

## ESTIMACIÓN DE LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN VEHÍCULOS COMO CONSECUENCIA DE LA REDUCCIÓN DEL PESO

Carlos Muñoz

Javier Sanfelix

Vicente Franco

Daniel Garraín

Rosario Vidal

*Grupo de Ingeniería del Diseño, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, Castellón (España)*

Daniel Justel

*Departamento de Mecánica y Producción Industrial, Escuela Politécnica Superior de Mondragón (EPS), Mondragón Unibertsitatea, Arrasate (España)*

### Abstract

The automotive sector, given the need to reduce energy demand and environmental impact of vehicles, needs to reduce the weight of vehicles. Lightweighting strategy to implement is based on the massive use of plastics and composites, which are lighter than steel and alloys.

Use of plastics and composites will significantly reduce emissions during the use stage. In that phase energy demand is about 85% of the total energy required during the life cycle of the vehicle. However, it should be assessed whether the improvements are not offset in other stages of the life of the product, in which steels and alloys may have less environmental impact than plastics and composites.

In order to work out the fuel savings achieved during the use stage of the vehicle due to the weight reduction, several mathematical models can be used during the design phase. The study of those models will let us know the design parameters that must be considered in order to successfully apply the lightweighting strategy.

**Keywords:** *fuel consumption; reinforced plastic; lightweighting; eco-design*

### Resumen

El sector del automóvil, ante la necesidad de reducir la demanda energética y el impacto medioambiental de los vehículos, necesita aligerar el peso del vehículo. La estrategia de aligeramiento a aplicar se basa en la utilización masiva de plásticos y composites –más ligeros que los aceros y las aleaciones.

La utilización de plásticos y composites permitirá reducir significativamente las emisiones durante la etapa de utilización –etapa en la que se demanda aproximadamente el 85% del total de energía del ciclo de vida del vehículo. Sin embargo, se deberá evaluar si las mejoras logradas no son contrarrestadas en otras etapas de la vida del producto en las que los

aceros y las aleaciones puedan tener un impacto medioambiental inferior al de los plásticos y composites.

Para determinar en la etapa de diseño el ahorro de combustible logrado en la etapa de utilización, debido a la reducción de peso, se pueden utilizar distintos modelos matemáticos. El estudio de estos modelos permitirá conocer las variables de diseño fundamentales que deben considerarse para aplicar con éxito la estrategia de aligeramiento.

**Palabras clave:** *consumo de combustible; plástico reforzado; aligeramiento; eco-diseño*

## 1. Introducción

El desarrollo sostenible del sector del transporte por carretera se fundamenta en tres aspectos básicos:

1. Reducir la demanda energética de los vehículos, independientemente del tipo de motorización considerado (OPTI, 2001).
2. Disminuir la contaminación debida a los gases de efecto invernadero.
3. Aumentar la reciclabilidad de los vehículos.

La reducción de la demanda energética está directamente relacionada con la reducción del peso del vehículo y el aumento del rendimiento del motor (OPTI, 2003). Al igual que ha ocurrido en otros sectores, la utilización de aceros de alta resistencia, aleaciones ligeras y plásticos y composites permitirá aligerar el vehículo. Los plásticos y composites, con un mayor potencial de aligeramiento (Das, 2001; Green Car Congress, 2007), serán posiblemente la solución a esta cuestión.

Para comprender cómo disminuir la contaminación por gases de efecto invernadero se debe considerar que: el 86% del consumo de energía del vehículo se produce en la etapa de utilización (Zushi et al., 2005), la mayoría de los vehículos continuarán siendo propulsados por motores de combustión interna durante bastantes años<sup>1</sup> (OPTI, 2001), y la emisión de gases de efecto invernadero es directamente proporcional al consumo de combustibles fósiles. Por lo tanto, es lógico pensar que para reducir la contaminación producida por estos gases se deberá reducir el peso del vehículo –tal y como se ha expuesto para el primer aspecto.

La necesidad de incrementar la reciclabilidad se basa en la dimensión del parque automovilístico europeo y español –alrededor de 173 y 17 millones de unidades respectivamente–, que supone aproximadamente que cada año lleguen a su fin de vida en Europa 14 millones de vehículos (Comisión Europea, 2007) y 740.000 vehículos en España (SIGRAUTO, 2008). En el actual escenario de fin de vida la mayoría de los metales del vehículo son recuperados –70-75% del peso del vehículo–, mientras que la mayoría de plásticos y composites no son recuperados. La aplicación de plásticos y composites como estrategia para reducir el peso del vehículo y, consecuentemente, la demanda energética y la contaminación debida a los gases de efecto invernadero, puede suponer –en el actual escenario de fin de vida– un aumento de la cantidad de residuos de vehículos que son depositados en vertedero (Muñoz et al., 2009).

Parece evidente que la estrategia de aligeramiento utilizando plásticos y composites para reducir el impacto ambiental es adecuada. Sin embargo, se deberá analizar si la fabricación

---

<sup>1</sup> Suponiendo que todos los vehículos nuevos que salen al mercado utilizaran motorizaciones alternativas, como mínimo deberían de transcurrir 15 años –vida media con la que un vehículo llega a su fin de vida (SIGRAUTO, 2008) – para que desaparecieran los motores de combustión interna actuales.

de componentes más ligeros y su escenario de fin de vida pueden contrarrestar las ventajas logradas en la etapa de utilización del vehículo (Tharumarajah & Koltun, 2007).

La mejora ambiental del producto desde su concepción, desarrollo, utilización y fin de vida, implica analizar todos los aspectos ambientales del producto en todo su ciclo de vida y mejorar aquellos que sean más significativos (UNE 150301, 2003). Para lograrlo, en la etapa de diseño conceptual es necesario determinar el ahorro de combustible logrado en la etapa de utilización debido a la reducción de peso. El estudio de los modelos matemáticos de consumo de combustible permitirá conocer las variables de diseño fundamentales que deben considerarse para aplicar con éxito la estrategia de aligeramiento.

## 2. Objetivo

En esta comunicación se pretende analizar qué aspectos deben considerarse en la etapa de diseño conceptual a la hora de implementar la estrategia de aligeramiento en vehículos. El conocimiento adquirido servirá para determinar qué aspectos de diseño están relacionados con el peso del vehículo. Así, en futuros trabajos, en la etapa de diseño conceptual podrán evaluarse distintas soluciones para aligerar el vehículo utilizando plásticos y composites, atendiendo a los aspectos ambientales más significativos de las etapas de fabricación, utilización y fin de vida. Particularmente se pretende identificar la relación entre el peso del vehículo y el consumo de combustible.

Para lograrlo, en los apartados siguientes se mostrará el modelado del vehículo –su dinámica, modelos energéticos y modelos de emisiones–, un modelo para la estimación de la reducción del combustible en función del peso del vehículo, y otras consideraciones de diseño significativas.

## 3. Modelado del vehículo

En este apartado se expresará la relación entre las fuerzas que el vehículo debe vencer para desplazarse y la energía necesaria para tal fin. La energía que demanda un vehículo para su desplazamiento es la principal variable a considerar en los estudios sobre consumo de combustible y aspectos medioambientales de los automóviles. Esta demanda energética permite determinar de forma aproximada el consumo total de combustible y la mayoría de las emisiones gaseosas del vehículo. Por lo tanto, estimar la demanda energética de forma precisa en las etapas iniciales de diseño es importante para la estimación y cálculo de otros aspectos del producto –emisiones derivadas, viabilidad de la estrategia de aligeramiento, etc. Comprender la dinámica del vehículo, los modelos energéticos, los modelos de emisiones y los ciclos de conducción que habitualmente se aplican será útil para mostrar que factores caracterizan la relación peso-consumo de combustible.

### 3.1 Dinámica del vehículo

Básicamente, en el desplazamiento del vehículo intervienen cuatro fuerzas fundamentales que se oponen al movimiento (Pintado, 2000): resistencia a la rodadura (ecuación 1), resistencia a la pendiente (ecuación 2), resistencia debida a la inercia (ecuación 3) y la resistencia aerodinámica (ecuación 4). A continuación, se definen cada una de estas fuerzas:

- $F_R$ : fuerza resistente debida a la rodadura o rozamiento de los neumáticos con el pavimento.

La  $F_R$  se puede definir como:

$$F_R = f_R \cdot P \quad (1)$$

donde  $f_R$  es el coeficiente de rozamiento de los neumáticos con el pavimento y  $P$  es el peso total del automóvil.

- $F_P$ : fuerza resistente debida a la variación de la pendiente –asociada a la energía potencial gravitatoria– del pavimento por el que circula el vehículo.

La  $F_P$  es la componente longitudinal del peso del vehículo. Si definimos  $\theta$  –en radianes– como el ángulo que forma la carretera con la horizontal, al ser las pendientes de las carreteras suaves se puede aproximar  $\sin(\theta) \approx \theta$ , y  $\cos(\theta) \approx 1$  sin cometer errores significativos. Por lo tanto,  $F_P$  se puede expresar como:

$$F_P = P \cdot \theta \quad (2)$$

donde  $\theta$  es el ángulo de la pendiente y  $P$  es el peso total del automóvil.

- $F_I$ : fuerza resistente debida a la inercia que debe vencerse para variar la velocidad del vehículo.

La  $F_I$  se puede definir como:

$$F_I = a_x \cdot P \quad (3)$$

donde  $a_x$  es la aceleración longitudinal –en la dirección  $x$ – y  $P$  el peso total del automóvil.

- $F_A$ : fuerza resistente aerodinámica debida al movimiento del vehículo..

La  $F_A$  es proporcional a la presión dinámica del aire y al área frontal del vehículo. Por lo tanto:

$$F_A = c_x \cdot (1/2 \cdot \rho_a \cdot v^2) \cdot A \quad (4)$$

donde  $\rho_a$  es la densidad del aire,  $A$  es el área frontal del vehículo, y  $v$  la componente longitudinal de la velocidad relativa entre el automóvil y el aire. La constante de proporcionalidad se denomina coeficiente de resistencia aerodinámica ( $c_x$ ). Cuando la velocidad del viento es despreciable,  $v$  coincide con la velocidad del vehículo.

Por lo tanto, se puede definir la fuerza resultante ( $F_{RES}$ ) que debe vencer el vehículo para poder desplazarse como la suma de las cuatro fuerzas expuestas en las ecuaciones (1), (2), (3) y (4):

$$F_{RES} = F_R + F_P + F_I + F_A \quad (5)$$

Para el cálculo de la  $F_{RES}$  se pueden modelizar más fuerzas –como puede ser el agarre en las curvas– e incluir más parámetros en algunos de sus términos.

Se observa que el peso está presente en tres de las cuatro fuerzas consideradas,  $F_R$ ,  $F_P$  y  $F_I$ . Además, se debe destacar que existen casos particulares en los que alguna de las fuerzas anteriores se hace nula o negativa. Por ejemplo, en el caso de carretera llana la resistencia por pendiente ( $F_P$ ) será nula, mientras que cuando se trate de pendientes descendentes tendrá valor negativo. En cuanto a la  $F_I$ , esta será nula cuando se circule a velocidad constante y negativa cuando el vehículo reduzca su velocidad sin el accionamiento del sistema de frenado.

### 3.2 Modelo energético

Con el modelo de fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo, propuesto en la ecuación (5), se puede estimar la energía necesaria para el desplazamiento como el trabajo realizado por la  $F_{RES}$  para desplazar el vehículo a lo largo de un camino para un tiempo y una velocidad considerados.

Burgess y Choi (2003) muestran en su trabajo un modelo energético más detallado para el cálculo de la energía necesaria para contrarrestar las fuerzas resistivas, y lo comparan con el modelo europeo Eurotest (European Union, 93). Ambos modelos tratan de reproducir con precisión las condiciones reales de circulación que afectan al consumo de combustible del vehículo: orografía del terreno, condicionantes y restricciones de velocidad, cambios de dirección, señalización vial, modo de conducción, etc. Para ello, utilizan una serie de parámetros que se clasifican en los siguientes grupos: características del vehículo, características de la carretera y comportamiento humano durante la conducción.

Como parámetros asociados a las características del vehículo identifican:

- El coeficiente de rendimiento de la motorización ( $h_{mot}$ ).
- La masa del vehículo ( $m$ ) en kg.
- El área frontal del vehículo ( $A$ ) en  $m^2$ .
- El coeficiente de resistencia aerodinámica ( $C_x$ ).
- El comportamiento en las curvas mediante el coeficiente de rigidez total al giro ( $C_v$ ) expresado en kN/rad.

Como parámetros asociados a las características de la carretera por la que se desplaza el vehículo consideran:

- El coeficiente de exposición al viento ( $e_v$ ).
- El coeficiente de rozamiento de los neumáticos con el pavimento ( $m_r$ ).
- El radio de la vía ( $R$ ) en m.
- El ángulo de la pendiente ( $\theta$ ) de la carretera en radianes.
- La velocidad del vehículo ( $v_v$ ) en m/s.
- La velocidad del viento ( $v_w$ ) en m/s.
- El ángulo de incidencia del viento respecto al desplazamiento longitudinal del vehículo ( $\beta$ ) en radianes.

Y como parámetros asociados al comportamiento humano incluyen:

- La variación de la velocidad ( $a$ ).
- El estilo de conducción (Conductor), normal o agresivo.

La energía total demandada ( $U_{tot}$ ) en kJ, se obtiene como la contribución de las energías siguientes:

- $U_r$ , contribución debida a la resistencia por rozamiento.
- $U'_a$ , contribución debida a la resistencia aerodinámica sin condiciones de viento.
- $U_a$ , contribución debida a la resistencia aerodinámica del viento.
- $U_i$ , contribución debida a la aceleración inercial.
- $U_g$ , contribución debida a la componente gravitacional.

- $U_c$ , contribución debida al agarre en trayectoria curvilínea.

La Tabla 1 y la Tabla 2 exponen los parámetros considerados por Burges y Choi (2003) y Eurotest respectivamente. Cabe destacar que el Eurotest sólo tiene en cuenta los parámetros derivados de la resistencia a la rodadura ( $U_r$ ) y de la resistencia aerodinámica en ausencia de viento ( $U'_a$ ).

**Tabla 1: Parámetros que afectan a la demanda energética del vehículo en condiciones ventosas y sin viento (Burgess & Choi, 2003)**

$U_{tot}$	Parámetro														
	Vehículo					Carretera							Humano		
	$h_{mot}$	$m$	$A$	$C_x$	$C_v$	$e_v$	$\eta_i$	$\mu_r$	$R$	$\theta$	$v_v$	$v_w$	$\beta$	$a$	Conductor
$U_r$	•	•					•	•		•					•
$U'_a$	•		•	•							•				•
$U_a$	•		•	•		•					•	•	•		•
$U_i$	•	•									•			•	•
$U_g$	•	•								•					
$U_c$	•	•			•				•		•	•	•	•	•

**Tabla 2: Parámetros asumidos en el test de consumo de combustible y emisiones europeo Eurotest (European Union, 93)**

$U_{tot}$	Parámetro														
	Vehículo					Carretera							Humano		
	$h_{mot}$	$m$	$A$	$C_x$	$C_v$	$e_v$	$\eta_i$	$\mu_r$	$R$	$\theta$	$v_v$	$v_w$	$\beta$	$a$	Conductor
$U_r$	•	•						•							
$U'_a$	•		•	•							•			•	•
$U_a$															
$U_i$															
$U_g$															
$U_c$															

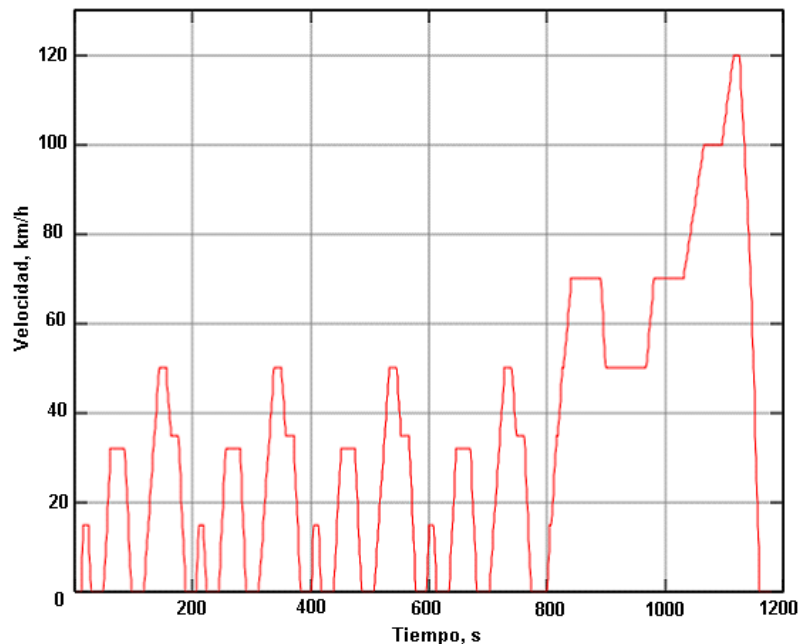
Ambos modelos revelan que la demanda energética –y por lo tanto el consumo de combustible del vehículo– depende de múltiples factores, relacionados con el diseño del vehículo, su manutención, el tipo de conducción, las condiciones ambientales, las características de la carretera y las medidas de control del tráfico entre otros. Es conveniente destacar que únicamente la energía debida a factores aerodinámicos no tiene entre sus variables la masa del vehículo.

### 3.3 Modelo de emisiones

Actualmente existen diversos modelos para la estimación de las emisiones de gases derivadas del consumo de combustible en los vehículos. Entre ellos, se pueden destacar el Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) (Brooker et al., 2002; Silva et al., 2006), el Physical Emission Rate Estimator (PERE) (Nam & Gianelli, 2005), el EcoGest y el Comprehensive Modal Emission Model (CMEM) (Silva et al., 2006). Estos modelos simulan el funcionamiento del vehículo estimando la respuesta dinámica del vehículo, los flujos de potencia y la pérdida de energía en la transmisión.

La elección de un modelo adecuado para la estimación de las emisiones de gases es una cuestión decisiva. Silva et al. (2006) concluyen que los modelos disponibles –concretamente EcoGest, ADVISOR y CMEM– se pueden utilizar para estimar el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> con un alto grado de fiabilidad. Los modelos de emisiones simulan el funcionamiento del vehículo en base a ciclos de conducción hipotéticos –velocidad frente al tiempo. Los ciclos de conducción estandarizados son esenciales en la realización de ensayos y pruebas para comprobar la bondad de los modelos de consumo y emisiones. La estandarización de resultados al utilizar ciclos de conducción permite que los resultados obtenidos por las herramientas de simulación se puedan validar con resultados reales, proporcionando una referencia útil para realizar comparaciones virtuales entre distintas motorizaciones. Un ejemplo de estos ciclos de conducción es el New European Driving Cycle (NEDC) (Figura 1). Este ciclo combina la simulación de conducción en un entorno urbano durante 780 s y en un entorno extra-urbano durante 400 s. La velocidad media del ciclo completo es de 33,6 km/h, la velocidad máxima de 120,0 km/h y la distancia total recorrida de 11 km (European Union, 2004). El ciclo de conducción NEDC emplea patrones de conducción aparentemente realistas, aunque es posible cuestionar su representatividad frente al consumo real de un coche. De cualquier forma, su utilización tiene como principal ventaja el establecer una base de cálculo estandarizada para realizar análisis y comparaciones. Además, es el ciclo de conducción más empleado para el cálculo del consumo de combustible en las publicaciones europeas (Koffler & Rohde-Brandenburger, 2009), lo que lo hace interesante para ser una referencia para futuros análisis en el contexto del aligeramiento del vehículo. No obstante, existen otros ciclos de conducción –como por ejemplo los Federal Test Procedure (FTP) para certificar las emisiones de vehículos ligeros en los Estados Unidos o los ciclos de conducción 10-15 japoneses– que podrían cumplir la misma función.

Figura 1: Ciclo de conducción NEDC: velocidad – tiempo



El inconveniente de los modelos de emisiones es que son complejos en lo que se refiere a la caracterización del vehículo. La estimación del consumo de un vehículo modelizado que se desea rediseñar –siguiendo la estrategia de aligeramiento mediante plásticos y composites– puede realizarse modificando casi exclusivamente el parámetro peso. Sin embargo, estimar el consumo de un vehículo no modelizado precisa de la parametrización del modelo.

#### 4. Estimación de la reducción del consumo

En los apartados anteriores se ha expuesto la dinámica básica del vehículo, los modelos para la estimación de la energía demandada y los modelos de emisiones de gases, así como los parámetros que se consideran para su aplicación. La estimación de la reducción del consumo de combustible como resultado del aligeramiento del peso del vehículo es, según estos modelos, fiable pero compleja de modelizar –dada la cantidad de parámetros que considera cada modelo. La utilización de los modelos para estimar el consumo de un vehículo no modelizado –al que se quiera aplicar la estrategia de aligeramiento y valorar o contrastar la mejora ambiental para todo su ciclo de vida– puede estar comprometida durante la etapa de diseño conceptual al no disponer de datos suficientes.

Koffler y Rohde-Brandenburger (2010) analizan la relación existente entre el peso del vehículo –su reducción– y el consumo de combustible en motores de combustión interna mediante un modelo simplificado de cálculo. Partiendo de un consumo inicial determinado, considerando el ciclo de conducción NEDC y las curvas de Willans, determinan cual será el incremento del consumo de combustible en función de la variación del peso (ecuación 6).

$$\Delta C_{\text{comp}, i} = \Delta m_i \cdot V_{100 \text{ kg, NEDC}} \cdot 0,01 = (m_{\text{comp}, i} - m_{\text{comp}, \text{ref}}) \cdot V_{100 \text{ kg, NEDC}} \cdot 0,01 \quad (6)$$

donde:

- $\Delta C_{\text{comp}, i}$  → variación del consumo de combustible debido a la diferencia de peso entre un componente para un diseño determinado  $i$  y un componente de referencia, expresado en litros por cada 100 km recorridos. Valores negativos indican reducción del consumo, y valores positivos aumento.



- $V_{100 \text{ kg, NEDC}}$  → consumo de combustible debido al peso, considerando el ciclo de conducción NEDC y un peso de 100 kg ( $l/100 \text{ km} \cdot 100 \text{ kg}$ ).
- $m_{\text{comp, } i}$  → masa del componente en la opción de diseño  $i$  (kg).
- $m_{\text{comp, ref}}$  → masa del componente de referencia (kg).

La ecuación (6) es aplicable sólo para conocer la variación del consumo de combustible considerando un componente aislado al que se modifica su peso. Esta ecuación (6) no es aplicable para el estudio del vehículo completo. Si se quiere estudiar un vehículo completo, en lugar de componentes sueltos, se debe establecer un consumo de combustible como referencia –por ejemplo el de un motor similar de un vehículo existente– y aplicar la ecuación (7) para calcular el consumo del vehículo nuevo:

$$C_{\text{veh, } i} = C_{\text{veh, ref}} + \Delta C_{\text{veh, } j} = C_{\text{veh, ref}} + \sum \Delta C_{\text{comp, } j} \quad (7)$$

donde:

- $C_{\text{veh, } i}$  → consumo de combustible para un diseño de vehículo  $i$  ( $l/100 \text{ km}$ ).
- $C_{\text{veh, ref}}$  → consumo de combustible del vehículo de referencia ( $l/100 \text{ km}$ ).
- $\Delta C_{\text{veh, } j}$  → variación del consumo de combustible debido al peso del vehículo en la opción de diseño  $j$  ( $l/100 \text{ km}$ ).
- $\Delta C_{\text{comp, } i}$  → disminución (o aumento) del consumo de combustible debido al peso de un componente en la opción de diseño  $i$  ( $l/100 \text{ km}$ ), donde se consideran todas las medidas de aligeramiento tomadas dentro del diseño  $j$  del vehículo.

Al reducir el peso de forma significativa no sólo variará el consumo sino que es probable que el tamaño y potencia del tren motriz deban reducirse también. Por lo tanto, las características de comportamiento en carretera del vehículo no se mantendrán constantes al variar la dinámica del vehículo y mantener el tren motriz inicial. Las ecuaciones (6) y (7) obtenidas son sólo aplicables a variaciones no elevadas del consumo de combustible, pues en su formulación no se contemplan posibles cambios en el motor, en la transmisión o en la caja de cambios. Además, la reducción del tamaño del tren motriz supondría reducir aún más el consumo de combustible –dado que el peso del tren motriz sería menor. Rohde-Brandenburger y Obernolte (2008) muestran claramente que la reducción del consumo debida al aligeramiento del peso del vehículo es mayor en el caso de que se consideren cambios en el tren motriz. Tal y como se muestra en la Tabla 3, la reducción del consumo de combustible considerando la reducción del tren motriz –manteniendo así la característica de conducción del vehículo constante– puede ser el doble respecto a la que se puede obtener considerando sólo la reducción del peso de los componentes no motrices del vehículo (sin adaptación).

**Tabla 3. Valores estimados de reducción de consumo en ( $l/(100 \text{ km} \cdot 100 \text{ kg})$ )**

Tipo de motor	Sin adaptación	Adaptación <sup>a</sup>	Min	Max	Media aritmética
Gasolina	0,15	Desarrollos del cambio de marchas	0,29	0,39	0,32
		Cilindrada	0,36	0,45	0,39
Diesel	0,12	Desarrollos del cambio de marchas	0,27	0,30	0,29
		Cilindrada	0,24	0,29	0,26

<sup>a</sup> Adaptaciones en el tren motriz que mantienen las características de conducción, p.ej., alargar los desarrollos del cambio de marchas o reducir la cilindrada del motor.

## 5. Otras consideraciones

Finalmente, destacar que del análisis bibliográfico realizado se ha identificado la relación existente entre el peso del vehículo y la seguridad de los ocupantes en caso de accidente. Los vehículos con mayor masa tienen mayor consumo de combustible, pero también presentan menor riesgo de lesión para los ocupantes en caso de colisión. La masa y su distribución en la estructura del vehículo están relacionadas con el riesgo de lesiones y mortalidad en caso de choque (Tolouei & Titheridge, 2009). Esta situación deberá ser considerada y evaluada durante el proceso de diseño de los vehículos, pues si bien el aligeramiento para reducir el impacto medioambiental del transporte por carretera es una estrategia fundamental, no menos importante es la seguridad e integridad de los ocupantes del vehículo.

## 6. Conclusiones

Esta comunicación ha analizado la estrategia actual de aligeramiento del vehículo para la reducción del consumo de combustible, estudiando los distintos aspectos que se deben considerar para poder estimar el efecto de ese aligeramiento en la etapa de diseño y su relación con otros aspectos de diseño. Podemos concluir que:

1. Para modelar completamente la demanda energética del vehículo es necesario parametrizar un número importante de variables, que pueden no estar definidas en las etapas iniciales del diseño. Por lo tanto, es necesario alcanzar un compromiso entre la información específica necesaria y disponible para la utilización de los distintos modelos y la calidad y precisión de las estimaciones obtenidas. La utilización de los modelos para realizar rediseños sin cambios radicales en las características del vehículo sería un ejemplo de compromiso.
2. La utilización de ciclos de conducción adecuados para el análisis ambiental es una cuestión decisiva. Los ciclos de conducción estándares son una buena referencia para estimar y comparar el comportamiento entre vehículos y diseños, ya que su utilización garantiza la calidad de los datos. Sin embargo, se podría cuestionar si realmente representan el ciclo total de conducción de un vehículo.
3. Los modelos estudiados son aplicables para diseños basados en la estrategia de aligeramiento siempre que no se modifiquen las características motrices del vehículo. Si bien un cambio en las características motrices del vehículo reducirá –habitualmente– el consumo de combustible, la modificación de las características motrices supondrá una nueva parametrización del modelo. Aunque esta opción es viable, deberían utilizarse modelos más completos.
4. La utilización de plásticos y composites para aligerar el vehículo debe considerarse como complemento de otras consideraciones de diseño, que pueden en ocasiones limitar la reducción del peso. Aunque no existe una relación cuantificada entre el peso del vehículo y el riesgo para sus ocupantes, se han encontrado evidencias que indican dicha relación. Por lo tanto, sería necesario analizar más profundamente esta relación y tratar de determinar cuál es el límite para la reducción del peso sin comprometer la seguridad de los ocupantes del vehículo.

## Agradecimientos

Este estudio forma parte del proyecto singular "Reducción del impacto ambiental de automóviles mediante el aligeramiento estructural basado en composites de carbono de bajo coste, sin comprometer la seguridad y el confort (ref. PSE-370100-2007-1)", subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

## Referencias

- Burgess, S., & Choi, J. (2003). A parametric study of the energy demands of car transportation: a case study of two competing commuter routes in the UK. *Transportation Research Part D*, 8, 21-36.
- Brooker, A., Haraldsson, K., Hendricks, T., Johnson, V., Kelly, K., Kramer, B., Markel, T., O'Keefe, M., Sprik, S., Wipke, K., & Zolot, M., (2002). *ADVISOR Documentation*. NREL.
- Comisión Europea (2007). *Informe de la Comisión, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de Regiones sobre la aplicación de la Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil durante el periodo 2002-2005*. Comisión de las Comunidades Europeas.
- Das, S. (2001). *The cost of automotive polymer composites: a review and assessment of DOE's lightweight materials composites research*. Oak Ridge, Tennessee. Oak Ridge National Laboratory.
- European Union (2003). *Directive 93/116/EC of 17 December 1993 adapting to technical progress Council Directive 80/1268/EEC relating to the fuel consumption of motor vehicles*.
- European Union (2004). *Directive 2004/3/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 amending Council Directives 70/156/EEC and 80/1268/EEC as regards the measurement of carbon dioxide emissions and fuel consumption of N1 vehicles*.
- Green Car Congress (2007). Toyota to show plug-in flex-fuel hybrid concept with double the fuel efficiency of the Prius. *Green Car Congress. Energy, Technologies, Issues and Policies for Sustainable Mobility*. Obtenido en enero de 2009, de <http://greencarcongress.com>.
- Koffler, C., & Rohde-Brandenburger, K. (2010). On the calculation of fuel savings through lightweight design in automotive life cycle assessments. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15, 128-135.
- Muñoz, C., Vidal, R., Justel, D., Garrarín, D., & Franco, V. (2009). New strategies for improved End-of-Life of vehicles. *5th International Conference on Industrial Ecology (2009 ISIE Conference)*. Lisboa, Portugal.
- Nam, K., & Giannelli, R. (2005). *Fuel Consumption Modeling of Conventional and Advanced Technology Vehicles in the Physical Emission Rate Estimator (PERE)*. United States Environmental Protection Agency.
- OPTI (2001). Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial. Ministerio de Ciencia y Tecnología. *Tercer informe de prospectiva tecnológica industrial. Futuro tecnológico en el horizonte del 2015*. <http://www.opti.org>.
- OPTI (2003). Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial. Ministerio de Ciencia y Tecnología. *Materiales para el transporte y la energía. Tendencias tecnológicas a medio y largo plazo*. <http://www.opti.org>.

- Pintado, P. (2000). *Transmisión*. Ciudad Real: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Rohde-Brandenburger, K., & Obernolte, J. (2008). *CO<sub>2</sub>-Potential durch Leichtbau im Pkw*. DVM-Tag 2008—Leichtbaustrategien. Deutscher Verband für Materialforschung und –prüfung e.V, Berlin.
- SIGRAUTO (2008). Memoria anual 2008. Obtenido en agosto de 2009, de <http://www.sigrauto.es>.
- Silva, C., Farias, T., Christopher, H., & Roupail, M., (2006). Evaluation of numerical models for simulation of real-world hot-stabilized fuel consumption and emissions of gasoline light-duty vehicles. *Transportation Research Part D*, 11, 377-385.
- Tharumarajah, A., & Koltun, A. (2007) Is there an environmental advantage of using magnesium components for light-weighting cars? *Journal of Cleaner Production*, 15, 1007-1013.
- Tolouei, R. & Titheridge, H., (2009). Vehicle mass as a determinant of fuel consumption and secondary safety performance. *Transportation Research Part D*, 14, 385–399.
- UNE 150301 (2003). *Gestión ambiental del proceso de diseño y desarrollo*. *Ecodiseño*.
- Zushi, H., Odai, T., Ohsawa, I., Uzawa, K., & Takahashi, J. (2005) *Mechanical properties of CFRP and CFRTP after recycling*. Proceedings of Fifteenth International Conference on Composite Materials. ISBN-1-86840-589-3. Durban, South Africa.

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Carlos Muñoz  
Teléfono: +34 964729252  
Fax: +34 964728106  
E-mail: [cmunoz@emc.uji.es](mailto:cmunoz@emc.uji.es)  
URL: <http://www.gid.uji.es>