

La Teledetección en el control de las emisiones del tráfico: Lecciones del Proyecto CORETRA.

Manuel Pujadas ¹⁾, Aida Dominguez ¹⁾ y Josefina de la Fuente ²⁾

1) Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)
Departamento de Medio Ambiente



2) Remote Sensing Lab. (RSLab)



1. Introducción:

Aplicaciones ambientales de la Teledetección Remota Óptica (TDRO):

- Diagnóstico y vigilancia meteorológica
- Investigación y vigilancia atmosférica
- Oceanografía
- Climatología
- Geofísica
- Gestión de recursos naturales
- Contaminación de aguas (marinas y continentales)
- Control de emisiones a la atmósfera
- ...



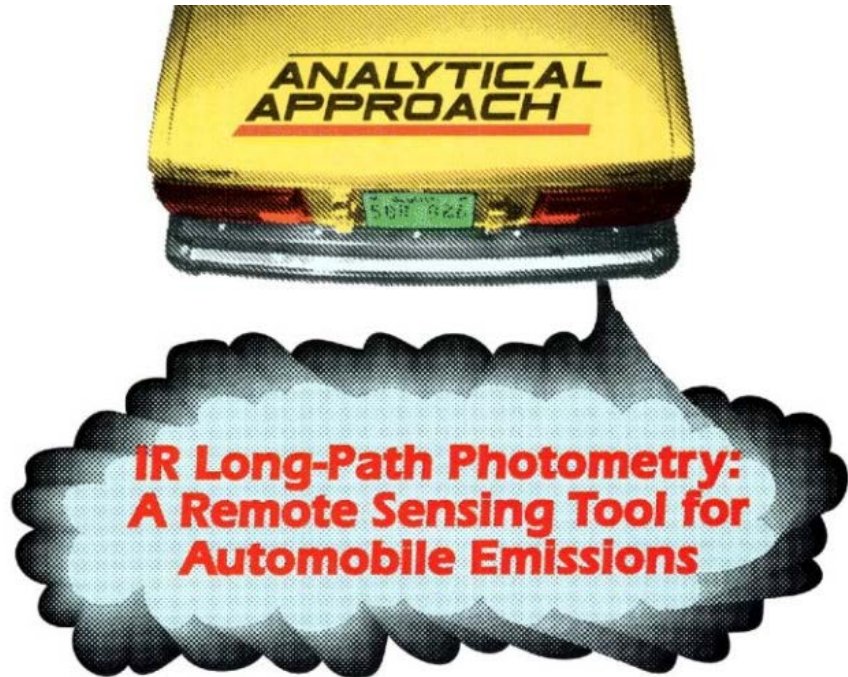
Aplicación específica: Detección, cuantificación y seguimiento de emisiones antrópicas.



TDRO aplicadas a la medida de emisiones de vehículos

1. Introducción:

1987 (Universidad de Denver, USA) :
desarrollo del primer sistema de
detección remota óptica aplicado a
la medida de emisiones de vehículos.



Gary A. Bishop, John R. Starkey,
Anne Ihlenfeldt, Walter J.
Williams, and Donald H. Stedman
Departments of Chemistry and Physics
University of Denver
Denver, CO 80208

Picture Los Angeles or New York City on a hot summer day. Few commuters can ignore the ever-present haze surrounding these cities caused by motor vehicles that emit carbon monoxide

sure all pollutants of concern; and be comprehensive enough to discourage testing bias.

From a scientific standpoint, it is essential that the first criterion be met. With this in mind, we undertook a new approach using an old technology to develop a long-path IR photometer that can remotely measure CO emissions from operating vehicles.

Current testing

Federal and state governments, along

The final result, given in grams of pollutant per mile, is a weighted average from the three phases. The driving course is modeled after a typical summertime (20 °C to 30 °C) commute to work in Los Angeles. Each test takes at least 12 h to complete and costs more than \$700. Precision of the results for a given vehicle is claimed to be $\pm 20\%$ (8) and is controlled mainly by the reproducibility of the automobile's emission system, not by the test system or gas analysis protocols.

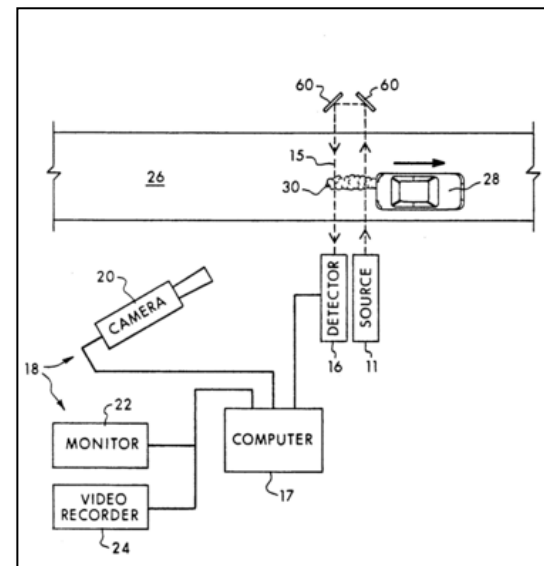
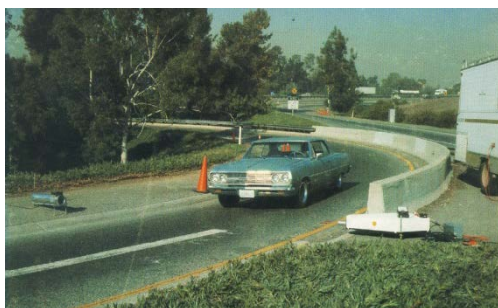
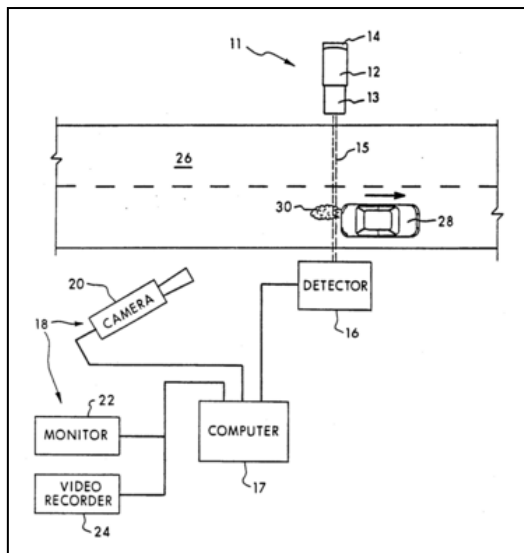
Gary A. Bishop, John R. Starkey, Anne Ihlenfeldt, Walter J. Williams and Donald H. Stedman
"IR Long-Path Photometry: A Remote Sensing Tool for Automobile Emissions"
Analytical Chemistry, **1989**, 61 (10), pp 671A–677A

1. Introducción:

“Apparatus for remote analysis of vehicle emissions”

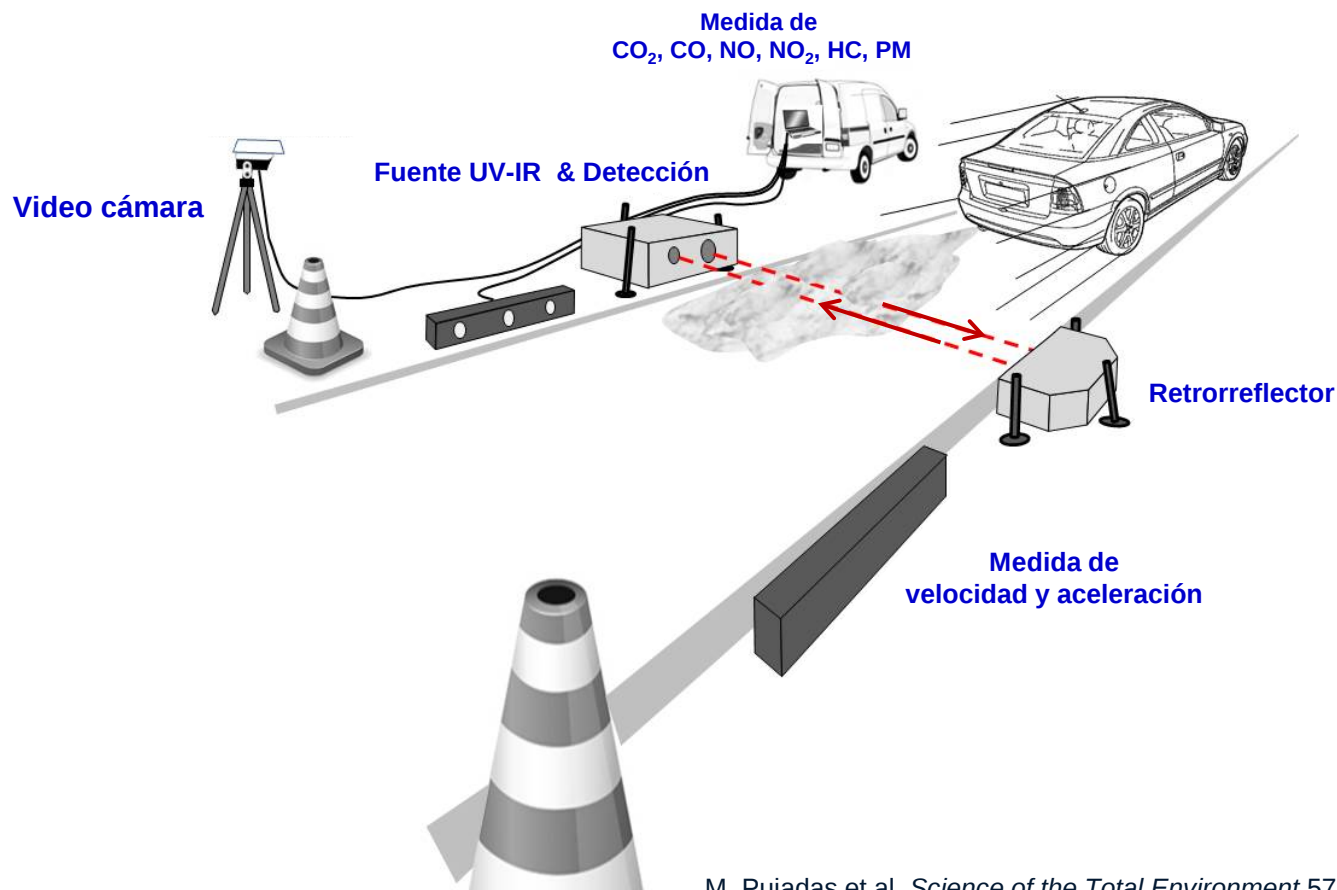
US Patents nº 5210702 A (1993) y nº 5319199 A (1994)

Inventores: Gary Bishop & Donald H. Stedman



2. El sistema RSD:

RSD (Remote Sensing Device): sistema de teledetección óptica que permite determinar las concentraciones medias de ciertos contaminantes en el penacho de gases producido por un vehículo en circulación normal.



M. Pujadas et al, *Science of the Total Environment* 576 (2017) 193–209

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.049>

2. El sistema RSD:



ESP AccuScan™ RSD4600

AccuScan™ (Environmental Systems Products Holdings Inc.)
www.rsd-remotesensing.com

RSD4600



Medida de emisiones :

- Ratios CO/CO_2
 NO/CO_2
 HC/CO_2
 PM/CO_2
- Plume size

Parámetros auxiliares :

- Velocidad y aceleración
- VSP (Vehicle Specific Power)
- Imagen (placa de matrícula)
- Parámetros meteorológicos

Cálculo:

masa contaminantes / kg combus.

3. Proyecto CORETRA :



Financiado por la Fundación Biodiversidad
y el CIEMAT (2014-2015)



Desarrollado por el CIEMAT



con la colaboración técnica de RS Lab



3.1 Objetivos CORETRA :



1º) Evaluación metrológica de la tecnología RSD.

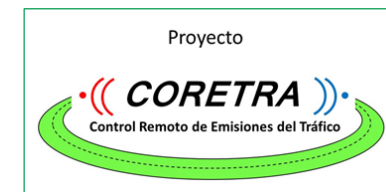
El equipo *AccuScan RSD4600* se toma como sistema representativo del estado del arte de las Técnicas de Detección Remota Óptica aplicadas a la medida de emisiones de vehículos.

2º) Estudio de las emisiones del parque circulante español en 2015.

El parque circulante de la Comunidad de Madrid se considera representativo del parque español.

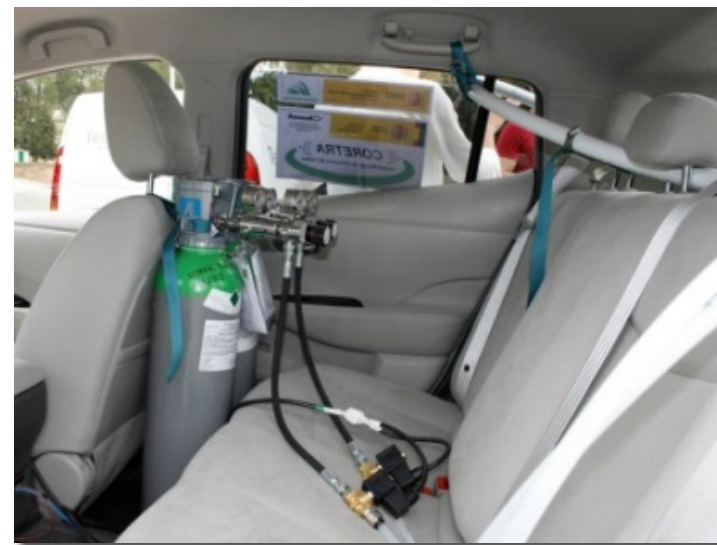
3.2 Resultados CORETRA :

Evaluación metrológica del equipo RSD4600



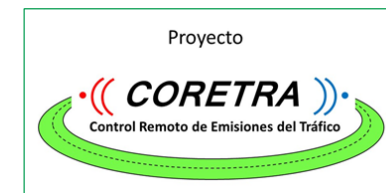
Estudio de la incertidumbre de las medidas de gases

- Generación de emisiones de referencia con Vehículo 100% eléctrico y botellas de gases patrón.



3.2 Resultados CORETRA :

Evaluación metrológica del equipo RSD4600



Estudio de la incertidumbre de las medidas de gases

- Generación de emisiones de referencia con Vehículo 100% eléctrico y botellas de gases patrón.
- 2 configuraciones de medida: ensayos dinámicos (*on-road*) y ensayos estáticos.

Ensayos *on-road*

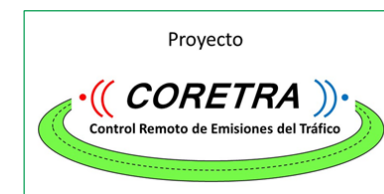


Ensayos estáticos



3.2 Resultados CORETRA :

Evaluación metrológica del equipo RSD4600

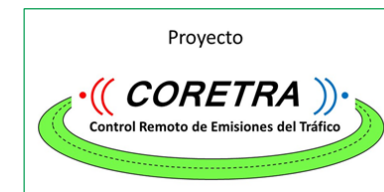


Estudio de la incertidumbre de las medidas de gases

NO/CO ₂	Mezcla 1			Mezcla 2			Mezcla 3		
Plume size	<20	20-40	>40	<20	20-40	>40	<20	20-40	>40
Nº de experimentos	74	155	92	65	108	70	146	203	78
Ratio Patrón (10 ⁻⁴)	479,38	479,38	479,38	165,00	165,00	165,00	36,05	36,05	36,05
Valor máximo (10 ⁻⁴)	628,78	621,59	557,11	201,78	178,54	172,53	52,15	44,01	43,77
Valor mínimo (10 ⁻⁴)	397,66	426,60	441,14	112,97	132,33	139,54	23,22	29,81	32,66
Media (10 ⁻⁴)	520,31	498,22	487,54	162,86	159,65	157,86	39,16	37,84	37,12
Mediana (10 ⁻⁴)	520,97	497,82	486,03	163,25	159,74	159,01	39,14	38,62	38,14
Desviación estándar (10 ⁻⁴)	38,63	29,73	25,97	15,40	8,55	7,11	3,90	2,37	1,97
Rango	231,12	194,99	115,97	88,81	46,21	32,99	28,93	14,20	11,10
Error sistemático	40,93	18,84	8,17	-2,14	-5,35	-7,14	3,11	1,78	1,07
Incertidumbre media (%)	7,42	5,97	5,33	9,45	5,36	4,50	9,96	6,26	5,31

3.2 Resultados CORETRA :

Evaluación metrológica del equipo RSD4600

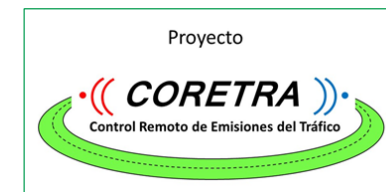


Estudio de la incertidumbre de las medidas de gases

CO/CO ₂	Mezcla 3			Mezcla 2			Mezcla 1		
Plume size	<20	20-40	>40	<20	20-40	>40	<20	20-40	>40
Nº de experimentos	146	203	78	65	108	70	74	155	92
Ratio Patrón	0,438	0,438	0,438	0,333	0,333	0,333	0,274	0,274	0,274
Valor máximo	0,531	0,474	0,450	0,389	0,370	0,349	0,316	0,297	0,291
Valor mínimo	0,382	0,370	0,375	0,322	0,313	0,320	0,260	0,257	0,258
Media	0,455	0,427	0,427	0,350	0,337	0,333	0,285	0,278	0,273
Mediana	0,460	0,434	0,430	0,350	0,335	0,333	0,283	0,278	0,273
Desviación estándar	2,87E-02	2,63E-02	1,78E-02	1,54E-02	1,18E-02	6,69E-03	1,26E-02	9,87E-03	6,97E-03
Rango	0,149	0,104	7,49E-02	6,69E-02	5,71E-02	2,92E-02	5,55E-02	4,07E-02	3,30E-02
Error sistemático	1,66E-02	-1,14E-02	-1,08E-02	1,70E-02	4,43E-03	4,36E-04	1,10E-02	3,96E-03	-1,47E-03
Incertidumbre media (%)	6,31	6,17	4,16	4,36	3,49	2,01	4,42	3,55	2,55

3.2 Resultados CORETRA :

Evaluación metrológica del equipo RSD4600

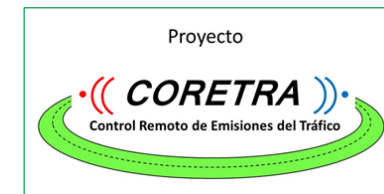


Estudio de la incertidumbre de las medidas de gases

HC/CO ₂	Mezcla 1			Mezcla 2			Mezcla 3		
Plume size	<20	20-40	>40	<20	20-40	>40	<20	20-40	>40
Nº de experimentos	74	155	92	65	108	70	146	203	78
Ratio Patrón (10 ⁻⁴)	101,98	101,98	101,98	100,40	100,40	100,40	99,83	99,83	99,83
Valor máximo (10 ⁻⁴)	140,41	125,94	115,64	148,20	133,39	109,63	155,63	124,10	109,63
Valor mínimo (10 ⁻⁴)	77,81	91,06	96,54	78,32	86,86	90,31	87,42	77,83	90,07
Media (10 ⁻⁴)	107,60	104,86	103,19	104,60	100,56	98,88	108,21	100,55	99,51
Mediana (10 ⁻⁴)	105,59	103,98	101,99	102,22	98,49	98,88	107,40	99,54	99,93
Desviación estándar (10 ⁻⁴)	11,94	6,83	3,96	15,02	7,89	3,35	11,25	6,79	4,14
Rango	62,59	34,88	19,10	69,88	46,54	19,32	68,21	46,27	19,56
Error sistemático	5,62	2,88	1,21	4,20	0,16	-1,52	8,38	0,73	-0,31
Incertidumbre media (%)	11,10	6,51	3,84	14,36	7,85	3,39	10,40	6,75	4,16

3.2 Resultados CORETRA :

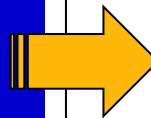
Evaluación metrológica del equipo RSD4600



Estudio de la incertidumbre de las medidas de gases

Se ha confirmado que la incertidumbre de las medidas de NO/CO₂, CO/CO₂ y HC/CO₂ se ajusta a la declarada por el fabricante del equipo RSD4600 :

10-15% en función del valor del Plume Size



The performance of the RSD4600 product will meet or exceed the following absolute and relative accuracy specifications:

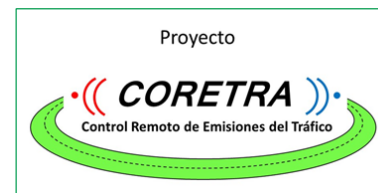
Static background conditions and mean value of CO₂ plume > 20 %-cm:

CO% / CO ₂ %	±0.007 or ±10%	of reading, whichever is greater
HC ppm / CO ₂ % (propane)	±6.6 or ±10%	of reading, whichever is greater
NO ppm / CO ₂ %	±10 or ±10%	of reading, whichever is greater

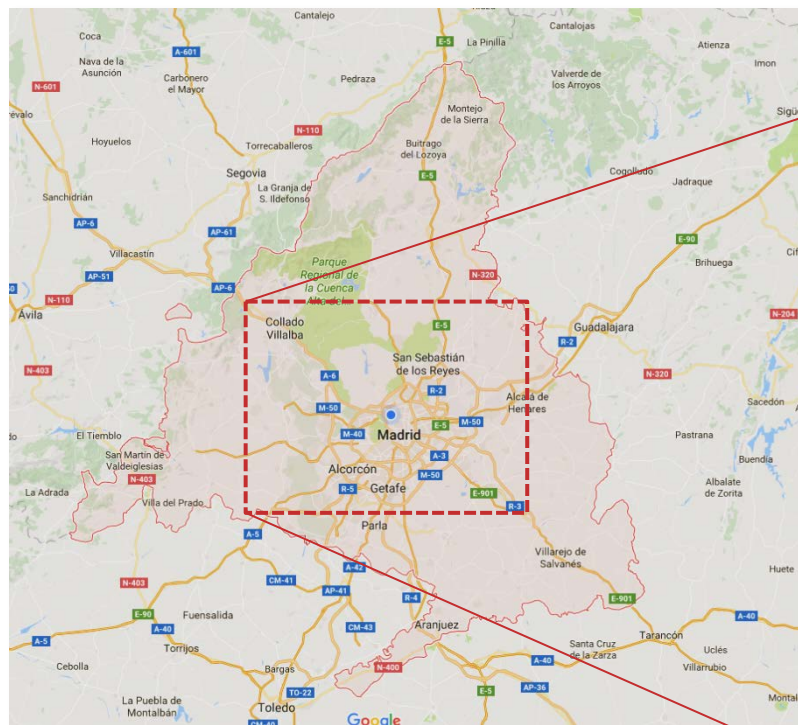
Static background conditions and mean value of CO₂ plume < 20 %-cm:

CO% / CO ₂ %	±0.015 or ±15%	of reading, whichever is greater
HC ppm / CO ₂ % (propane)	±10 or ±15%	of reading, whichever is greater
NO ppm / CO ₂ %	±10 or ±15%	of reading, whichever is greater

3.3 Resultados CORETRA : Estudio de las emisiones del parque circulante en 2015

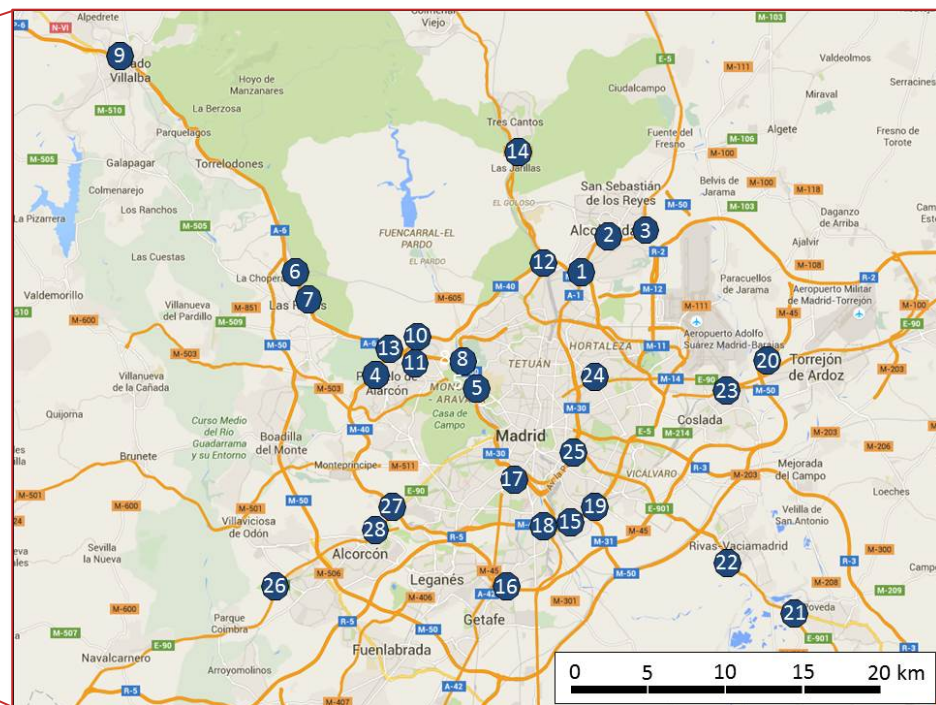


2 campañas de medida con RSD 4600 en carreteras de la Comunidad de Madrid.

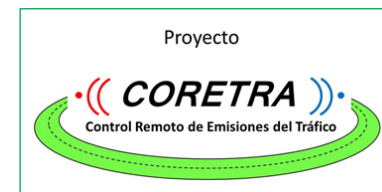


Comunidad de Madrid

28 emplazamientos utilizados para medidas de emisiones on-road



3.3 Resultados CORETRA : Estudio de las emisiones del parque circulante en 2015

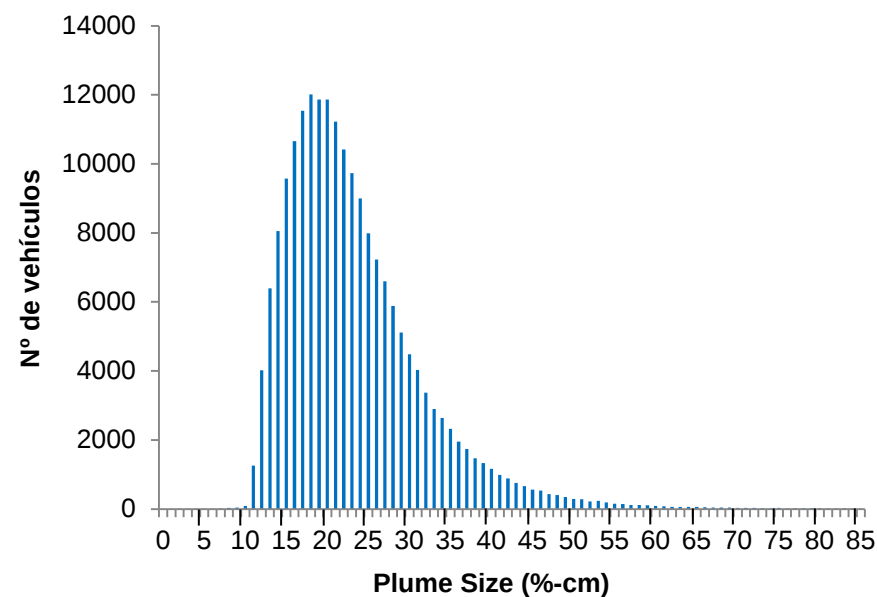
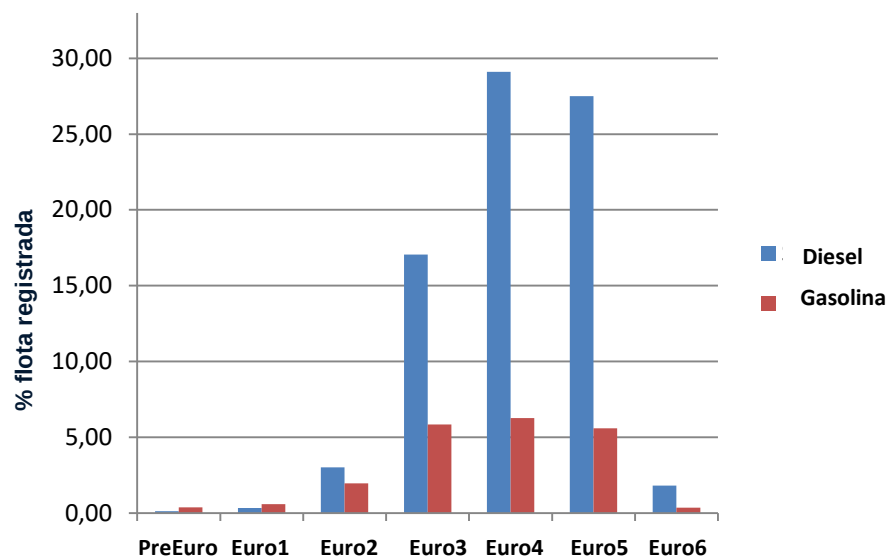
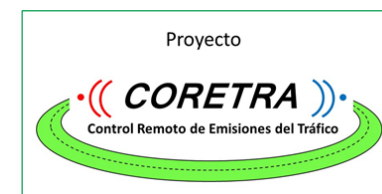


Trabajo de campo realizado por RS Lab-TechNet

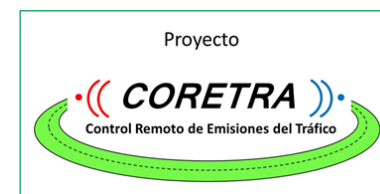
Nº de vehículos registrados :

- >194.000 total (turismos & furgonetas)
- >182.000 turismos
- >140.000 turismos individuales (sin repeticiones).

3.3 Resultados CORETRA : Estudio de las emisiones del parque circulante en 2015

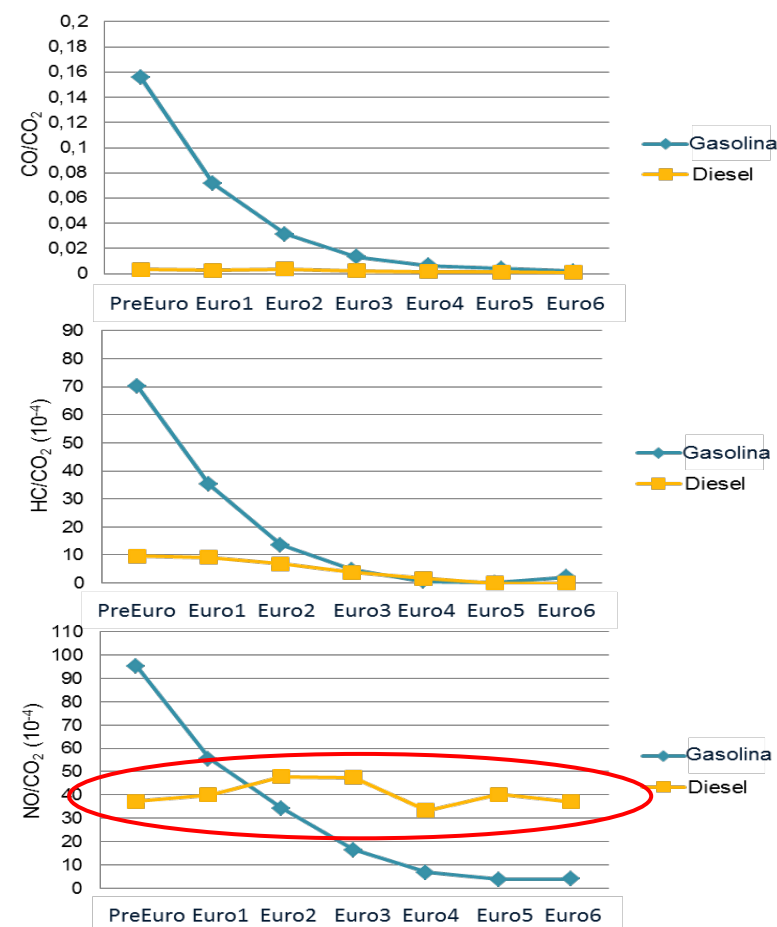


3.3 Resultados CORETRA : Estudio de las emisiones del parque circulante en 2015

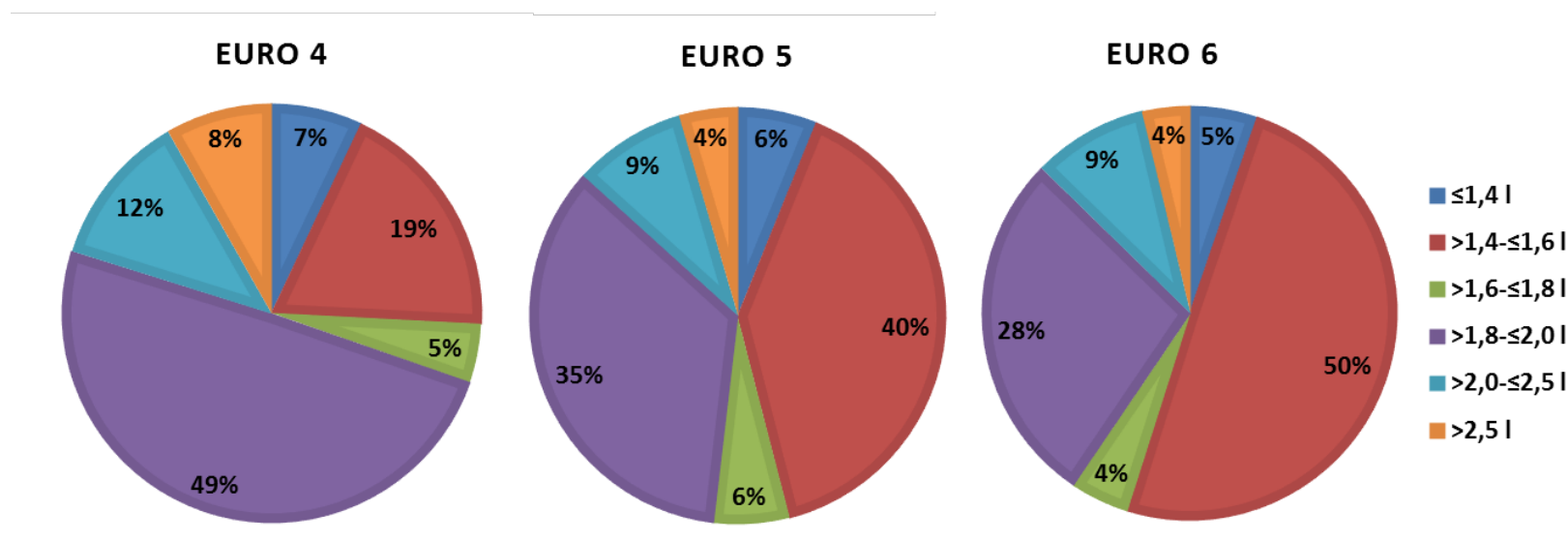
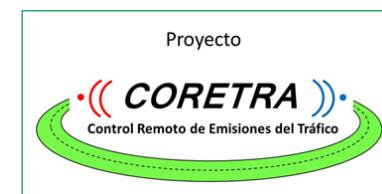


	Gasolina			Diésel		
	CO/CO ₂	HC/CO ₂ 10 ⁻⁴	NO/CO ₂ 10 ⁻⁴	CO/CO ₂	HC/CO ₂ 10 ⁻⁴	NO/CO ₂ 10 ⁻⁴
Pre-Euro	0,16	70,1	95,4	0,003	9,6	37,2
Euro 1	0,07	35,2	55,6	0,0028	9,1	40,1
Euro 2	0,03	13,6	34,2	0,0036	6,9	47,8
Euro 3	0,01	4,8	16,4	0,0024	3,8	47,5
Euro 4	0,007	0,5	6,6	0,0016	1,7	33,4
Euro 5	0,004	0,16	3,8	0,0014	0	40,2
Euro 6	0,002	2,06	3,9	0,0009	0	37

Valores medios de las ratios registradas

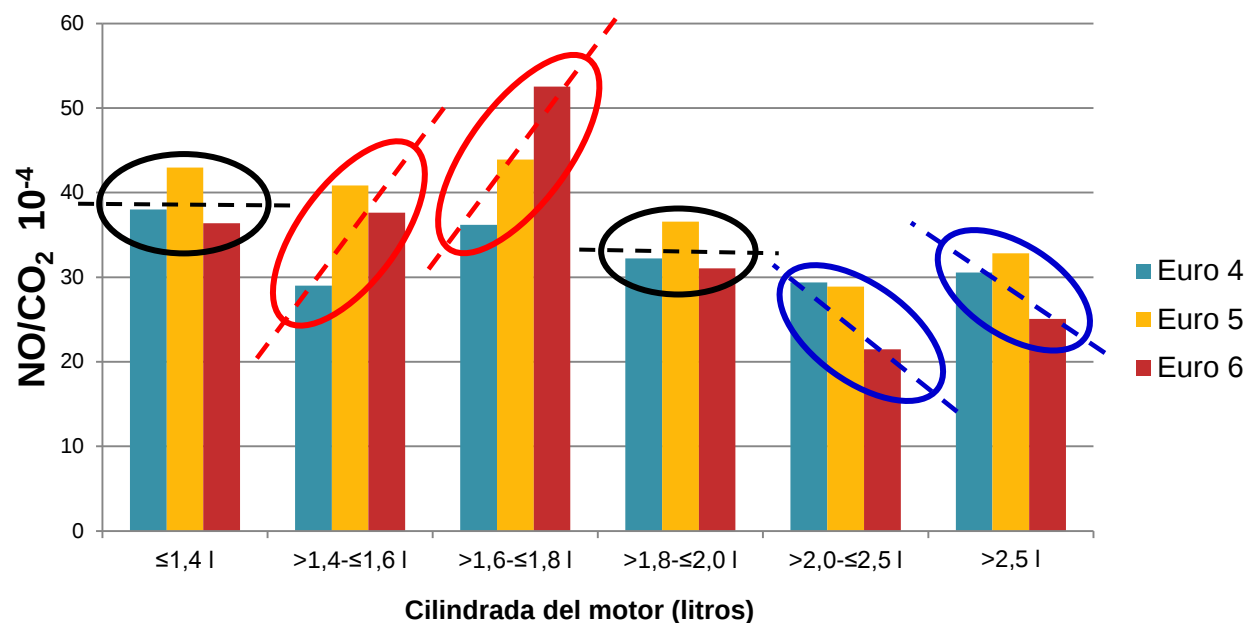
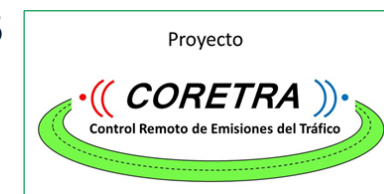


3.3 Resultados CORETRA : Estudio de las emisiones del parque circulante en 2015

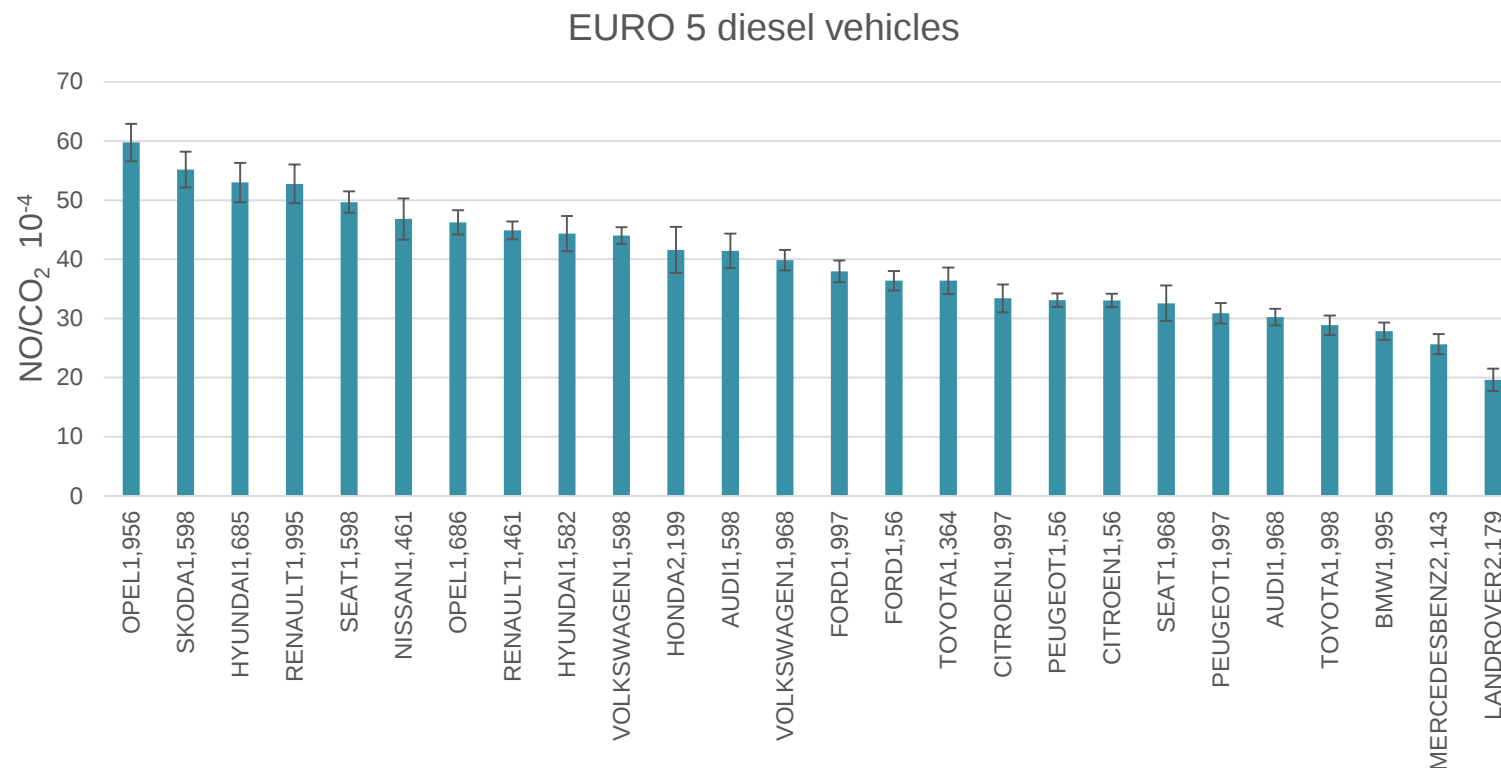
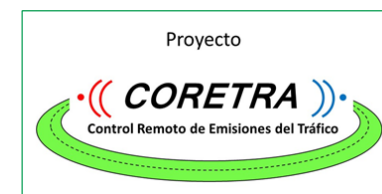


Distribución (%) de la cilindrada del motor de los turismos registrados vs normativa Euro 4, 5 y 6

3.3 Resultados CORETRA : Estudio de las emisiones del parque circulante en 2015



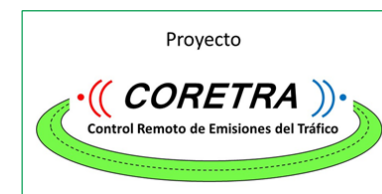
3.3 Resultados CORETRA : Estudio de las emisiones del parque circulante en 2015



M. Pujadas et al, *Science of the Total Environment* 576 (2017) 193–209

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.049>

3.3 Resultados CORETRA : Estudio de las emisiones del parque circulante en 2015



Límites fijados para considerar a un vehículo **Alto Emisor**: $\text{NO}/\text{CO}_2 = 88 \cdot 10^{-4}$; $\text{HC}/\text{CO}_2 = 80 \cdot 10^{-4}$; $\text{CO}/\text{CO}_2 = 0,18$

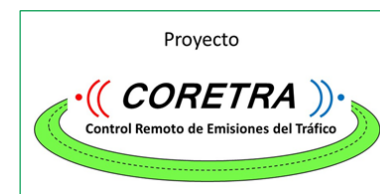
Distribución de los vehículos M1 Altos Emisores (casos con Plume Size >20 y $2 < \text{VSP} < 20$)

101427 vehículos analizados

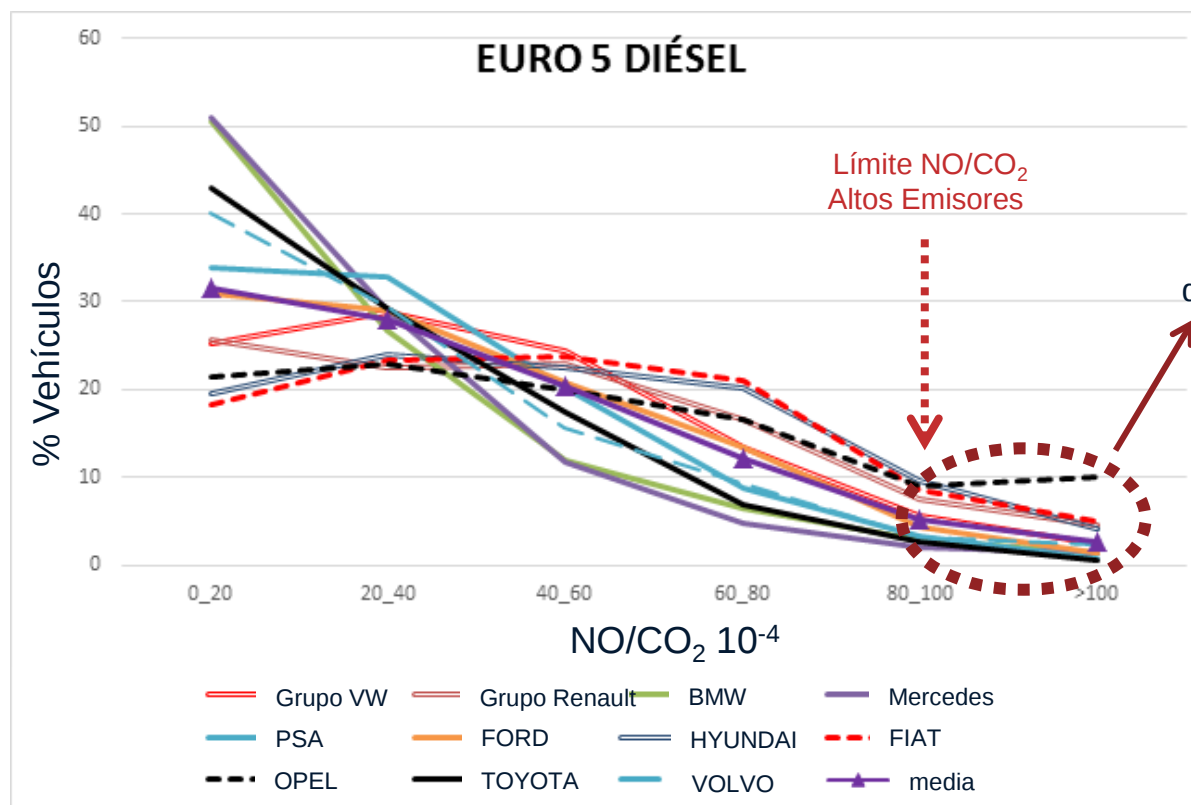
		Nº de vehículos	Nº Altos Emisores	Por límite CO/CO_2	Por límite HC/CO_2	Por límite NO/CO_2	% Altos Emisores
Diésel	Pre Euro	39	2	0	0	2	5,13
	Euro 1	136	9	0	2	7	6,62
	Euro 2	2113	150	1	4	148	7,10
	Euro 3	15005	913	8	6	901	6,08
	Euro 4	31120	845	29	26	792	2,72
	Euro 5	28693	1640	26	45	1572	5,72
	Euro 6	1810	103	1	1	101	5,69
Gasolina	Pre Euro	255	115	8	15	107	45,1
	Euro 1	497	136	10	25	116	27,4
	Euro 2	1787	228	21	32	189	12,8
	Euro 3	6099	329	27	61	252	5,39
	Euro 4	7112	152	15	39	101	2,14
	Euro 5	6334	109	4	52	56	1,72
	Euro 6	427	11	0	6	5	2,58

el 35% de los Altos Emisores
¡¡ son Euro 5 diésel !!

3.3 Resultados CORETRA : Estudio de las emisiones del parque circulante en 2015



Análisis de las medias de NO/CO₂ registradas en turismos (vehículos M1) Euro 5 diésel según marcas.



4. Conclusiones:

- Las Técnicas de Detección Remota Óptica (TDRO), como el sistema RSD, permiten realizar medidas no intrusivas de las emisiones instantáneas de vehículos en tráfico real y son indóneas para evaluar grandes flotas en poco tiempo.
- El proyecto CORETRA ha permitido evaluar la incertidumbre de las medidas del equipo AccuScan RSD4600 confirmando que se encuentra en el rango del 10-15%.
- El estudio del comportamiento emisor del parque circulante español con más de 190.000 vehículos registrados ha permitido detectar grandes diferencias entre las evoluciones temporales de las emisiones de los turismos gasolina y diésel desde la implantación de las normativas Euro.
- Los turismos con motores diésel Euro 4, 5 y 6 muestran una dispersión significativa de las emisiones según modelos y fabricantes, de tal modo que en los últimos 10 años las emisiones reales de NO (y por tanto de NOx) de estos vehículos apenas han variado con las nuevas normas Euro, habiendo empeorado en ciertas motorizaciones.
- Las TDRO permiten detectar e identificar con fiabilidad la existencia de vehículos Altos Emisores (AE), lo que puede complementar los planes y procedimientos de inspección y mantenimiento de vehículos actualmente implantados y ayudar a mejorar sus resultados.
- Las TDRO pueden ser eficaces herramientas de gestión ambiental y energética al permitir una comprobación experimental de los efectos reales de la aprobación de nuevos límites de emisión, de la introducción de nuevas tecnologías de reducción de emisiones, etc., evitando ciertos inconvenientes derivados de otro tipo de controles de las emisiones de vehículos.
- Con un marco legislativo adecuado, el empleo de TDRO ayudaría a localizar AE y a forzar su corrección. Esto permitiría de un modo efectivo reducir el volumen de emisiones del parque circulante y contribuiría a mejorar la calidad del aire, objetivo final de este tipo de acciones.

¡Muchas gracias por su atención!

