



Estrategias de ahorro en el uso del automóvil



Juan de Norverto Morínigo

Ingeniero ICAI, promoción 1989, y Máster de Automoción por la UPM. Trabaja como profesor de Transporte Sostenible y Motores de Automóviles en la ETSII ICAI y es director de varios proyectos fin de curso en ICAI sobre acciones de mejora de movilidad: PMUS, PTT, Carpooling, así como consultor de Movilidad en By-Bike. En el pasado, trabajó en automoción para NISSAN y Robert Bosch, y en FCC (Cemusa) inició el proyecto de sistema de bicicletas de alquiler desatendido.

Palabras clave: Transporte por carretera, diagrama de Sankey, consumo de combustible, conducción sostenible.

Resumen:

El presente artículo pretende resumir la situación actual del transporte por carretera tanto de mercancías como de viajeros, prestando especial atención a la utilización de los vehículos particulares, que como veremos a continuación, presentan un potencial de mejora muy alto.

En ningún caso se busca polemizar con cualesquiera medidas que se estén llevando a cabo, o que puedan hacerlo, por parte de organismos oficiales o asociaciones de usuarios. Tan sólo se pretende utilizar los conceptos básicos de Ingeniería para la comprensión y posibilidades de mejora de la situación actual.

Toda la información manejada procede de fuentes oficiales y está actualizada conforme a la disponibilidad existente a la hora de redactar este texto.

Key words: Ground Transportation, Sankey diagram, fuel consumption, sustainable driving.

Abstract:

This work wants to show the real status of the ground transportation both for goods and passengers, with special attention to the use of private cars, with a very high energy saving potential.

There is not any intention to argue against any energy saving policies driven by the Authorities or drivers associations. Basic engineering concepts are showed to better understanding of the current situation improvements.

All data used come from official sources and are as updated as possible.

Antecedentes. Impacto del transporte por carretera en el consumo energético español

Para poder obtener una cifra acerca del impacto energético del transporte por carretera en el consumo energético español se van a valorar, estimar y calcular los siguientes elementos de la manera más aproximada posible, ya que tanto el parque automovilista como las condiciones de uso de los vehículos son muy variables.

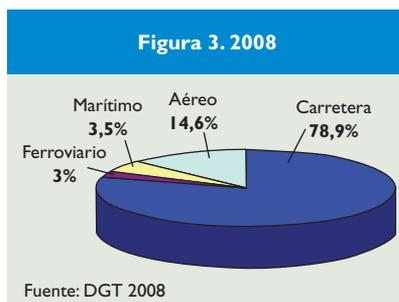
- Datos Energéticos y de uso:

- a. Energía consumida con origen en Petróleo: 48,8%.

- b. Y del diagrama de Sankey del 2009 podemos obtener, qué porcentaje de la energía total que utiliza España es destinada al transporte.

Este estudio indica que la energía dedicada al transporte es el 38,8% del total, usándose del resto un 33,2% en la industria y un 28% para uso residencial.

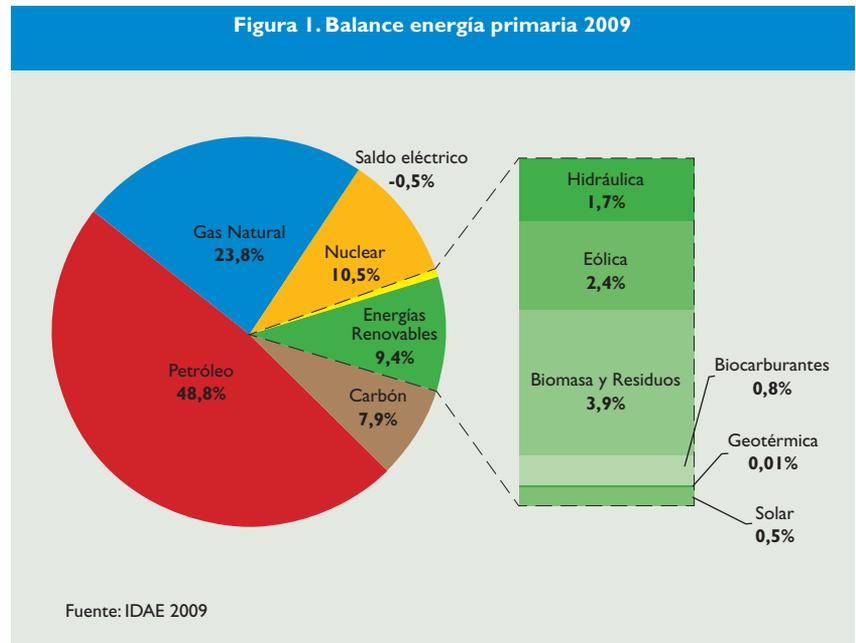
- c. También, por otra parte, disponemos del reparto en función de los distintos medios de transporte, donde, los que utilizan las carreteras, suponen un impacto de alrededor del 80% en el consumo de esa energía (datos del 2008).



Por tanto, resulta imprescindible dentro de cualquier política de ahorro energético, y por ende de reducción de emisiones de GEI, el establecer medidas que afecten directamente al transporte por carretera, ya que su impacto es el mayor dentro del reparto modal del transporte.

Balance energético en un vehículo

Para entender, de nuevo, las variables que afectan al consumo de los vehículos automóviles, descartando los



efectos orográficos, que aún siendo importantes, son muy difíciles de modificar ya que habría que transformar las redes viarias buscando las menores variaciones de altitud entre puntos de origen y destino, repasemos las ecuaciones básicas que rigen la demanda de potencia de los vehículos:

La relación entre consumo y velocidad de un vehículo se obtiene de la relación que existe entre la potencia necesaria para circular a una determinada velocidad, venciendo fuerzas aerodinámicas, rodadura y pendientes, y la potencia eficaz que suministra el motor, a través de las ruedas, dependiendo ésta de la cantidad y tipo de combustible quemado, el rendimiento total de esta combustión y el rendimiento de la transmisión del vehículo.

Si suponemos que circulamos en llano, podemos encontrar unas relaciones sencillas que se simplifican cuando hablamos de un mismo vehículo.

Potencia necesaria para circular a una velocidad "V", en llano:

$$\text{Potencia} = (\text{Fuerza Aerodinámica}) \times V^3 + (\text{Fuerza Rodadura}) \times V$$

Si abordamos la ecuación con un cierto detalle, y sólo estudiando el efecto en el movimiento en la propia dirección del vehículo, en llano, podemos escribir:

La fuerza resistente aerodinámica se puede expresar como:

$$F_{xa} = 0,5 \times C_x \times A_f \times V^2$$

P = densidad del aire

V = velocidad relativa del vehículo

A_f = Área frontal del vehículo

C_x = Coeficiente de penetración del vehículo

Y la resistencia al avance a la rodadura, suma de las resistencias en los trenes delantero y trasero:

$$R_r = R_{rd} + R_{rt} = f_r \times m \times g$$

Donde:

f_r = coeficiente de rodadura. Toma valores entre 0,030 y 0,035 para neumáticos sobre asfalto. En realidad depende de la velocidad, pero la simplificación no introduce demasiado error y facilita los cálculos.

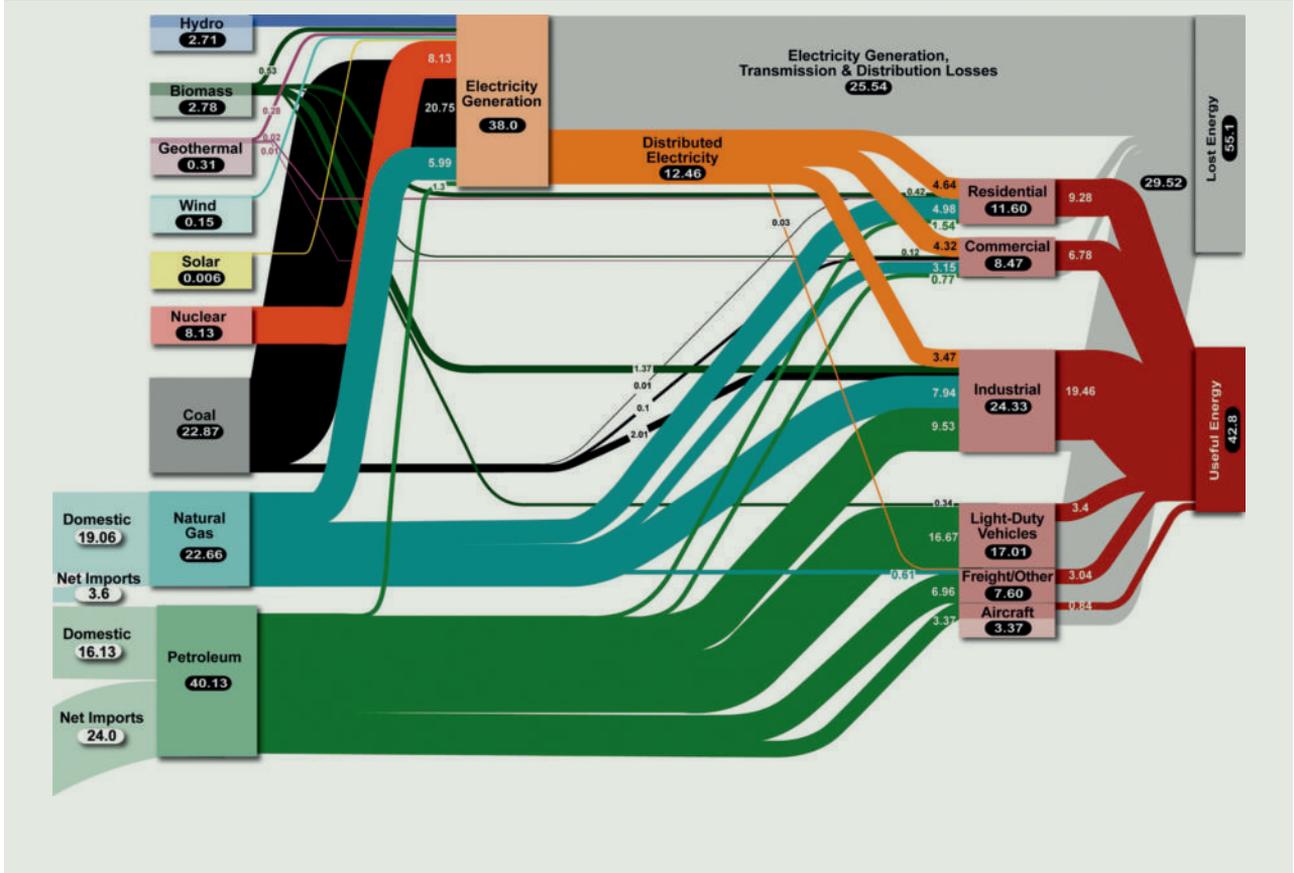
m . g = peso del vehículo

Y por tanto la potencia consumida para mantener el vehículo circulando a velocidad V (relativa) constante, se expresa como:

$$P = (0,5 \times P \times C_x \times A_f \times V^2 + f_r \times m \times g) \times V$$

Que responde a la expresión manejada anteriormente.

Figura 2. Electricity Generation



Esta relación es muy importante ya que la velocidad es el factor que más afecta al consumo de los vehículos, creciendo ésta de manera exponencial en grado 3.

Para cerrar la ecuación, debemos obtener esta potencia de una fuente de energía, bien un motor de combustión interna, u otro tipo de propulsor (por ejemplo, los tan de ra-

biosa actualidad, motores eléctricos o plantas híbridas).

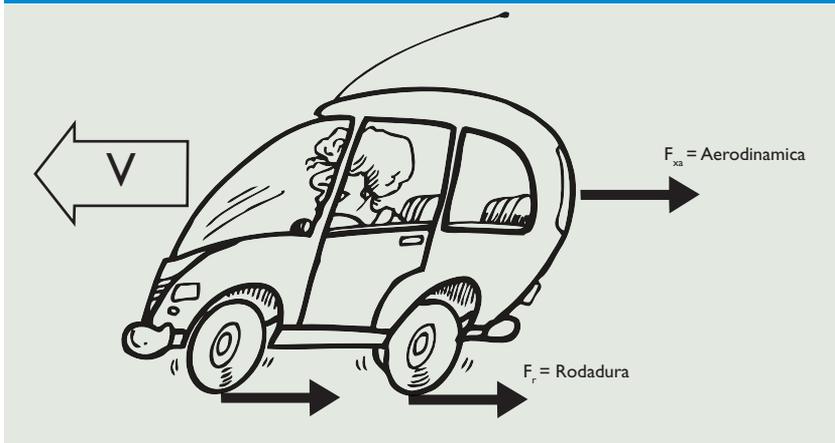
Si nos centramos en los motores de combustión interna, el funcionamiento y rendimiento de éstos va a depender de:

- Régimen de giro. Directamente ligado al vehículo a través de la caja de cambios, y proporcional a la velocidad del propio vehículo y la relación de cambio escogida.

- Grado de carga del motor. Corresponde con la fracción de par suministrado frente al total que podría dar a ese mismo régimen.

La familia de curvas que recogen este comportamiento y que son capaces de indicar cuál es el consumo que tiene ese motor en ese punto son las conocidas como 'curvas de consumo específico' o vulgarmente denominadas 'curvas de la concha' por el aspecto que presentan. Estas curvas no suelen ser de dominio público y raramente son publicadas por los fabricantes, ya que realmente muestran el grado de desarrollo de sus motores. Sirva como ejemplo una de ellas, donde en el eje vertical derecho se representa el par motor en Nm, en ordenadas el régimen de giro en rpm, y cada curva representa una familia de condiciones con el mismo consumo específico, o sea cuántos gramos de combustible se consumen en 1 hora para dar 1 Kw de potencia eficaz. Estos valores de par se han ajustado en las ruedas contando con el rendimiento de la transmisión.

Figura 4. Estudio del efecto en movimiento circulando en llano



Entonces nuestro vehículo tendrá un consumo (rendimiento) diferente en función de las condiciones de funcionamiento del mismo. Por tanto, circulando a la misma velocidad, en función de la relación de cambio escogida, el consumo será diferente.

Por ejemplo, si circulamos a 110 Km/h, podemos hacerlo en 4ª, 5ª o 6ª velocidad.

Si nuestro vehículo tiene estos desarrollos finales:

*4ª: 29 Km/h @ 1.000 rpm. → 3.793 rpm.

*5ª: 37 Km/h @ 1.000 rpm. → 2.972 rpm.

*6ª: 47 Km/h @ 1.000 rpm. → 2.340 rpm.

Y si la necesidad de potencia conseguida en la rueda es de 22 KW, la necesidad de par será diferente para cada punto de trabajo:

*4ª: 3793 rpm → 55,4 Nm.

*5ª: 2972 rpm → 70,7 Nm.

*6ª: 2340 rpm → 89,8 Nm.

Así, los consumos obtenidos, de forma aproximada, serían:

*4ª: 9,1 l/h ó 8,2 l/100 Km.

*5ª: 7,3 l/h ó 6,6 l/100 Km.

*6ª: 6,9 l/h ó 6,2 l/100 Km.

Donde se aprecia la importancia de elegir la relación adecuada en cada momento para circular.

Estrategias de mejora

Por tanto, para mejorar y reducir el consumo energético debemos trabajar a ambos lados de la ecuación buscando uno óptimo en función de las necesidades de funcionamiento. Como resumen podemos citar:

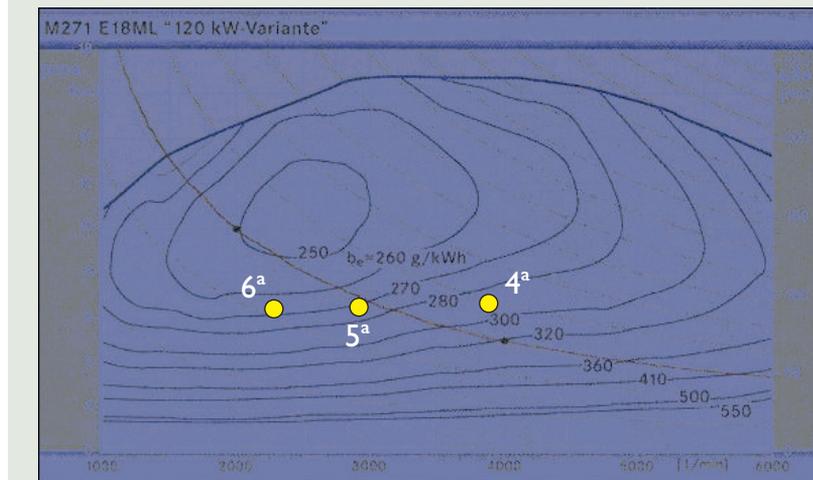
a. Mejora aerodinámica.

Esta mejora puede venir de la optimización de dos factores:

- Reducción del área frontal del vehículo. Diseño de vehículos más estrechos y alargados, con menores elementos sobresaliendo de la carrocería.

- Reducción del coeficiente de penetración aerodinámica. Hay que diseñar vehículos con menor coeficiente de penetración. Esto supone más trabajo con programas de simulación de fluidos y/o trabajos en los túneles de viento. Es de especial atención la existencia de elementos móviles que afectan al

Figura 5. M271 E18ML "120 kW - Variante"



coeficiente como pueden ser los sistemas de altura de carrocería variable o las propias rejillas de la calandra frontal, donde además de mejorar el coeficiente de penetración, afectan a las necesidades de refrigeración.

La reducción de un % en el producto de estos factores supone una reducción directa sobre el consumo. Hay que equilibrar estos factores, por ejemplo con la habitabilidad y capacidad de los vehículos.

b. Mejoras en los motores de combustión interna/powertrain. Tendencias actuales.

Hoy en día se trabaja para mejorar el rendimiento de los motores, buscando menores consumos específicos a todos los regímenes. Estos trabajos se centran en:

- **Mejora de combustión motores Diesel:** nuevos inyectores piezoeléctricos proporcionando mayor rapidez y respuesta en su control electrónico, mayores presiones de inyección, mayor número de orificios por inyector y mayor número de fases de inyección por ciclo de trabajo.

- **Motores de Gasolina:** uso de inyección directa, diferentes niveles de mezcla de aire combustible para diferentes grados de carga (combustión con mezclas pobres), combustión HCCI⁽¹⁾ o CAI⁽²⁾, o lo que es lo mismo, llegar casi al límite de autoinflamación para iniciar la combustión, (a veces también llamado ciclo Diesotto).

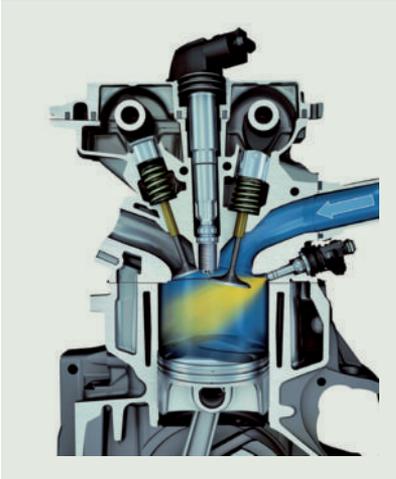
- **Motores con cilindrada reducida.**

También denominado Downsizing. Consiste en diseñar un motor más pequeño, de menor cilindrada y por tanto menor peso y tamaño (a veces también implica una reducción en el número de cilindros), para que mediante una sobrealimentación se consigan prestaciones similares a las del motor de mayor cilindrada. La ventaja radica en que al ser los componentes más pequeños, las pérdidas de rozamiento internas son menores, por lo que el rendimiento eficaz aumenta. El coste del motor puede verse reducido.

- **Distribución variable.** El poder abrir y cerrar las válvulas de admisión y escape a voluntad y con leyes no dependientes de la geometría de las levas, permite optimizar el flujo de gases tanto de admisión como de escape. El caso más extremo es el sistema recientemente introducido por FIAT y desarrollado por Magneti Marelli, denominado Multiair, donde el control de las válvulas de admisión es electrohidráulico.

- **Electrificación de componentes:** consiste en sustituir los componentes periféricos, auxiliares y de accionamiento mecánico por otros con accionamiento eléctrico, de modo que sólo están operativos cuando son necesarios. Ejemplos: alternadores, bomba de agua, bomba de servodirección, compresor de aire acondicionado, ventilador del motor;

Figura 6. DI



etc. Un caso especial lo constituyen los sistemas Stop & Start donde el motor se detiene de manera automática cuando el vehículo está detenido y se pone en marcha automáticamente cuando se detecta que va a iniciar de nuevo la marcha.

- **Hibridación.** Si a la planta térmica se le acopla una planta eléctrica de modo que pueda utilizar la energía recuperada procedente de las frenadas o de la circulación en descensos a velocidad constante, previa acumulación en baterías u otros dispositivos, el rendimiento global crece. La energía recuperada se utilizará principalmente para los transitorios de arranque o necesidades puntuales de aceleración.

- **Cajas automáticas inteligentes.** Se trata de que la relación entre el régimen de giro y la velocidad del vehículo sea la óptima desde el punto de vista de consumo de combustible y emisiones contaminantes. Esto se puede conseguir mediante el uso de cajas de cambio automáticas con infinitas relaciones de cambio (o al menos con un gran número de ellas), basadas en la cinemática de los variadores de velocidad, donde la elección del desarrollo de cambio lo realiza el vehículo de forma automática, habiendo entendido las necesidades del conductor.

- **Nuevos combustibles.** Utilizar combustibles diferentes a los convencionales busca obtener mayores eficiencias o rendimientos de la

combustión. Por un lado, se buscan combustibles con mayor poder calorífico, mayor facilidad en la creación de la mezcla (gases en vez de líquidos) y mejor balance en el CO_2 emitido. Los biocombustibles con base vegetal, tanto plantas como algas, permiten descontar el CO_2 que capturaron o absorbieron durante su crecimiento. Principalmente son alcoholes y Biodiesel. Todo esto manteniendo el coste para el usuario y sin estropear las propiedades básicas de los combustibles, como el poder de lubricidad.

- **Reducción de peso del vehículo.**

De la ecuación se deduce que cualquier mejora en el peso del vehículo repercutirá directamente en el consumo, a mayor peso, mayor es la fuerza de rodadura, y es proporcional a la velocidad. Es por tanto fundamental en el diseño de vehículos el optimizar la seguridad pasiva, rigidez, con el peso del propio vehículo. También debería tenderse hacia la modularidad de los vehículos, ya que carece de sentido el utilizar vehículos vacíos o casi vacíos. Esto que ya se emplea en vehículos de transporte, con cabezas tractoras independientes, podría llegar también al mundo del turismo. Si esto no se hiciera, tomaría fuerza la idea de 'un vehículo para cada ocasión', con lo que en lugar de que el conductor tenga uno o varios vehículos en su propiedad, pase a ser usuario de un tipo diferente de vehículo en función de sus

necesidades. Esta idea es la base del Car Sharing, del que podremos hablar en futuros artículos.

- **Mejora en los neumáticos: efecto de la presión y la estructura de carcasa.**

Los neumáticos 'ecológicos' buscan este efecto. Mantener lo más altas posibles sus propiedades de rigidez, adherencia longitudinal y transversal pero reducir al máximo el coeficiente de rodadura. Un reto, al fin y al cabo para los fabricantes de neumáticos. La presión inadecuada provocará el deterioro de estos coeficientes. Se ha comprobado que el consumo empeora más de un 5% si los neumáticos están inflados a presiones un 25% menor que las recomendadas. Los desgastes también son mayores y el calentamiento aumenta.

- **Conducción sostenible.**

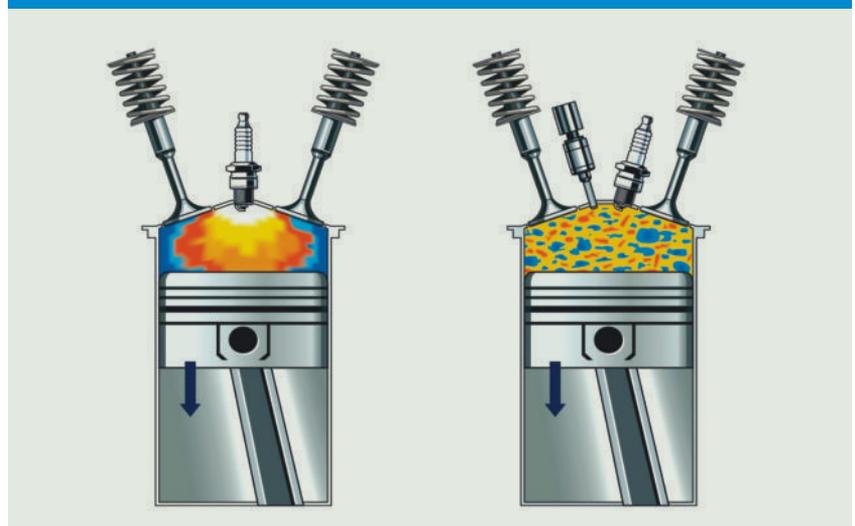
Llamamos conducción sostenible a aquella forma de conducir en la cual provocamos el mínimo impacto en el entorno:

- Medioambiente: aprovechamiento energético y mínimas emisiones.
- Resto de conductores, resto de la sociedad.

Algunas reflexiones antes de desarrollar la conducción sostenible:

- La mejor manera de ahorrar combustible y energía es NO conducir y NO usar vehículos propulsados por energías no renovables.
- Otra opción es sustituir los viajes en automóvil por modos más respetuosos

Figura 7. HCCI / CAI



con el medio ambiente, como son de manera global, los medios compartidos.

- La distancia recorrida en 1/3 de los viajes es inferior a 5 km.

Si, a pesar de todo, es necesario ir en coche, mejor hacerlo conduciendo de manera ecológica. Estas son algunas de las recomendaciones, genéricas:

- Cambiar a una marcha superior antes de 2.500 RPM.

- Mantener una velocidad uniforme en la marcha más larga posible.

- Mirar hacia adelante y anticiparse al flujo de tráfico.

- Decelerar con la marcha más larga posible.

- Evitar acelerar y frenar bruscamente.

- Apagar el motor en las paradas largas.

- Deshacerse del peso innecesario.

- Evitar portaequipajes y cargas en la baca.

- Optimizar el uso del aire acondicionado, las lunetas térmicas, y las ventanas.

- Comprobar la presión de los neumáticos con regularidad.

- Adquirir/utilizar vehículos dotados de dispositivos de ayuda, tales como: cuentarrevoluciones, indicadores de cambio de marcha, medidor de consumo promedio e instantáneo, limitadores/reguladores de velocidad, Start & Stop, sistemas de ahorro adicionales, etc.

Con todo esto podemos obtener las siguientes ventajas:

- Mayor seguridad vial, fruto del menor estrés y de que todos los conductores buscan los mismos objetivos frente al de '¡quiero llegar el primero!'.

- Menor consumo de combustible y una reducción media de 10-15% en emisiones de CO₂.

- Menores costes (individuales, flota, economía).

- Menor desgaste y mantenimiento.

- Menor contaminación acústica.

- Mayor comodidad.

¡Y todo esto en un viaje de igual duración!

f. Educación de los conductores y futuros conductores en sostenibilidad.

Al final, cualquier actividad encaminada a mejorar la sostenibilidad, en nuestro caso, mediante el uso racional

del automóvil, se apoya en 3 pilares fundamentales:

- Existencia de políticas de fomento y apoyo.

- Existencia de soluciones técnicas al alcance de los ciudadanos.

- Educación de los usuarios.

Para que los conductores actuales y futuros conozcan las diferentes posibilidades de ahorro que existen a la hora de utilizar sus vehículos, tanto a nivel privado como a nivel profesional, es fundamental que existan planes de formación y campañas de información.

Se podrían incorporar en las autoescuelas los conceptos teóricos y tecnológicos que se han presentado en este artículo.

Por otro lado, desde las administraciones se debería potenciar la adquisición o uso esporádico, de vehículos dotados de sistemas de ayuda a la conducción sostenible.

Dentro de estas posibles medidas, me permito citar como ejemplo la siguiente:

"reducción voluntaria del límite de velocidad a 140 Km/h".

En este caso se les solicitaría a los conductores la inclusión voluntaria en el plan de reducción voluntaria de velocidad máxima a 140 Km/h. Estos vehículos incorporarían un limitador de velocidad y como contraprestaciones podrían disfrutar de:

- Reducción en el precio del seguro.

- Reducción en el impuesto de matriculación.

- Acceso a vías de alta ocupación.

- Acceso a entradas y salidas de ciudad prioritarias para evitar atascos.

- Circular en ciudad por carriles especiales.

- Reducción en el precio del combustible.

- Reducción de precio en zonas de aparcamiento especiales.

Más una serie de ventajas adicionales como:

- Reducción de estrés en los viajes.

- Ahorros económicos en adquisición de vehículos.

- Ahorro de combustible.

- Reducción de gastos en mantenimiento de vehículo: menor desgaste de frenos, neumáticos, etc.

Conclusiones

- La reducción de energía en el transporte debe ser un objetivo cuantificable de mejora continua para una sociedad industrial como la nuestra y con planes de acciones concretos.

- El vehículo de uso particular tiene un potencial enorme de reducción y mejora. Si aplicamos las posibilidades de reducción vistas en los apartados anteriores, es alcanzable una reducción del 20% frente a la situación actual.

- Los fabricantes de vehículos conocen perfectamente las tecnologías a emplear para conseguir reducciones directas, desde el punto de diseño de los vehículos.

- Los usuarios, aplicando conceptos de conducción ecológica, deben contribuir con su comportamiento a una gran parte del ahorro a conseguir.

- Las instituciones pueden y deben apoyar estos ahorros con políticas integradoras y no meramente a través de medidas de represión. El fomento del transporte público debe ser una acción básica para poderle ofrecer al usuario necesitado de movilidad una alternativa real y eficiente frente al empleo del vehículo particular.

- Cualquier reducción de combustible, por pequeña que sea, debe ser evaluada desde el punto de vista energético y de ahorro de CO₂ emitido.

- El valor que se debe optimizar en cualquier sociedad preocupada por el medioambiente, y con una visión global, debe ser el consumo energético por Km recorrido (por Kg de carga o viajero). Las acciones que se emprendan deben estar encaminadas a optimizar estas cifras. ■

Bibliografía

[1] *Guía práctica de la energía*. IDAE 2010. www.idae.es

[2] *Manual de conducción eficiente*. IDAE 2009. www.idae.es

[3] Aparicio, F.; Vera, C.; Diaz, V., *Teoría de los Vehículos Automóviles*, SP ETSII-UPM, 1995.

[4] Muñoz Torralbo, Payri y otros. *Motores de combustión interna alternativos*. UPM. ETSII.

[5] *Motores de Combustión Interna. Apuntes asignatura*. ETSII ICAI.

[6] *Vehículos híbridos y eléctricos*. Monografía ASEPA nº 2.

[7] *Introducción al transporte sostenible*. Apuntes asignatura. ETSII ICAI.