

# DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHÍCULOS EN BASE A LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN EPA FTP 75 Y EPA HWFET, EN DINAMÓMETRO DE CHASIS. CASOS DE ESTUDIO: VEHICULOS RENAULT SANDERO 1.6 2012 Y KIA RIO R 1.4, 2015

Edwin Argudo<sup>a</sup>, Jorge Cuenca<sup>a</sup>

Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz,  
Av. 24 de mayo y Hernán Malo Gonzales, Cuenca, Ecuador  
edwin.argudo82@gmail.com; georwetunning@gmail.com

## Abstract.

A great part of the air pollution in cities is caused by vehicular emissions. Currently, in our country there is no fuel consumption data of the vehicle traveling here. The present project contributed with the creation of this database, estimating the consumption of two vehicles of major circulation, as Kia Rio R 1.4l 2015 and Renault Sandero Stepway 1.6l 2012. Fuel consumption estimation was performed following the EPA FTP75 (urban cycle) and HWFET (road cycle) driving cycles. The test were conducted on a dynamometer bench. The following results were obtained: For the Kia Rio R vehicle, in the urban cycle a yield of 16.9 [km/l]; and the road cycle a yield of 26.82 [km/l]. For the Renault Sandero Stepway, the urban cycle a yield of 15.71 [km/l]; and in the road cycle, a yield of 23.85 [km/l]. The results obtained showed a high degree of verisimilitude.

**Keywords:** consumption, driving cycles, emissions, autonomy, chassis dynamometer

## Resumen.

Gran parte de la contaminación del aire en las ciudades es causada por las emisiones vehiculares; actualmente en nuestro país no existe una base de datos con el consumo de combustible de los vehículos que aquí circulan. El presente proyecto, aportará con la creación de esta base de datos, al estimar el consumo de dos vehículos de gran circulación, como lo son: el vehículo Kia Rio R 1.4l 2015 y el Renault Sandero Stepway 1.6l 2012; la estimación del consumo se realizó siguiendo los ciclos de conducción EPA FTP75 (ciclo urbano) y HWFET (ciclo en carretera), las pruebas se realizaron en un banco dinámico.

Se obtuvieron los siguientes resultados: Para el vehículo Kia Rio R, en el ciclo urbano se obtuvo un rendimiento de: 16,9 [km/l] y en el ciclo de carretera un rendimiento de 26,82 [km/l]; para el vehículo Renault Sandero Stepway, en el ciclo urbano se obtuvo un rendimiento de: 15,71 [km/l] y en el ciclo de carretera un rendimiento de 23,85 [km/l]. Los resultados obtenidos muestran un alto grado de verosimilitud

**Palabras claves:** Consumo, Ciclos de conducción, Emisiones, Autonomía, Dinamómetro de chasis

## I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es ocasionado por la acumulación de gases de efecto invernadero; entre ellos el CO<sub>2</sub>, gran parte del CO<sub>2</sub> generado por el hombre proviene de la quema de combustibles, entre ellos los

que utilizamos para satisfacer nuestras necesidades de movilización. (Ríos & Arango, 2013)

Las exigencias del protocolo de Kyoto, (Tsuji & Kato, 2013), comprometen a los estados suscriptores a controlar sus emisiones de CO<sub>2</sub>. En el año 2008, la Unión Europea, fijó un reglamento en el cual se estipula que los automóviles a partir del año 2015, emitan como máximo 130 gramos de CO<sub>2</sub> por cada Km. recorrido; este reglamento indica que, a partir del año 2021, se permitirá la venta de

vehículos que generen, como máximo 95 gramos de CO<sub>2</sub> por cada km recorrido. (Transport and Environment, 2017).

En el Ecuador el 42% de la demanda energética, es consumida por el sector del transporte, siendo los combustibles más consumidos el diésel, en un 45% y la gasolina en un 43%. ( Delgado Noboa, 2016)

Según la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) del Municipio de Cuenca, cada año, esta ciudad emite al medio ambiente, 2,56 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). (Christian Sánchez, 2013) Es por ello, que resulta imprescindible reducir el consumo de combustible, que requieren los vehículos, mejorando así su eficiencia.

Con el fin de difundir el rendimiento de los vehículos, La EPA (agencia de protección del medio ambiente estadounidense), ha creado una base de datos; sin embargo, muchos de los vehículos que circulan en nuestro país, no han sido incluidos en este listado. Por otro lado, los datos de consumo de combustible presentados por los fabricantes de estos vehículos se obtienen en pruebas en condiciones estándar y se sospecha que no reflejan la realidad.

En el presente trabajo, se midió el consumo de combustible de dos vehículos que circulan en nuestro país, como son; el vehículo Kia Rio R 1.4l año 2015 y Renault Sandero Stepway 1.6l año 2012; para las pruebas se siguieron ciclos de conducción EPA, en un banco dinámico de chasis. Las pruebas se realizaron en la ciudad de Cuenca, la cual está a 2538 msnm. (Fundación Municipal de Turismo, 2017)

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar el consumo de combustible de los vehículos, citados; se utilizaron los ciclos de conducción EPA FTP75. (Figura 1), para representar traslados dentro de una ciudad, y el ciclo EPA HWFET. (Figura 2), para representar traslados en carretera. Al seguir un ciclo de conducción el estilo de manejo, propio de cada conductor no incide sobre los resultados.

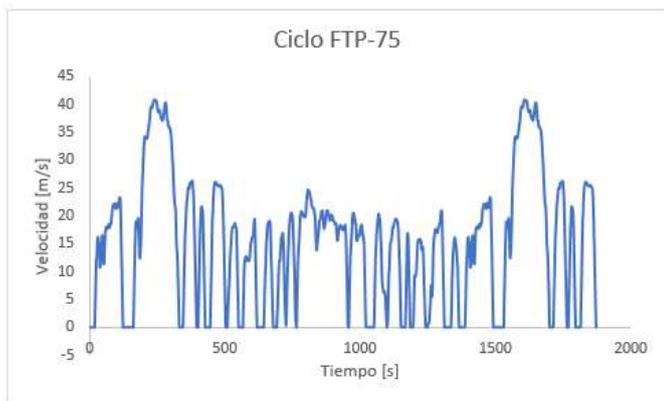


Figura 1. Ciclo de conducción FTP 75  
Fuente: (EPA 2017)



Figura 2. Ciclo de conducción HWFET  
Fuente: (EPA 2017)

Las pruebas de manejo, siguiendo los ciclos de conducción citados, se realizaron en un banco dinamométrico de chasis, en él se deben simular las cargas que un vehículo debe vencer para poder desplazarse (resistencia de arrastre -Fd-, resistencia a la rodadura -Rx-, resistencia a la pendiente -Rg- y resistencia a la Inercia Ri). (Figura 3)



Figura 3. Fuerzas que se oponen al avance de un vehículo.

A continuación, se resumen los modelos que permiten estimar cada una de las fuerzas que intervienen en el desplazamiento de un vehículo. (Gillespie, 1992).

$$F_x = F_d + R_x + R_i + R_g \quad (1)$$

$F_x$ = Fuerza de tracción [N]  
 $F_d$ = Resistencia de arrastre [N]  
 $R_x$ = Resistencia a la rodadura [N]  
 $R_i$ = Resistencia debido a la inercia [N]  
 $R_g$ = Resistencia debido a la pendiente [N]

**Resistencia de arrastre ( $F_d$ ):**

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho_a \cdot V^2 \quad (2)$$

$C_d$ = Coeficiente de arrastre (depende de la forma) [-]  
 $A$ = Área frontal del Vehículo [m<sup>2</sup>]  
 $\rho_a$ =Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]  
 $V$ = Velocidad [m/s]

**Resistencia a la rodadura ( $R_x$ ):**

$$R_x = f_r \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad (3)$$

$f_r$ = Coeficiente de resistencia a la rodadura [-]  
 $m$ = Masa del vehículo [kg]  
 $g$ = gravedad [m/s<sup>2</sup>]  
 $\theta$ = pendiente [rad]

**Resistencia a la Inercia ( $R_i$ ):**

$$R_i = m \cdot a \quad (4)$$

$m$ = Masa del vehículo [kg]  
 $a$ = aceleración del vehículo [m/s<sup>2</sup>]

**Resistencia a la pendiente ( $R_g$ ):**

$$R_g = m \cdot g \cdot \text{seno}(\theta) \quad (5)$$

$m$ = Masa del vehículo [kg]  
 $g$ = gravedad [m/s<sup>2</sup>]  
 $\theta$ = pendiente [rad]

Para estimar los coeficientes de arrastre ( $c_d$ ), y de resistencia a la rodadura ( $f_r$ ), se realizaron 12 pruebas de desaceleración libre, para cada vehículo, según las recomendaciones SAE J1263, en la cual se registra la velocidad de un vehículo que se desacelera a partir de una velocidad inicial entre 100 y 120km/h, en una vía plana. (Figura 4). Las pruebas se llevaron a cabo en la provincia del Azuay, en la ciudad de Cuenca, en la parroquia Cumbe, en la carretera Panamericana km 35, con las siguientes coordenadas: latitud -3.044957 y longitud -79,04367.(Google map, 2017)

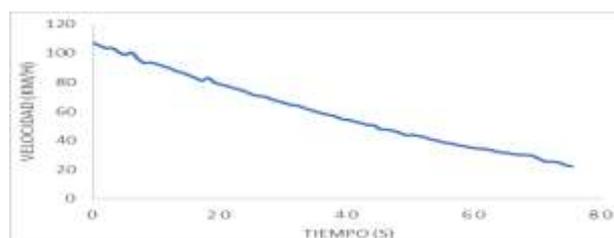


Figura 4. Diagrama velocidad – tiempo (prueba de desaceleración libre en pista) Fuente: (Autores)

Con estos datos y los que se presentan en las Tablas 1 y 2, y al resolver la ecuación 1, a través de un proceso iterativo de ajuste automático de variables es posible estimar con un rango de error aceptable los coeficientes  $c_d$  y  $f_r$ . (el rango de error se estimó con un intervalo de confianza del 95%, asumiendo condiciones de normalidad en una función “t de student”

Tabla 1. Datos considerados para el vehículo Renault Sandero Stepway 1.6l, para procesar los datos de las pruebas de desaceleración libre.

Parámetros del Renault Sandero Stepway 1.6l				
Parámetro	Símbolo	Obtención	Resultado	Unidades
Masa	[m]	Bascula	1288,60	[kg]
Área Frontal	[A]	Programa CAD	2,29	[m <sup>2</sup> ]
Gravedad	[g]	Literatura	9,81	[m/s <sup>2</sup> ]
Densidad del aire	[ρa]	Agencia espacial civil ecuatoriana	0,91	[kg/m <sup>3</sup> ]

Tabla 2. Datos considerados para el vehículo Kia Rio R 1.4l, para procesar los datos de las pruebas de desaceleración libre

Parámetros del Kia Rio R 1.4l				
Parámetro	Símbolo	Obtención	Resultado	Unidades
Masa	[m]	Bascula	1135	[kg]
Área Frontal	[A]	Programa CAD	2,00	[m <sup>2</sup> ]
Gravedad	[g]	Literatura	9,81	[m/s <sup>2</sup> ]
Densidad del aire	[ρa]	Agencia espacial civil ecuatoriana	0,91	[kg/m <sup>3</sup> ]

Para la estimación de los coeficientes a, b y c, se procesará esta información y se obtendrá una curva de regresión de segundo grado. (Figura 5), Los coeficientes de la ecuación de segundo grado obtenida a partir de ello son los que sirven para la corrección del ensayo en el banco dinamométrico.

$$y = -0,0299x^2 + 6,5438x + 124,7$$

c
b
a

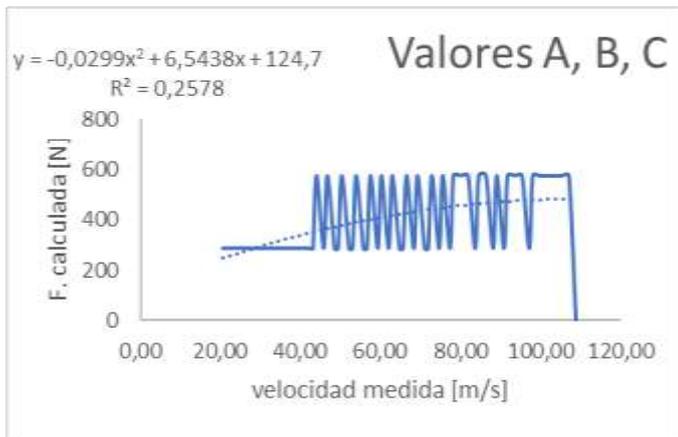


Figura 5. Determinación de los coeficientes de ajuste  
Fuente: (Autores)

Para estimar el consumo de combustible, que demandan estos vehículos, se realizaron 6 pruebas, utilizando un banco dinamométrico de chasis; (Figura 6) bajo ciclos de conducción establecidos por la EPA. Estos ciclos serán ingresados al programa de

simulación del banco dinamométrico de chasis según la norma SAE J2264, con los respectivos coeficientes antes determinados. (Figura 6)



Figura 6. Pruebas en dinamómetro de chasis.

Para obtener las variables (velocidad, tiempo, latitud, longitud, altitud, consumo instantáneo), se utilizó un “data logger”, con una conexión directa al OBD-II. La comunicación se la realiza mediante una aplicación del celular denominada: “torque pro®”, que permite conectar la interface ELM – 327®, que mide el consumo instantáneo de combustible en base a la información recabada por los sensores del motor; posteriormente estos datos se analizan en una hoja de cálculo para estimar el consumo de combustible total del ciclo.

Finalmente se comprobó que el ciclo efectivo de manejo coincide con los ciclos estandarizados EPA FTP75, y EPA HWFET, para ello se estimó el coeficiente de correlación el cual debe ser aproximado a 1. (Figura 7)

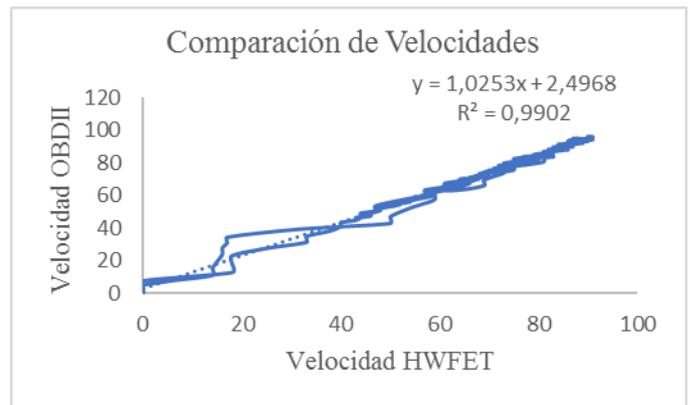


Figura 7. Coeficiente de correlación R<sup>2</sup>  
Fuente: (Autores)

### III. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas:

Tabla 3. Obtención de resultados de los Coeficientes en pruebas “Coast Down”

Obtención de resultados de Kia Rio R 1.4l					
Parámetro	Símbolo	Obtención	Resultado	Intervalo de confianza	Unidades
Coefficiente de arrastre	[Cd]	“Coast Down”	0,48	± 0,133	[-]
Coefficiente de resistencia a la rodadura	[Fr]	“Coast Down”	0,0093	± 0,0043	[-]
Coefficiente de rodadura	[a]	“Coast Down”	63.664	± 87.633	[-]
Coefficiente de Fricción	[b]	“Coast Down”	4.322	± 3.684	[-]
Coefficiente aerodinámico	[c]	“Coast Down”	-0,0208	± 0.025	[-]

Tabla 4. Obtención de resultados de los Coeficientes en pruebas “Coast Down”

Obtención de resultados de Renault Sandero Stepway 1.6l					
Parámetro	Símbolo	Obtención	Resultado	Intervalo de confianza	Unidades
Coefficiente de arrastre	[Cd]	“Coast Down”	0,40	± 0,0871	[-]
Coefficiente de resistencia a la rodadura	[Fr]	“Coast Down”	0,0169	± 0,0055	[-]
Coefficiente de rodadura	[a]	“Coast Down”	186,71	± 69,178	[-]
Coefficiente de Fricción	[b]	“Coast Down”	2,706	± 2,515	[-]
Coefficiente aerodinámico	[c]	“Coast Down”	-0,00629	± 0,0162	[-]

Mediante el análisis de los datos obtenidos basados en los ciclos de conducción establecidos por la EPA, determinamos las gráficas de ajuste entre la velocidad OBD vs el ciclo de conducción en las siguientes figuras 8,9,10 y 11; se observan los diagramas de velocidad - tiempo obtenidos al igualar el ciclo de conducción EPA HWFET. (Figura 4) y FTP 75. (Figura 5) con el ciclo real de la prueba obtenido mediante el datalogger para el vehículo Kia Rio R.



Figura 8. Diagrama Velocidad Tiempo Kia Rio R 2015  
Fuente: (Autores)



Figura 9. Diagrama Velocidad Tiempo Kia Rio R 2015  
Fuente: (Autores)

En las siguientes figuras, se representan el ajuste entre el OBD vs ciclo de conducción, para el vehículo Renault Sandero.

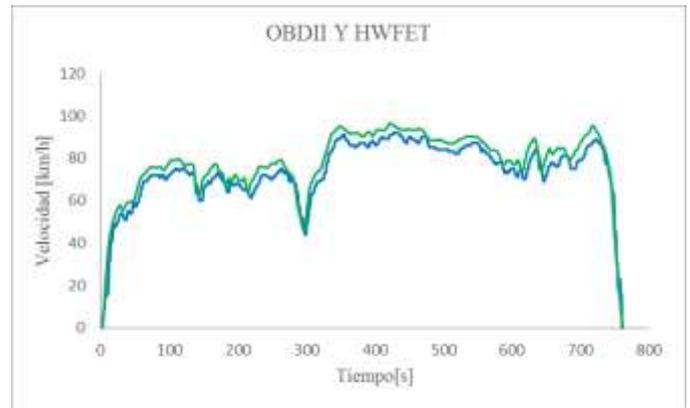


Figura 10. Diagrama Velocidad Tiempo Renault Sandero 2012  
Fuente: (Autores)

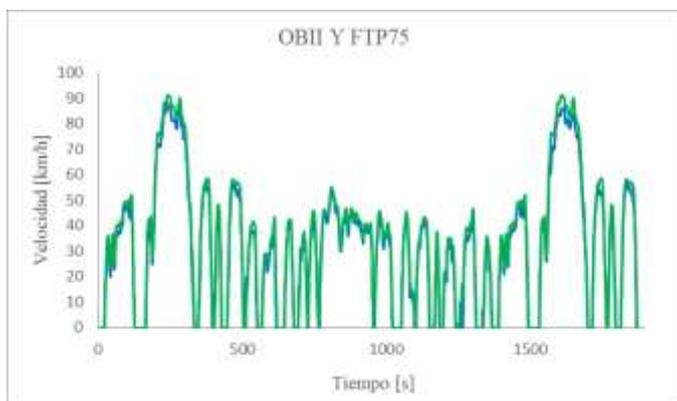


Figura 11. Diagrama Velocidad Tiempo Renault Sandero 2012

Fuente: (Autores)

En las tablas 5 y 6 se muestran los resultados del consumo de combustible de los automóviles Kia Rio R 1.4l año 2015 y Renault Sandero 1.6l año 2012, respectivamente, siguiendo los ciclos de conducción establecidos por la (EPA, 2017)

Tabla 5. Determinación del consumo de combustible

Consumo de combustible del Renault Sandero Stepway 1.6l				
Parámetro	Símbolo	Obtención	Resultado	Unidades
Eficiencia	[E]	Ciclo FTP75	15,71	[km/L]
Fabricante	[Fa]	Ciclo FTP 75	10,0	[km/L]
Eficiencia	[E]	Ciclo HWFET	23,85	[km/L]
Fabricante	[Fa]	Ciclo HWFET	17,90	[km/L]

Tabla 6. Determinación del consumo de combustible

Consumo de combustible del Kia Rio R 1.4l				
Parámetro	Símbolo	Obtención	Resultado	Unidades
Eficiencia	[E]	Ciclo FTP75	16,9	[km/L]
Fabricante	[Fa]	Ciclo FTP 75	13,9	[km/L]
Eficiencia	[E]	Ciclo HWFET	26,82	[km/L]
Fabricante	[Fa]	Ciclo HWFET	22,2	[km/L]

#### IV CONCLUSIONES

1. El método utilizado para estimar el consumo de combustible, y en base al estudio del estado del arte, es adecuado y pertinente, sin embargo, para lograr una mejor aproximación se podría utilizar un caudalímetro durante la medición del consumo de combustible, en el banco dinámico.
2. Los resultados de las pruebas de desaceleración libre obtenidos (vehículo Kia Rio R fue:  $C_d = 0,48 \pm 0,133$ ,  $F_r = 0,0093 \pm 0,0043$ , y vehículo Renault Sandero,  $C_d = 0,40 \pm 0,0871$ ,  $F_r = 0,0169 \pm 0,0055$ ), permiten validar el proceso de análisis efectuado, ya que existe correlación con valores encontrados en la literatura, y en manuales técnicos de los vehículos estudiados. (Carfolio, 2017)
3. Los coeficientes de ajuste a, b, y c fueron calculados en base a la norma SAE J 2264; los valores encontrados, son: vehículo Kia Rio R:  $a = 66,66 \pm 87,633$ ,  $b = 4,322 \pm 3,684$ ,  $c = -0,0208 \pm 0,025$  y para el vehículo Renault Sandero:

$a = 186,71 \pm 68,178$ ,  $b = 2,706 \pm 2,515$ ,  $c = -0,00629 \pm 0,0162$ ; si bien las recomendaciones de la norma citada, fueron seguidas cuidadosamente, es necesario mayor análisis en el método, con el fin de lograr mayor precisión en los resultados de medición de consumo.

4. A través de las pruebas de medición de consumo de combustible llevadas a cabo en el banco dinámico, siguiendo los ciclos de conducción EPA; FTP 75 y HWFET; se obtuvieron los siguientes resultados: Para el vehículo Kia Rio R, en el ciclo urbano se obtuvo un rendimiento de: 16,9 [km/l] y en el ciclo de carretera un rendimiento de 26,82 [km/l]; para el vehículo Renault Sandero Stepway, en el ciclo urbano se obtuvo un rendimiento de: 15,71 [km/l] y en el ciclo de carretera un rendimiento de 23,85 [km/l], al comparar estos resultados con datos referenciales (manuales técnicos de los vehículos estudiados), es evidente que el error es alto, para disminuirlo habrá que encontrar la forma de ajustar de mejor manera los coeficientes a, b y c.

#### V REFERENCIAS

- Carfolio. (2017). 2009 Renault Sandero 1.6 specifications, data, fuel economy, performance, photos 285373. Retrieved August 23, 2017, from <http://www.carfolio.com/specifications/models/car/?car=285373>.
- Christian Sánchez. (2013). Cuenca emite anualmente 2,56 toneladas de dióxido | Diario El Mercurio - Cuenca Ecuador. <https://doi.org/2013>
- Delgado Noboa, D. (2016). Balance Energético Nacional 2016, 118. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- EPA, 2017. (2017). Dynamometer Drive Schedules. Retrieved from <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>
- Fundación Municipal de Turismo. (2017). Turismo Cuenca Ecuador. Retrieved August 20, 2017, from <http://cuencaecuador.com.ec/>.
- Gillespie, T. D. (1992). Fundamentals of Vehicle Dynamics. *Analysis*. <https://doi.org/10.4271/R-114>
- Google map. (2017). Mapa de Cumbe, Azuay, Cuenca, Cumbe en Ecuador - imagen de satélite / satelital, coordenadas GPS. Retrieved August 20, 2017, from <http://mapasamerica.dices.net/ecuador/mapa.php?nombre=Cumbe&id=3411>.
- Ríos, R. A., & Arango, F. (2013). Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte. *Banco Interamericano Del Desarrollo*, 1–138. Retrieved from [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/3613/Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases efecto invernadero. En el sector transporte..pdf?sequence=4](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/3613/Estrategias%20de%20mitigaci%C3%B3n%20y%20m%C3%A9todos%20para%20la%20estimaci%C3%B3n%20de%20las%20emisiones%20de%20gases%20efecto%20invernadero.%20En%20el%20sector%20transporte..pdf?sequence=4).
- Transport and Environment. (2017). Coches y CO2 | Transporte y Medio Ambiente. Retrieved September 17, 2017, from <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/cars-and-co2>.
- Tsuji, K., & Kato, T. (2013). VHDL-AMS full hybrid vehicle simulation model for the concept planning and the power performance and fuel economy estimation results. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 7, pp. 161–165). IFAC. <https://doi.org/10.3182/20130904-4-JP-2042.00058>.

