta física y respuesta eléctrica del receptor), entre algunos otros parámetros. En tal sentido, carece de utilidad su descripción exhaustiva.

En función de lo anteriormente descrito, es recomendable para países consumidores de tecnología desarrollada y certificada en países desarrollados, que en lugar de una traducción y transcripción de requerimientos normativos que no se pueden verificar localmente, se remitan más bien a la solicitud de las certificaciones metrológicas de los países de origen de los equipos, creando un procedimiento de homologación de requerimientos.

### 3.4 Recomendaciones para la actualización normativa

Dado que los demás países de Sudamérica en los que se realiza el control de emisiones en vehículos diésel mediante la prueba de opacidad en aceleración libre, emplean en forma general la normativa ISO 11614, se recomienda considerar su adaptación y uso directo en Colombia, considerando el estándar SAE J 1667 únicamente como una referencia internacional no aplicable a la realidad colombiana.

Consecuentemente con ello y en función de lo descrito en los párrafos anteriores, es necesario que los entes de control vinculados a la evaluación y regulación de emisiones contaminantes de vehículos automotores, estudien la posibilidad de reconsiderar todo lo establecido en sus normativas, reemplazando la transcripción de aspectos normativos metrológicos que no pueden ser corroborados en el país, por sistemas técnico-administrativos de homologación y certificación internacional al país de origen de los instrumentos.

Para muestra de esta necesidad, también se debe considerar el hecho de que los equipos de medición de opacidad observados tanto en los CDA como en los controles operativos en vía pública (fiscalización) eran instrumentos de flujo parcial y cámara cerrada, los cuales no son los habitualmente certificados bajo el estándar SAE J 1667 (aunque dicho estándar tampoco los excluye de forma expresa), pero no puede determinarse su tipo, sin conocer en detalle las correcciones que realiza su software ni los sensores que posee para desarrollar tales correcciones.

## 4 Alternativas de sistemas de fiscalización de flota nueva que ingresa a Bogotá

### 4.1 Antecedentes sobre fiscalización de flota nueva

En la actualidad, conforme los antecedentes disponibles para la nueva flota de Transmilenio, discutidos en el punto 1.2 del informe, y de acuerdo con los antecedentes presentados en el 1.5, en relación con el estado del arte en el control de emisiones para motores con sistemas DPF, podemos recomendar que se incorpore en los procedimientos de inspección de la flota la medición del NP, con equipos que cumplan los requisitos de certificación correspondiente.

En este sentido existen tres instancias que fueron conocidas durante la visita del equipo de consultores de CALAC+, estas fueron: Control de emisiones vehiculares en vía pública realizada por la SDA, control de emisiones de buses Transmilenio en patio realizada por la SDA y control de emisiones y seguridad en los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA).

El control aleatorio de emisiones en vía pública es un método muy efectivo empleado entre otros países por Chile, ya que los vehículos son fiscalizados en las condiciones reales en las que se encuentran operando y emitiendo en la vía. Una experiencia de medición con un equipo de medición de NP en campo, TSI-NPET Modelo 3795, se llevó a cabo en 400 buses del Transantiago con DPF. El objetivo del programa fue determinar las especificaciones del equipamiento, procedimiento de ensayo y límite para un control de PN en vehículos pesados con DPF. Las mediciones se realizaron en ralentí y a máxima RPM, en paralelo con la medición tradicional de opacidad (aceleración libre). Las conclusiones fueron:

- La medición de NP fue mucho más sensible, instrumentalmente, que la opacidad.
- Un límite recomendable para la detección de DPF con desperfectos fue de  $2.2 \times 10^5 \text{ \#/cm}^3$ , medido en ralentí.
- La medición en ralentí resultó ser el procedimiento más sencillo y efectivo para detectar DPF con desperfectos.
- La medición en aceleración libre presenta dificultades en los motores modernos con limitación de RPM en vacío y por fallas en la correcta aceleración por parte del conductor (es manipulable).

En la práctica, cada medición podía durar entre 2 a 4 minutos y las mediciones se hacían con sencillez.

No obstante lo discutido durante la visita con las autoridades ambientales y de transporte, parece difícil, por las condiciones de operación actuales de Transmilenio, que se pueda implementar este tipo de control en sus buses. Esto básicamente por los problemas de capacidad del sistema.

Una alternativa puede ser el control de NP en los patios de los de los buses, utilizando el actual esquema de fiscalización que tiene SDA para la opacidad de los buses. Esto es aprovechando el tiempo en que estos permanecen estacionados fuera de operación o en la llegada o salida a circulación. La desventaja respecto del control en vía es la selección de los buses podría dejar de ser aleatoria y en condiciones reales de operación.

Bajo esta modalidad de control se realizó un ejercicio práctico de medición de NP, el día 31 de julio se concurrió a un patio de buses de Transmilenio para realizar la medición con equipo Nanomet3, que opera bajo la metodología de medición PMP requerido para la medición de NP, a cargo de los técnicos de la SDA. En la oportunidad se midieron cuatro buses en ralentí, con los siguientes resultados.

**Tabla 9: Resultados mediciones buses Transmilenio con Nanomet3 (Acta de reunión - 126PG01-PR08-M2 – SDA)**

N° Vehículo	Tipo	Marca	Tecnología	Resultado [#/cm <sup>3</sup> ]
FVK 733	Biarticulado	VOLVO	Diésel Euro V + DPF	900
FVK 863	Biarticulado	SCANIA	Gas Euro VI	2.000
ESO 170	Biarticulado	VOLVO	Diésel Euro V	35.000
FVK 403	Articulado	VOLVO	Diésel Euro V + DPF	40.000

Fuente:

En particular interesa hacer el diagnóstico de los sistemas DPF de los buses diésel Euro V + DPF. Conforme las experiencias internacionales en la medición de NP para (Chile y Suiza), un valor de referencia de 250.000 [#/cm<sup>3</sup>] es adecuado para identificar fallas en los sistemas DPF. En este sentido los filtros DPF de los buses FVK 733 y FVK 403, mostraron buen comportamiento. No obstante, llamó la atención del equipo consultor CALAC+, la presencia de hollín en la salida del tubo de escape de los dos buses diésel (mucho mayor en el bus FVK 403). Hay que señalar que, considerando la alta eficiencia de los filtros cerrados, en vehículos con DPF de fábrica, no debe haber presencia de hollín en el tubo de escape, salvo que en algún momento de la operación del bus este se haya encontrado sin el filtro<sup>25</sup> o el filtro se encuentre con algún daño que permita el paso de hollín al tubo de escape. Por último, en pruebas a máximas RPM, realizadas en el mismo momento, se pudo verificar en el bus FVK 403 concentraciones inusuales de NP, las que llegaron a 700.000 [#/cm<sup>3</sup>]. Cabe destacar que la recomendación en Suiza de 250.000 [#/cm<sup>3</sup>], para la detección de filtros con DPF dañados, es también para mediciones a máxima RPM. En este sentido se hace recomendable lo siguiente:

- Examinar visualmente el módulo filtrante de los DPF para observar si hay presencia de hollín por el lado de la salida de gases de escape. Esto es un síntoma inequívoco de daños en el filtro.
- Continuar con las mediciones de NP en los buses Euro V + DPF y generar un registro histórico de sus emisiones.

Por último, en relación con la implementación de un ensayo NP en los CDA, es posible señalar que, en Europa, particularmente en los Países Bajos se está trabajando en la implementación de una norma de este tipo, cuya implementación considera los siguientes pasos:

Paso 1: Introducción de un ensayo NP para vehículos con DPF en las estaciones de inspección de la autoridad vehicular (2019).

Paso 2: Introducción de un ensayo NP para vehículos con DPF en los controles en vía pública de la policía.

Paso 3: Introducción de un ensayo NP como una prueba obligatoria en la inspección técnica periódica (PTI) de todos los vehículos diésel con DPF (2021).

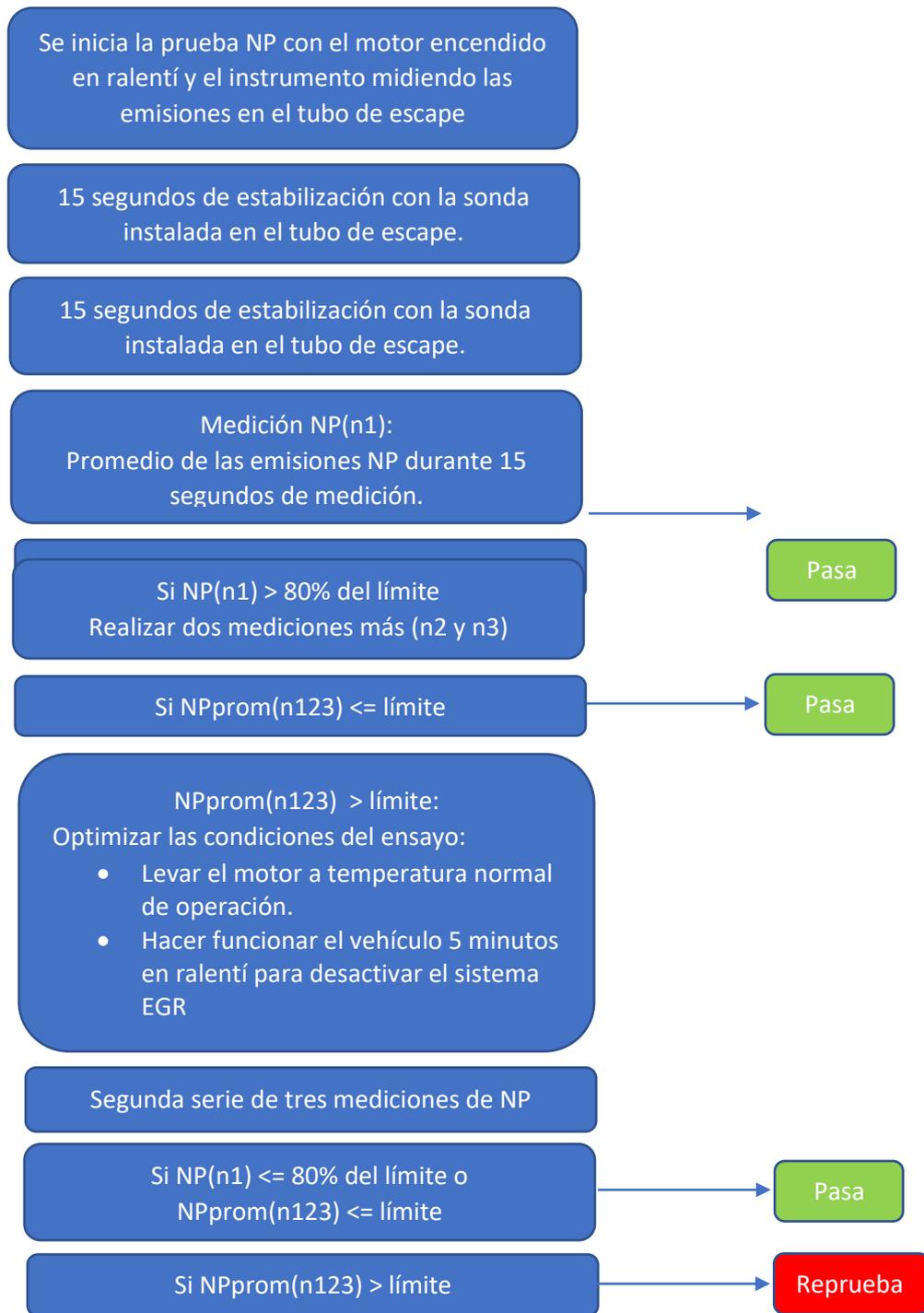
Como protocolo de certificación del equipo se utilizará la Recomendación Internacional elaborada por el Grupo de Trabajo N-PTI (Instruments for measuring vehicle exhaust particulate number emissions. Part 1: Metrological and technical requirements). Básicamente:

- Aplicable a motores diésel y gasolina.

<sup>25</sup> Vale la pena mencionar que en el caso de los buses Euro III + DPF construidos para Santiago de Chile, fue necesario traerlos desde Brasil por tierra, pero sin el DPF instalado, debido a los altos valores de azufre en el diésel en los países de paso. Esto permitió que los tubos de escape se ennegrecieran.

- El instrumento contiene un sistema de muestreo, removedor de partículas volátiles (VPR), y un contador.
- El VPR tiene una eficiencia mayor que el 95%.
- El tamaño de las partículas para verificación de calibración y linealidad es de 55 +/- 1 nm.
- Rango de medición: 0 – 5,000,000 #/cm<sup>3</sup>.
- Exactitud de la medición +/- 25%.
- Tiempo de estabilización (T10 – T90) del Contador de partículas menor que 15 segundos (incluyendo línea de muestreo).
- Frecuencia de medición es de al menos 1 Hz.

Como procedimiento de medición Países Bajos cuenta con un protocolo propuesto que se resume de la siguiente manera:



En todo caso, la incorporación de este nuevo método de inspección en los CDA se justifica más con la incorporación de las nuevas normas Euro VI para vehículos nuevos que se prevé para 2023, que para los nuevos buses Euro V + DPF. En esa perspectiva se deben realizar los cambios oportunos a los equipos de medición y protocolos respectivos.

#### 4.2 Alternativa 1. CDAs como base de una nueva fiscalización

Como se ha visto en este informe, las emisiones de los motores modernos de combustión interna cuentan con sistemas de post tratamiento cada vez más eficientes y complejos. Esto se traduce en una alta participación en las emisiones totales de un pequeño grupo de vehículos con desperfecto. Para evitar el impacto ambiental que esto significa, se ha planteado internacionalmente la importancia del papel que juega la inspección técnica vehicular.

Los actuales CDAs de Colombia han operado en su mayoría por más de 10 años, razón por la que tanto su estructura funcional cuanto su base jurídica e institucional, no resultan las más adecuadas para la evaluación de los vehículos que equipan la tecnología más reciente de dispositivos postcombustión para la reducción de emisiones contaminantes (PM y NO<sub>x</sub>). Adicionalmente, las plantas actuales no poseen el equipamiento necesario para la medición de emisiones de nanopartículas, por lo que físicamente no les es posible realizar mediciones a vehículos que equipen DPF.

Sin embargo, su base jurídica cubre las necesidades regulatorias del proceso de evaluación de los vehículos en circulación, aunque los períodos de exención de la evaluación para unidades nuevas son excesivamente largos por lo que, en la práctica, apenas estarían inspeccionando obligatoriamente las primeras unidades de este tipo a partir del año 2025<sup>26</sup>, si es que se emplea dicho fundamento jurídico y se considera lo dispuesto por la Ley 1972 de 2019.

De lo anteriormente señalado y más allá de la flota de Transmilenio, una estrategia de control para el conjunto del parque colombiano Euro VI/Euro 6, debe considerar que la introducción de los nuevos métodos de inspección en los CDA, como la medición de NP, aplicaría sólo a los nuevos vehículos que gradualmente se incorporarán al sistema de inspección técnica a partir de 2025. Por lo tanto, es necesario definir un plan de introducción gradual de los nuevos instrumentos de medición al sistema CDA. Esto es posible mediante la incorporación de centros o líneas especializadas en el control de este tipo de tecnologías y que cuenten con las capacidades técnicas y equipamiento necesarios. La discusión de los equipos de medición, el protocolo de ensayo y los límites a considerar debe iniciarse lo antes posible y estar alineada con el estado del arte de esta discusión en Europa.

Considerando las implicancias que este tipo de inspección tiene en los resultados ambientales de la nueva tecnología, la discusión de las ventajas y desventajas de un sistema de inspección descentralizado, como el actual en Colombia, versus uno centralizado, es parte sustancial del beneficio de las nuevas tecnologías.

Finalmente, la principal ventaja comparativa del sistema de CDA, para la prestación del servicio de verificación de las emisiones de vehículos de tecnología avanzada estaría vinculada a su plataforma informática de respaldo de la información, aunque dicha data no es remitida directamente a la autoridad ambiental de control, sino replicada por el ente delegado de registro vehicular (RUNT).

#### 4.3 Alternativa 2. Auto fiscalización de buses por empresas operadoras

Posiblemente una alternativa aplicable a corto plazo sería que las unidades equipadas con modernos sistemas de control de emisiones postcombustión, sean evaluadas directamente por los operadores en sus terminales por medio de instrumentos de medición de conteo de nanopartículas, debido a la

---

<sup>26</sup> “...Los vehículos nuevos de servicio público, así como motocicletas y similares, se someterán a la primera revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes al cumplir dos (2) años, contados a partir de su fecha de matrícula.” (SIC) Texto tomado del artículo 52 de la Ley 769 de 2002, modificado por el artículo 12 de la Ley 1383 de 2010 y por el artículo 202 del Decreto 019 de 2012.

posibilidad de que este control pueda ser universalizado, llevado directamente a las zonas de maniobra de las unidades y ejecutado en forma ágil y segura.

En opinión de los consultores, el diagnóstico de los sistemas de control de emisiones es clave en el diseño de una política de mantenimiento de los operadores de las flotas modernas, que debe apuntar no sólo al diagnóstico de los sistemas de control sino al diagnóstico del motor. Particularmente porque los sistemas de post tratamiento pueden enmascarar posibles fallas de los sistemas de inyección, filtros u otros. En este sentido, los nuevos métodos de medición y de inspección periódica deben jugar un rol principal en las políticas de mantenimiento del operador, a manera de un autocontrol sistemático.

Sin embargo, esta alternativa, como opción de fiscalización, siempre adolecerá de la duda que puede generar el evidente conflicto de intereses que posee un operador al autoevaluarse, pues el reemplazo del elemento filtrante de un sistema de control de emisiones post combustión (única alternativa viable para la subsanación de un valor elevado de nanopartículas en los gases de escape) genera un costo muy alto, lo cual querrá ser evitado por el operador.

Adicionalmente, esta opción va en contra del precepto fundamental de la norma ISO 17020, que es el evitar los conflictos de intereses con la entidad de certificación, especialmente aquellos derivados de la evaluación obligatoria de aspectos regulados por la autoridad competente.

No obstante lo señalado, particularizando el análisis a lo observado durante la visita de campo de la misión de consultores al patio terminal de operaciones de Transmilenio, la fiscalización operativa de las emisiones contaminantes generadas por la unidades la realiza directamente personal de la Secretaría Distrital de Ambiente, con sus propios equipos. Desde el punto de vista del operador de la flota de transporte (Transmilenio), esta opción no presenta conflicto de intereses y se enmarca dentro de la lógica de la fiscalización de los contratos de operación a cada una de las empresas propietarias de los autobuses y que han sido contratadas para prestar sus servicios dentro del sistema, puesto que el control lo realiza un ente jurídicamente diferenciado y con objetivos y competencias institucionales propios, que no entran en conflicto con los suyos. Sin embargo, desde el punto de vista de la autoridad nacional y del usuario particular (ciudadanía en general), dicha opción puede generar objeciones derivadas del conflicto de intereses que supone que tanto el ente evaluador, como la autoridad reguladora y el operador de la flota, pertenecen todos a la misma entidad: La Alcaldía Mayor de Bogotá.

Este tipo de análisis, referentes al punto de vista del regulador, de la autoridad, del ente regulado y de la ciudadanía no son aspectos menores y, de hecho, son analizados en profundidad por la norma internacional ISO 17020, que es aceptada a nivel mundial como el estándar, para la determinación de la validez de los criterios de una entidad de inspección, que verifica la conformidad con norma de un producto, bien o servicio. Dicha normativa cataloga a los entes de inspección en tres categorías:

- a) *Organismos de Inspección de Tercera Parte (Tipo A)*. - Definición que aplica a entidades de evaluación que requieren el máximo nivel de objetividad e independencia en su criterio, pues de sus mediciones, protocolos y cadenas de trazabilidad metrológica, se derivan consecuencias jurídicas, generalmente vinculadas a la obtención o ratificación de permisos, así como eventuales multas y sanciones por incumplimientos normativos.
- b) *Organismos de Inspección Vinculados (Tipo B)*. - Los cuales son entes perfectamente identificados, con personería jurídica propia y que prestan servicios de control externo, pero que pertenecen a una organización que desarrolla productos o presta servicios en un área vinculada al objeto de control y a sus servicios de inspección.
- c) *Organismos de Autoinspección (Tipo C)*. - Normalmente asociados a áreas dentro de la organización, que no poseen independencia administrativa ni jurídica y que fundamentalmente,

prestan servicios al interior de ésta. Este tipo de entes normalmente son los que realizan las inspecciones de calidad de productos o servicios prestados por la organización en su conjunto.

Desde el punto de vista jurídico, se dice que un organismo de inspección de cuya decisión o actuación técnica, se derivan consecuencias jurídicas que puedan afectar a la organización y que estén basadas en legislación pública, solo pueden ser los de tercera parte, pues la independencia de criterio es un elemento básico para el juzgamiento de la actuación de una entidad regulada.

En virtud de lo expuesto y para el caso que nos atañe, respecto de la actuación de la entidad operadora “Transmilenio” y de su organismo de inspección de conformidad con las emisiones contaminantes, si la evaluación a realizar por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente (evidentemente ubicada dentro del Tipo B, de las entidades de inspección definidas por la norma 17020), se va a limitar a la determinación del cumplimiento de parámetros regulados por los contratos firmados entre el operador y los transportistas contratados, su actuación no carece de objetividad y por tanto, su evaluación puede ser admitida sin que se presente objeción legal posible. Sin embargo, si de la inspección a ser realizada por este ente (Tipo B), se pueden derivar consecuencias jurídicas ancladas a legislación pública nacional y/o local, su actuación puede ser objetada y por tanto, no podría ser sustentable en el tiempo, requiriéndose planificar una evolución a mediano plazo, hacia un organismo de inspección de tipo A.

4.4 Alternativa 3. Creación de un nuevo modelo para la fiscalización de flota EURO VI  
En un horizonte de mediano plazo, es necesario plantearse la necesidad de la creación de un nuevo sistema de diagnóstico vehicular, el cual equie instrumentos de conteo de nanopartículas para vehículos de cualquier tipo en circulación que posean sistemas de control de emisiones de PM postcombustión.

En este sentido, resulta lógico pensar en una alternativa de reestructuración del actual sistema de control obligatorio de emisiones vehiculares para unidades equipadas con sistemas de postratamiento para la reducción de nanopartículas (DPF).

Este nuevo sistema debiera considerar un diseño centralizado para los actuales CDA, en base a concesiones privadas del servicio, con adjudicación a un número limitado de empresas que administren el sistema por un periodo de tiempo suficiente que permita rentabilizar sus inversiones en los nuevos equipos y procedimientos definidos. Complementariamente se puede considerar el actual sistema de control de emisiones que desarrolla la SDA, tanto en vía como en los patios de los operadores de Transmilenio, como una instancia de control sobre las condiciones normales de operación de la flota, en un esquema que se aproxima más a la tendencia a mediciones “on board” u “off cycle”, que impida la manipulación de las pruebas por parte de los usuarios, operadores o incluso los propios CDAs.

Por ello, considerando que este trabajo debería ser realizado oportunamente y que, de acuerdo a los períodos establecidos por la Ley 1972 de 2019, los vehículos del tipo enunciado son requeridos a partir del año 2023, es posible pensar en una reforma particular de los cuerpos jurídicos que sostienen los procesos de medición de emisiones vehiculares en Colombia, brindando la posibilidad de participación de entidades específicas para la evaluación de nanopartículas, que posiblemente deban acreditarse

bajo el estándar 17020 y que puedan prestar el servicio tanto en los terminales de flotas de transporte público y comercial, cuanto en los propios CDA's<sup>27</sup>

#### 4.5 Recomendaciones de procedimiento y equipamiento requerido

Como mencionado en el punto 4.1, existen en la actualidad especificaciones de instrumentos de medición, protocolos de medición y estándares que se están implementando principalmente en países de la Unión Europea tales como Países Bajos, Alemania o Suiza. La recomendación es entonces considerar éstos como base para el nuevo sistema de inspección en Colombia, como sigue:

- Aplicación en primera instancia a la flota de vehículos diésel Euro VI/Euro 6. Se debe tener presente a futuro, que los mismos protocolos o muy similares podrán ampliarse a los vehículos a gasolina con sistema GPF<sup>28</sup>.
- Utilización de un instrumento de medición de NP que cumpla con la INTERNATIONAL RECOMMENDATION elaborada por el Grupo de Trabajo N-PTI (Instruments for measuring vehicle exhaust particulate number emissions. Part 1: Metrological and technical requirements).
- Utilizar como procedimiento de medición la medición de las emisiones de NP a la salida del tubo de escape, con el motor operando en ralentí (ver 4.1 del presente informe).
- Acumular información de campo, con mediciones de NP en vehículos diésel y a gasolina, para generar antecedentes que permitan elaborar un límite máximo de emisiones conforme las condiciones de la flota. Lo anterior en base a un rango en línea con las recomendaciones internacionales que van entre 220.000 a 1.000.000 [#/cm<sup>3</sup>].
- Se recomienda formar parte del grupo de trabajo regional (Chile, Perú, México y Colombia) sobre emisiones de NP, protocolos de medición e instrumentación, a fin de generar una única norma que ayude a generar economías de escala y homogeneidad de políticas a nivel Regional, considerando aspectos propios de la Región, como ciudades de altura.
- Se recomienda, adquirir un equipo de conteo de nanopartículas del tipo requerido por una planta de inspección técnica vehicular, el cual debería ser empleado en la recopilación de información estadísticamente validada, de la flota que actualmente dispone de dispositivos postcombustión, a fin de evaluar la conveniencia de aplicar el límite normativo propuesto en Europa para la determinación de la operatividad de los sistemas de filtrado de nanopartículas.

---

<sup>27</sup> Nota del consultor: Esta alternativa debería basarse en un nuevo modelo operativo de los CDAs, que considerase esta opción, fundamentado en un nuevo esquema jurídico-técnico-administrativo, que constituya la evolución del actual sistema y que debe ser estudiado y diseñado por el Estado Colombiano en el plazo más corto posible, dada la edad de su actual sistema y la experiencia recopilada en la operación de éste.

<sup>28</sup> Nota del consultor: Las normas de NP en la Certificación de Tipo para vehículos a gasolina con inyección directa han implicado la instalación de filtros de partículas también en vehículos a gasolina, en este caso GPF (Gasoline Particle Filter).

#### 4.6 Matriz de alternativas y ponderación en base a criterio experto

- Para la fiscalización de la flota de Transmilenio

	CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS	RAPIDEZ DE IMPLEMENTACIÓN	COSTO PARA LOS USUARIOS	MODERNIZACIÓN DE LOS PROCESOS	TOTAL
Empleo de los actuales CDA	5/10	10/10	10/10	2/10	27
Auto fiscalización por parte de las operadoras	2/10	10/10	10/10	2/10	24
Creación de un nuevo modelo de fiscalización centralizado	10/10	2/10	10/10	10/10	32
Reforzamiento del actual control de la SDA en patio, basados en regulaciones de tipo contractual	10/10	10/10	10/10	10/10	40

- Para la fiscalización de la flota EuroVI/Euro6

	CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS	RAPIDEZ DE IMPLEMENTACIÓN	COSTO PARA LOS USUARIOS	MODERNIZACIÓN DE LOS PROCESOS	TOTAL
Empleo de los actuales CDA	5/10	10/10	5/10	2/10	22
Creación de un nuevo modelo de fiscalización centralizado	10/10	2/10	10/10	10/10	32
Reforzamiento del actual control de la SDA en vía pública <sup>29</sup>	10/10	10/10	10/10	10/10	40
<b>Confiabilidad</b>	<b>Tiempo de implementación</b>		<b>Costo</b>	<b>Modernización de los procesos</b>	
1 – Muy poco confiable 10- Muy confiable	1- Muy lento 10- Muy corto plazo		1 – Sin variación en los costos 10 – Muy costoso	1 – no contribuye a la modernización 10 – Contribuye mucho a la modernización	

Finalmente, el modelo recomendado apunta a la creación de un nuevo sistema de CDA centralizado, complementado con controles en patio a cargo de la SDA (por sus propios medios o contratando un tercero que realice las mediciones en los patios) y la modernización de los controles en vía pública.

<sup>29</sup> Se debe considerar que este mecanismo de rápida y necesaria implementación no es opuesto al sistema de Inspección Técnico-Mecánica y de Emisiones, sino complementario al mismo. En tal sentido, este mecanismo se puede implementar en corto plazo, pero debe mantenerse en operación juntamente con un sistema centralizado de fiscalización (Centros de Inspección Técnica Vehicular evolucionados, con capacidad de control de emisiones de PM y protocolos dinámicos de control) a fin de generar un sistema completo de evaluación de la conformidad con la normativa nacional de emisiones.

## 5 Conclusiones y recomendaciones

- El sistema de CDAs de Colombia se encuentra en un momento adecuado para el replanteo de su estructura operativa y, al mismo tiempo, existen significativas oportunidades de mejora y evolución tanto de su modelo de gestión, cuanto de la base jurídica y normativa que los soporta. Paralelamente, es conveniente plantearse una actualización de las herramientas mecánicas que sirven para la realización de su trabajo, razón por la que se recomienda iniciar los procesos necesarios para la revisión y discusión de las normas técnicas relativas a su gestión aprovechando los espacios de partes interesadas que ya existan en el país, como mesas técnicas o grupos de trabajo multidisciplinario.
- Es necesario reconsiderar la actualización de la NTC 4231, en base de la experiencia regional adquirida en el uso de equipos de medición de opacidad. En este sentido, se sugiere emplear un enfoque de implementación de un sistema de evaluación de la conformidad (homologación) basado en la articulación de un mecanismo jurídico-técnico-administrativo de reconocimiento de las certificaciones metrológicas emitidas en origen, en lugar de la transcripción de especificaciones técnicas regulatorias que no pueden ser validadas por las cadenas metrológicas nacionales.
- No obstante lo anterior, y considerando los plazos que exige la regulación para la implementación de los estándares de emisión Euro VI para la flota nueva que ingrese a Colombia, es necesario, respecto de esta nueva flota, alinear la normativa de medición de emisiones de vehículos en uso, tanto en patio y vía pública como en los CDA, a la nueva métrica de número de Partículas en reemplazo de la opacidad. Lo anterior considerando como protocolo de certificación del equipo la Recomendación Internacional elaborada por el Grupo de Trabajo N-PTI (Instruments for measuring vehicle exhaust particulate number emissions. Part 1: Metrological and technical requirements), como procedimiento de ensayo el establecido ya para el control de NP en los países bajos (ver 4.1) y para la definición del límite un valor entre 220.000 y 1.000.000 [# /cm<sup>3</sup>], definido a partir de la recopilación y análisis de mediciones locales.
- Se debe planificar la evolución a corto plazo del mecanismo y plataforma informática de soporte del sistema de control y fiscalización en la vía pública de vehículos en circulación. Lo evidenciado por el equipo consultor demuestra que existen varias oportunidades de mejora de dicho mecanismo, las cuales incluso podrían pasar por la implementación de una asociación público-privada para su ejecución, controlada y regulada por las autoridades ambientales locales y/o nacionales.
- Los sistemas de inspección técnica vehicular más desarrollados y con mayor solidez de la región latinoamericana, son los que conjugan un adecuado arreglo institucional, con una base jurídica apropiada y una autoridad única delegataria del servicio. En este tipo de esquemas operativos, se debe rescatar la visión de la inspección como un servicio público y no como un emprendimiento productivo, lo cual permite priorizar la calidad de atención al usuario, su veracidad y fiabilidad. Se recomienda considerar este enfoque en la planificación de la evolución del sistema de Revisión Técnico-Mecánica y de Seguridad de Colombia.
- En la actualidad la calidad del combustible provisto para los vehículos con motor diésel en Colombia es posiblemente una de las mejores de la región latinoamericana, lo cual provee la capacidad de introducir flota vehicular con sistemas de tratamiento de emisiones postcombustión de tecnología reciente. No obstante, se recomienda al Estado Colombiano considerar cuidadosamente la introducción de mezclas con contenidos de biodiesel superiores al 5%, por considerar que la industria automotriz mundial de momento no tiene una aceptación general de dicha calidad de combustible. En caso de persistirse con la necesidad del incremento o de que la misma sea planteada a futuro, es recomendable que el Estado

Colombiano solicite a los representantes de marca vehicular, que emitan certificaciones del tipo de combustible que sus unidades son capaces de consumir, sin que ello signifique reducción de la garantía sobre los mismos. Igualmente, se sugiere informar masivamente a los consumidores respecto de la introducción de este combustible y solicitar que se verifique con el representante de la marca de su vehículo las precauciones que se debe tener al utilizarlo.

- Los sistemas dinámicos de evaluación de emisiones son actualmente una tendencia creciente a nivel mundial y por tanto se recomienda al Ministerio de Ambiente considerar esta realidad durante los estudios y diseños previos a la evolución del sistema de CDAs (cuando esta se materialice). Una de las mejores experiencias en esta materia la tiene el sistema ASM implementado en el programa PRT de Chile, la cual se recomienda estudiar y adaptar a la realidad de Colombia.
- De los resultados obtenidos en la evaluación de campo y análisis por el equipo consultor, se concluye que lo más recomendable para la implementación de un sistema de control y fiscalización de emisiones de la flota nueva de vehículos con sistemas de control de emisiones avanzados, sería la contratación, probablemente mediante la figura de delegación o asociación público-privada (concesión). Ello habilita a que la autoridad mantenga su independencia respecto de los resultados, pues constituye parte interesada y por tanto no puede desarrollar la evaluación con independencia y, al mismo tiempo, habilita al sujeto controlado a realizar el control en función de sus capacidades y mecanismos de operación. Se sugiere desarrollar este procedimiento mediante estudios detallados del modelo precontractual a seguir, así como de las normativas y especificaciones técnicas exigibles al mismo.
- En relación con la fiscalización complementaria que actualmente realiza la SDA en los patios de los buses, para Transmilenio, o en vía pública, para la flota en general; el equipo consultor lo considera muy efectivo para conocer las condiciones reales de operación de la flota y para la verificación cruzada de la calidad de las mediciones que se llevan a cabo en los CDA. Por lo tanto, se recomienda persistir y reforzar este método, incorporándolo en el esquema general de control y fiscalización indicado en el punto anterior. En particular, para fiscalizar adecuadamente las nuevas flotas de Transmilenio con tecnologías DPF, nos parece el control en patio la instancia natural de implementación temprana del control en NP, en reemplazo de la opacidad, ya que permite focalizar rápidamente en la flota que actualmente incorpora los nuevos sistemas de post tratamiento, sin descartar la necesidad de evolucionar hacia un sistema integral centralizado de CDA, que incluya las pruebas de NP sugeridas.
- Finalmente, con referencia al hallazgo que se evidenció en las pruebas de medición de NP en los buses de Transmilenio, específicamente en el Bus FVK 403, se recomienda hacer un seguimiento y corroboración del nivel de emisiones en aceleración libre y en caso de mantenerse los niveles por encima de 700.000 [#/cm<sup>3</sup>] se realice un peritaje técnico para determinar las causa de este comportamiento inusual que puede derivar en una falta a la garantía de funcionamiento adecuado y nivel de emisiones correspondiente a la tecnología adquirida.

## 6 Anexos