



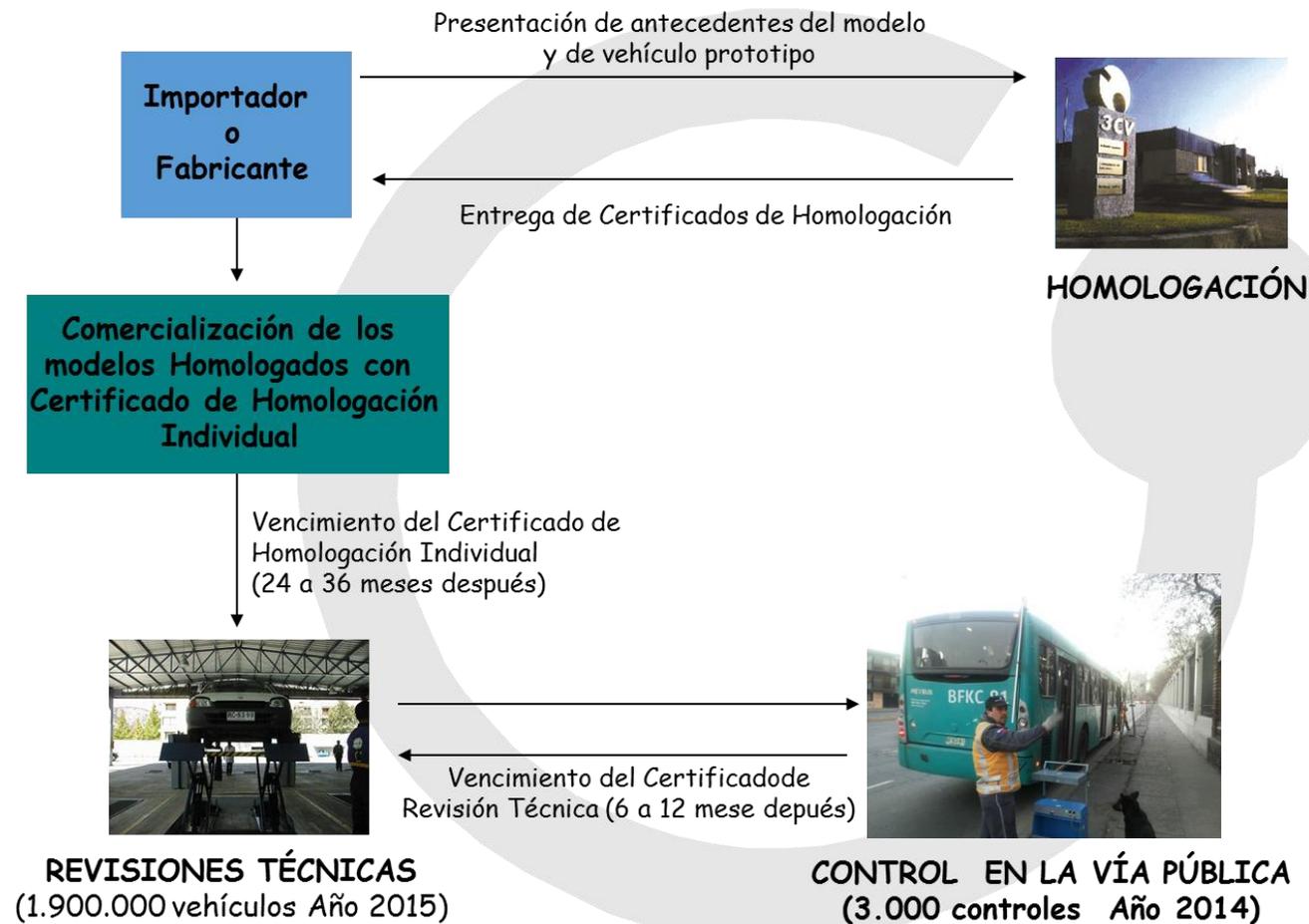
WORKSHOP:

Estrategias para la mitigación de la contaminación el Aire

# Inspección y mantenimiento: La experiencia de Santiago de Chile

Aliosha Reinoso Durán – Geasur  
[aliosha.reinoso@geasur.cl](mailto:aliosha.reinoso@geasur.cl)

# ELEMENTOS DEL ESQUEMA DE LA INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO EN SANTIAGO



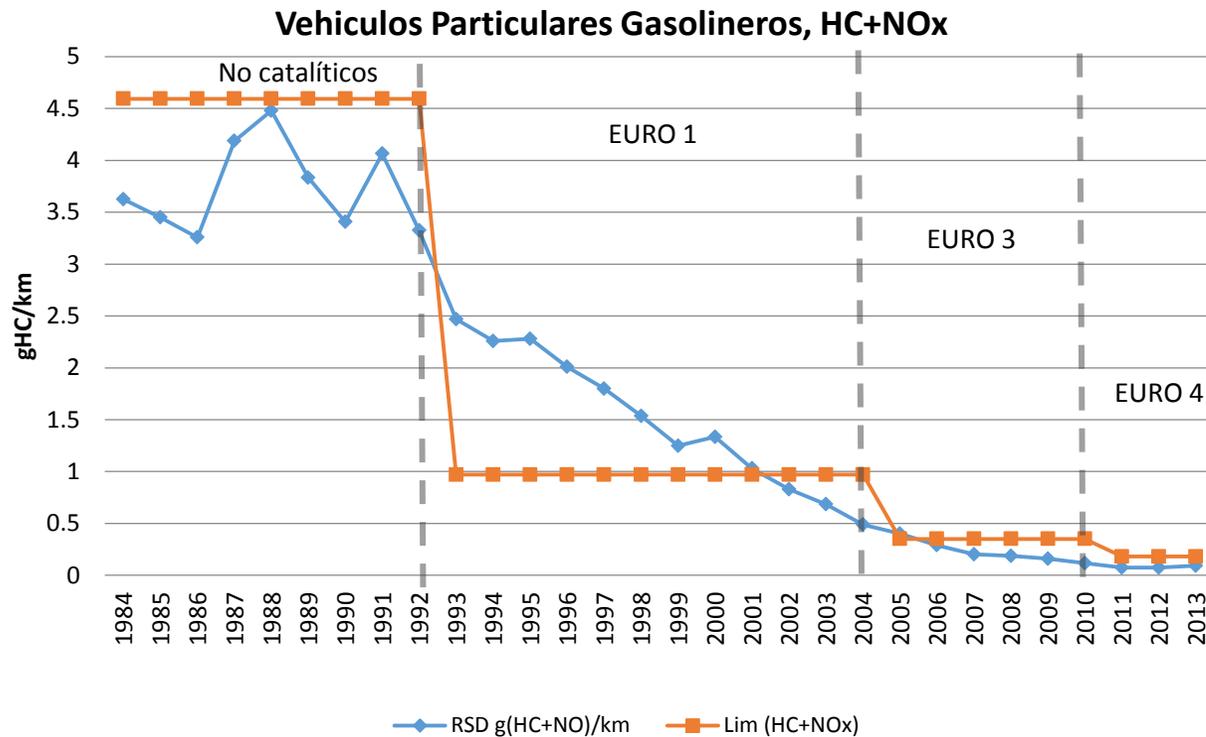
- 29 PLANTAS EN LA RM
- USD \$ 15 livianos y USD \$ 25 pesados
- PRT incluye aspectos de seguridad.
- Control en vía pública de vehic. Pesados.
- 2 a 3 minutos por control.

# NORMAS VIGENTES

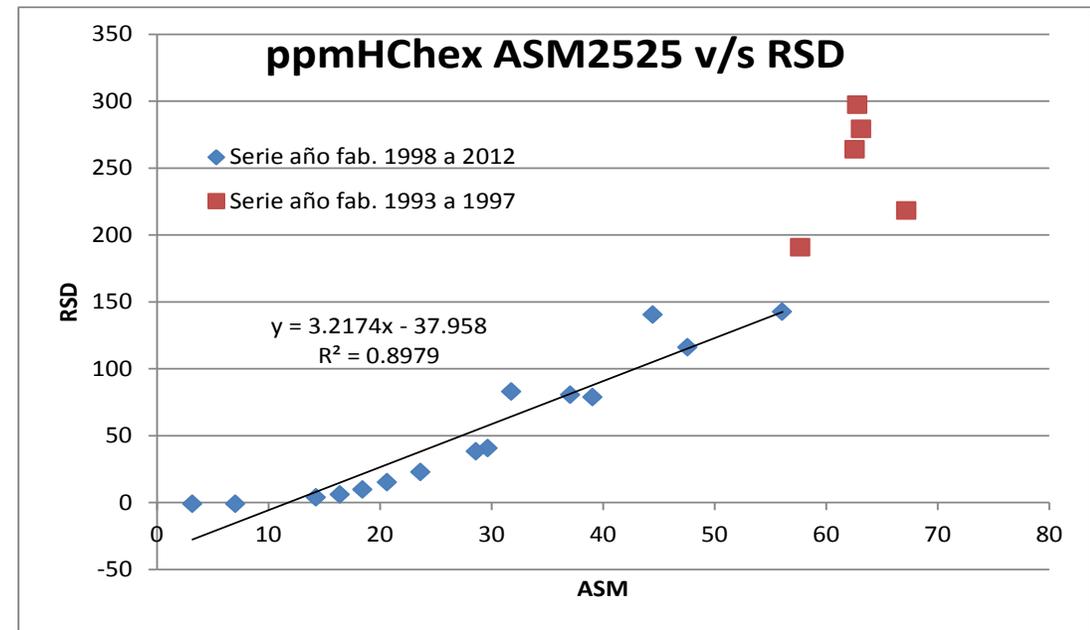
- Livianos y Pesados nuevos: EURO 5
- **Buses Urbanos nuevos: EURO 6**
  - Nuevos Contratos Transantiago desde 2018
  - Todos los buses nuevos desde 2019
- Revisión Técnica:
  - Vehículos a gasolina Livianos sin convertidor catalítico (2% del flujo).
    - Análisis de gases en ralentí y 2500 rpm (sin carga)
  - Vehículos a gasolina livianos con convertidor catalítico
    - Análisis de gases en ASM (con carga, incluye NO)
  - Vehículos diésel:
    - Opacidad en aceleración libre

# RESULTADO MEDICIONES DE LA FLOTA GASOLINA CON REMOTE SENSING DEVICE

- Se requiere contar con fiscalización en condiciones reales de operación.
- RSD permite la identificación de un vehículo sucio.
- Ese vehículo debiera acudir al taller y aprobar ASM



Fuente: Geasur 2015 (SECTRA)  
Geasur 2013 (MMA)

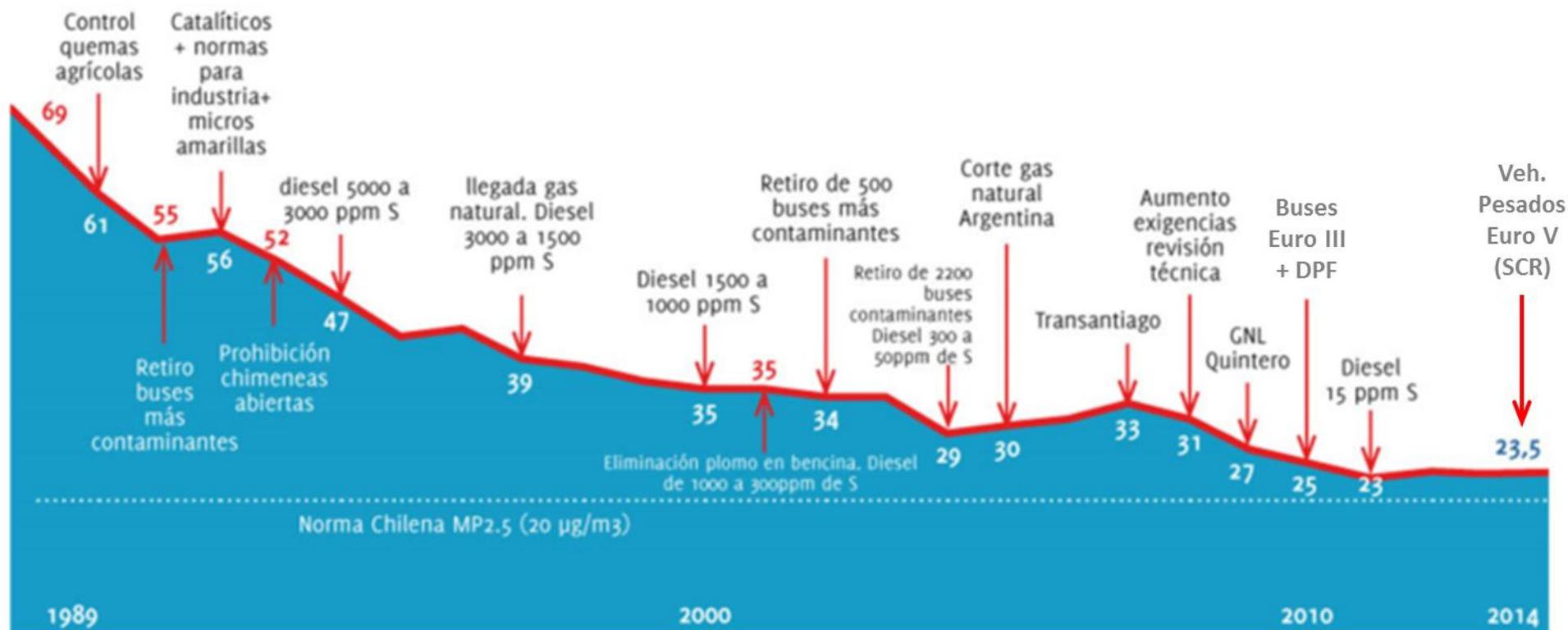


¿Son reales las mediciones ASM para vehículos 1993 1997?

## ESTABILIDAD DE LAS EMISIONES VEHÍCULOS A GASOLINA

- La estabilidad de las emisiones depende en gran medida de la correcta operación del sistema de post tratamiento de emisiones (convertidor de tres vías, >90% de eficiencia).
- La correcta operación del convertidor catalítico depende de la correcta operación del motor y sus componentes (Ej. Sonda lambda).
- Las pruebas para el control de vehículos con catalizador de 3 vías implicaron el diseño de pruebas más sofisticadas (ASM en carga).

# MOTORES DIESEL: DESARROLLO EN SANTIAGO DE CHILE



Fuente: MMA Agies 2015

- Relevancia de las emisiones Diésel en Santiago:
  - Única causa de episodios (alertas, pre emergencias, emergencias)
  - Cancerígeno (OMS 2012)
  - Correlación con mortalidad (Dockery 1993)

# MOTORES DIESEL: DESARROLLO EN SANTIAGO DE CHILE

El desarrollo de motores diésel modernos ha estado vinculado a la incorporación de sistemas de post tratamiento de emisiones.

- Incorporación SCR
  - Reducción de NOx
  - Eficiencia en ciclo certificación  $\approx 90\%$
  - Eficiencia en ciclo urbano  $\ll 90\%$  en Euro V (SAE 2007 A. Mayer et al., ICCT 2008 M. Walsh)
  - Eficiencia sensible a la temperatura
  - Incorporación en Santiago: vehículos pesado diésel desde Euro V (2014)

# MOTORES DIESEL: DESARROLLO EN SANTIAGO DE CHILE

- Incorporación DPF
  - Reducción de masa y número de partículas (NP).
  - Eficiencia independiente del ciclo de conducción > 98% (NP)
  - Vehículos livianos desde Euro 5 (2012) y **buses urbanos antes que Euro VI (2009)**.

Año	Buses Adicionales con DPF	Modalidad de la Instalación	Razón de la Instalación
2005	110 Euro III	Buses Nuevos Equipados en Fábrica.	Incentivo
2009	+ 564 Euro III	Buses en uso reacondicionados.	Incentivo
2010-2012	+ 2.025 Euro III	Buses nuevos con desarrollos de Fábrica	Exigencia Normativa
2012	+ 500 Euro III	Buses en uso reacondicionados.	Incentivo

# MOTORES DIESEL: DESARROLLO EN SANTIAGO DE CHILE

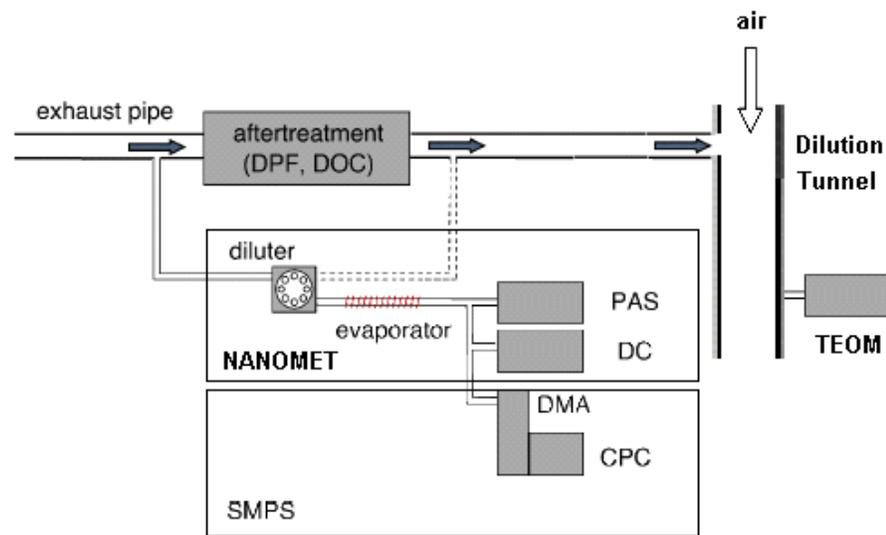
- Incorporación SCR+DPF: Buses urbanos Euro VI (2018-2020):

PARÁMETRO	EURO VI vs EURO V
MP masa	Límite 2-3 veces menor
NP	Incorpora Límite NP (Euro V no tiene) Implica DPF Emisiones reales efectivas 50 veces menores
NOx	Límite 4-5 veces menor Ciclo de prueba WHTC más realista (temperaturas) Emisiones reales efectivas menores

Fuente: Dr. G. Leutert

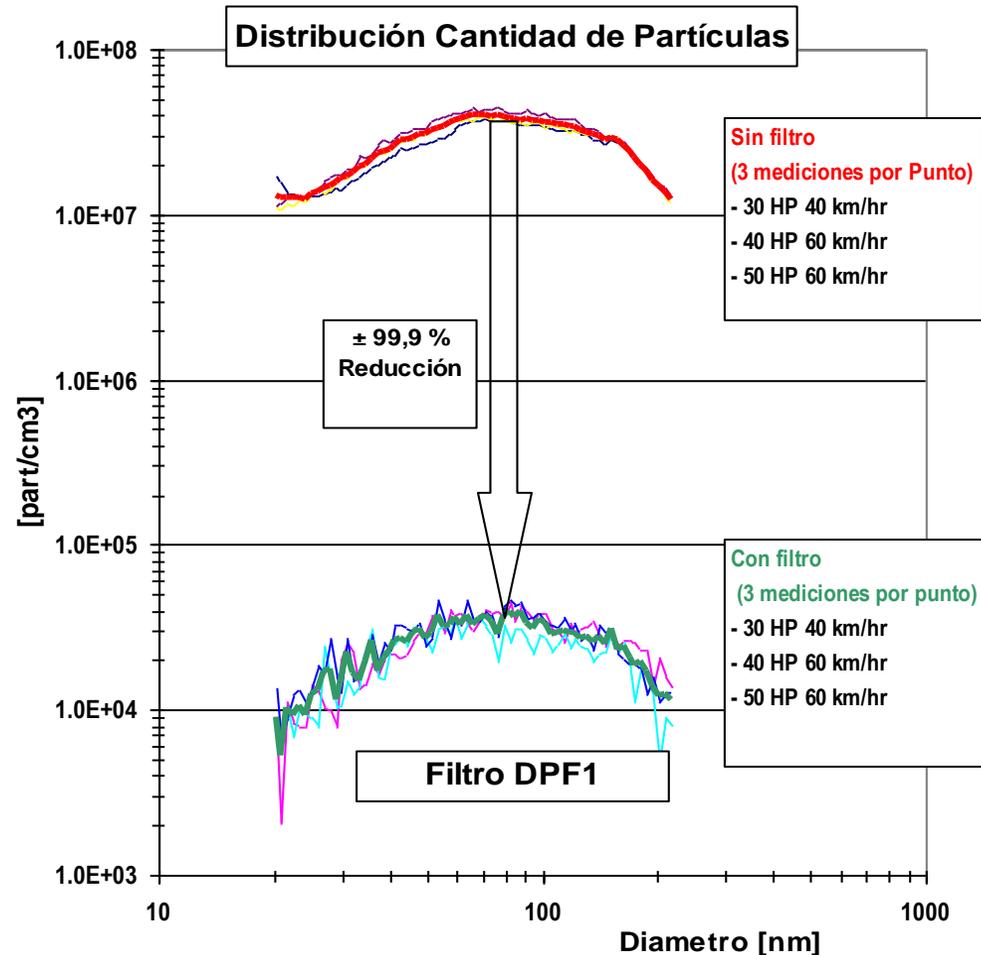
# INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO: LA EXPERIENCIA DE LOS BUSES DE SANTIAGO

Nuevos sistemas suponen nuevos desafíos desde el punto de vista de la estabilidad de las emisiones y de su medición (inspección y mantenimiento).



Fuente: 3CV 2004

# INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO: LA EXPERIENCIA DE LOS BUSES DE SANTIAGO



Fuente: 3CV 2004

- Para caracterizar adecuadamente la eficiencia de un DPF es necesario medir NP
- Las partículas están por debajo del rango de visibilidad (opacímetro)

## INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO: LA EXPERIENCIA DE LOS BUSES DE SANTIAGO

- Disponibilidad de equipos de NP altamente sensitivos, portátiles y de bajo costo
- Medición de NP en 400 buses en vía pública (con y sin filtro)
- Medición de eficiencia de DPF en 22 buses en patios.
- Uso de equipo certificado (SR 941.242) para conteo de partículas diésel.
- Mediciones en ralentí (resultaron suficientemente sensibles y más fáciles de implementar)
- Objetivos:
  - Diagnóstico de las condiciones de los DPF después de un kilometraje considerable (800.000 km a 240.000 km)
  - Implementar medición de NP para el control en vía pública y PRT.

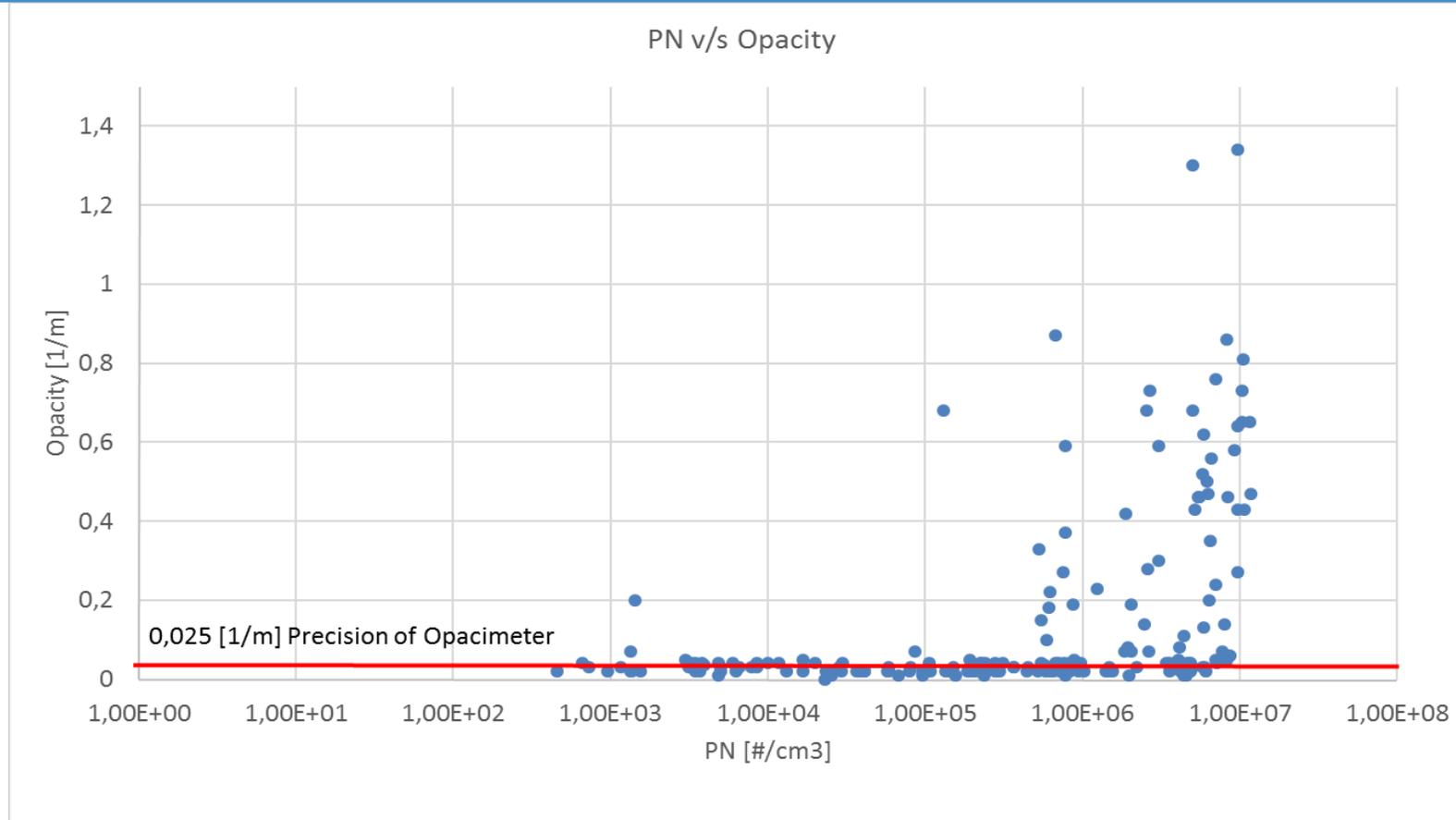
# Campaña de medición



NPET-TSI



# Comparación NO v/s Opacidad en acel. libre

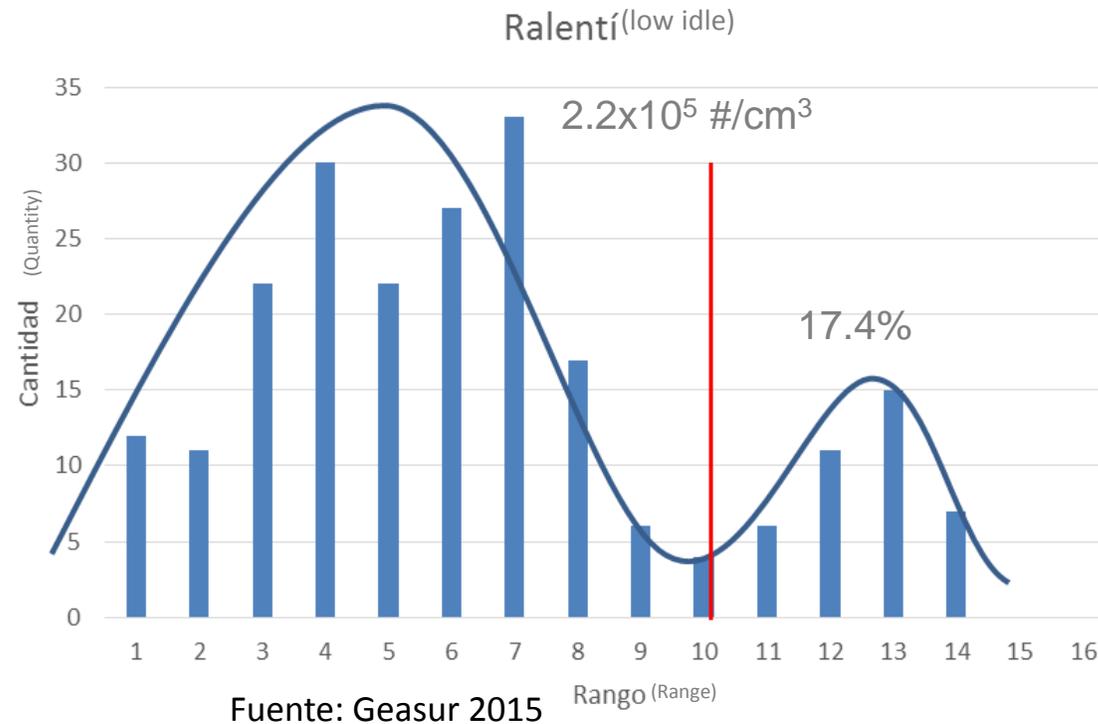


Fuente: Geasur 2015

- 30% de los resultados de opacidad estuvieron próximos a 0 [1/m] pero en NP tuvieron valores entre  $10E+2$  to  $10E+9$  [# /cm<sup>3</sup>].

# Límite NP de emisiones de escape

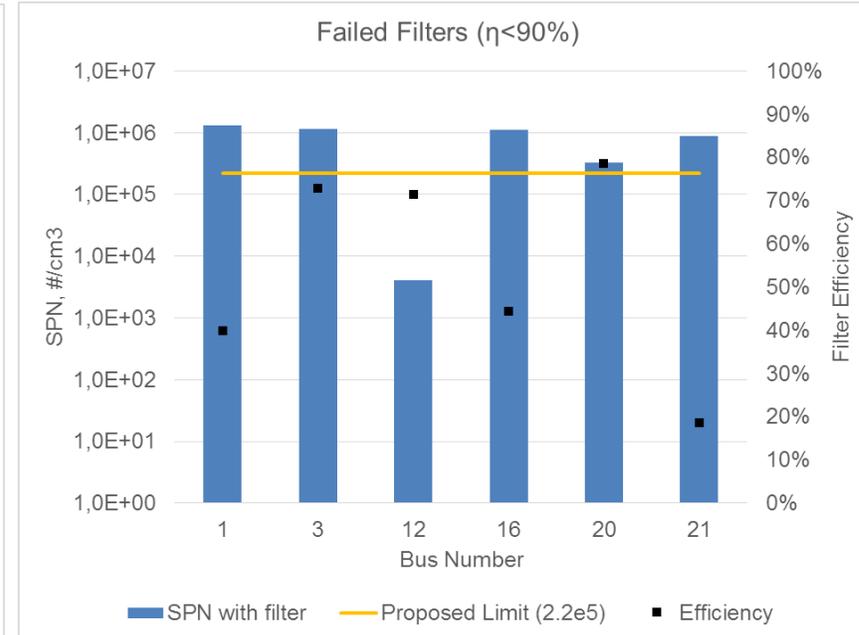
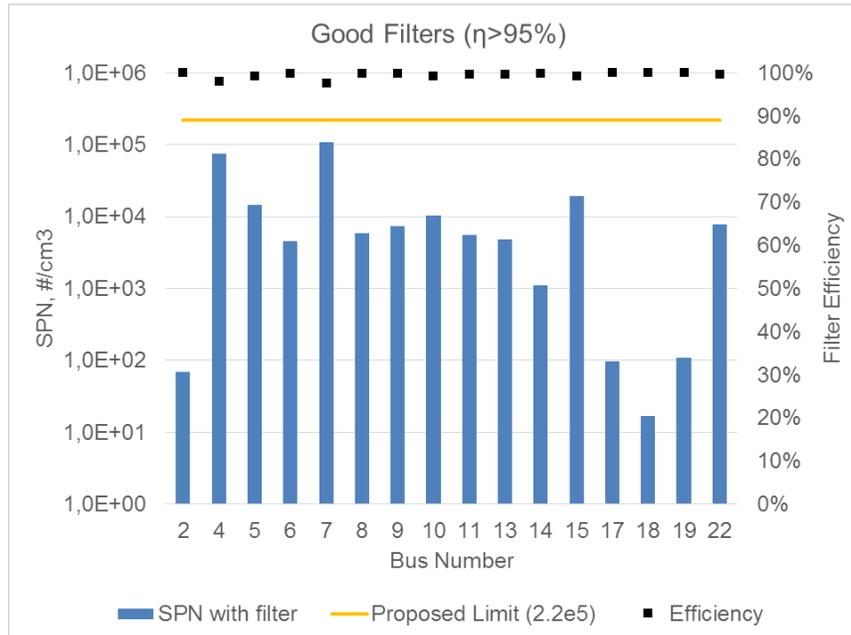
- El histograma de los resultados en escala logarítmica, mostraron una estructura bimodal (buenos y malos).
- Esta estructura bimodal determina un límite propuesto de  $2.2 \times 10^5$   $[\#/cm^3]$ .



Range	≥	<	N	Condition
1	1,00E+02	2,20E+02	12	Normal
2	2,20E+02	4,70E+02	11	Normal
3	4,70E+02	1,00E+03	22	Normal
4	1,00E+03	2,20E+03	30	Normal
5	2,20E+03	4,70E+03	22	Normal
6	4,70E+03	1,00E+04	27	Normal
7	1,00E+04	2,20E+04	33	Normal
8	2,20E+04	4,70E+04	17	Normal
9	4,70E+04	1,00E+05	6	Normal
10	1,00E+05	2,20E+05	4	Indifferent
11	2,20E+05	4,70E+05	6	Abnormal
12	4,70E+05	1,00E+06	11	Abnormal
13	1,00E+06	2,20E+06	15	Abnormal
14	2,20E+06	4,70E+06	7	Abnormal
15	4,70E+06	1,00E+07	0	Abnormal
16	1,00E+07	2,20E+07	0	Abnormal
		TOTAL	223	

# Eficiencia DPF v/s Límite NP

- El valor propuesto es consistente con los valores de eficiencia de los DPF medidos en 22 buses (todos los filtros con buena eficiencia pasan el límite y todos menos uno con mala eficiencia los reprueban).



Fuente: Geasur 2015

## Resumen de resultados para los buses con DPF

Etapa de implementación	Número de emisiones anormales	Buses ensayados	Tasa de rechazo	Kilometraje promedio del DPF
2005-2009	21	25	84%	524,341
2010-2013	18	198	9%	297,084
Total	39	223	17,5%	325,920

- Emisiones anormales se concentran en la primera etapa de implementación (mayor kilometraje, sin monitoreo a bordo, bajo apoyo local, sin la implementación aún de las mejores prácticas de mantención).
- Ensayos complementarios de eficiencia del DPF sobre los vehículos rechazados son necesarios para descartar identificar si la causa está en el DPF o en el motor (altos emisores).

## Conclusiones del Estudio

- Concentración de NP es una métrica más sensitiva que la opacidad para determinar la condición del DPF.
- Límite de  $2.2 \times 10^5$  #/cm<sup>3</sup>, en ralentí:
  - Es un buen indicador para detectar filtros con  $\eta < 90\%$ , o motores con altas emisiones, para el control en vía pública o PRT.
  - Para los buses rechazados una prueba de eficiencia permite identificar el origen del problema (DPF o motor)
- Los buses sobre el límite se concentraron en los de la primera etapa de implementación.
- Los buses de implementación más reciente muestran 9% de emisiones sobre el límite.

## Conclusiones del Estudio

- La Buena mantención del motor es tan importante como la del filtro
  - Se tuvo que hacer cambios culturales hacia desde una mantención correctiva a una preventiva.
- Se debe incluir en el control con NP a los vehículos livianos diésel con DPF (Euro 5)
- Se debe mejorar algunos protocolos de diagnóstico (monitores Wireless con información centralizada, diagnóstico de falla del DOC).
- Equipos certificados portátiles y de bajo costo serán claves para la masificación del NP como herramienta para la inspección de las nuevas tecnologías diesel.
- Métodos de inspección sencillos será necesario de implementar también para el SCR (NOx en carga).

# RESUMEN

- ESTABILIDAD DE LAS EMISIONES DEPENDE DE LA INTEGRIDAD DEL DPF
  - Inspección:
    - Medición emisiones escape PRT y Vía pública con NP (NPET)
    - Verificación eficiencia (antes y después DPF) con NP (NPET)
  - Cuidado del DPF:
    - Seguimiento operacional con Monitor a Bordo (contrapresión, temperatura)
    - Limpieza profesional del DPF (cenizas)
    - Reparación de pequeñas fallas
    - Diagnóstico del DOC
  - LA INTEGRIDAD DEL DPF DEPENDE DE LA MANTENCIÓN DEL MOTOR
    - Mantenimiento preventiva de componentes importantes (inyectores).
    - Control de la estabilidad de las emisiones del motor (NP u Opacímetro).
    - Lubricante Low SAPS (Sulphated, Ash, Phosphorus and Sulphur)

## RECOMENDACIONES

- En Ciudad de México se están implementando medidas para incentivar el recambio tecnológico y el reacondicionamiento (HNC, Zona de Baja Emisión).
- Para que esta renovación represente una verdadera solución debe hacerse con la mejor tecnología disponible (Ej: Euro V o Euro VI?, DPF o DOC?).
- Las nuevas tecnologías demandarán nuevos métodos de inspección y mantenimiento que deben ser previstos lo antes posible.
- Analizar el impacto de la Maquinaria Fuera de Ruta

# MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Aliosha Reinoso Durán

- Ingeniero Civil Mecánico U. de Chile
- 23 años experiencia en emisiones del transporte
- Ex Jefe Departamento de Normas (Ministerio de Transportes de Chile)
- Coordinador Planificación y Desarrollo (Centro de Control y Certificación Vehicular)
- Fundador y director consultora Geasur
- Ha realizado estudios y consultorías para Ministerio Medio Ambiente – Ministerio de Transportes – Ministerio de Energía – Agencia Suiza de Cooperación

[aliosha.reinoso@geasur.cl](mailto:aliosha.reinoso@geasur.cl)