

# Nueva normativa anticontaminante en vehículos diésel Euro 6

## *New anti-pollution regulation for Euro 6 diesel vehicles*

Juan Manuel Luján Martínez<sup>1</sup>, Vicente Dolz Ruiz<sup>1</sup>, Javier Monsalve-Serrano<sup>1</sup>, Juan Antonio López Cascant<sup>1</sup>

### Resumen

Investigaciones realizadas en los últimos años demuestran que las emisiones contaminantes y el consumo de los vehículos diésel en el mundo real suelen superar los niveles alcanzados en los procesos de homologación. Mediante mediciones de emisiones a bordo de los vehículos, se ha demostrado que los óxidos de nitrógeno (NOx), uno de los gases emitidos más nocivos, superan ampliamente el límite impuesto por la norma Euro 6 en su proceso de homologación. Así, con el objetivo de complementar el ciclo de homologación actual (WLTC), se introduce el ciclo de emisiones en conducción real (RDE), a partir del 1 de septiembre de 2017.

En este artículo se analizan los resultados de las mediciones a bordo de las emisiones de NOx de un vehículo diésel Euro 6 en una prueba de conducción real utilizando un sistema portátil de medición de emisiones. Las características de esta ruta de prueba siguen los requisitos impuestos por la regulación RDE. El análisis de los resultados de emisiones muestra que la mayor cantidad de NOx por kilómetro recorrido se emite durante la sección urbana de la prueba. Generalmente, en tramos a bajas velocidades con aceleraciones y deceleraciones bruscas. Por el contrario, en tramos con aceleraciones más suaves y con periodos mantenidos a velocidades intermedias este parámetro es mucho menor. Puede llegar a ser cinco veces menor que en el caso de los tramos con las tasas de NOx más altas.

### Palabras clave

Emisiones en condiciones reales de conducción, Sistema portátil de medición de emisiones, Euro 6, motor diésel, automóvil.

### Abstract

Recent research shows that pollutant emissions and fuel consumption of diesel vehicles in the real world often exceed the levels achieved in the homologation processes. By means of a portable emissions measurement system (PEMS), nitrogen oxides (NOx) were measured. These tests show as NOx emissions exceed the limit imposed by the Euro 6 norm. Thus, in order to complete the current homologation cycle (WLTC), the real driving emissions regulation (RDE) has been introduced, starting on September 1, 2017.

This paper shows an analysis of NOx emissions on-board measurements in a Euro 6 diesel vehicle during an actual driving test by using a portable emissions measurement system (PEMS). The characteristics of this test route follow the requirements imposed by the RDE regulation. The analysis of emission results shows that the greatest amount of NOx per kilometer is emitted during the urban part of the test. Generally, in sections at low speeds with abrupt accelerations and decelerations. On the other hand, in sections with smoother accelerations and with periods maintained at intermediate speeds, this parameter is much lower. It can be 5 times lower than in the case of the sections with the highest NOx rates

### Keywords

Real driving emissions (RDE), portable emissions measurement system (PEMS), Euro 6, Diesel engine, automobile.

Recibido / received: 18.07.2017. Aceptado / accepted: 29.10.2017.

<sup>1</sup>CMT Motores Térmicos. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia.

\*Autor para correspondencia / corresponding author: Vicente Dolz Ruiz (vidolrui@mot.upv.es).



Foto: Fotoeventis / Shutterstock

### Introducción

Los vehículos de automoción desempeñan un papel muy importante en el desarrollo de las sociedades actuales, permitiendo cubrir necesidades fundamentales como el transporte de personas y mercancías<sup>1</sup>. En consecuencia, la flota de vehículos en todo el mundo ha aumentado exponencialmente en las últimas décadas<sup>2</sup>. Entre las diferentes plantas motrices para este tipo de vehículos, los motores de combustión interna son la tecnología más utilizada y son la fuente de energía de alrededor de 90,5 millones de vehículos producidos en 2014<sup>3</sup>.

Con el objetivo de reducir el impacto medioambiental del uso de estos vehículos, se están introduciendo continuamente regulaciones, cada vez más estrictas, en todo el mundo<sup>4</sup>. La normativa actual sobre emisiones de estos vehículos se basa en la medición de las emisiones contaminantes emitidas por un vehículo durante un ciclo de conducción definido por la normativa<sup>5</sup>, que pretende representar las condiciones dinámicas experimentadas durante el uso de estos vehículos en la vida real. En el año 2000, para la introducción de la normativa europea Euro 3, se definió el denominado *New European Driving*

*Cycle* (NEDC) como parte del proceso de homologación de vehículos en Europa<sup>6</sup>. Aunque este ciclo de prueba se desarrolló para reproducir las condiciones reales de conducción urbana y extraurbana, muchos estudios han demostrado que las características de conducción propuestas por el NEDC están muy lejos de las experimentadas durante las condiciones de conducción en el mundo real<sup>7</sup>. Este ciclo, diseñado antes del año 2000, reproduce un patrón de aceleraciones suaves, velocidades de cruceo constantes y muchos periodos al ralentí. Sin embargo, en condiciones reales de conducción, las aceleraciones son más bruscas, debido, en parte, al aumento de potencia en los motores actuales. Estas suaves condiciones de aceleración propuestas por el NEDC conducen a emisiones de NOx notablemente inferiores a las encontradas durante las mediciones a bordo en condiciones de conducción real<sup>8</sup>. Además, la diferencia entre las cifras de consumo de combustible homologadas y las reales aumentaron del 8% en 2001 al 21% en 2012 y al 40% en 2014<sup>9</sup>.

Con el objetivo de aproximar al mundo real las condiciones del proceso de homologación de estos vehí-

culos, la Comisión Europea elaboró en 2015 el *Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle* (WLTC)<sup>6</sup>. Para desarrollar este nuevo ciclo de pruebas, se recopilaron y analizaron alrededor de 765.000 km de datos de conducción del mundo real de cinco regiones (Europa, India, Japón, Corea y Estados Unidos)<sup>10</sup>. Como resultado, el ciclo WLTC amplía notablemente las condiciones de conducción en términos de aceleración, aumentando la cobertura del mapa del motor en comparación con el NEDC<sup>11</sup>. A pesar de ello, se ha descubierto que existen algunas características de conducción del mundo real que faltan en el ciclo WLTC, así como diferentes factores del mundo real como el tráfico, las condiciones ambientales, los comportamientos de conducción y las dificultades de la ruta, que se traducen en niveles de emisiones contaminantes más bajos que en condiciones reales<sup>12</sup>.

Por otro lado, antes de las pruebas de homologación en laboratorio, se realiza una prueba de conducción real que determina el valor de carga que introducir en el laboratorio donde se simulará el ciclo de conducción. Los fabricantes de vehículos se aprovechan de la flexibilidad de la norma



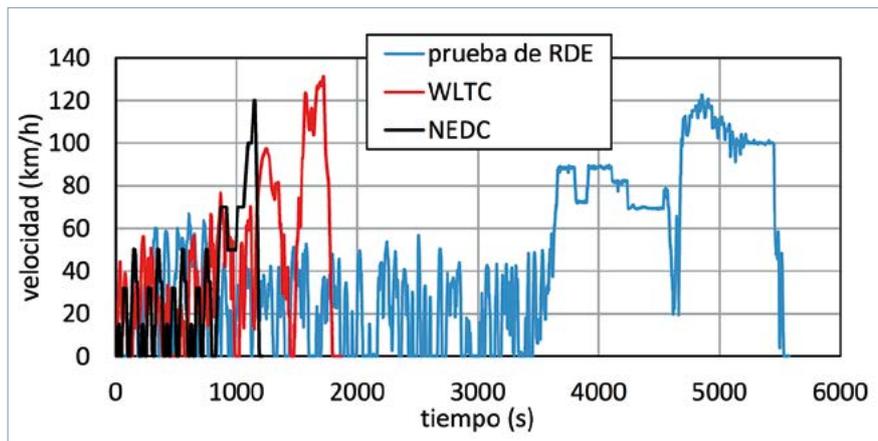


Figura 3. Comparación del ciclo NEDC, WLTC y prueba de RDE.

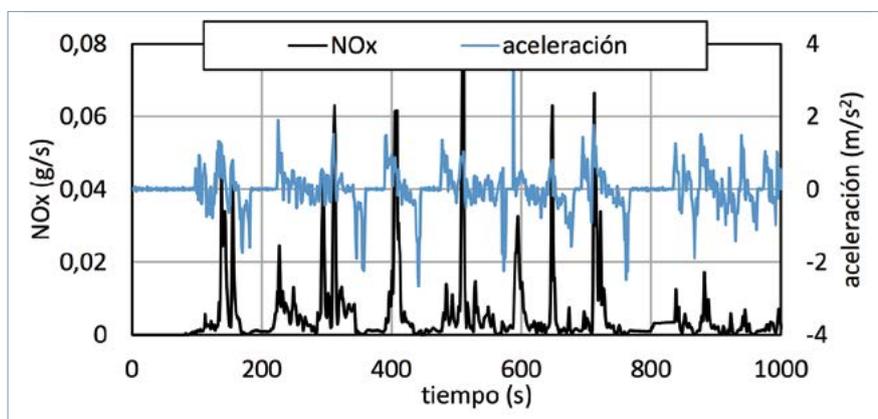


Figura 4. Aceleración del vehículo y emisiones de NO<sub>x</sub> durante los primeros 1.000 segundos de la prueba de RDE.

RDE es muy superior al de los ciclos NEDC y WLTC. Además, el número de aceleraciones durante la fase urbana es sustancialmente mayor. La ruta de la prueba se realizó en un área relativamente plana (la variación de elevación es inferior a 50 m en los 68 km de la prueba), de manera que el efecto del gradiente de la ruta es despreciable en este estudio. La ganancia de altitud positiva, calculada siguiendo el procedimiento de RDE, es de 321 m/100 km, cumpliendo así los requisitos de regulación (<1.200 m/100 km). La temperatura ambiente del aire fue de 15-20 °C a lo largo de la prueba.

Como se comentó con anterioridad, un sistema portátil de medición de emisiones Horiba OBS-ONE-GS12<sup>17</sup> ha sido utilizado para medir las concentraciones de emisiones gaseosas (CO, CO<sub>2</sub>, THC, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>). Este equipo ha sido diseñado para cumplir los requisitos oficiales impuestos por los procedimientos de certificación de vehículos en condiciones de conducción real. Además, se controlaron

otros parámetros como la relación aire-combustible, caudal de gases de escape, condiciones ambientales (temperatura, humedad y presión) y datos GPS (velocidad del vehículo, latitud, longitud y altitud) para calcular las emisiones del motor. Estos datos de condiciones ambientales, se adquieren con sensores específicos que van conectados al OBS. La energía eléctrica necesaria para la operación del sistema portátil de medición de emisiones es suministrada por dos baterías externas, de manera que los parámetros del motor dependientes de la tensión de la batería no se ven afectados por el consumo eléctrico del sistema portátil de medición de emisiones. El peso de la unidad principal del sistema portátil de medición de emisiones es de unos 45 kg, más 36 kg adicionales de las baterías. Se espera que este peso adicional afecte moderadamente a las emisiones y los valores de rendimiento si se compara con un caso con un solo ocupante (conductor del vehículo). No obstante, este aumento de masa global

del vehículo todavía representa una condición realista, como sería la de conductor más ocupante adicional en el vehículo.

El sistema portátil de medición de emisiones utiliza la detección de ionización de llama (FID) para mediciones de hidrocarburos (HC), infrarrojo no dispersivo (NDIR) para mediciones de CO y CO<sub>2</sub> y detección de quimio-luminiscencia (CLD) para mediciones de NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. El caudal de escape se mide mediante un tubo de Pitot. Todas las emisiones se midieron a una frecuencia de adquisición de 10 Hz sobre una base húmeda, de modo que no se requieren correcciones para el análisis.

## Resultados

El ciclo de conducción se realizó en unas condiciones ambiente con unos 18 °C de temperatura, 1,01 bares de presión y, aproximadamente, el 60% de humedad relativa. Como se comentó con anterioridad, las aceleraciones bruscas del vehículo son la causa principal de las emisiones de NO<sub>x</sub> en condiciones reales de conducción. Esto se puede confirmar mirando la figura 4, que muestra las emisiones de NO<sub>x</sub> y el perfil de aceleración del vehículo durante los primeros 1.000 segundos de la prueba de RDE. Como puede verse en la figura, los picos de emisiones de NO<sub>x</sub> están claramente relacionados con los picos de aceleración del vehículo.

La figura 5 compara las condiciones dinámicas de la prueba de RDE con los ciclos NEDC y WLTC. Para diferenciar estas condiciones dinámicas, la normativa divide la ruta de prueba en diferentes subciclos. Un subciclo se define como cualquier parte de la prueba comprendida entre dos periodos en los cuales la velocidad del vehículo es inferior o igual a 2 km/h durante un periodo de al menos 5 segundos. Por lo tanto, la duración de los subciclos y su número de estos pueden variar para diferentes pruebas de RDE, ya que dependen de las características de la ruta y la situación del tráfico. En el caso de la prueba de RDE realizada, se han definido 41 subciclos. La figura 5 muestra la aceleración positiva relativa (RPA) para cada una de estas fases individuales (subciclos) de los ciclos NEDC, WLTC y la prueba de RDE. La aceleración positiva relativa es un parámetro ampliamente utilizado para

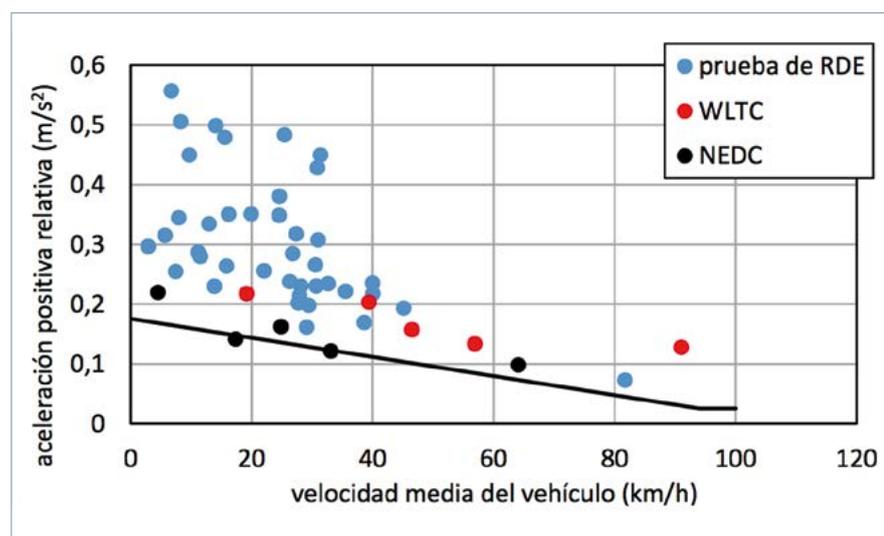


Figura 5. Distribuciones de la aceleración positiva relativa para el NEDC, WLTC y la prueba de RDE.

caracterizar las condiciones dinámicas en ciclos de vehículos de motor. Este parámetro cuenta las aceleraciones positivas del vehículo durante un subciclo, ponderadas con la distancia recorrida, el tiempo de conducción y la velocidad del vehículo. Por tanto, la aceleración positiva relativa aumenta cuando las características de conducción propuestas incluyen aceleraciones importantes, lo que conduce a aumentar tanto las emisiones de escape y el consumo de combustible. El cálculo de este parámetro también es obligatorio para comprobar la validez de la ruta de conducción de acuerdo con los requisitos del procedimiento RDE.

El valor mínimo de aceleración positiva relativa (RPA) impuesto por el procedimiento RDE se representa en la figura 5 mediante una línea negra continua. Este límite varía dependiendo de la velocidad media como indican las siguientes ecuaciones:

$$RPA > (-0,0016 \cdot \bar{v} + 0,1755) \text{ para } \bar{v} \leq 94,05 \text{ km/h}$$

$$RPA > 0,025 \text{ para } \bar{v} > 94,05 \text{ km/h}$$

Como se puede ver en la figura 5, todos los valores de aceleración positiva relativa para la prueba de RDE están por encima del mínimo propuesto por el procedimiento RDE. La mayoría está dentro del rango de 0,2-0,5 m/s<sup>2</sup> con velocidades medias menores de 40 km/h. De esta forma, la prueba de RDE tiene un rango de aceleraciones positivas relativas a bajas velocidades notablemente más amplio si se compara con los ciclos NEDC y WLTC. Los ciclos NEDC y

WLTC se caracterizan por unos valores de aceleración positiva relativa bajos, cercanos a los valores de mínimo definidos para el procedimiento RDE, con valores entre 0,1-0,2 m/s<sup>2</sup>. Así, a pesar de que la conducción durante la prueba de RDE no fue agresiva, se observa que los ciclos NEDC y WLTC no captan las características típicas de conducción a bajas velocidades del vehículo. En estas condiciones, que ocurren durante la conducción urbana, los valores de aceleración positiva relativa para los ciclos WLTC y NEDC son hasta tres veces inferiores a los encontrados en la prueba de RDE. Por tanto, es de esperar que las emisiones de NO<sub>x</sub> sean más altas en el último caso debido a los mayores rangos de aceleración del vehículo. El cambio del comportamiento de conducción hacia un comportamiento exageradamente relajado, con aceleraciones muy suaves, podría ayudar a reducir los valores de este parámetro de aceleración positiva cerca del límite mínimo impuesto por la regulación RDE, contribuyendo así a reducir las emisiones de NO<sub>x</sub>. Sin embargo, esta tarea puede no ser fácilmente alcanzable teniendo en cuenta las condiciones impuestas por el tráfico real.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> son las más perseguidas en vehículos diésel, debido a sus efectos perjudiciales sobre la salud. Como se pudo ver en la figura 4, las emisiones de NO<sub>x</sub> en condiciones reales de conducción son consecuencia principalmente de las aceleraciones bruscas de los vehículos. Esta afirmación se puede corroborar en la figura 6, en la que las

emisiones de NO<sub>x</sub> para los 41 subciclos de la prueba de RDE se representan en función de la aceleración positiva relativa y de la velocidad media del vehículo en ese subciclo. Las áreas de burbujas varían con la tasa de emisiones de NO<sub>x</sub>, y los valores máximo y mínimo son 2,22 g/km y 0,27 g/km, respectivamente.

En los primeros subciclos de la prueba, tiene lugar el periodo de arranque en frío y calentamiento del motor. Esto se debe a que el motor se encuentra frío en las primeras fases de la ruta, empieza a calentarse y, en consecuencia, su temperatura va aumentando progresivamente. En estas condiciones, la temperatura en la línea de escape es inferior a la temperatura de activación del filtro de partículas NO<sub>x</sub> (LNT), aumentando así las emisiones de NO<sub>x</sub>. Estos subciclos aparecen destacados en la figura 6 (burbujas negras). Se puede observar que en estas primeras fases de la prueba, las tasas de NO<sub>x</sub> (área de las burbujas) son mayores que en los subciclos circundantes, los cuales tienen condiciones similares pero en condiciones de motor caliente. Las emisiones de NO<sub>x</sub> para estos primeros subciclos se sitúan entre los 0,79 g/km y los 1,16 g/km.

Una vez superada esta primera fase de calentamiento, que la normativa permite desestimar, empieza la fase urbana propiamente dicha. En la figura 6, se observa que las cinco mayores tasas de emisiones de NO<sub>x</sub> (burbujas rojas) en estos subciclos se producen generalmente a velocidades bajas (<30 km/h) y con elevadas tasas de aceleración. La única excepción, en la que la tasa de aceleración es menor, dentro de estos cinco casos, es la del subciclo con mayores emisiones (2,22 g/km). Este caso representa un ciclo de corta duración, 37 segundos, en el cual el vehículo aceleró hasta los 42 km/h y volvió a decelerar rápidamente sin recorrer mucha distancia. Este tipo de subciclos está muy relacionado con las condiciones del tráfico real cuando se realiza la prueba y no se incluyen en los ciclos de homologación actuales. Las emisiones de NO<sub>x</sub> para estos cinco subciclos con mayores emisiones se sitúan entre 1,33 g/km y 2,22 g/km. Por otro lado, las cinco menores tasas de emisiones de NO<sub>x</sub> (burbujas azules) en estos subciclos ocurren generalmente a velocidades medias, entre 30 km/h y 40 km/h y con tasas de aceleración suaves. Las emisiones de NO<sub>x</sub> para estos cinco subciclos con menores

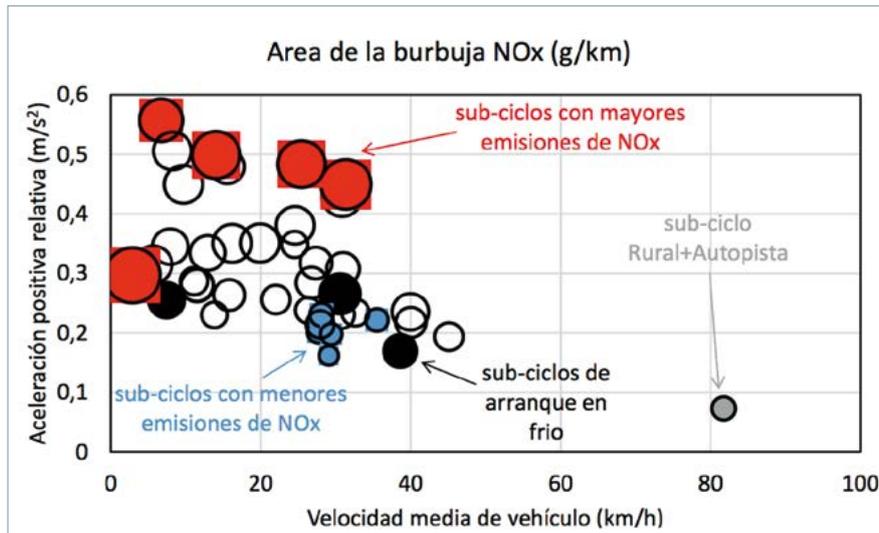


Figura 6. Emisiones de NO<sub>x</sub> para cada subciclo en función de la aceleración positiva relativa y de la velocidad media.

emisiones se sitúan entre los 0,27 g/km y los 0,39 g/km. Finalmente, el último subciclo que comprende las fases rural y de autopista muestra condiciones de conducción de alta velocidad media de vehículo y baja tasa de aceleración, lo que conduce a una baja tasa de emisión de NO<sub>x</sub> (0,4 g/km).

### Conclusiones

En este estudio se han presentado y analizado las emisiones de NO<sub>x</sub> en un vehículo diésel Euro 6 a través de una ruta de prueba que cumple con los requisitos impuestos por la nueva regulación RDE que entró en vigor en septiembre de 2017. Como se ha podido ver, la menor cantidad de NO<sub>x</sub> se emite durante la sección urbana de la ruta, en subciclos con velocidades medias elevadas y con tasas de aceleración pequeñas. Estos casos presentan una ratio de emisiones de NO<sub>x</sub> que pueden llegar a ser del orden del 20% de las emisiones que se producen en los subciclos con mayores tasas de NO<sub>x</sub>. Estos subciclos con emisiones más elevadas se suelen dar con velocidades medias menores y tasas de aceleración muy elevadas. Se puede observar también que las secciones rural y de autopista implican generalmente condiciones de funcionamiento de motor a velocidades constantes y más elevadas en las cuales la tasa de emisión de NO<sub>x</sub> es más reducida.

Todas estas características de la prueba, que marcan las velocidades del vehículo y las tasas de aceleración, vienen determinadas por el estilo de conducción y por las condiciones del tráfico

real. Esto hace que ciclos predefinidos como el NEDC o el WLTC tengan una representatividad limitada a la hora de evaluar lo que sucede durante la conducción real del vehículo. Pruebas como la que regula la normativa RDE pueden ser muy interesantes para estimar el consumo y las emisiones del vehículo en la vida real, no solo al principio para su homologación, sino también a lo largo de toda su vida útil.

Hay que tener en cuenta que desajustes entre las condiciones de homologación y las condiciones de conducción real pueden llevar a que el consumidor perciba un aumento en el consumo de su vehículo respecto a los valores que establece su homologación, a limitar los esfuerzos por disminuir las emisiones nocivas de los vehículos y por reducir la dependencia de los combustibles fósiles y, en último lugar, aumentar la desconfianza del consumidor hacia los fabricantes de vehículos.

### Agradecimientos

El coautor J. Monsalve-Serrano agradece el apoyo financiero de la Universitat Politècnica de València bajo la beca Ayudas para la Contratación de Doctores para el Acceso al Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación.

### Bibliografía

1. Araghi Y, Kroesen M, Van Wee B. (2017). Identifying reasons for historic car ownership and use and policy implications: An explorative latent class analysis. *Transport Policy*, Volume 56, p. 12-8.
2. González J, Otsuka Y, Araki M, Shiga S. (2017). Impact of new vehicle market composition on the light-duty vehicle fleet CO<sub>2</sub> emissions and cost. *Energy Procedia*, Volume 105, p. 3862-7.
3. The Automobile industry Pocket Guide 2015-2016. (2016). European Automobile Manufacturers' Association's (ACEA). Brussels.

4. Fontaras G, Dilara P. (2012). The evolution of European passenger car characteristics 2000-2010 and its effects on real-world CO<sub>2</sub> emissions and CO<sub>2</sub> reduction policy. *Energy Policy*, Volume 49, p. 719-30.
5. Myung C-L, Jang W, Kwon S, Ko J, Park S. (2017). Evaluation of the real-time de-NO<sub>x</sub> performance characteristics of a LNT-equipped Euro-6 diesel passenger car with various vehicle emissions certification cycles. *Energy*, Volume 132, p. 356-69.
6. Commission Regulation (EC) No 692/2008 of 18 July 2008 implementing and amending Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council on type-approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information. *Off. J. Eur. Union L199*, 1-136. European Commission, 2008.
7. Sileghem L, Bosteels D, May J, Favre C, Verhelst S. (2014). Analysis of vehicle emission measurements on the new WLTC, the NEDC and the CADC. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 32, p. 70-85.
8. Degraeuwe B, Weiss M. (2017). Does the New European Driving Cycle (NEDC) really fail to capture the NO<sub>x</sub> emissions of diesel cars in Europe? *Environmental Pollution*, Volume 222, p. 234-41.
9. Stephen E. Plotkin (2007). *Examining Fuel Economy and Carbon Standards for Light Vehicles*. Discussion Paper No. 2007-1. OECD-ITF Joint Transport Research Centre, ed.
10. Tutuianu M, Bonnel P, Ciuffo B, et al. (2015). Development of the World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 40, p. 61-75.
11. Ko J, Jin D, Jang W, Myung C-L, Park S. (2017). Comparative investigation of NO<sub>x</sub> emission characteristics from a Euro 6-compliant diesel passenger car over the NEDC and WLTC at various ambient temperatures. *Applied Energy*, Volume 187, p. 652-62.
12. Pathak S, Sood V, Singh Y, Channiwalla S. (2016). Real world vehicle emissions: Their correlation with driving parameters. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 44, p. 157-76.
13. Peter Mock, John German, Anup Bandivadekar, Iddo Riemersma (2012). Discrepancies between type-approval and "real-world" fuel consumption and CO<sub>2</sub> values. *International Council on Clean Transportation*, ed.
14. Dings, John (2013). *Mind the Gap! Why official car fuel economy figures don't match up to reality*. *Transport and Environment*, ed.
15. Commission Regulation (EU) 2016/427 of 10 March 2016 amending Regulation (EC) No 692/2008 as regards emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 6). *Off. J. Eur. Union L82*, 1-98. European Commission, 2016.
16. Kousoulidou M, Fontaras G, Ntziachristos L, Bonnel P, Dilara P. (2013). Use of portable emissions measurement system (PEMS) for the development and validation of passenger car emission factors. *Atmospheric Environment*, Volume 64, p. 329-38.
17. On-board Emissions Measurement System OBS-ONE GS Unit, HORIBA (2016). <http://www.horiba.com/automotive-test-systems/products/emission-measurement-systems/on-board-systems/details/on-board-emissions-measurement-system-obs-one-gs-unit-23645/> (Consultado el 26 de junio de 2017).