



ESTADO DE LA TECNOLOGÍA EN MOTORES DE EXPLOSIÓN: CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES.

COLABORA:



José Luis San Román García

Catedrático

Director del ISVA



600.000 AÑOS DESPUÉS



José Luis San Román García

MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS
AUTOMÓVILES. DE LA HOMOLOGACIÓN A LA INSPECCIÓN TÉCNICA.



José Luis San Román García

MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS
AUTOMÓVILES. DE LA HOMOLOGACIÓN A LA INSPECCIÓN TÉCNICA.

El motor de combustión interna

Los vehículos de combustión interna (VCI) poseen rendimientos termodinámicos inferiores al 30%

- ¡¡ Se despilfarra un recurso estratégico !!
- ¡¡ Se aumenta nuestra dependencia energética !!



- ¡¡ Se contamina el aire !!

El motor de combustión interna

En su interior se produce una **combustión** y unos **gases a alta presión y temperatura** que producen el **movimiento del motor**.



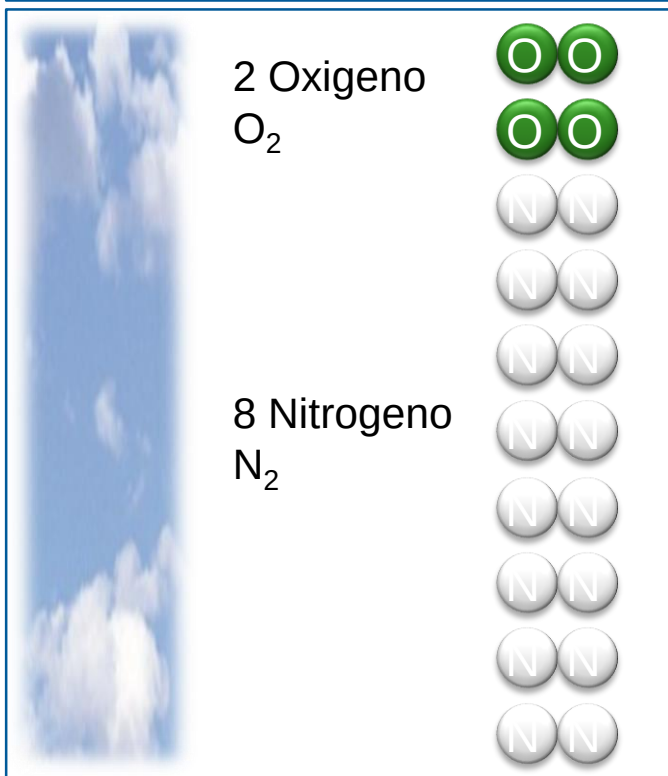
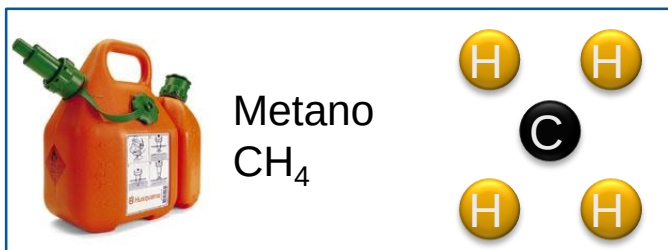
En un motor, en una **combustión ideal**, se produciría: **anhídrido carbónico** (CO₂) y **agua** (H₂O).

En el escape se encuentra **nitrógeno**, procedente del aire, en su mayor parte sin ninguna transformación en el motor.

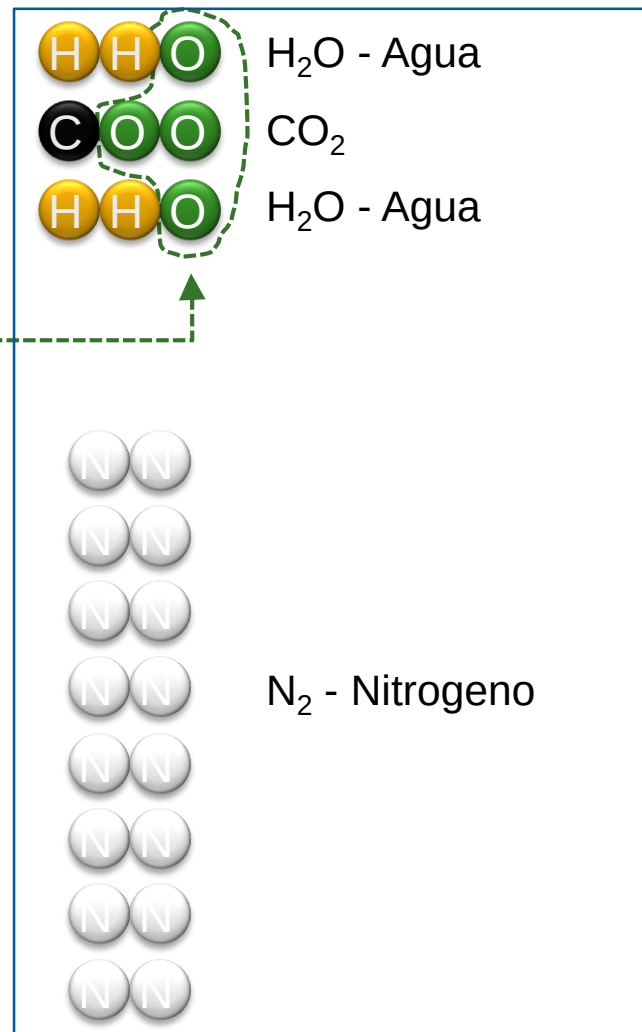
En los motores reales se producen también **emisiones contaminantes**.

El motor de combustión interna

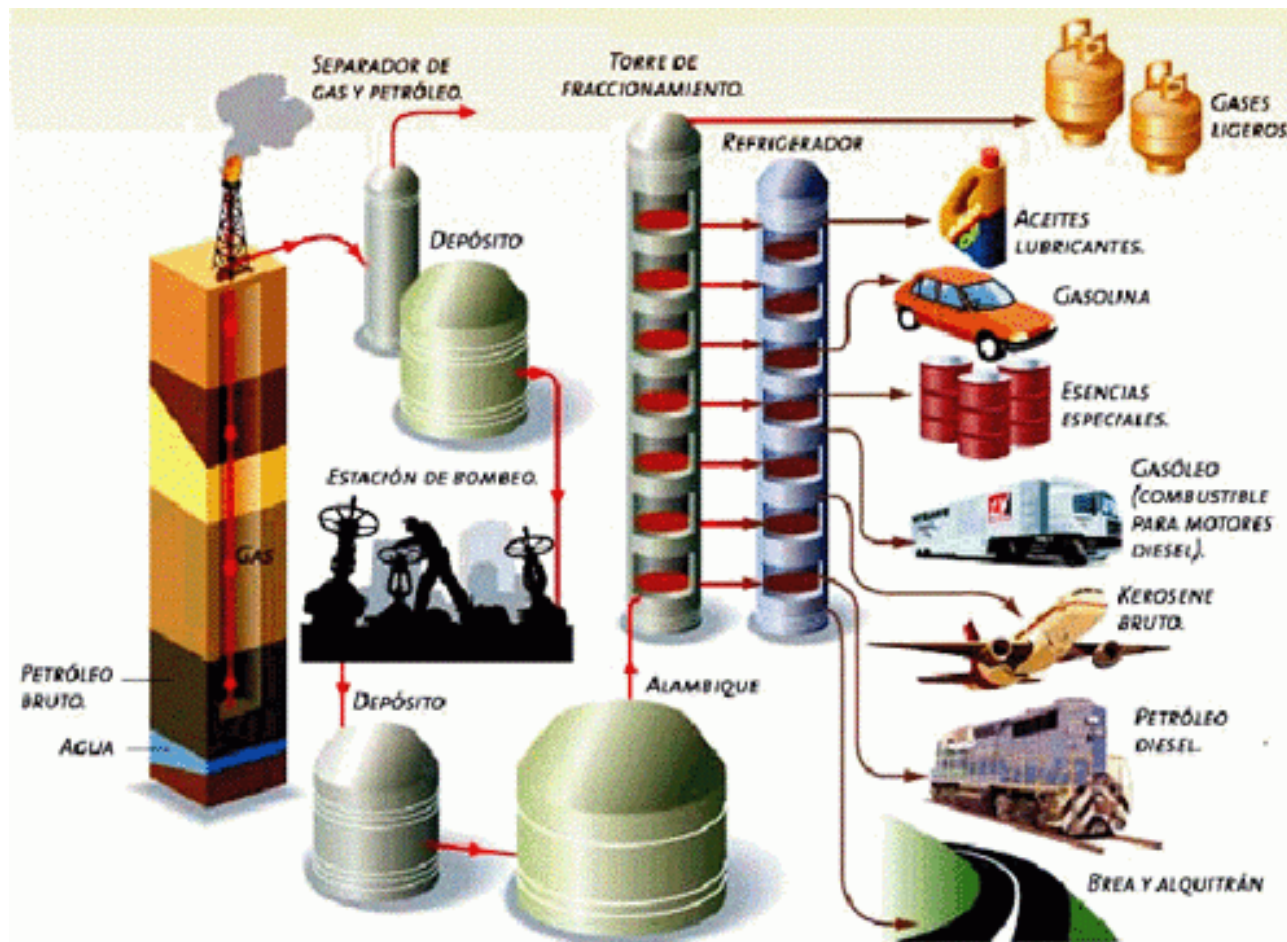
Aire y combustible



Emisiones

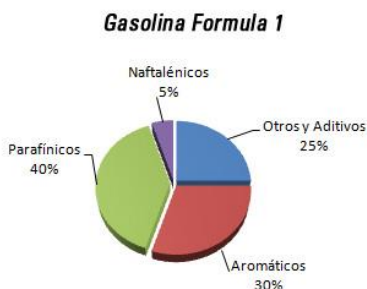
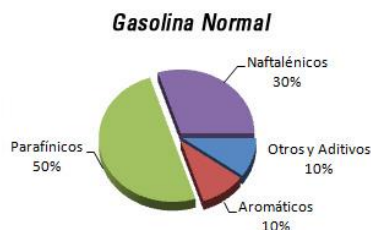


El motor de combustión interna: CARBURANTE

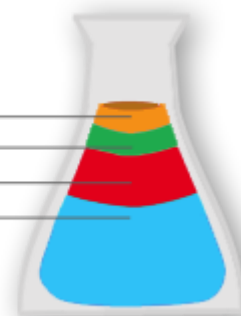


El motor de combustión interna: **CARBURANTE**

GASOLINA: amplio grupo de compuestos hidrocarbonados, cuyas cadenas contienen hasta **10 átomos de carbono**. Puede contener casi todos los compuestos hidrocarbonados que sean teóricamente posibles: *parafinas, cicloparafinas, ciclohexánicas, ciclobencénicas,...*



ANTIEMULSIONANTES
MODIFICADOR DE FRICCIÓN
ANTICORROSIVOS
DETERGENTES



GASOIL: compuestos hidrocarbonados con mayor número de átomos de C en la cadena (**C₁₅-C₂₅**). Compuestos principales van a ser los de la fracción parafina; en concreto predominan los compuestos parafínicos con cadenas lineales.

El motor de combustión interna: CARBURANTE

Evolución de las especificaciones para los tres mayores productos petroleros entre 1996 y 2005 - 2010 en Europa.

ESPECIFICACIONES	Europa				Promedio California**
	1996 - 1999	2000	2005	2010	
GASOLINA					
Azufre (ppm) máximo	500	150	50	10	18-20
Benceno (vol%) máximo	5	1	1	1?	0.4-0,6
Aromáticos (vol%) máximo		42	35	30	23
DIESEL*					
Azufre (ppm) máximo	500	350	50	10	140
Poliaromáticos (% en masa) Máximo	--	11	11	11	?
GAS DOMÉSTICO	0,3	0,2	0,2	0,1	
Azufre (% en masa)	2	2	1	1?	

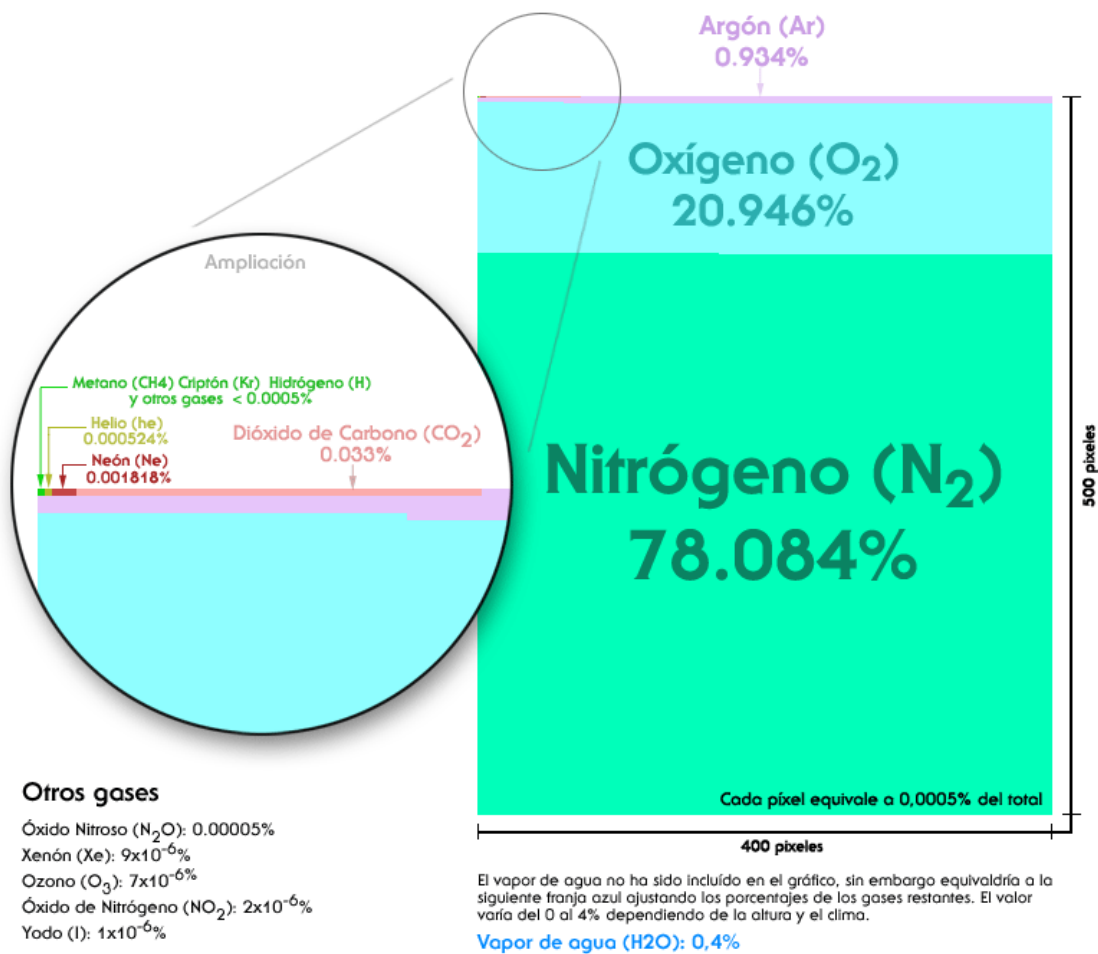
Fuente: (Marcilly, 2001)

Ppm: partes por millón

** Los estándares de California (EE.UU.) se consideran indicadores de tendencias en materia ambiental
En 2004, la EPA aprobó nuevas reglas para las emisiones de vehículos que trabajan con gasoil que consideran la disminución de óxidos de nitrógeno y otros contaminantes en un 90 % en los próximos ocho años (Eilperin, 2004-b)

El motor de combustión interna: AIRE

Composición de la Atmósfera Terrestre



El motor de combustión interna: **AIRE**



700 l/min RALENTÍ



51.000 l/min Max rpm

8.000 l/día (5,6 l/min)



El motor de combustión interna: AIRE



José Luis San Román García

MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES. DE LA HOMOLOGACIÓN A LA INSPECCIÓN TÉCNICA.

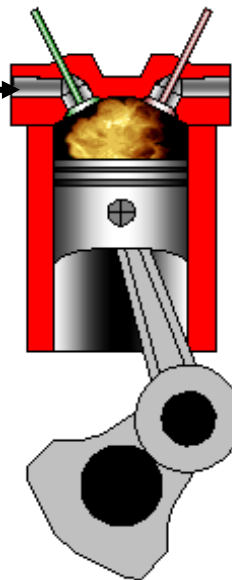
El motor de combustión interna: CONTINUIDAD MASA

14,7 kg Aire



1 kg Combustible

Masa entrante



Masa saliente

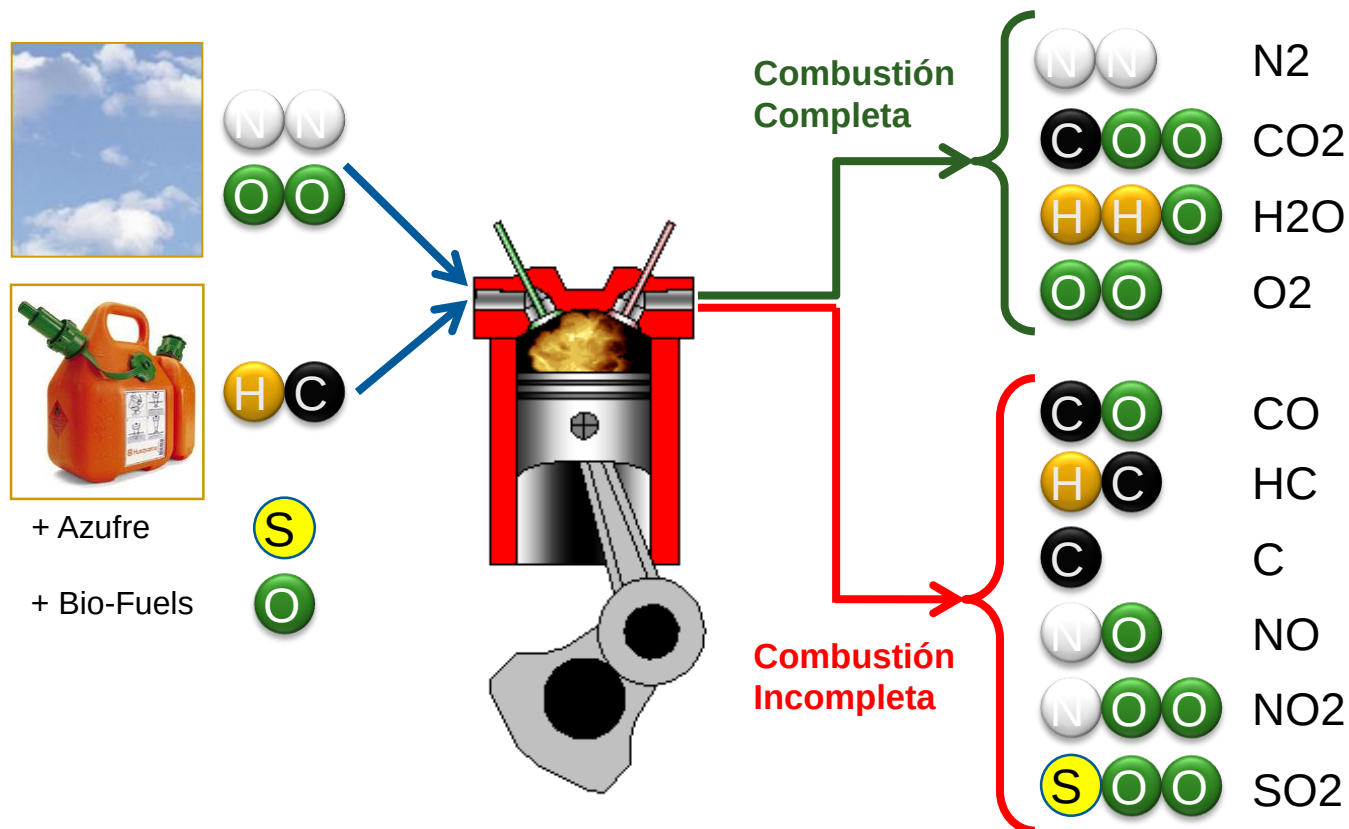


15,7 kg
Gases
Escape

Ejemplo para Gasolina

El motor de combustión interna:

CONTINUIDAD ÁTOMOS



¿Movilidad Sostenible?



Aumento Emisiones (CO₂,
Partículas, NO_x...)



Recursos energéticos
limitados



Nuevos hábitos de
conducción

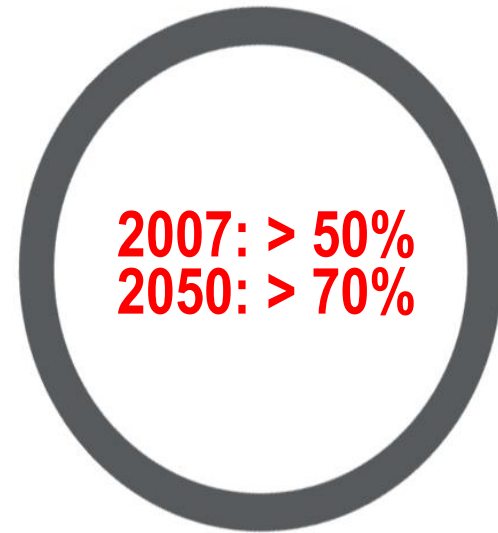


Políticas ciudadanas de movilidad
(Peajes de ciudad, zonas verdes,...)

¿Movilidad Sostenible?



Una población urbana en aumento



Porcentaje de la población mundial que vive en ciudades

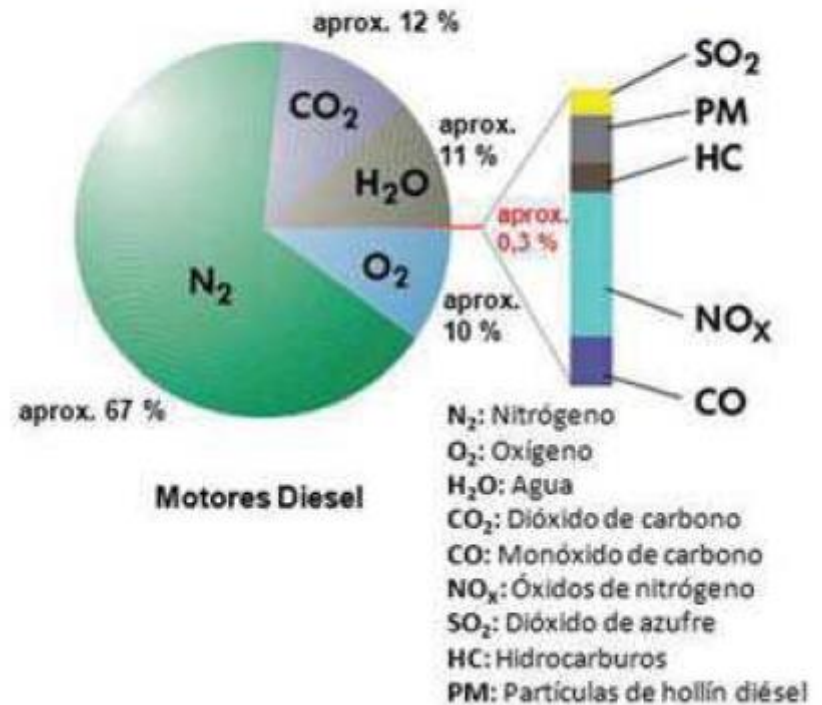
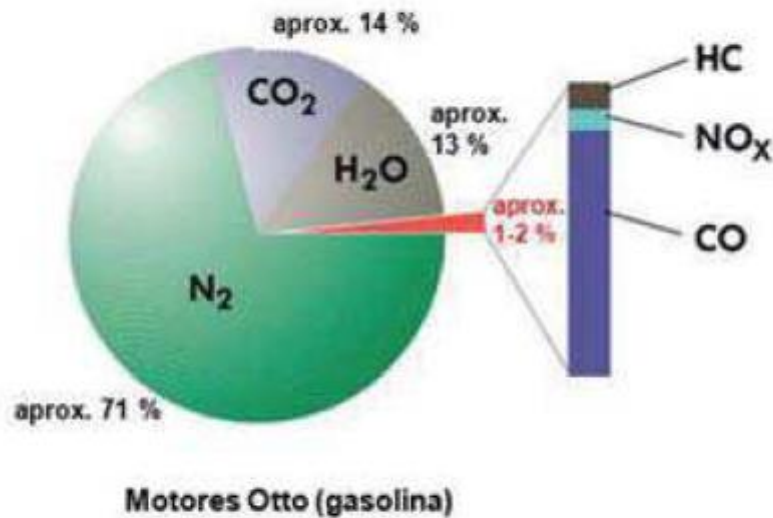


José Luis San Román García

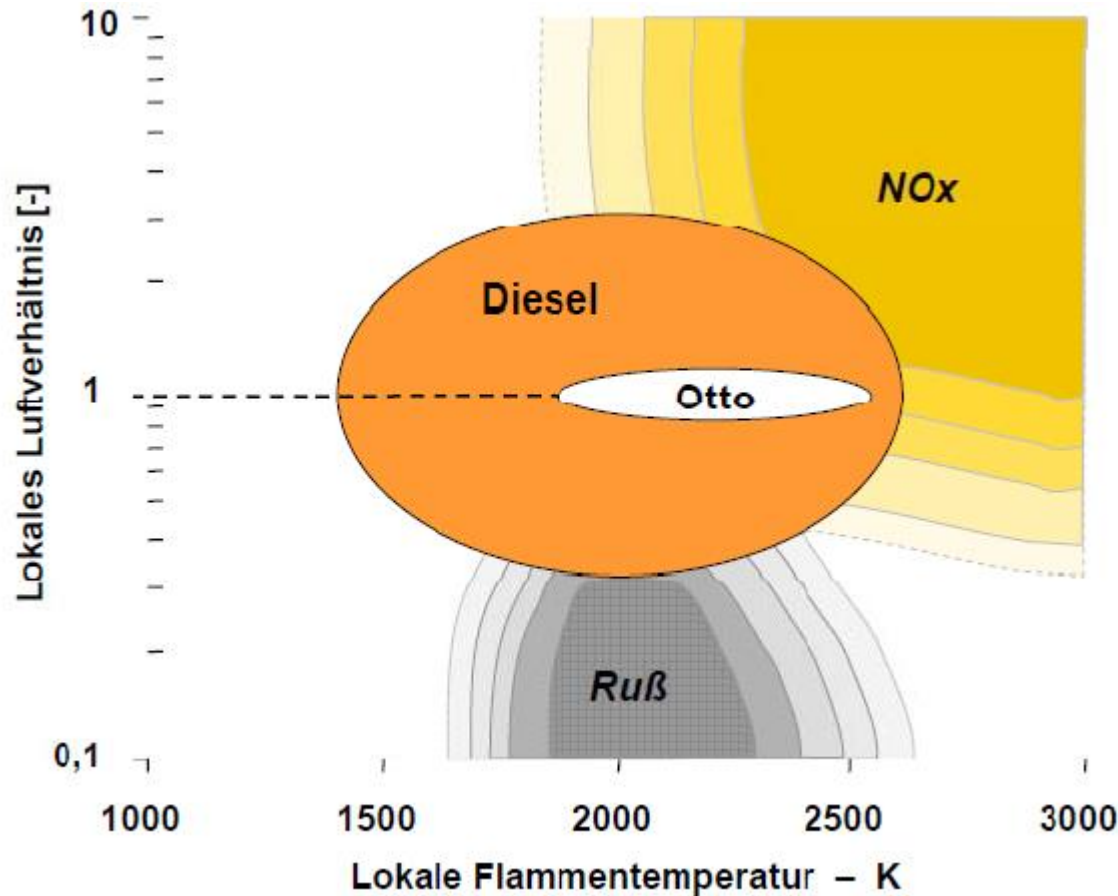
MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES. DE LA HOMOLOGACIÓN A LA INSPECCIÓN TÉCNICA.

El motor de combustión interna: EMISIONES

■ Esquema 1 ■ Composición de los gases de escape

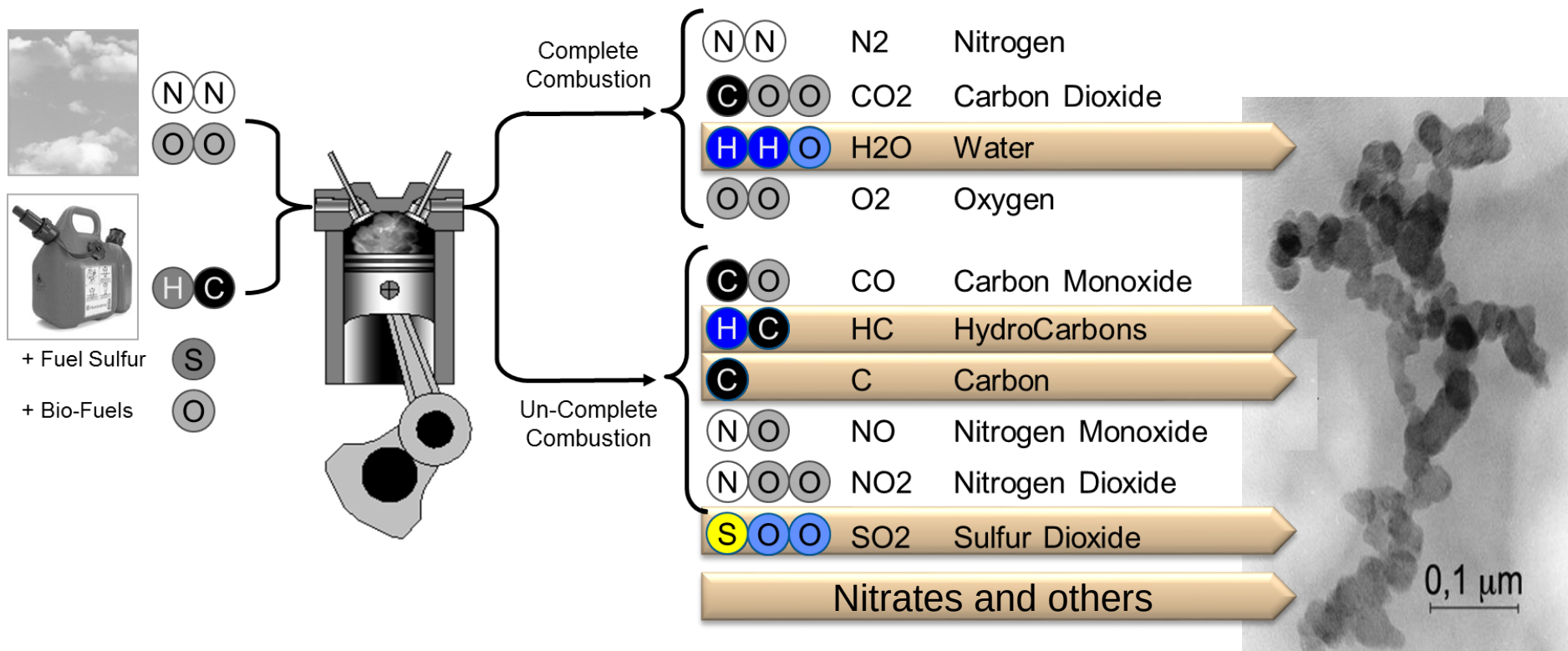


El motor de combustión interna: EMISIONES



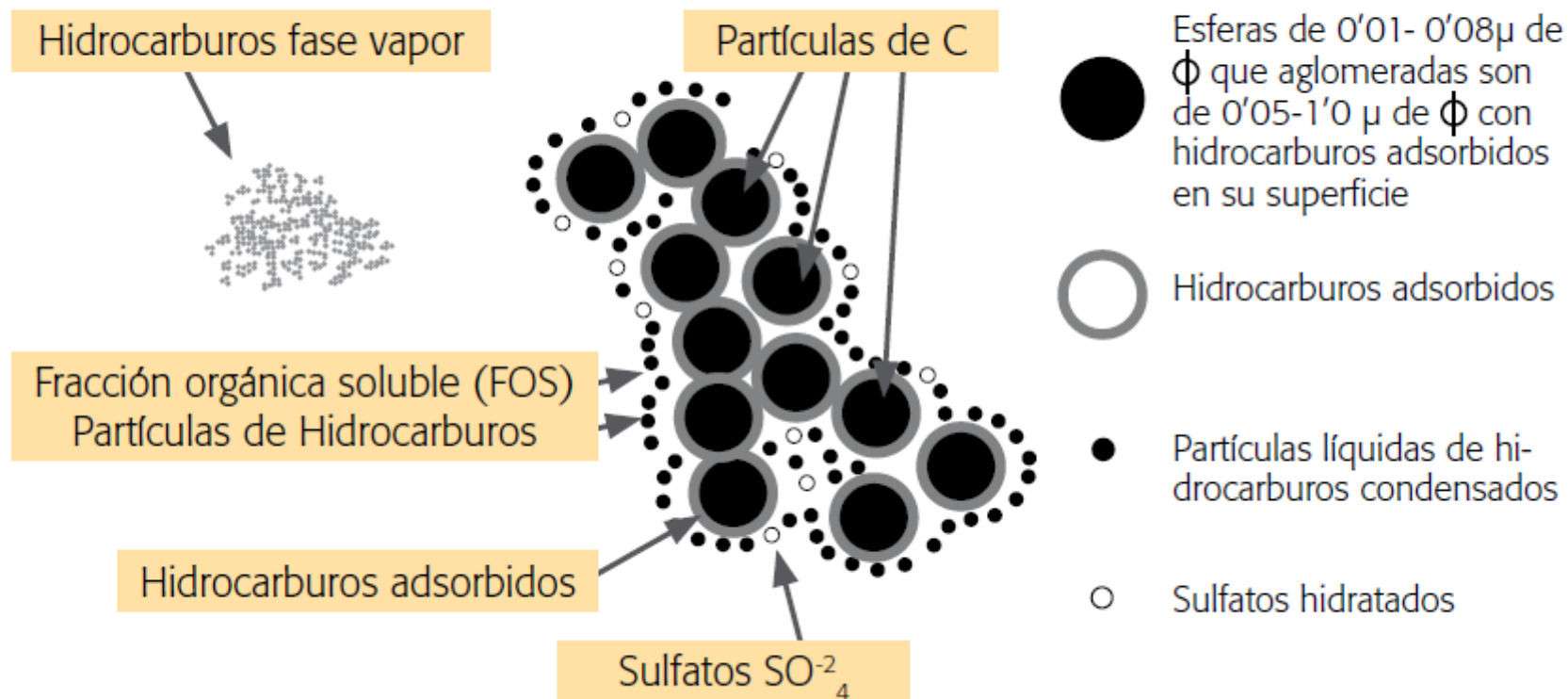
Las partículas se forman a nivel local en la cámara de combustión a alta temperatura local (en el borde de la flama) y mezcla localmente rica (relación aire-combustible < 1).

El motor de combustión interna: EMISIONES



El motor de combustión interna: EMISIONES

■ Esquema 2 ■ Composición de la materia particulada de diésel



El motor de combustión interna: EMISIONES

Contaminación

Control Contaminación

1975 USA
Catalytic converter
implemented

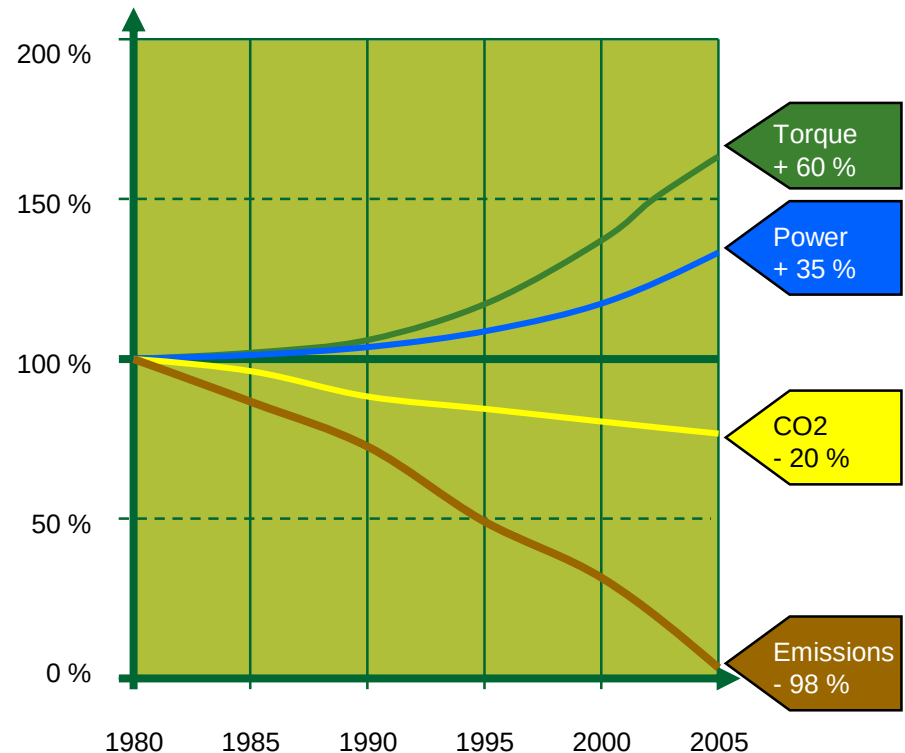


1952 USA
Dr. Arie Haagen-Smit
Discovers the source of
Photochemical smog



Major air
pollution
events in
USA and UK

Desarrollo Vehículos



1960

1970

1980



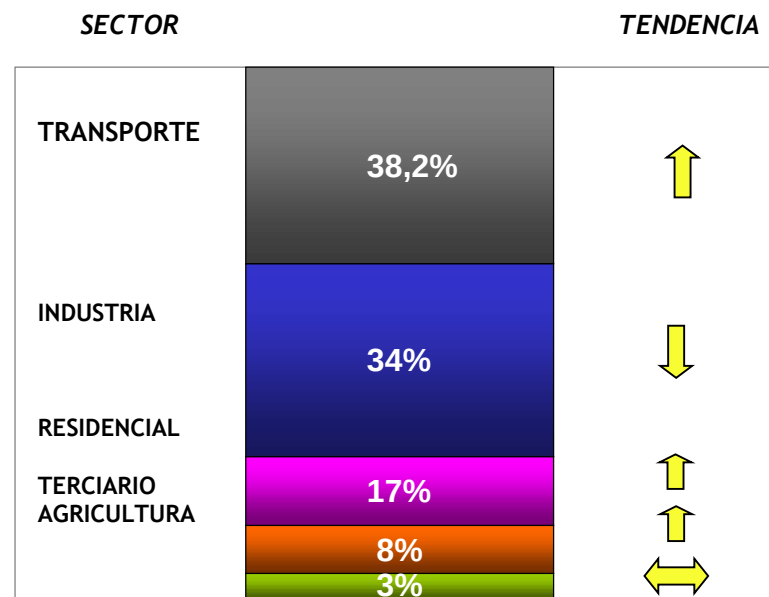
José Luis San Román García

MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES. DE LA HOMOLOGACIÓN A LA INSPECCIÓN TÉCNICA.

Energía y transporte

- El transporte es el sector de mayor consumo energético en España.
- Los objetivos en materia de eficiencia energética y medioambiente, no pueden concebirse sin este sector.
- El 65% de las importaciones de petróleo se destinan a combustibles para el transporte.
- La eficiencia energética en el sector debe valorarse en un sentido amplio.

DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA FINAL



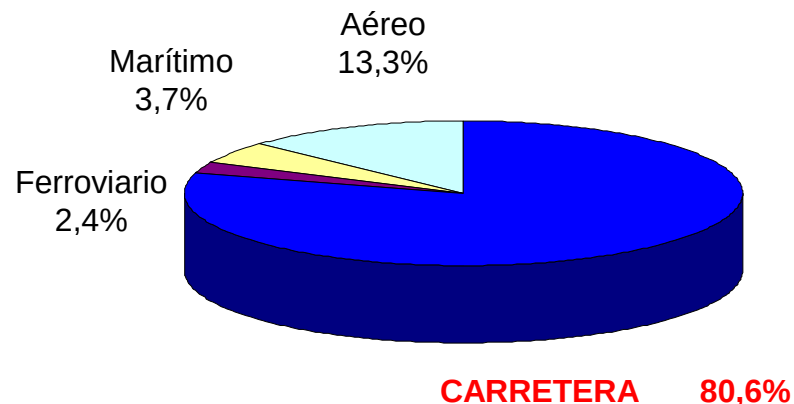
EVOLUCIÓN CONSUMO TRANSPORTE:

- ⇒ A partir de 1988 1^{er} sector consumidor.
- ⇒ Crecimiento consumo energético 1973-2004:
 - TODOS LOS SECTORES : +135%
 - TRANSPORTE : +240%

Energía y transporte

- Dentro del sector transporte, el consumo de energía presenta un fuerte desequilibrio modal, con mayores crecimientos en aquellas opciones de menor eficiencia energética.
- El crecimiento del consumo se ha centrado en el transporte por carretera y el avión.
- El vehículo privado supone el 15% del total de energía final consumida.
- No hay alternativas inmediatas a los productos derivados del petróleo.

CONSUMO DE ENERGÍA FINAL POR MODOS



Reparto de consumo de derivados del petróleo (2004):

– Turismos	47,5 %
– Motocicletas	0,2 %
– Furgonetas	20,4 %
– Pequeños camiones	8,3 %
– Camiones	20,4 %
– Autobuses	3,2 %

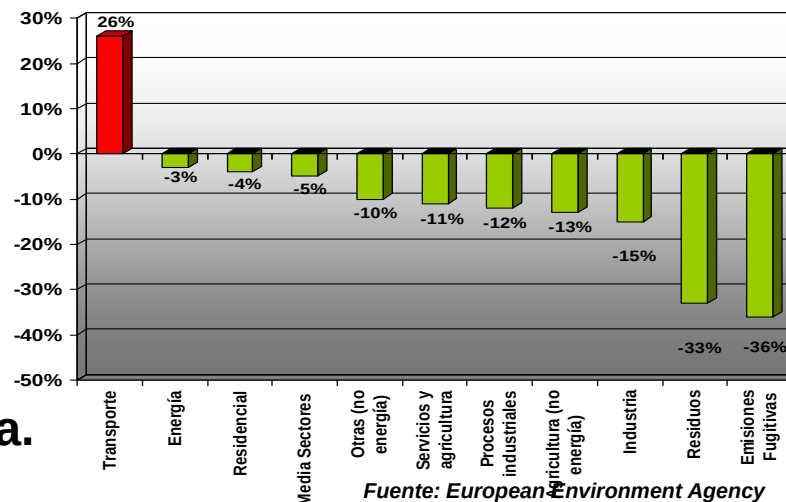
Representación minoritaria de otros combustibles:

- Gas natural y GLP
- Biocarburantes

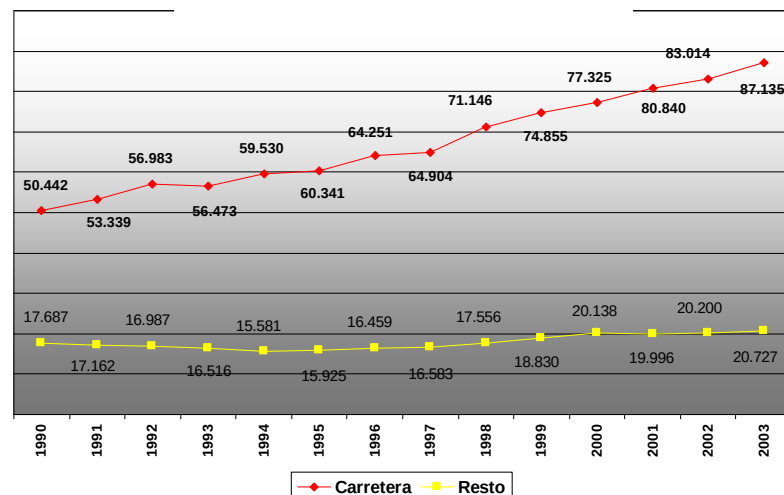
Emisiones de GEI y transporte

- El sector del transporte es el único donde se han incrementado las emisiones de GEI desde 1990.
- La carretera supone la mayoría del incremento del crecimiento en España.
- La evolución de estas emisiones pone en peligro el cumplimiento de los compromisos de reducción de GEI.
- Los objetivos de reducción de emisiones inciden de modo cada vez mayor en las políticas de transporte y energéticas asociadas.

EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR FUENTES. UE-25 1990-2004



EMISIONES DE CO₂ DEL TRANSPORTE. ESPAÑA 1990-2003



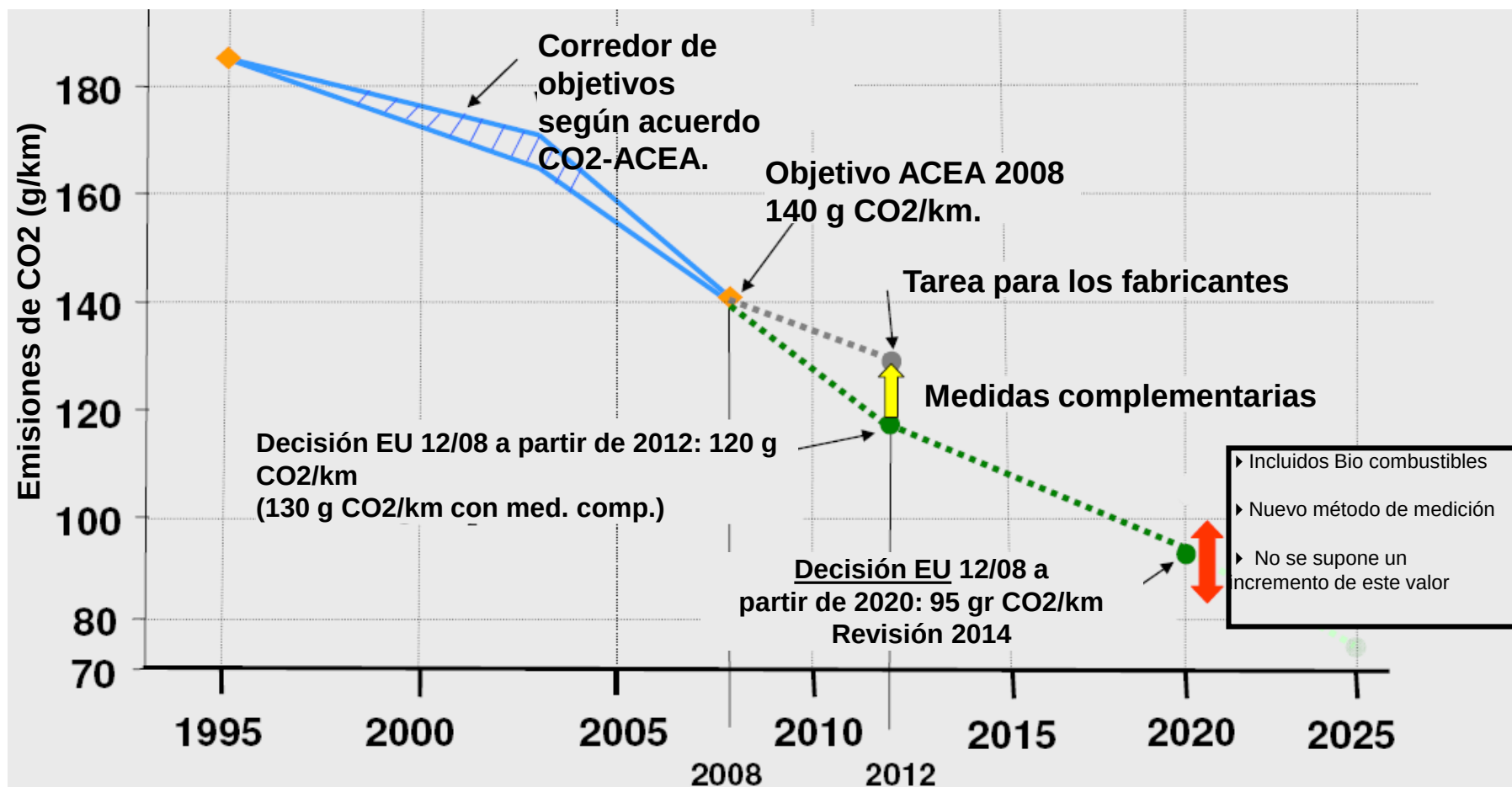
Emisiones de GEI y transporte

¿ Quién contamina ?

Sector	GEIs		Contaminantes			
	Dióxido de Carbono (CO ₂)	Monóxido de Carbono (CO)	Óxidos de Nitrógeno (NOx)	Compuestos orgánicos volátiles no metálicos (COVs)	Óxidos de Azufre (SOx)	Partículas < 10 µm de diámetro (PM10)
Sector Industrial	28,6 %	7,6 %	23,6 %	64,4 %	61,5 %	25,9 %
Sector Residencial e Institucional	26,0 %	11,1 %	5,1 %	1,2 %	31,1%	11,2 %
Sector Transporte	45,4 %	78,3 %	69,8 %	18,2 %	7,2 %	47,7 %
Sector Agricultura y Medio Natural	sumidero	3,0 %	1,5 %	16,2 %	0,2 %	15,1 %

Turismos y reducción de emisiones GEI

Políticas medioambientales. Requerimientos nivel de emisiones de CO₂



Movilidad Sostenible

El concepto de “*movilidad sostenible*” plantea importantes retos de desarrollo al sector:

- Combustibles y sistemas alternativos de propulsión
 - Combustibles más “limpios”: contenido en azufre..
 - GLP, GNC, biocombustibles, H₂..
 - Vehículos híbridos, eléctricos...
- Optimización de los MCI:
 - Turbo
 - Gestión electrónica.
 - Inyección Directa
 - Presiones Inyección (2500 bar)
 - Reducción tamaño.
 - Start-Stop
- Sistemas inteligentes
 - Electrónica y control
 - Sensores
 - Comunicaciones
- Materiales
 - Reducción de peso



Movilidad Sostenible

¿ Por qué ahora ?



- Recursos fósiles limitados
- Calentamiento global del planeta
- Precio del petróleo



- Recursos renovables ilimitados
- Desarrollo de tecnologías sostenibles

Motores de gasolina

Evolución en los últimos años

- Eliminación de **gasolina sin plomo**
- Generalización de **catalizadores** (sonda lambda, de oxidación, etc.).
- Generalización de inyección: mucho mejor **control del combustible** utilizado.
- Funcionamiento con **mezclas pobres** para el mejor rendimiento y reducción de emisiones (motores de inyección directa de gasolina).
- Sistema **start and stop** para el ahorro de combustible.

Logros:

- Reducción de los consumos y del CO₂ y emisiones tóxicas (HC, CO...)

Dificultades:

- Resultados decepcionantes frente a la tecnología desplegada (disminución del 10% del consumo y del 15% de la producción de CO₂.)

Motores de gasolina

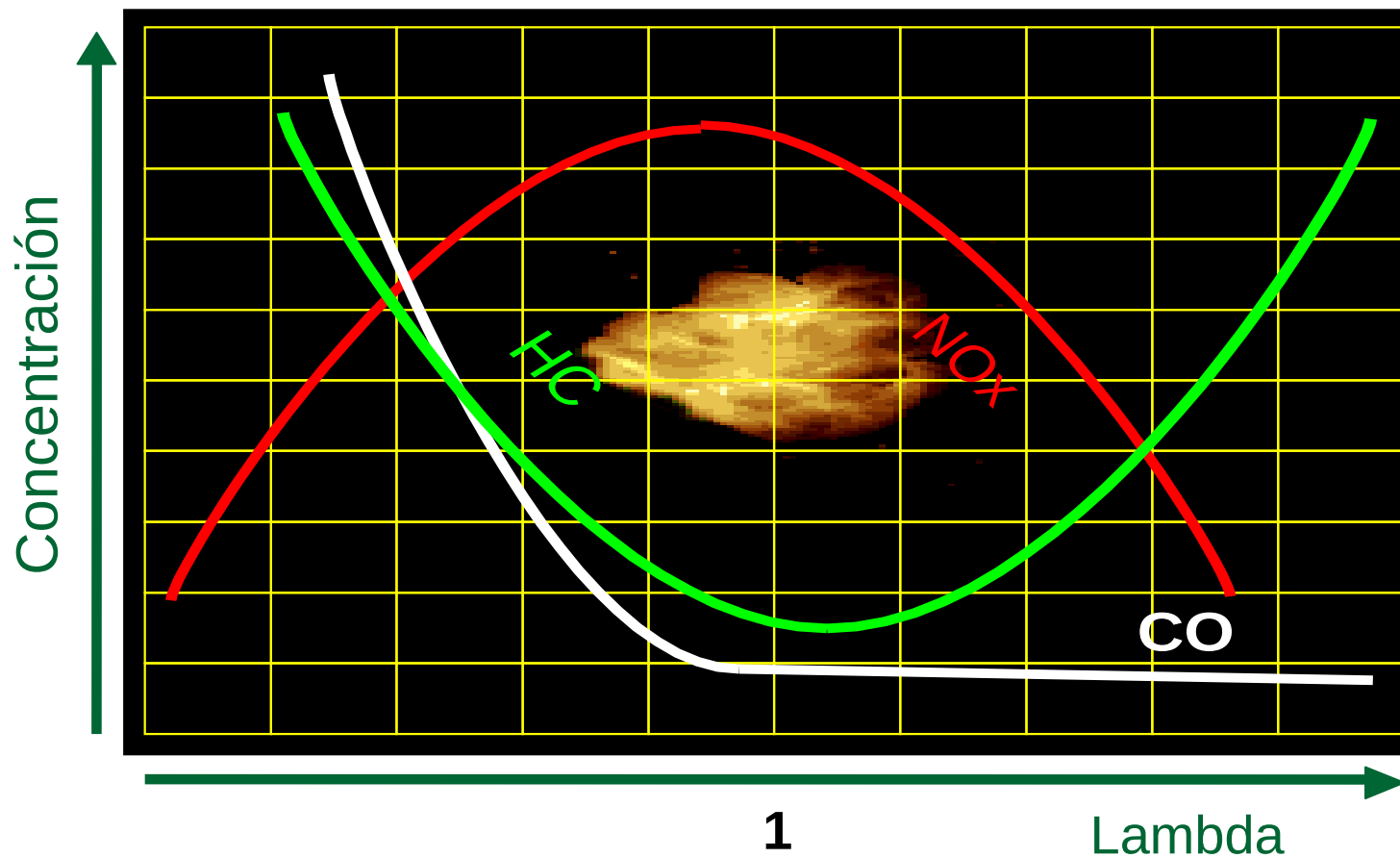
CATALIZADORES van instalados entre el motor y el tubo de escape. Son estructuras cerámicas en forma de colmena con una capa de metales nobles, normalmente platino, rodio y/o paladio.

Requieren relación Estequiométrica



"**catalizadores de tres vías**" reducen las emisiones de tres contaminantes: CO, hidrocarburos y NOx. Reduce el NO nocivo en N_2 y O_2 [$2NO > N_2 + O_2$] y catalizador de oxidación que logra oxidar el CO y los hidrocarburos perjudiciales, transformándolos en CO_2 y H_2O .

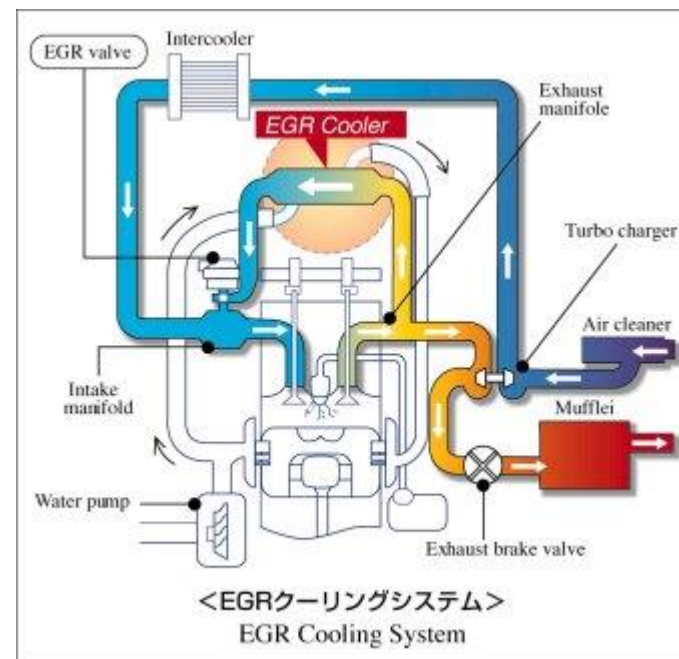
Motores de gasolina



Motores de gasolina

La **recirculación de los gases de escape (EGR)** es una técnica con la que se consigue reducir las emisiones de NOx del vehículo.

El NOx se forma cuando las altísimas temperaturas de la llama en la cámara del motor hacen que el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera se combinen, y recordar también que a mayor temperatura, más NOx se forma.



En los motores con EGR se desvía parte de los gases de escape a la admisión del motor y puesto que estos gases tienen un contenido en oxígeno inferior al aire y contienen CO₂, H₂O y nitrógeno, se consigue reducir las temperaturas máximas de los gases en la combustión en los cilindros del motor al disponer de menos oxígeno. Esta reducción de la temperatura máxima hace, por tanto, que disminuya la formación de NOx

Motores diésel

El motor diesel **ha evolucionado mucho** en el último decenio.

- La aparición de las **inyecciones directas con control electrónico** (**common rail**), ha motivado una mejora espectacular del rendimiento y consumo, a la vez que de la potencia.
- Introducción de **catalizadores de oxidación-reducción** para la eliminación de los contaminantes tóxicos y **filtros de partículas**.

Logros:

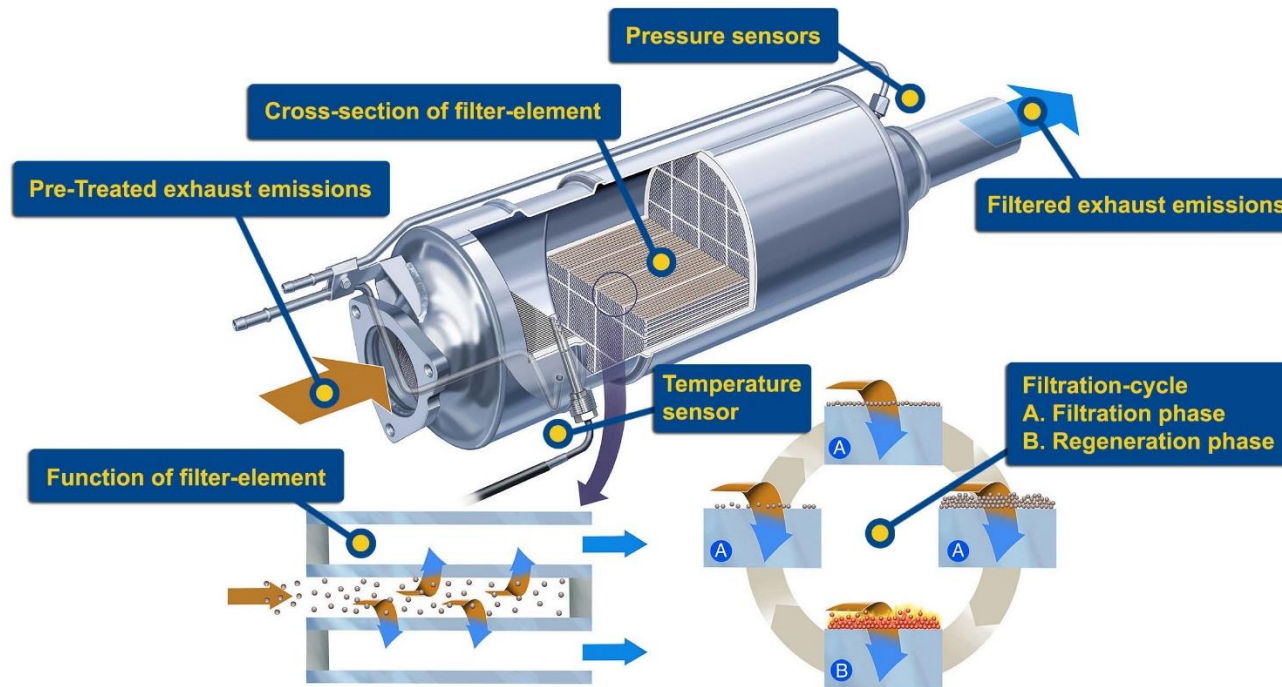
- Mejora rendimiento y reducción de consumo
- Reducción de CO₂
- Mejora de par y potencia para una cilindrada dada
- Mejora en “el placer de conducción”

Dificultades:

- Emisión de NO_x siguen siendo muy altas
- Emisión de partículas; preocupación por las PM₁₀ (< 10 micras)

Motores diésel

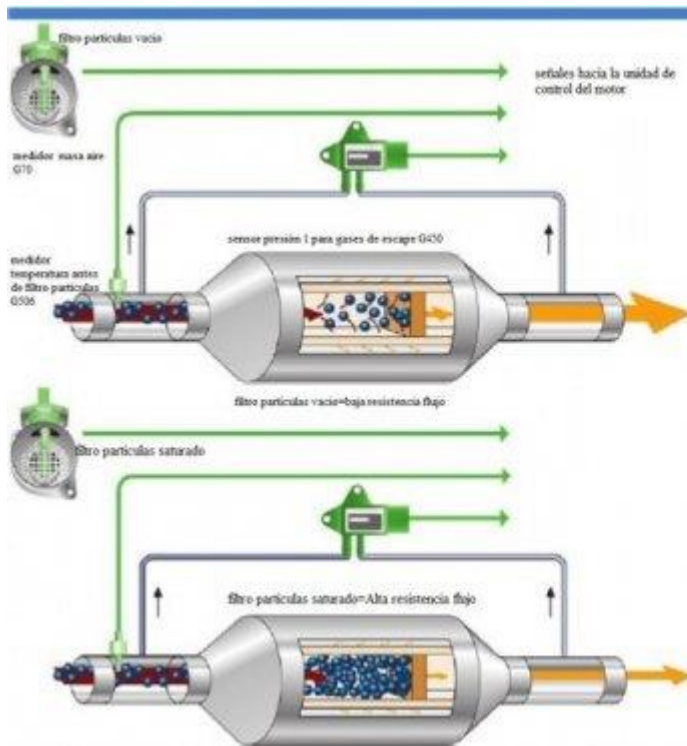
Los **filtros diésel de partículas (DPFs)** eliminan las partículas de los gases de escape mediante un sistema de filtrado. Llegan a capturar el 90% de las partículas en forma de hollín que posteriormente eliminan mediante regeneración térmica para evitar que el filtro se sature y deje de funcionar.



Motores diésel

DPF "pasivos" utilizan los catalizadores de oxidación para reducir la temperatura a la que se oxida el hollín

DPF "activos" incrementan periódicamente la temperatura de los gases hasta alcanzar un valor suficiente para quemar las partículas retenidas en los filtros



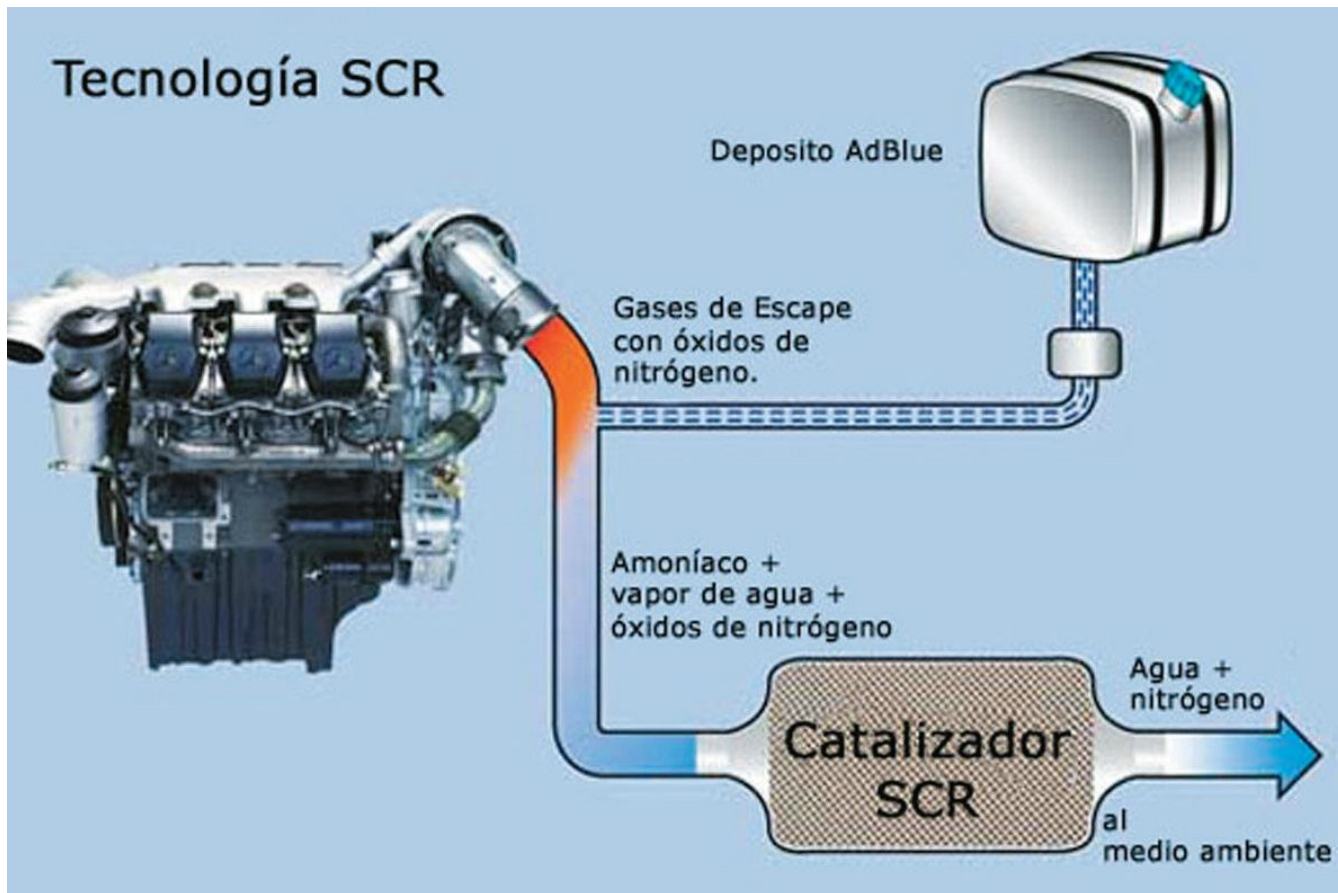
Motores diésel

La **reducción catalítica selectiva (SCR)** es una tecnología más eficiente incluso, en la reducción de emisiones de NOx de los motores de gasóleo que la EGR.

La SCR es un catalizador avanzado que elimina a posteriori el NOx de los gases de escape, a diferencia de la EGR, que reduce la formación de NOx.

En este sistema se inyecta urea en los gases de escape aguas arriba del catalizador SCR, formándose amoníaco (NH₃), el cual reacciona con el NO y el NO₂ para dar N₂ y H₂O [$4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$].

Motores diésel



Consumo de los motores actuales

Se establecen mediante unos **ciclos teóricos de comparación**:

- Urbano
- Extraurbano
- Combinado

Tendencias generales (a igualdad de otros factores)

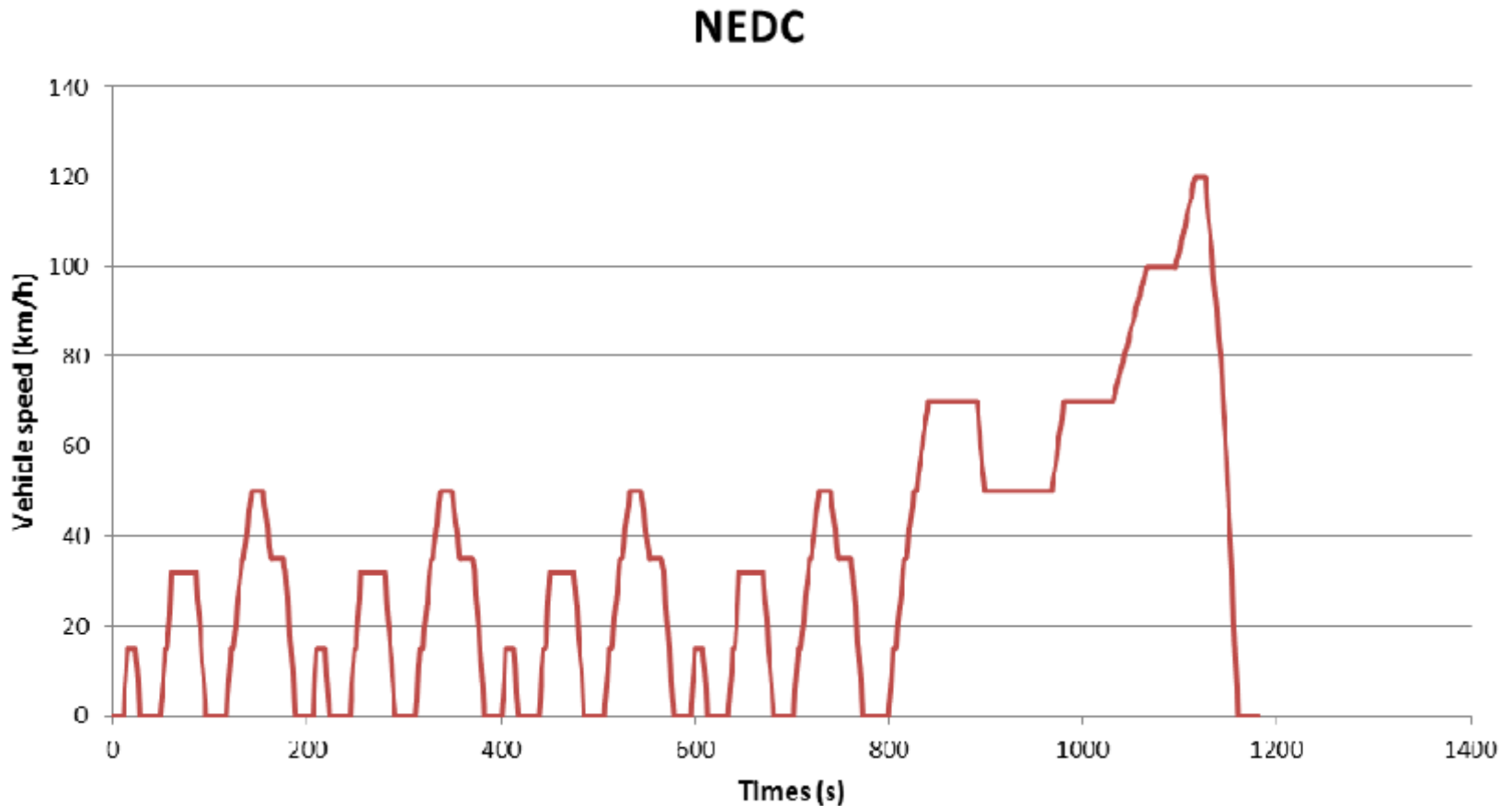
- Motores diésel menor consumo que motores de gasolina
- Menor cilindrada: menor consumo
- Menor peso del vehículo: menor consumo
- La forma de conducción y por donde se conduce es muy importante en el consumo

Actualmente

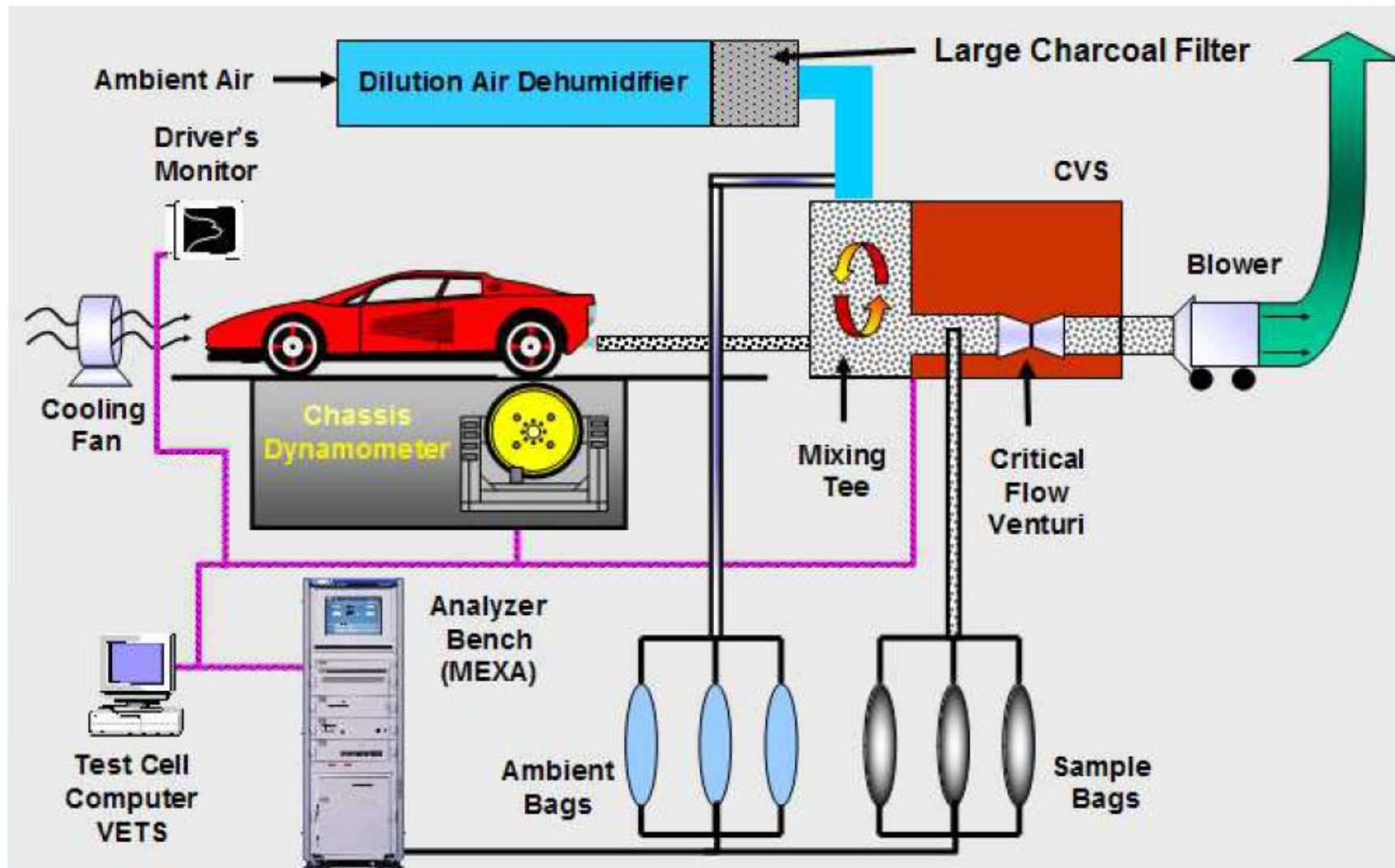
Turismos de tamaño pequeño/medio $\cong$ 3-4 l/100 km

Consumo de los motores actuales

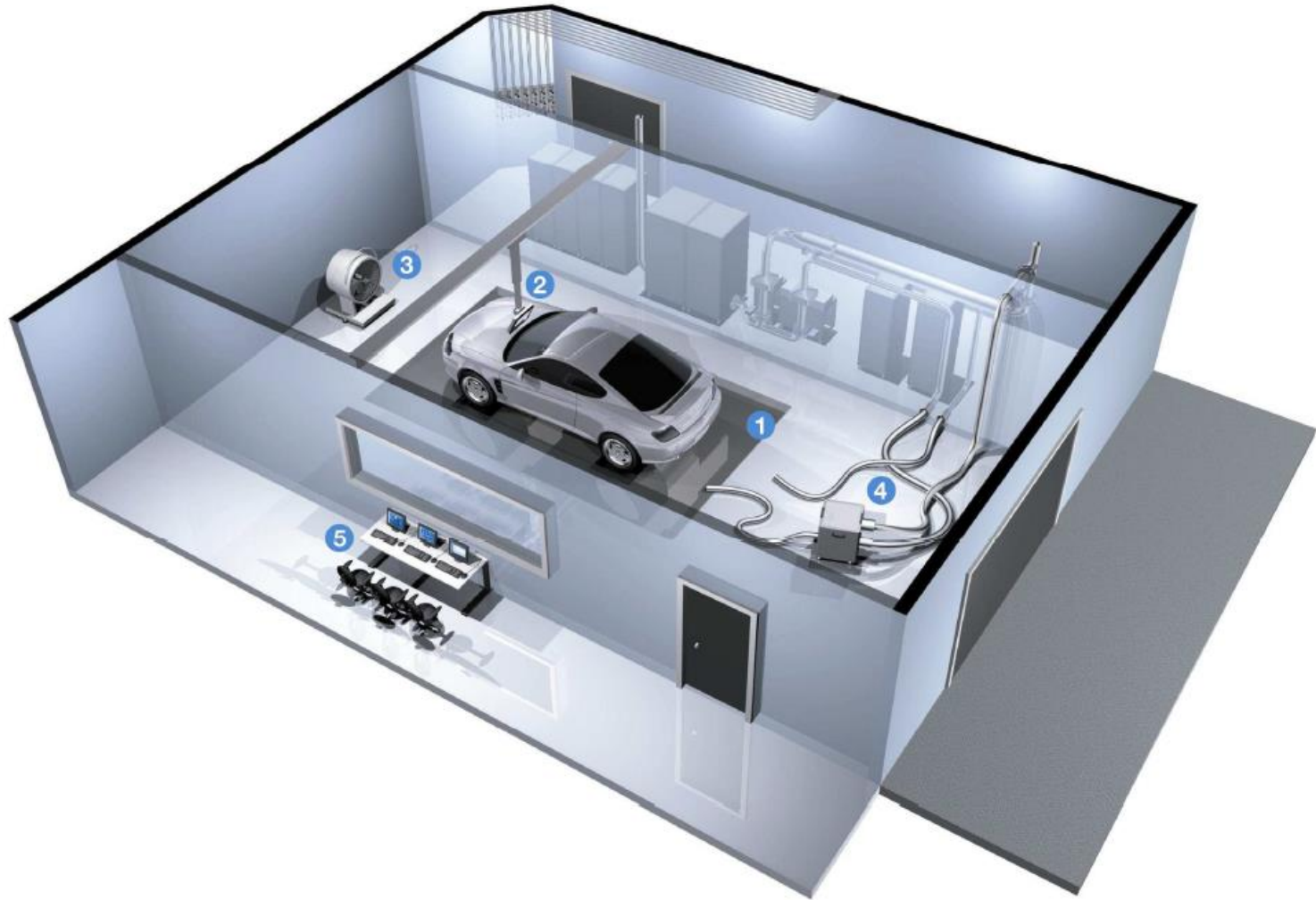
El ciclo actual: NEDC



Consumo de los motores actuales

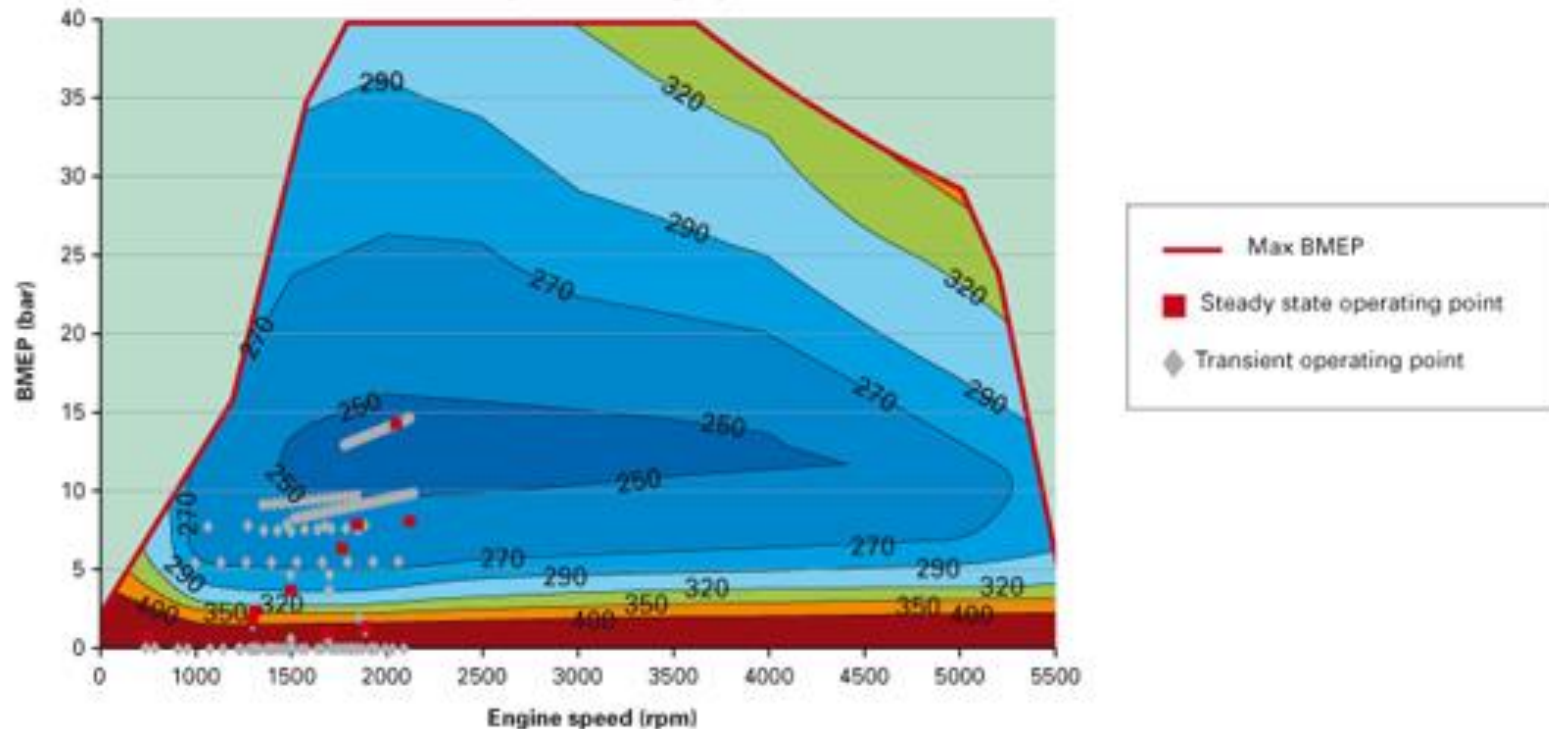


Consumo de los motores actuales



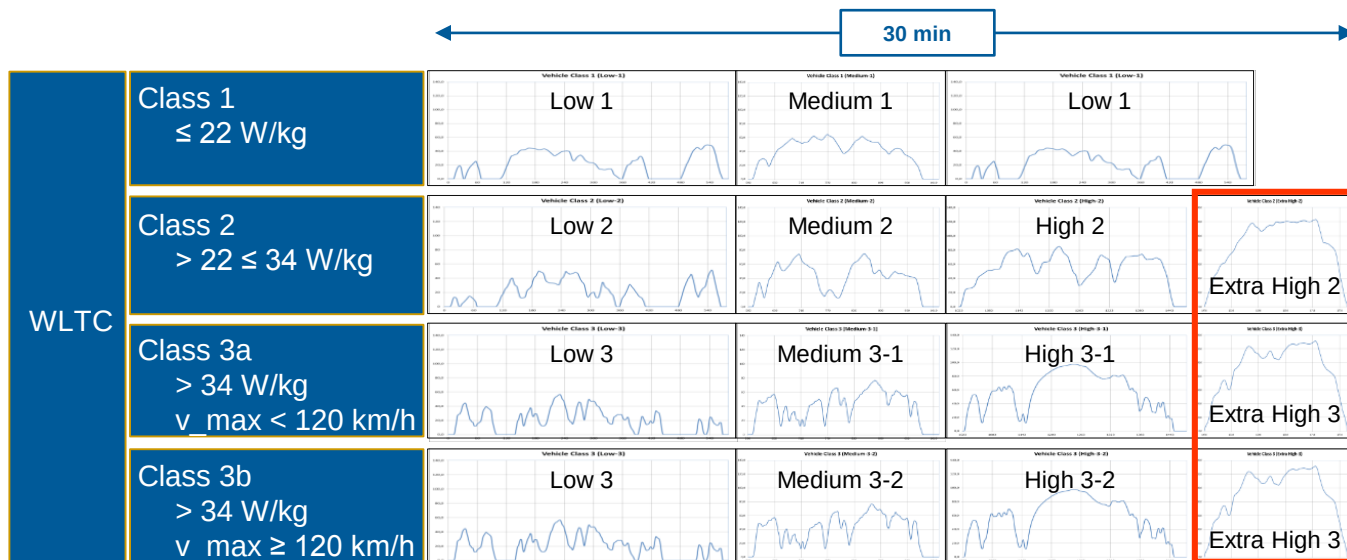
Consumo de los motores actuales

Specific fuel consumption map of the MCE-5 VCri 1.5L GDI and corresponding operating point of the MCE-5 demo car on the New European Driving Cycle (NEDC)



Consumo de los motores actuales

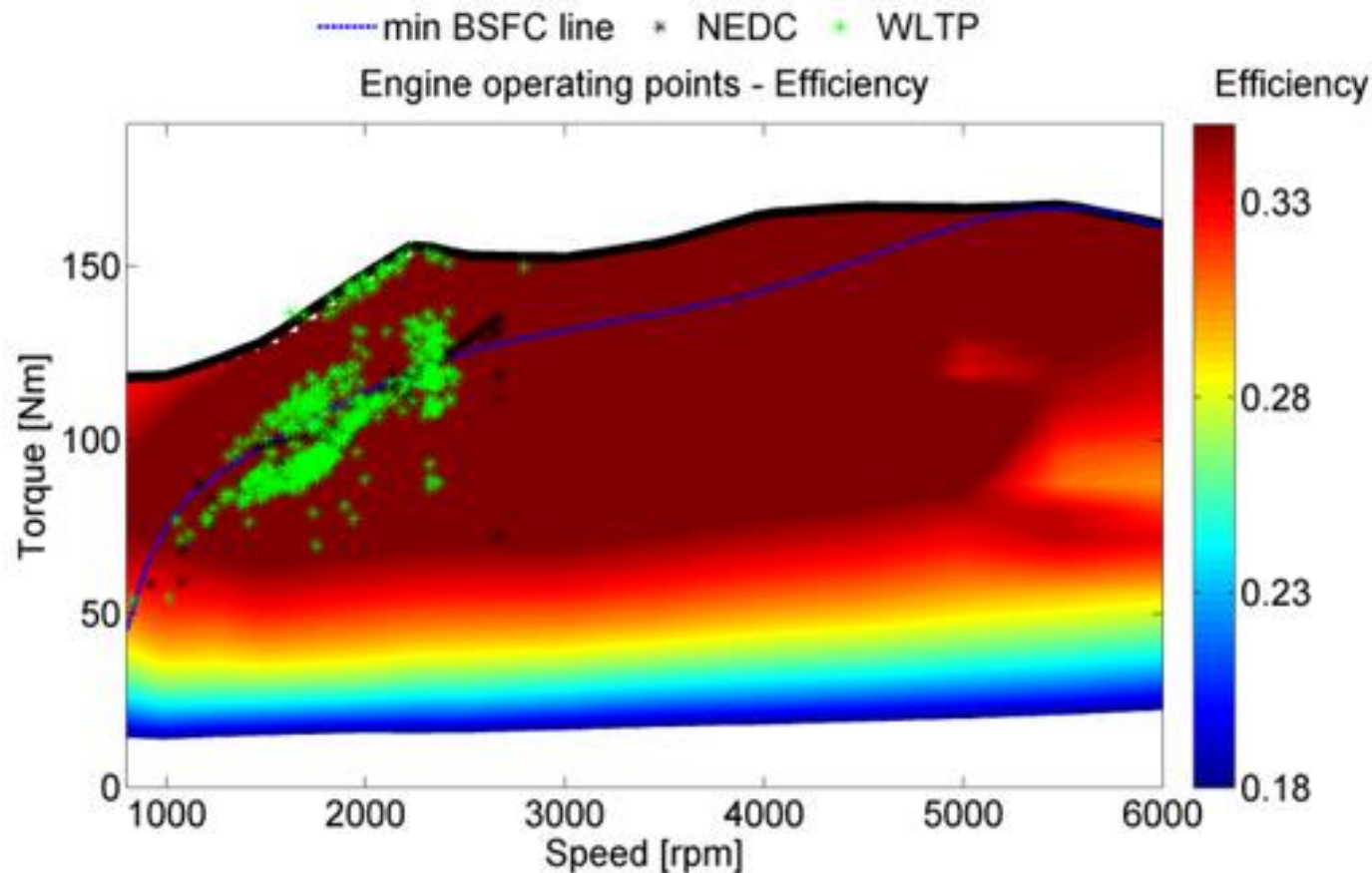
WLTC: WORLDWIDE LIGHT-DUTY TEST CYCLES



Diferencias con NEDC:

- Universal, excepto EE.UU. En UE desde 2017.
- 13 tipos de ciclos
- Más tiempo: 20 → 30 min
- Max. Velocidad: 120 → 131 km/h
- Avg. Velocidad: 34 → 46 km/h
- Dinámicamente más exigente
- Menos tiempo inactividad
- Puntos de cambio particularizados para cada vehículo en transmisiones manuales.
- Hasta +/- 2 % diferencia en CO₂, comparando solo los ciclos.
- Hasta +20 % en CO₂, comparando Reg-83 y GTR-15 (ciclo, especificaciones y procedimiento).

Consumo de los motores actuales



(a)

Consumo de los motores actuales

RDE: REAL DRIVING EMISSIONS

Various conditions at on-road driving

Temperature



Altitude



Speed



Highway
Urban area
Rural area

Driving

Aggressive driving



Normal driving



Consumo de los motores actuales

FASES IMPLANTACIÓN NORMATIVA DE EMISIONES



	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Limits											
Test Procedure	NEDC (Emissions)					WLTP (Emissions)					
	NEDC (CO ₂)					WLTP (CO ₂)*		WLTP (CO ₂)**			
RDE				RDE (monitoring)		RDE (CF=2.1)		RDE (CF=1.5)***			
						PN RDE (CF=tbd)		PN RDE (CF=tbd)			
CO ₂ Limits	Phase-in of 130 g/km		130 g/km					Phase-in 95 g/km	95 g/km		

* WLTP CO₂ converted (CO2MPAS or double testing) to NEDC, NEDC value for compliance

** Compliance checked against WLTP based targets

*** CF = 1.0 + margin for measurement uncertainties, currently set to 0.5. Margin is to be evaluated annually.

Implementation dates for new type approval if applicable



José Luis San Román García

MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES. DE LA HOMOLOGACIÓN A LA INSPECCIÓN TÉCNICA.

Movilidad Sostenible???





ESTADO DE LA TECNOLOGÍA EN MOTORES DE EXPLOSIÓN: CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES.

COLABORA:



José Luis San Román García

Catedrático

Director del ISVA