

MEDICIÓN DEL NÚMERO DE PARTÍCULAS EN BUSES DE LA FLOTA DE TRANSMILENIO (BOGOTÁ)



Programa Clima y Aire limpio
en Ciudades de América Latina

Supervisores

Freddy Koch

Andrés Felipe Díaz



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

María Luisa Botero
Andrés Felipe Agudelo
John Ramiro Agudelo



SECRETARÍA DE
AMBIENTE



El ambiente
es de todos

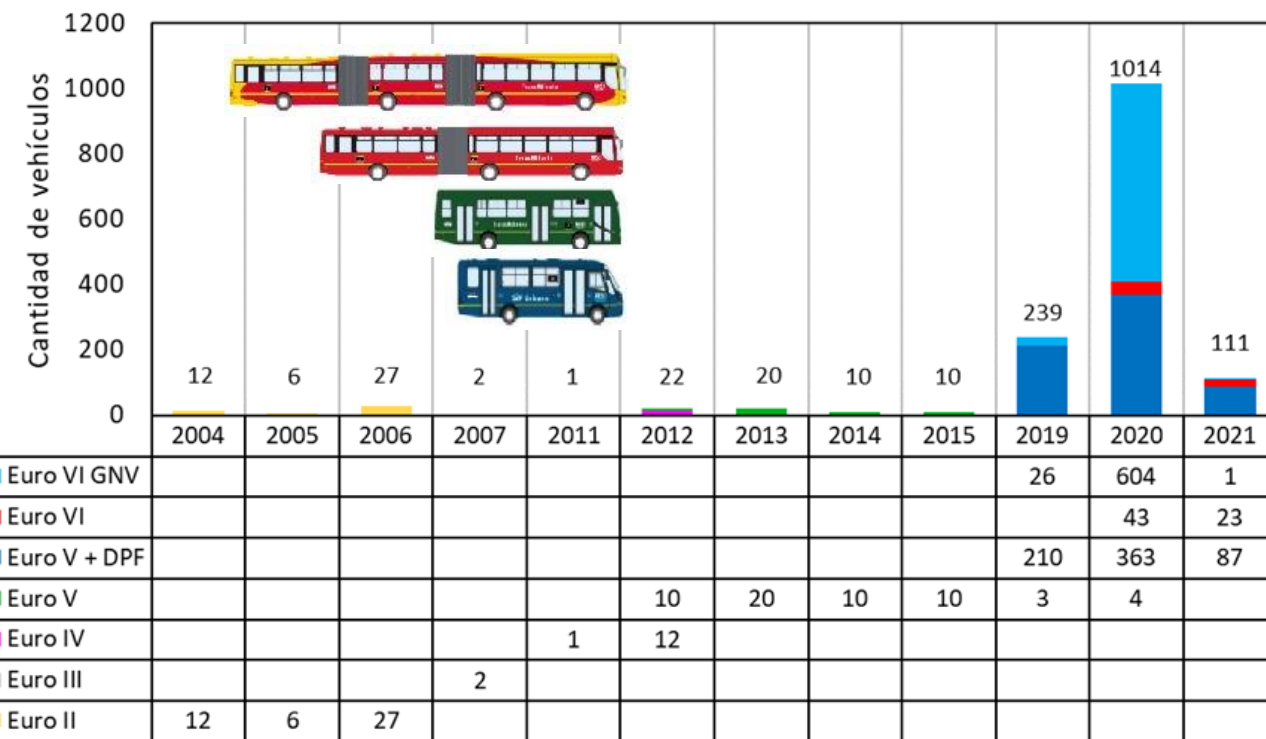
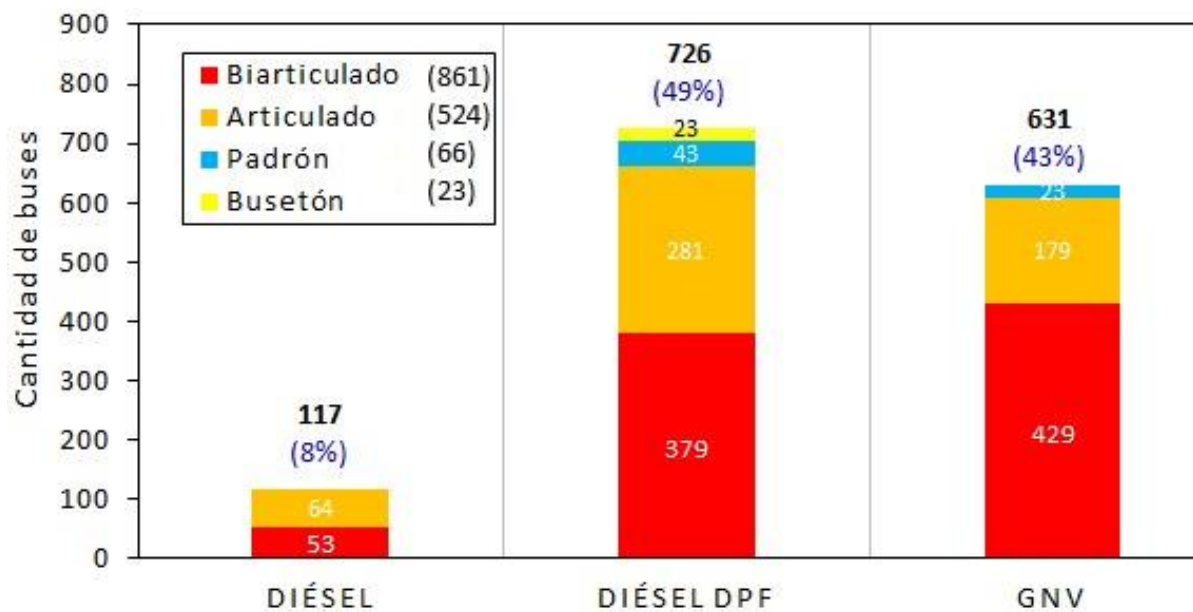
Minambiente

Contrato No. 021-2021

Contribuir con la **generación de una línea base** de concentración de partículas sólidas en buses de TransMilenio, que permita a las autoridades locales:

1. Diagnosticar el estado actual de los buses
2. Identificar posibles desperfectos en la flota de buses
3. Generar experiencia en la medición de PN
4. Diseñar regulación ITP basada en PN
5. Tener información para esquemas de etiquetado ambiental vehicular

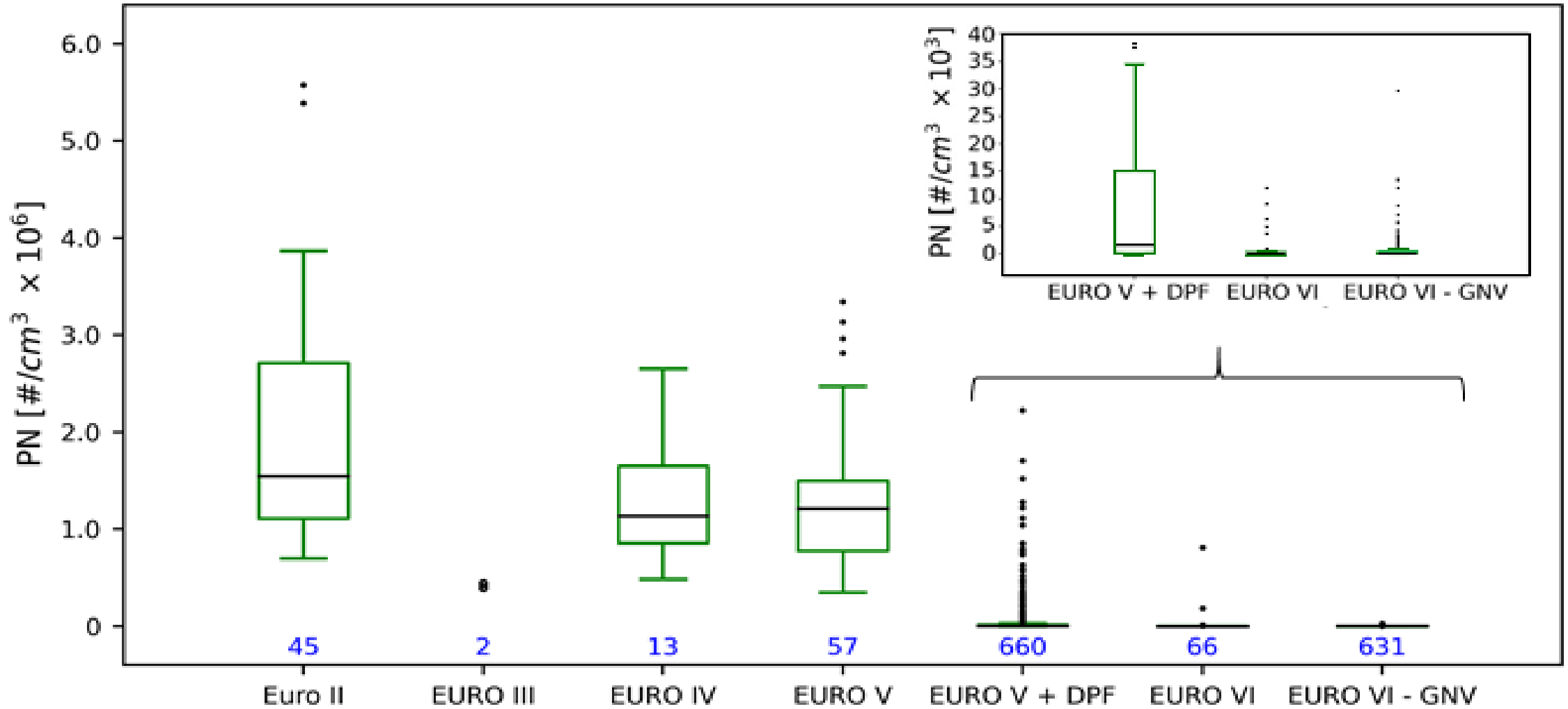
Buses medidos: 1474



Procedimiento de prueba:

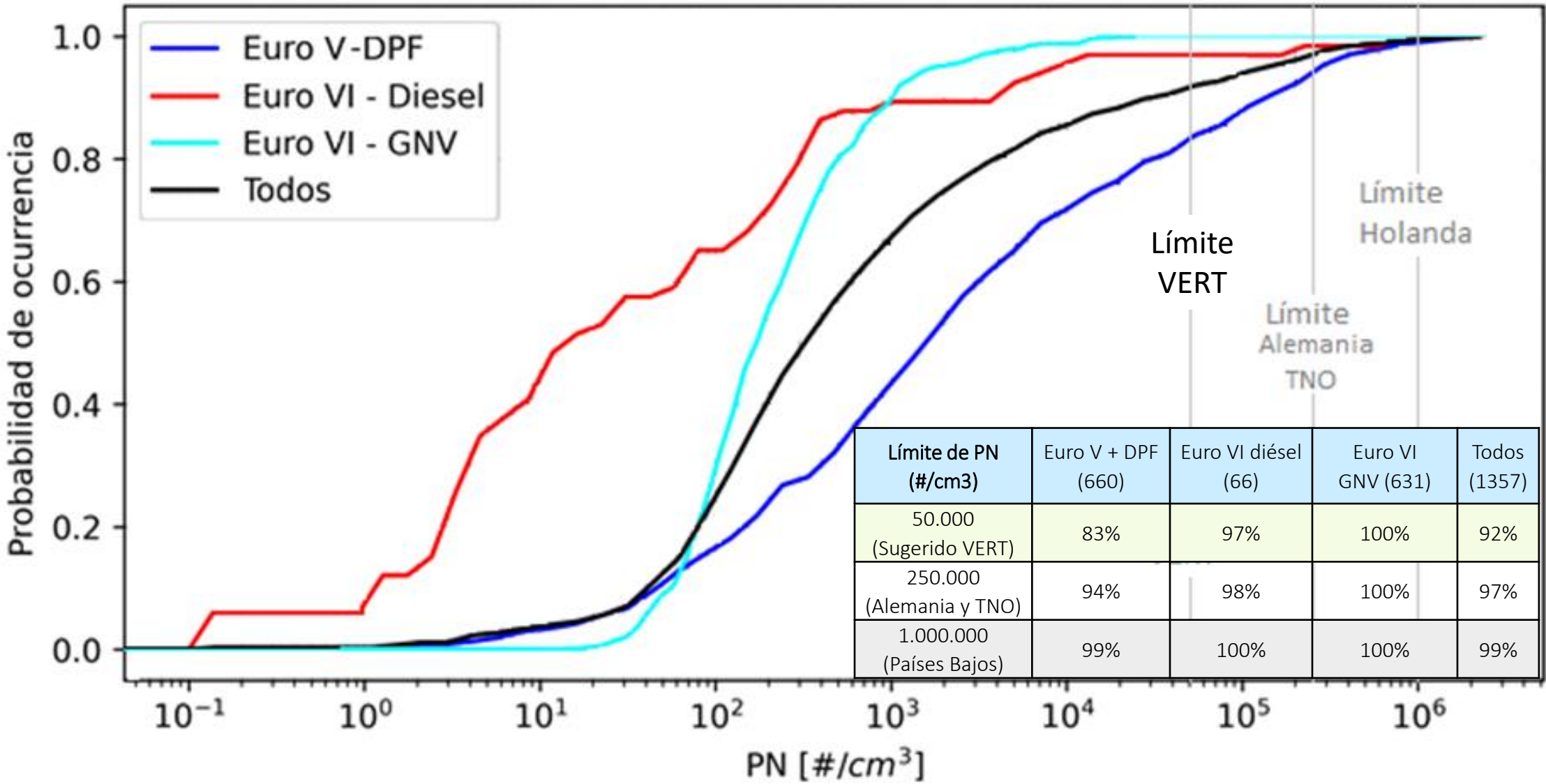
Guía No. 1 CALAC+ (<https://programacalac.com/>)





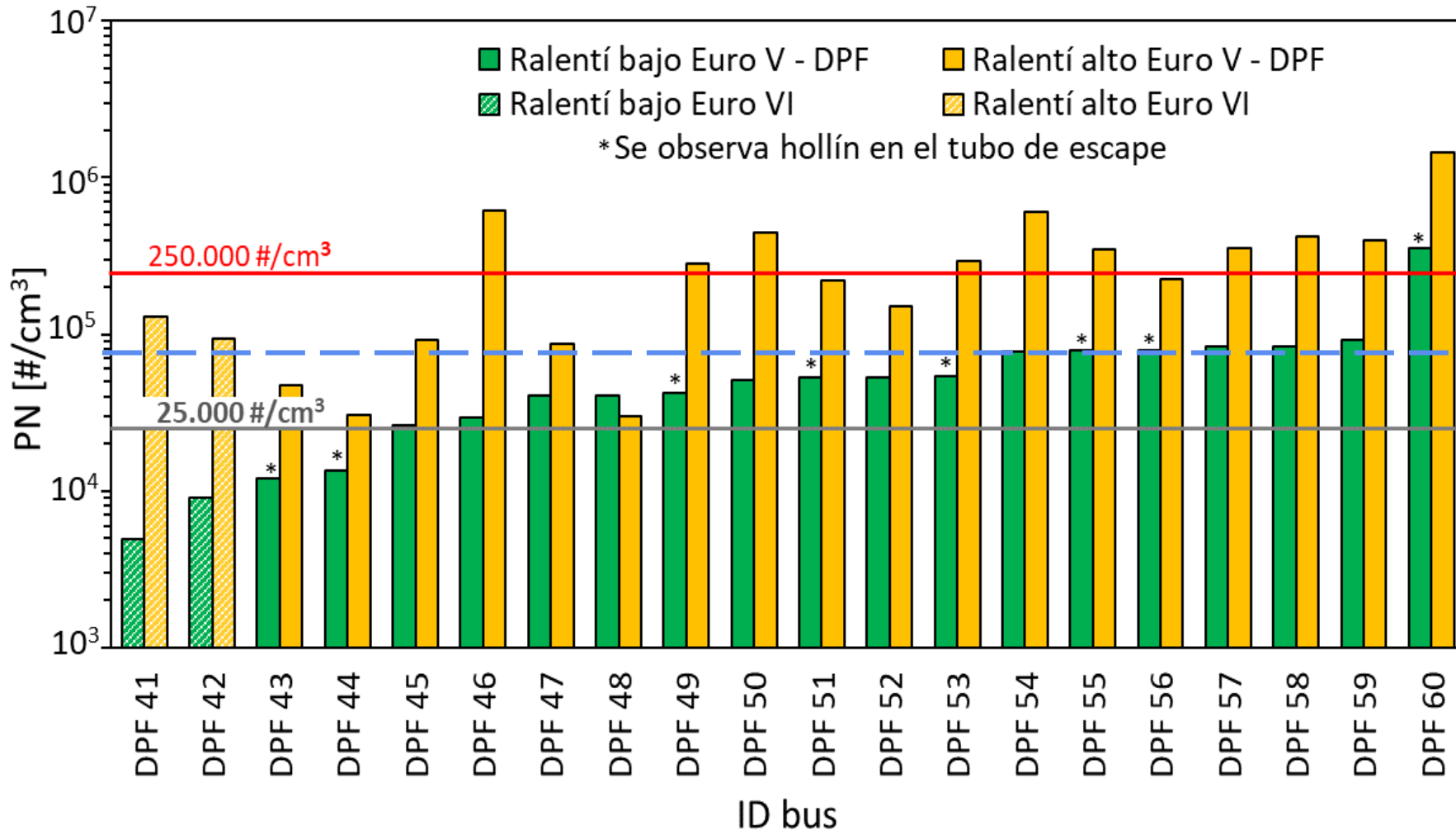
Tecnología	Total medidos	PN (#/cm ³ x 1000)				Modelos
		PN < 5	5 < PN < 250	250 < PN < 1000	PN > 1000	
Euro V + DPF	660	430 (65%)	191 (29%)	32 (5%)	7 (1%)	2019-2021
Euro VI Diésel	66	61 (92%)	4 (7%)	1 (1%)	-	2020-2021
Euro VI GNV	631	618 (98%)	13 (2%)	-	-	2019-2021
Total	1357	1109 (82%)	208 (15%)	33 (2.5%)	7 (0.5%)	2019-2021

PN buses Diésel + DPF



Límite de PN (#/cm³)	Euro V + DPF (660)	Euro VI diésel (66)	Euro VI GNV (631)	Todos (1357)
50.000 (Sugerido VERT)	83%	97%	100%	92%
250.000 (Alemania y TNO)	94%	98%	100%	97%
1.000.000 (Países Bajos)	99%	100%	100%	99%

Buses Diésel con DPF en mal estado o falta de mantenimiento



Recomendación:

Adicionar al procedimiento medición en ralentí alto a buses que superen **25.000 #/cm³** en ralentí bajo

Nuevo procedimiento de prueba propuesto

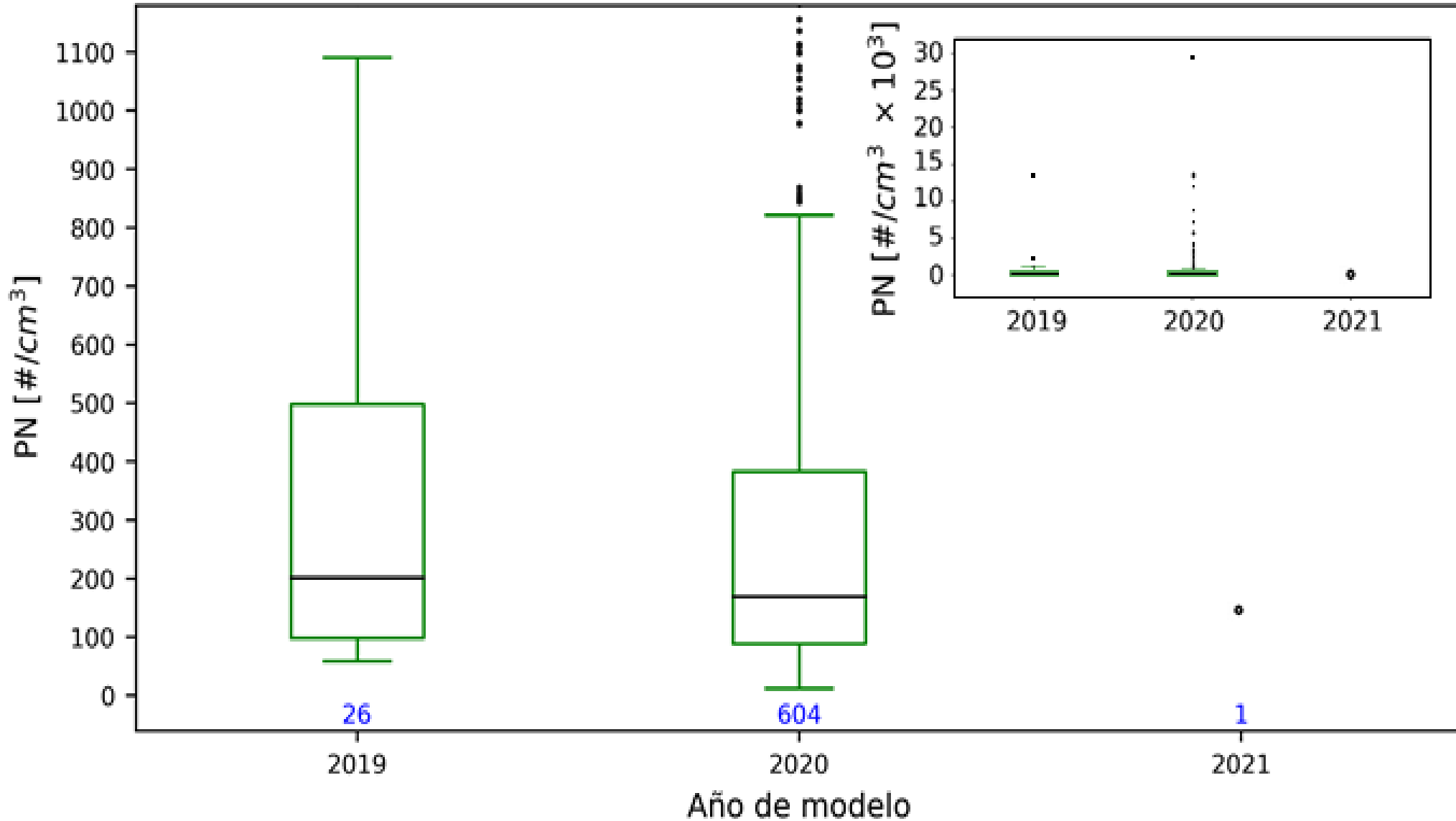


RALENTÍ BAJO:
 si **25.000** < PN < 100.000 → Mantenimiento DPF
 si PN > 100.000 → **Fallo en DPF**

Eficiencia de un DPF ~ 99,99%
 $PN_{DPF} \leq PN_{amb} \sim 5.000$



PN buses GNV



1. Buses GNV Euro VI: Prueba no es adecuada si rango inferior = 23 nm
2. Vehículos diésel con DPF:
 - Éxito procedimiento detectar fallos en DPF (39 buses)
 - Éxito para detección de fallos potenciales en DPF (78 buses)
3. Vehículos diésel sin DPF: PN no depende de la tecnología/modelo/kilometraje/cilindrada:
 - PN efectivo para detector grandes emisores
4. Límites de aprobación para ITP:
 - Nuevo límite de **verificación** en ralentí alto para Diésel Euro V + DPF y Euro VI: $>25.000 \text{ \#/cm}^3$ en ralentí bajo
 - Explorar nuevo límite de aprobación para buses con DPF: 100.000 \#/cm^3 en ralentí bajo

1. Incorporar protocolo de PN para revisión/adquisición de vehículos nuevos a ingresar al Sistema
2. Explorar PN “sub 23 nm” buses GNV Euro VI
3. Estudio sobre impacto del estado de mantenimiento del motor en emisiones de PN
4. Extender campaña de medición PN a principales centros urbanos de Latinoamérica: condiciones ambientales?

Agradecimientos



SECRETARÍA DE
AMBIENTE



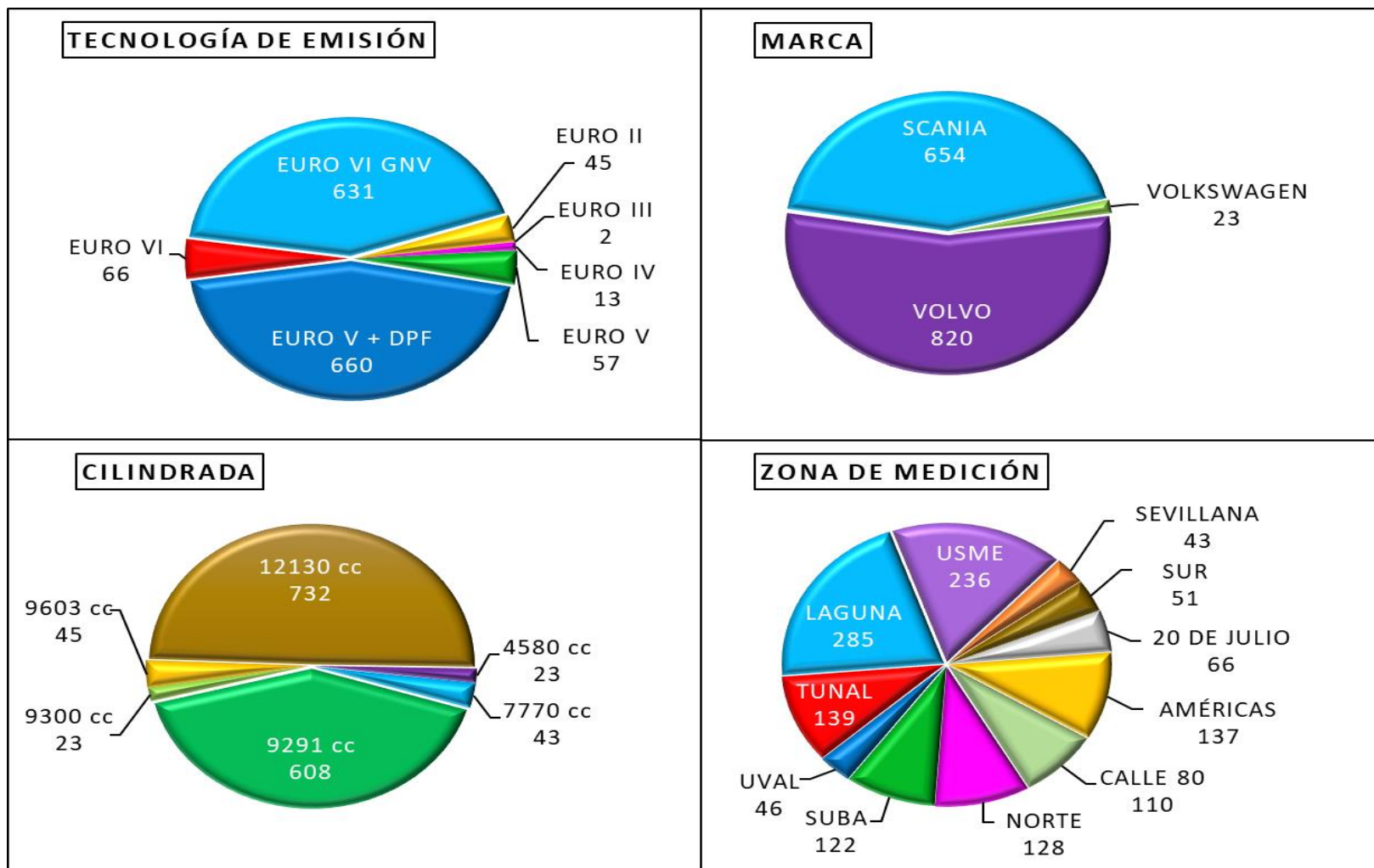
María Luisa Botero
Andrés Felipe Agudelo

John Ramiro Agudelo: john.agudelo1@udea.edu.co

(+57) 300 7785626

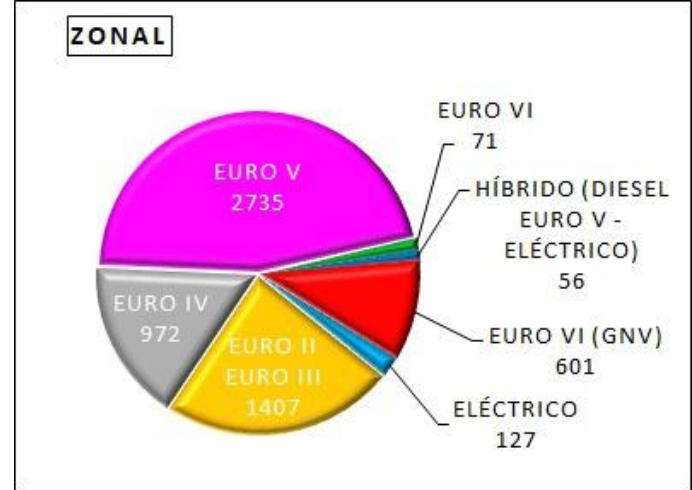
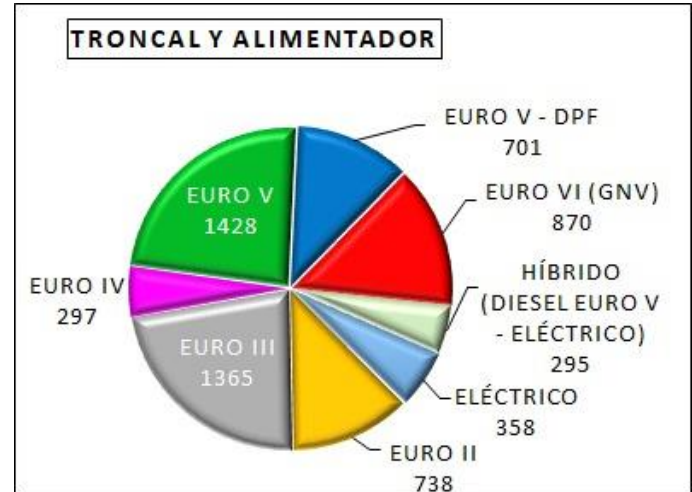
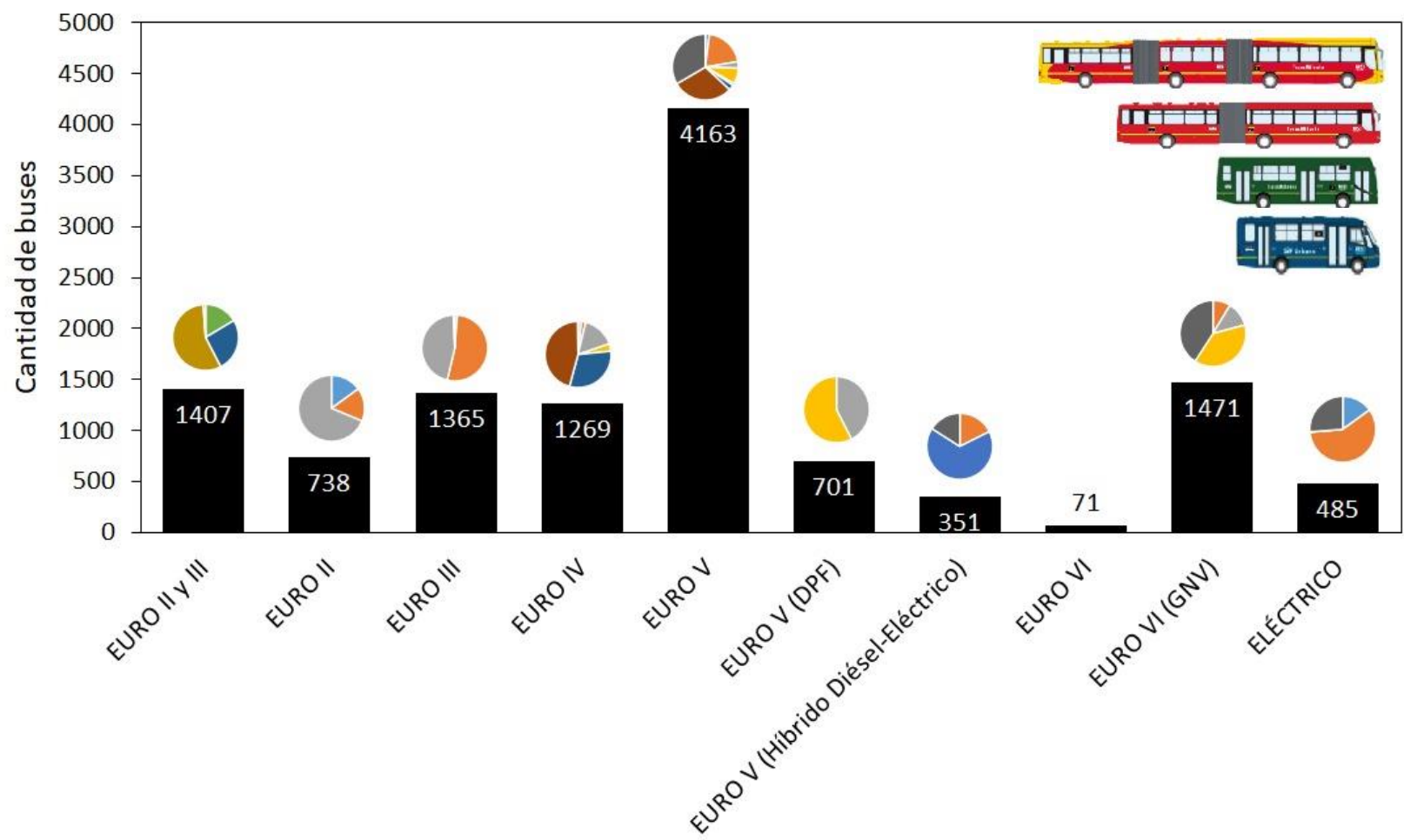
Diapositivas de respaldo

Caracterización flota de buses medidos: 1474



Caracterización flota de buses de Transmilenio: 12.021

■ PADRON (50)
 ■ PADRON (80)
 ■ ARTICULADO
 ■ BIARTICULADO
 ■ PADRON DUAL
 ■ BUS (19)
 ■ BUS (40)
 ■ BUS (50)
 ■ BUS (80)



Sistemas de tratamiento/tecnología de control emisiones: GNV EURO VI

Scania: 3WC + EGR



Procedimiento de prueba: Guía No. 1 CALAC+

Optimización de las condiciones de la prueba (calentamiento del motor y/o cierre de válvula EGR)

Iniciar la prueba del número de partículas (PN) del la ITV con el motor en marcha en ralentí

15 segundos de estabilización del contador de PN en marcha con la línea de muestra instalada en el tubo de escape

Medición del PN:
Promedio de emisión del número de partículas (PN) durante un tiempo de medición de 15 s

Si $PN_{promedio} \leq 100\%$ del valor límite

Si $PN_{promedio} > 100\%$ del valor límite
No pasa

Tabla 1. Especificaciones contador de partículas

Marca	TSI
Modelo	NPET 3795
Rango de tamaño de partículas	23 – 1000 nm
Rango de concentración de partículas	1.000 – 5.000.000 #/cm ³
Exactitud en la concentración de partículas	± 10% (respecto a estándar)
Eficiencia de remoción de partículas volátiles	>99% (C ₄₀ H ₈₂ de 30nm)
Eficiencia de detección	
23 nm	E < 50%
41 nm	E > 50%
80 nm	70% < E < 130%
200 nm	E < 200%
Normatividad	SR941.242 Gob. Suizo
Fecha de calibración	9/02/2021

250,000 #/cm³

Pasa



Sistemas de tratamiento/tecnología de control emisiones: Diésel EURO VI



Conjunto DPF y SCR (Volvo)



Conjunto DOC, DPF y SCR (Volkswagen)



Sistemas de tratamiento/tecnología de control emisiones: Diésel EURO V + DPF



Conjunto DOC y DPF (CRT)



SCR



Sistemas de tratamiento/tecnología de control emisiones: Diésel sin DPF

EURO V
EURO IV
EURO III
EURO II



SCR + DOC
Volvos modelos 2019,
Convertidor catalítico de (DOC)
Convertidor catalítico de (DOC)

Procedimiento de prueba: Guía No. 1 CALAC+ / previo a la medición de PN

1. Verificación de cero con filtro HEPA al inicio cada día



3. Registro de temperatura cercana al motor

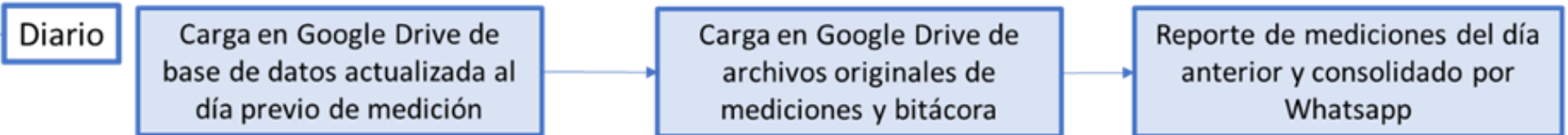


2. Registro PN ambiente al inicio cada día y cada hora

Concentración de PN en el ambiente en las diferentes zonas de medición			
	PN ambiente (#/cm ³)		
Patio	Min	Max	Promedio
Norte	685	14.623	5.572
Calle 80	506	10.324	3.387
Suba	813	8.679	2.742
Laguna	1.054	6.723	2.538
Tunal	3.557	13.563	6.989
Usme	604	11.149	6.806
Américas	1.018	9.357	4.321
Sur	481	3.656	1.616
20 de Julio	231	1.587	718
Uval	207	1.768	962
Sevillana	1.347	2.886	2.002



Trazabilidad en manejo de datos



Semanal Chequeo y contraste de base de datos y archivos originales

FECHA	CHEQUEO CANTIDAD	CHEQUEO INFORMACIÓN	SUBIDO	TOTAL VEHICULOS	TOTAL ARCHIVOS CICLOS	MEDIDAS DIRECTAS	MEDIDAS CON DILUTOR	CON DILUTOR Y DIRECTA	OTRAS REMEDICIONES	REMEDICIONES ≥ 2000 RPM	OBSERVACIONES
29/05/2021	Si	Si	Si	59	118	59	0	0	0	0	
30/05/2021	Si	Si	Si	62	124	62	0	0	0	1	
31/05/2021	Si	Si	Si	51	102	51	0	0	1	0	Se presentan dos ren
01/06/2021	Si	Si	Si	76	152	76	0	0	0	0	
02/06/2021	Si	Si	Si	37	74	37	0	0	0	0	
03/06/2021	Si	Si	Si	95	190	95	0	0	1	3	
04/06/2021	Si	Si	Si	29	58	29	0	0	0	5	
05/06/2021	Si	Si	Si	69	138	69	0	0	0	0	
06/06/2021	Si	Si	Si	79	158	79	0	0	0	5	



Preparación NPET antes de jornada de medición

- Chequear ajuste de sonda, base de sonda y trampa de agua (5 minutos)
- Inspeccionar trampa de agua: que no contenga hollín o agua (1 minuto)
- Cargar cartucho con isopropanol, según manual del equipo (3 minutos)

Revisar ajuste de juntas y elementos roscados



Mantenimiento NPET durante mediciones

- Cada 2 horas:
 - Recarga cartucho isopropanol (20 minutos)
 - Inspección visual trampa de agua (1 minuto). Si es necesario, drenar o limpiar (10 minutos)

Para vehículos sin DPF
Cada hora revisar que la punta de la sonda esté sin hollín

Presencia de hollín en trampa



Medición “fija”



Medición “Móvil”

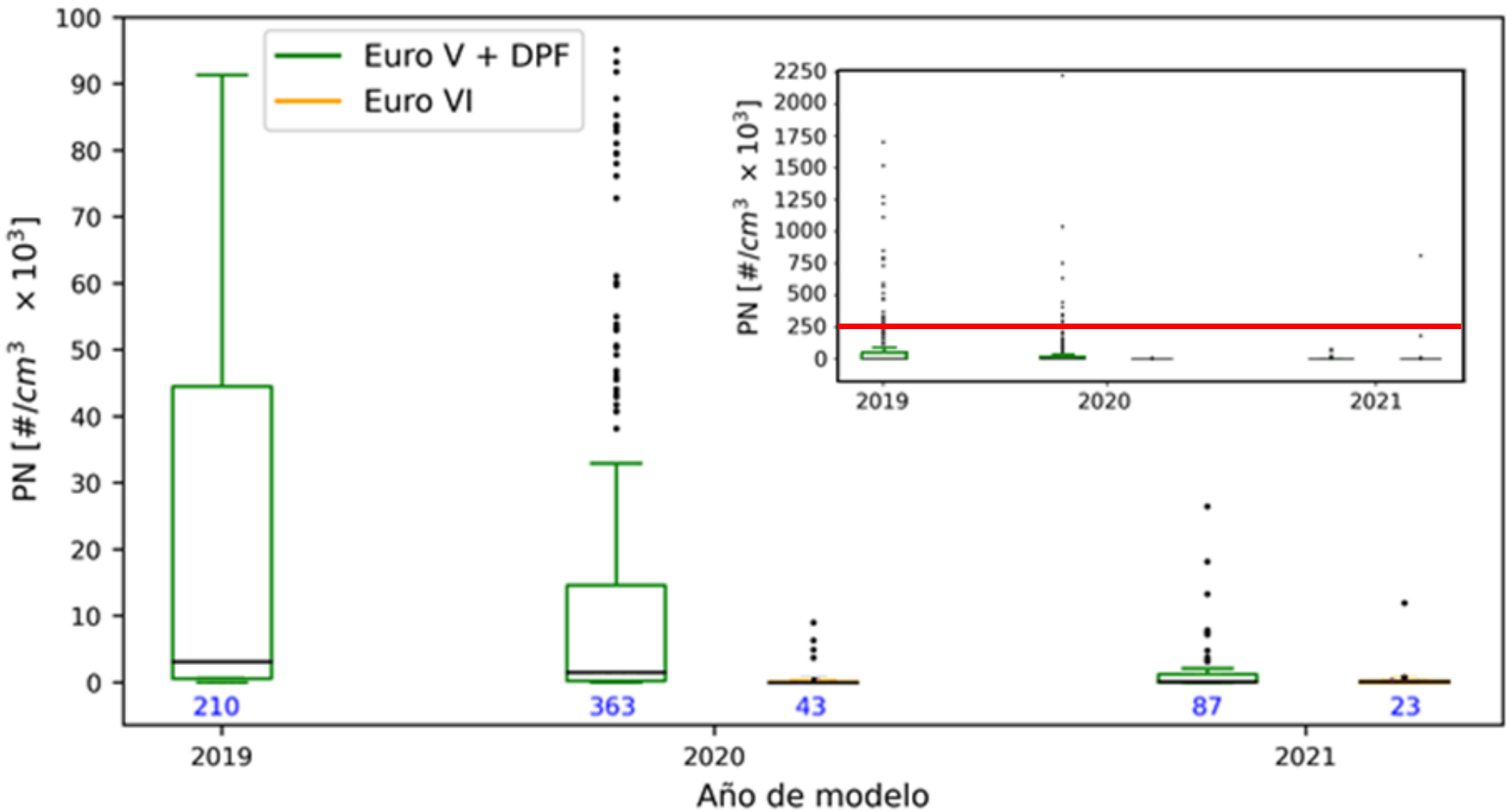


Tecnología	Total medidos	PN (#/cm ³ x 1000)				Modelos
		PN < 5	5 < PN < 250	250 < PN < 1000	PN > 1000	
Euro V + DPF	660	430 (65%)	191 (29%)	32 (5%)	7 (1%)	2019-2021
Euro VI Diésel	66	61 (92%)	4 (7%)	1 (1%)	-	2020-2021
Euro VI GNV	631	618 (98%)	13 (2%)	-	-	2019-2021
Total	1357	1109 (82%)	208 (15%)	33 (2.5%)	7 (0.5%)	2019-2021

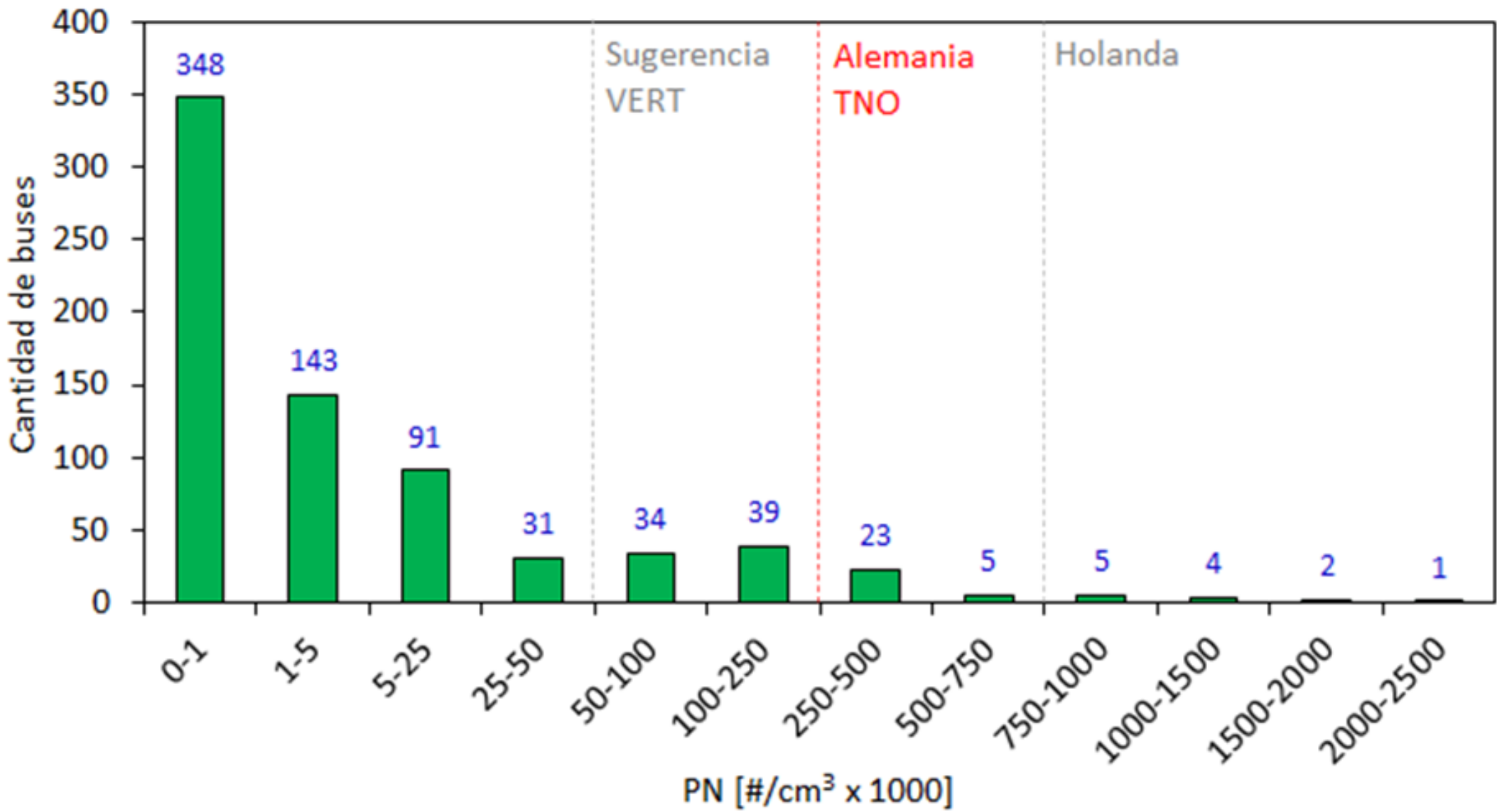
Sin DPF

Euro II	45	-	-	8 (18%)	37 (82%)	2004-2006
Euro III	2	-	-	2 (100%)	-	2007
Euro IV	13	-	-	4 (31%)	9 (69%)	2011-2012
Euro V	57	-	-	21 (27%)	36 (63%)	2012-2020
Total	117	-	-	35 (30%)	82 (70%)	2004-2020

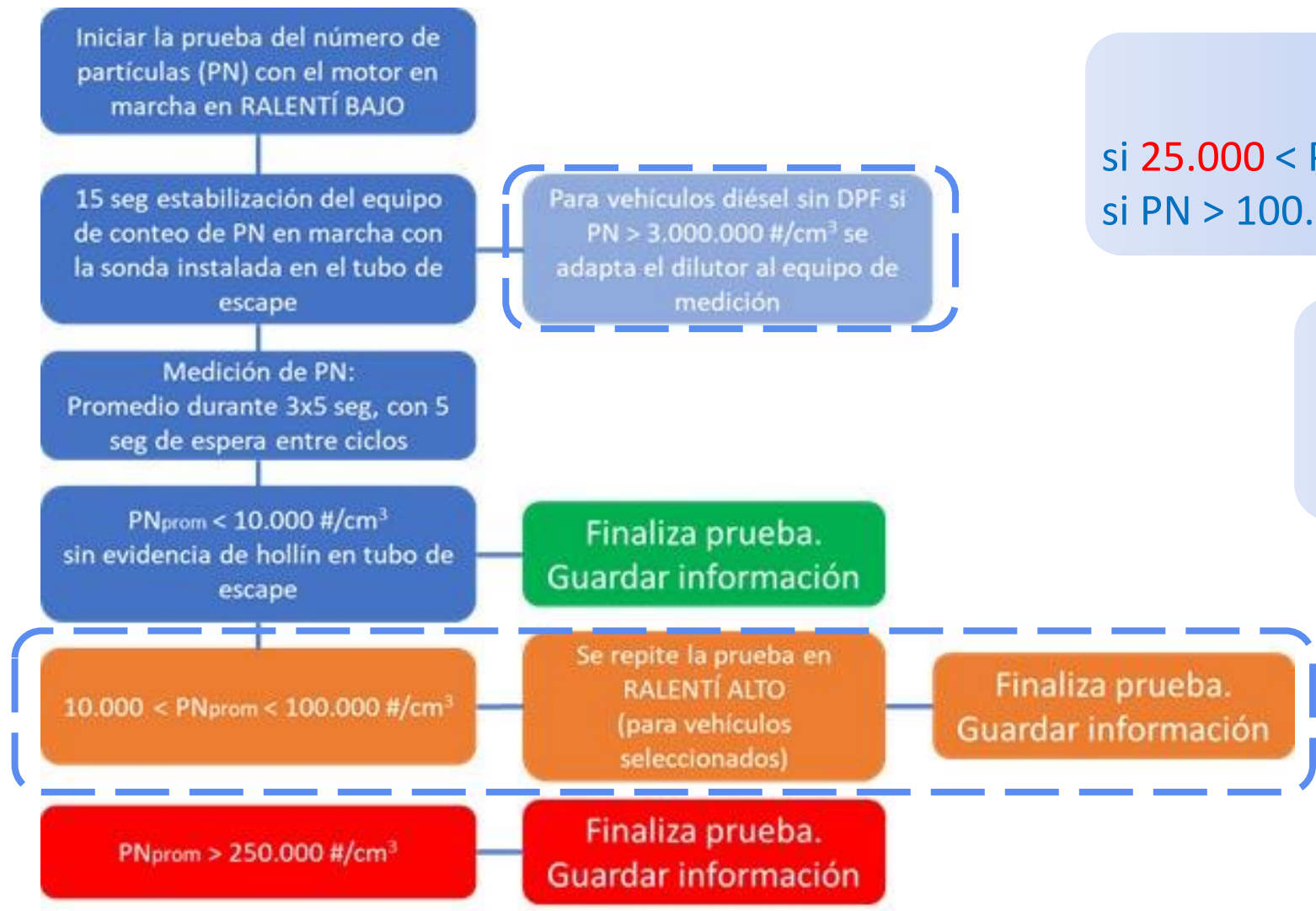
PN buses Diésel + DPF



PN buses Diésel + DPF



Nuevo procedimiento de prueba propuesto



RALENTÍ BAJO:
 si **25.000** < PN < 100.000 → Mantenimiento DPF
 si PN > 100.000 → **Fallo en DPF**

Eficiencia de un DPF ~ 99,9%
 $PN_{DPF} \leq PN_{amb} \sim 50.000$

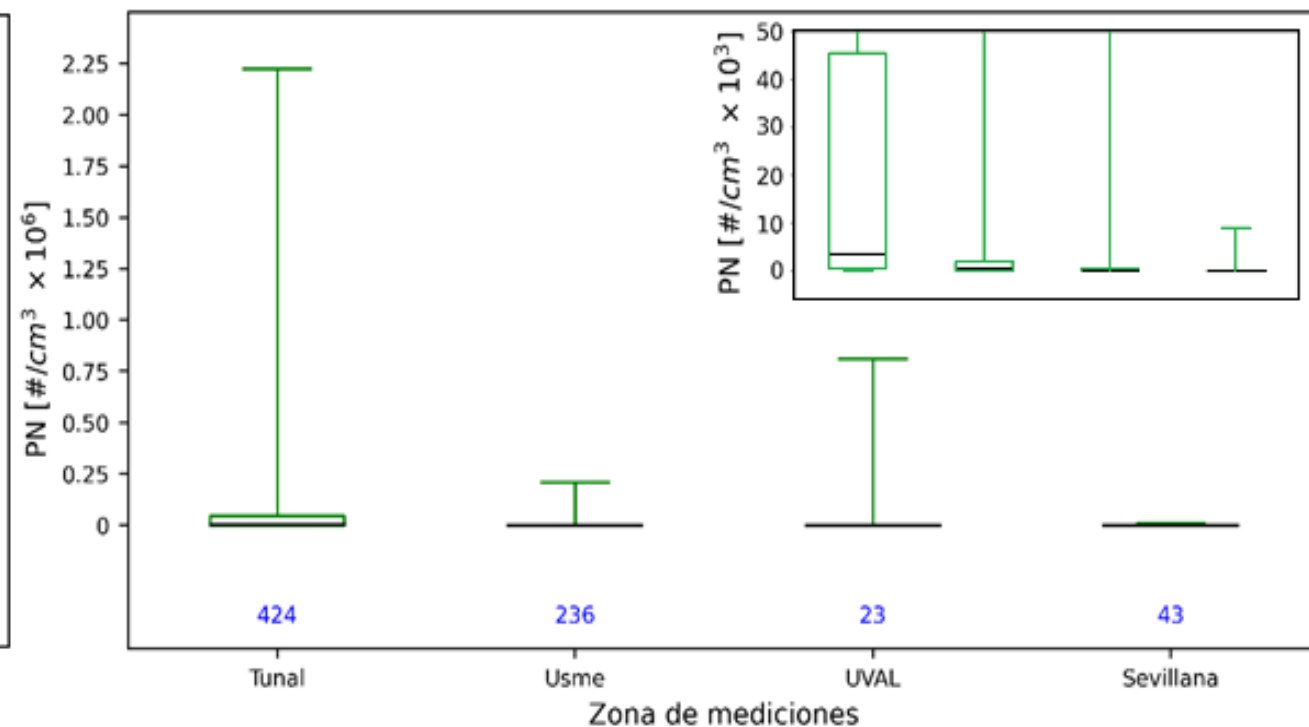
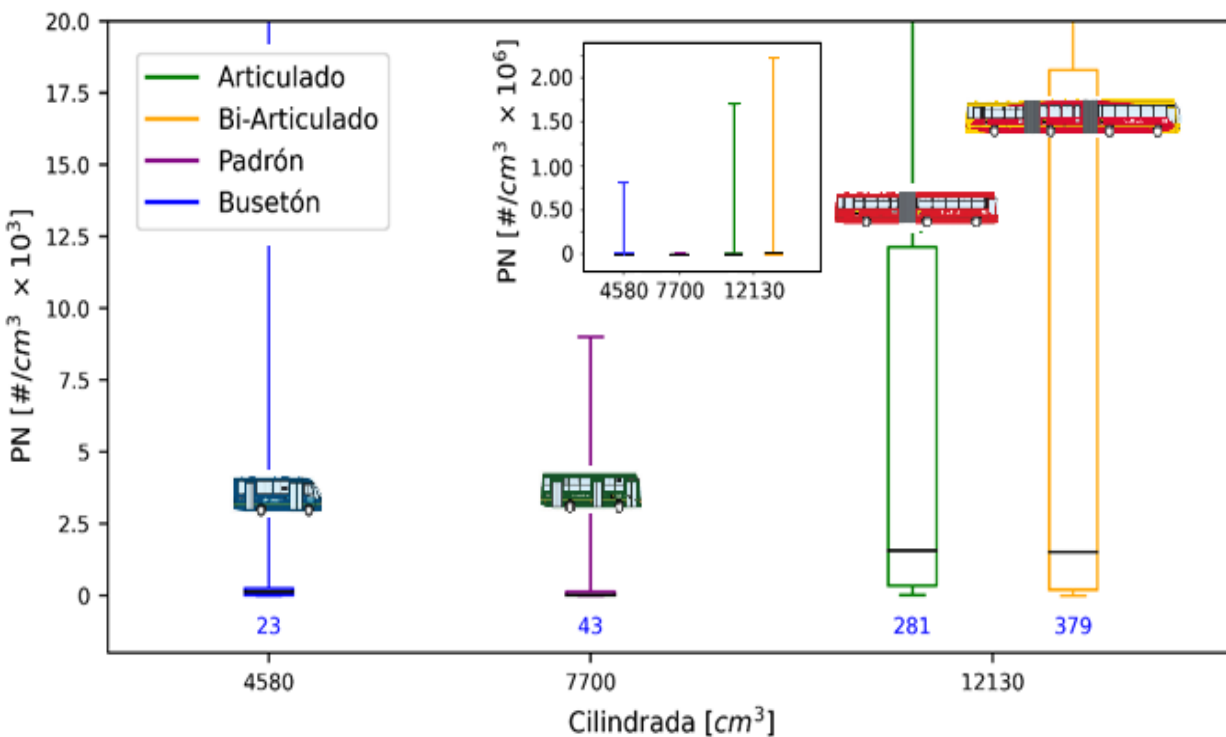


7 buses > 10.000 #/cm³ ¿? PN_{amb} < 5000 #/cm³

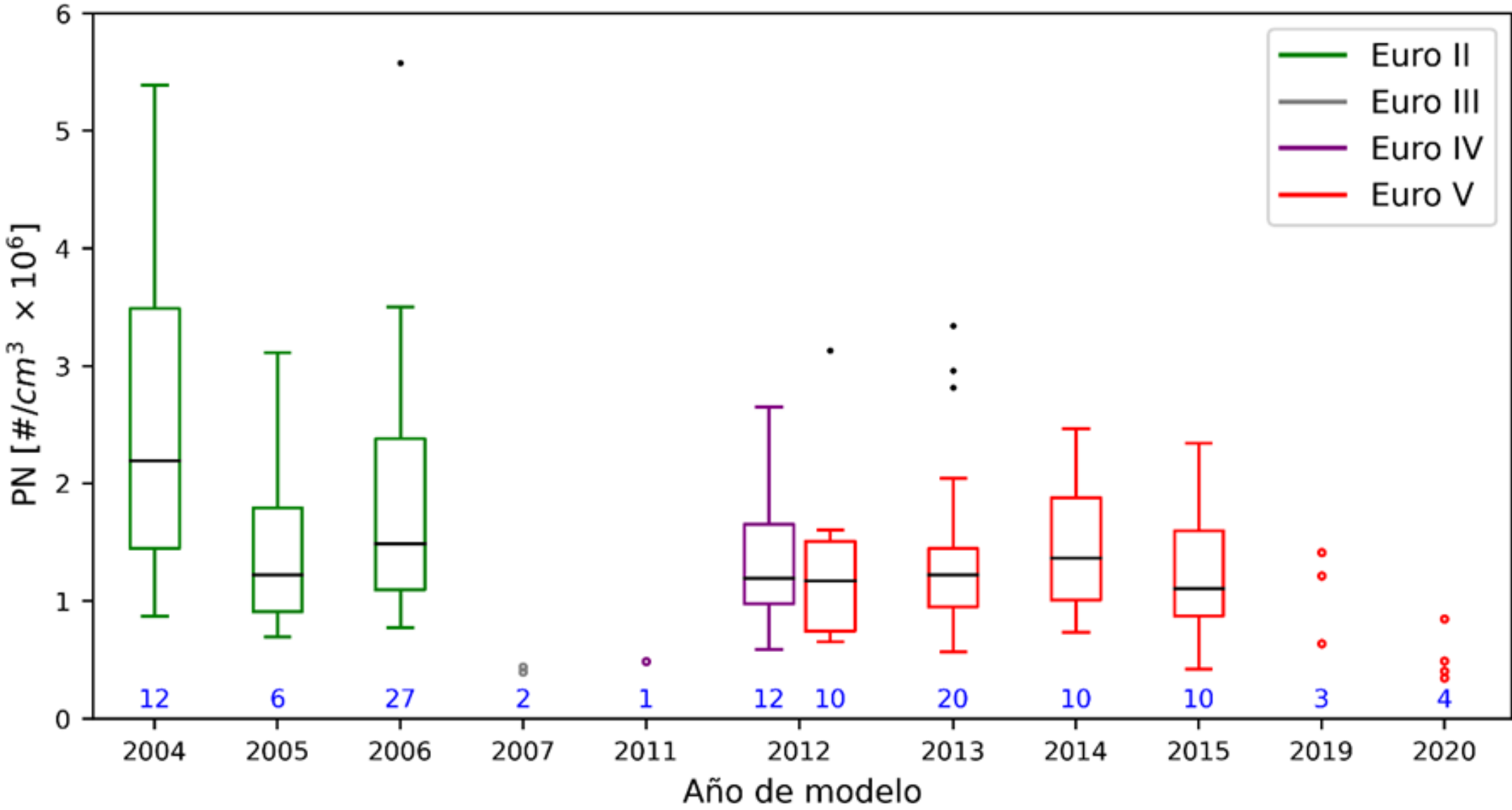
PN buses GNV

ID Bus	Modelo	Kilometraje	Tipo	PN (#/cm ³)
GNV 1	2020	72.172	Bi-articulado	13.264
GNV 2	2019	160.786	Articulado	13.447
GNV 3	2020	161.621		13.530
GNV 4	2020	161.432		13.468
GNV 5	2020	30.931	Padrón	11.955
GNV 6	2020	30.287		13.693
GNV 7	2020	27.845		29.589

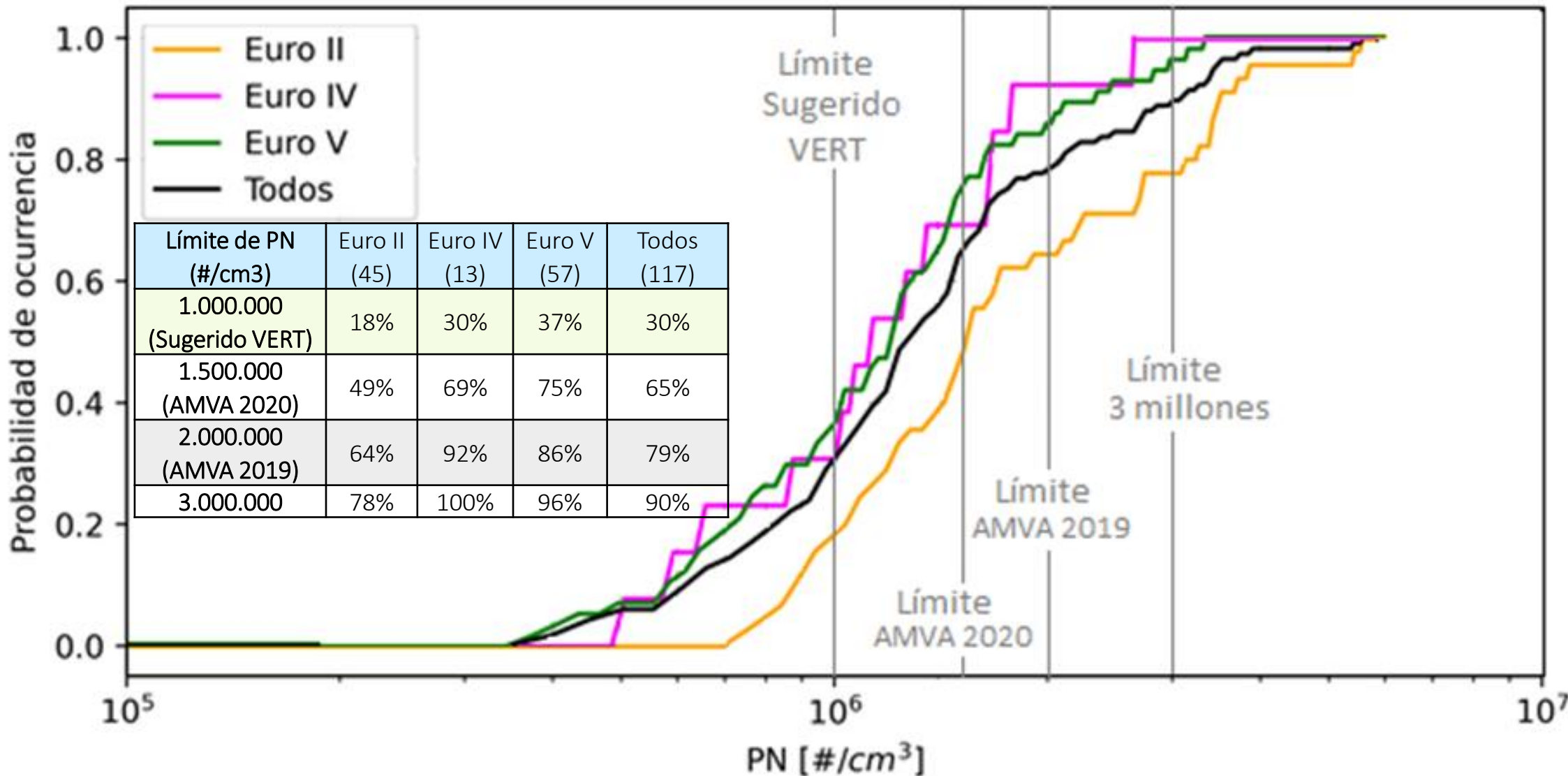
PN buses Diésel con DPF: cilindrada (tipología) y patio



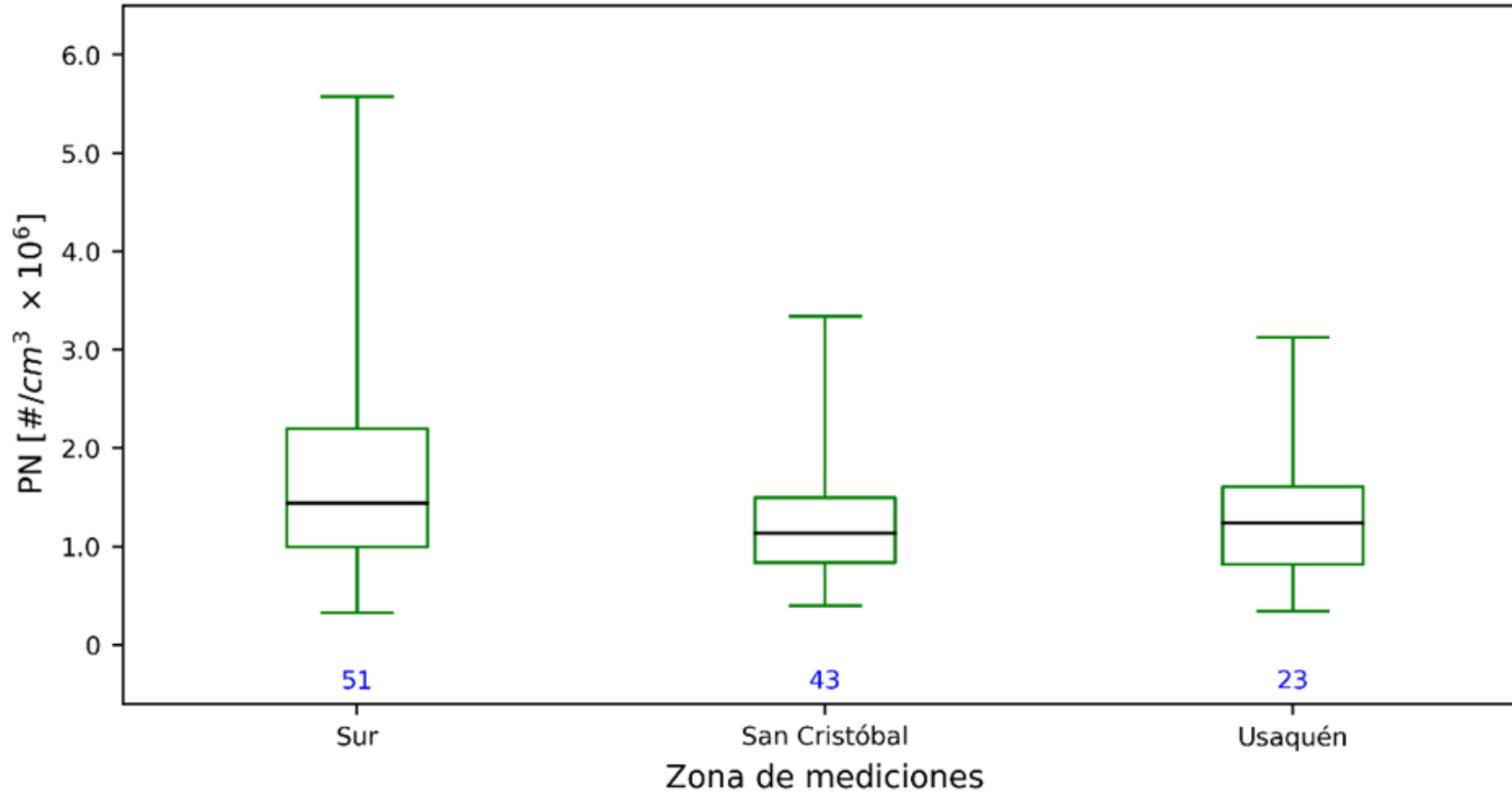
PN buses Diésel sin DPF



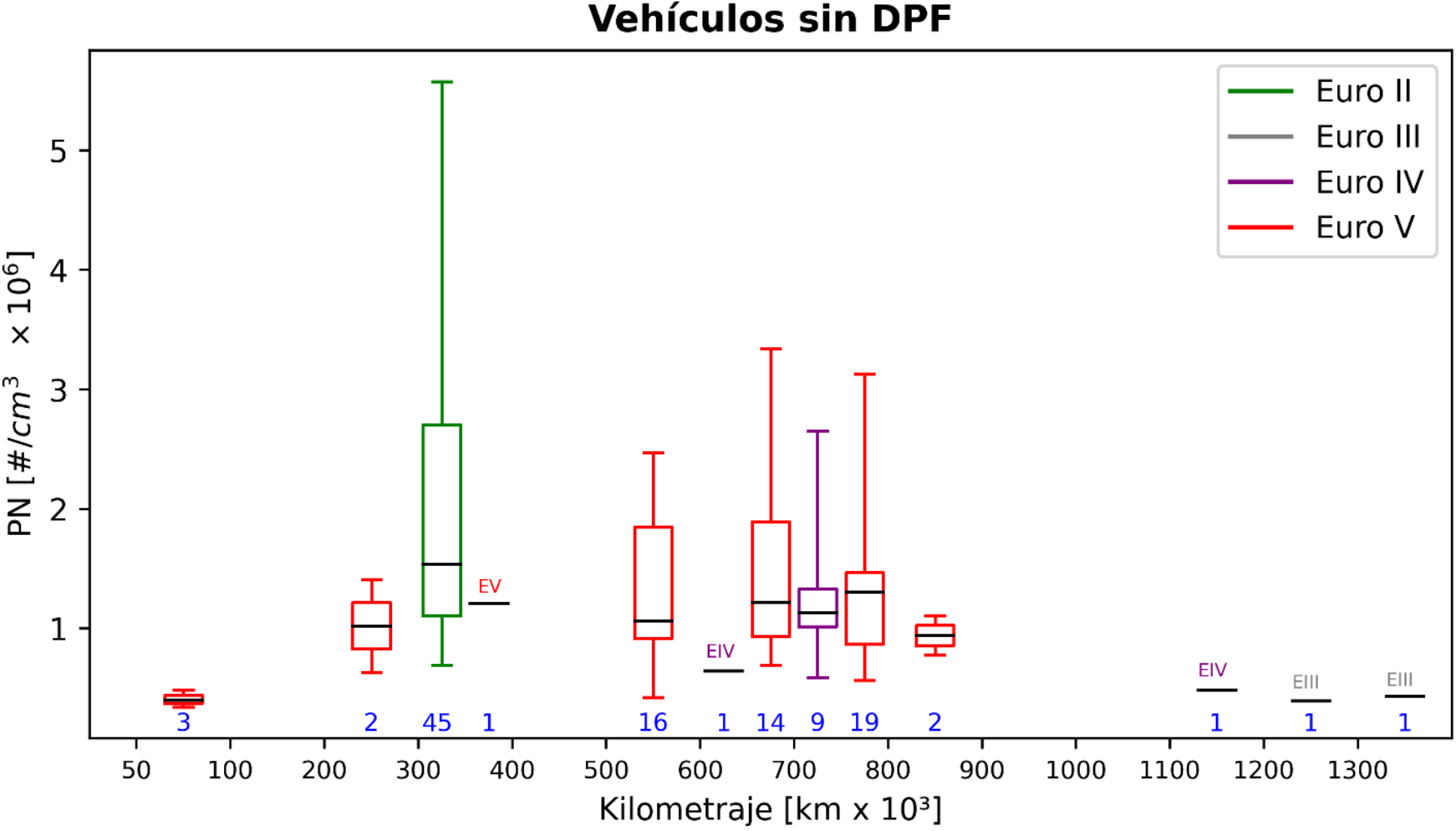
PN buses Diésel sin DPF



Buses Diésel sin DPF: patio



Buses Diésel sin DPF: kilometraje



PN buses Diésel sin DPF

Atmospheric Environment 107 (2015) 273–280

Contents lists available at ScienceDirect

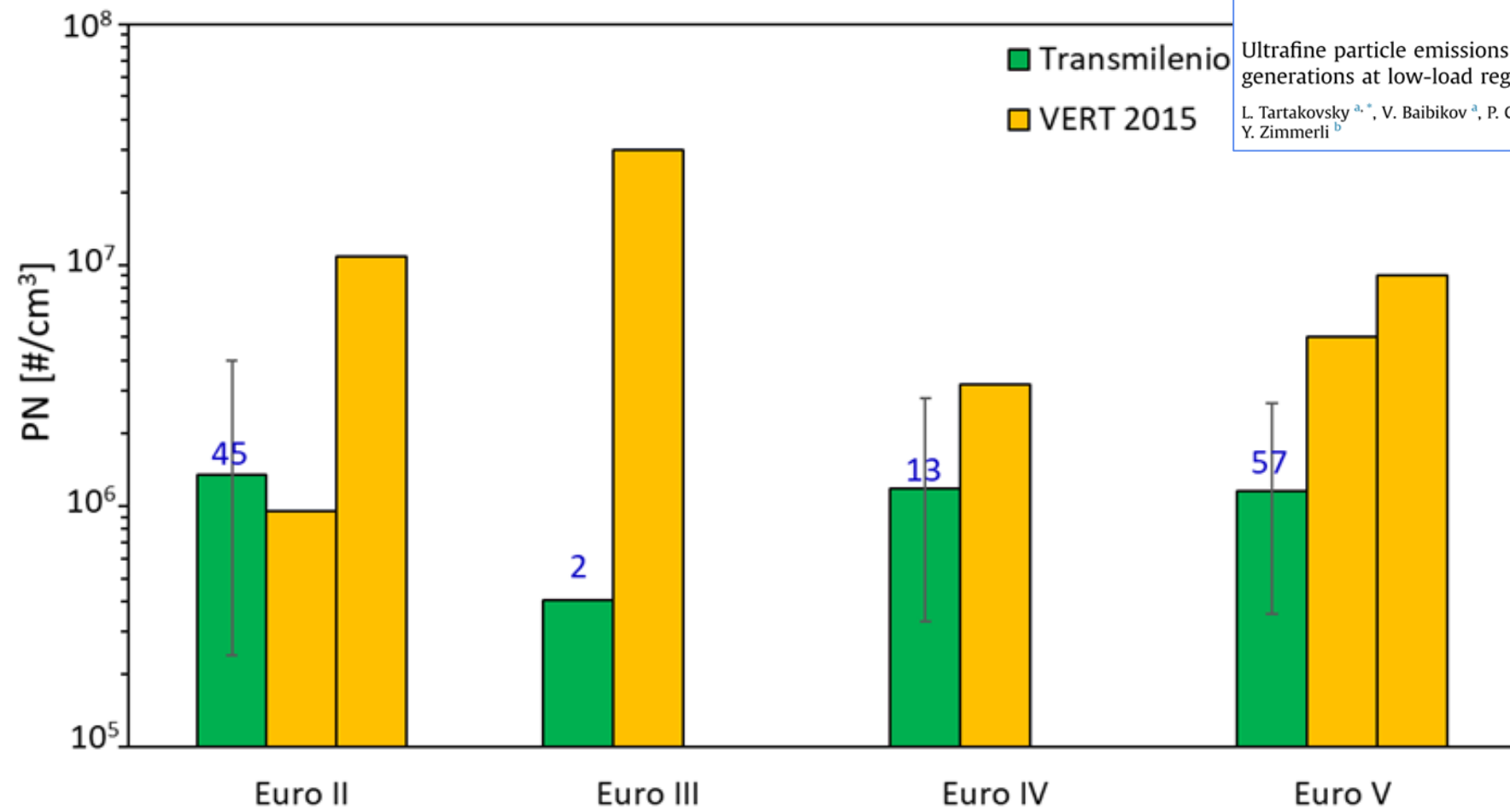
Atmospheric Environment

ELSEVIER journal homepage: www.elsevier.com/locate/atmosenv

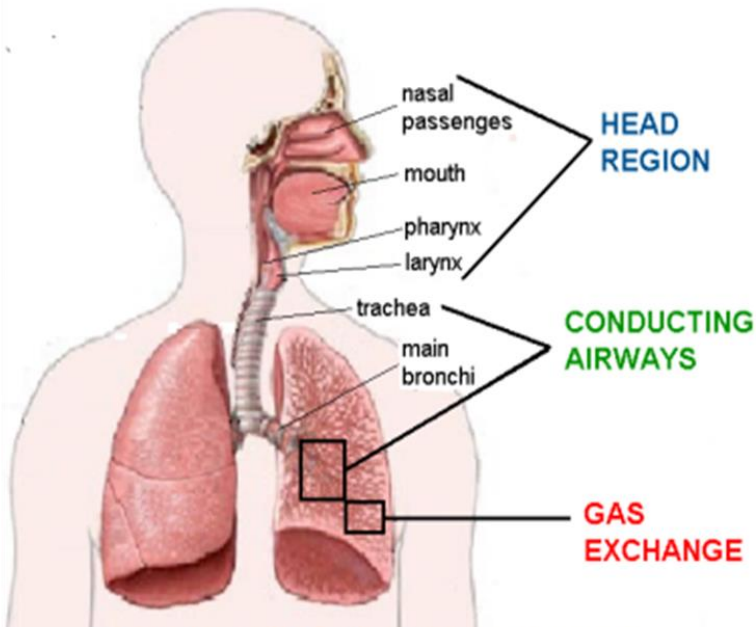
Ultrafine particle emissions by in-use diesel buses of various generations at low-load regimes

L. Tartakovsky ^{a,*}, V. Baibikov ^a, P. Comte ^b, J. Czerwinski ^b, A. Mayer ^c, M. Veinblat ^a, Y. Zimmerli ^b

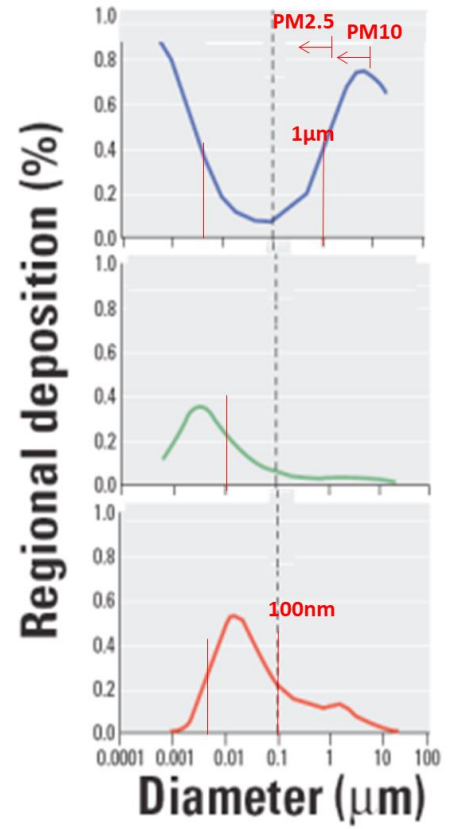
CrossMark



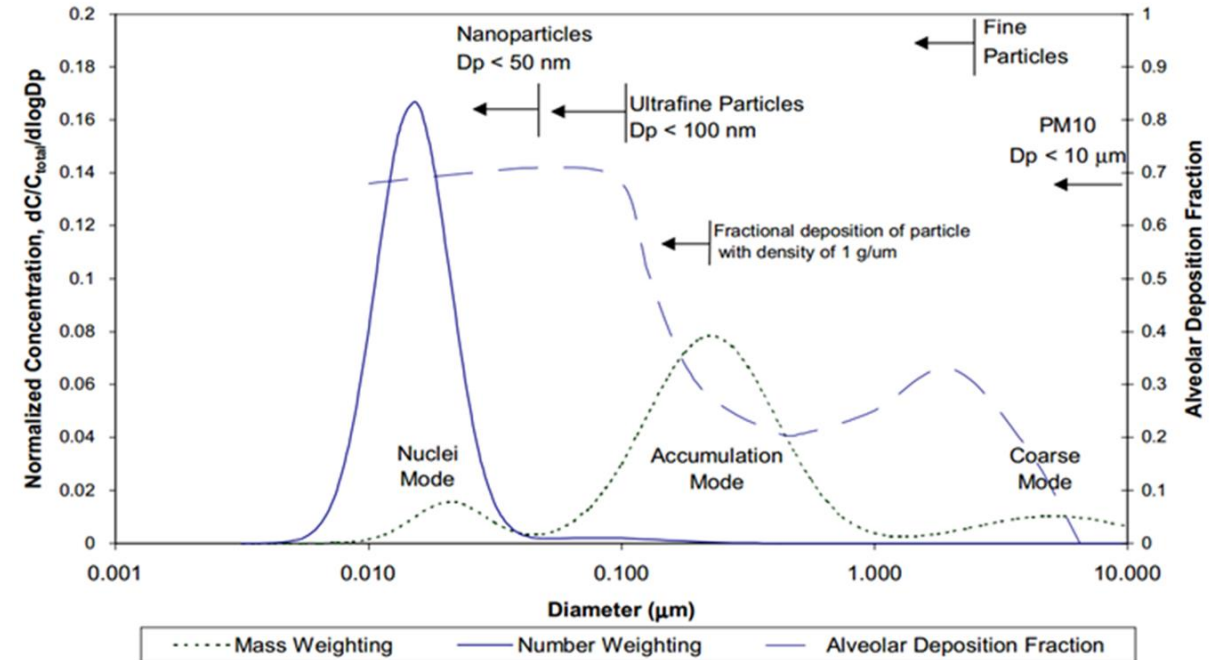
Deposición de partículas en sistema respiratorio



Fuente: Oberdörster et al 2005. *Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles*



Emisiones de escape de vehículos diésel



Fuente: Kittelson et al 1998. *Engines and nanoparticles: a review*