

CARBURANTES Y MOTORES

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (*World Business Council for Sustainable Development-WBCSD*) ha elaborado un documento (*Mobility 2030*) en el que pretende responder a las demandas de la sociedad en materia de 'libre circulación', de accesibilidad, de comunicación y de comercio, para hoy y para mañana, sin sacrificar los valores esenciales, tanto humanos como ecológicos.

LUIS MÁRQUEZ

En el 'Punto de Vista' de este número, dedicado a la 'Movilidad duradera' en el ámbito mundial, se analizan, de manera resumida, las perspectivas para la reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera como consecuencia de los nuevos combustibles utilizables en los motores de los vehículos actuales y futuros.

En las líneas que siguen se amplía este análisis, tomando siempre como referencia el documento *Mobility 2030*, elaborado por el *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* con la colaboración de los principales fabricantes de vehículos del mundo, empresas petroleras y fabricantes de neu-

máticos, que pueden encontrar en su versión inglesa original en www.wbcsd.org/web/mobility_pubs.htm.

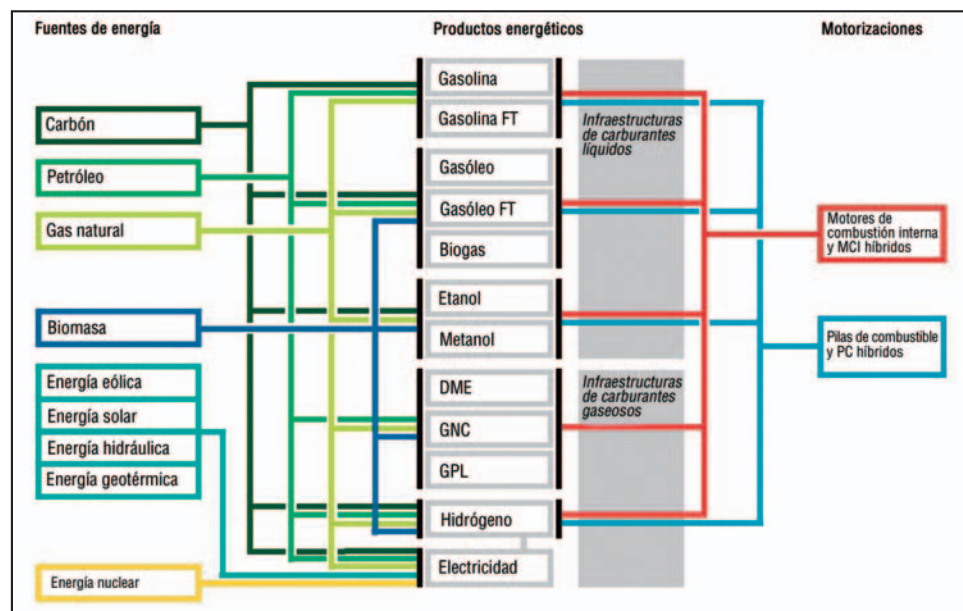
Tecnología de motores y carburantes

Asegurar la movilidad duradera depende en gran medida del binomio motor-combustible. La evolución de la técnica motorística afectaría al tipo de carburante demandado, obtenido a partir de unas fuentes primarias, que permiten producir gasolina, gasóleo, gas licuado, etc.

Las fuentes de energía primaria de origen fósil son el carbón, el petróleo bruto y el gas natural; por otra parte, estarían las renovables como la eólica, la solar, la hidráulica y la geotérmica, que junto con la energía nuclear, sólo permiten obtener electricidad. Además, se puede contar con la biomasa, que al igual que sucede con las de origen fósil, permite obtener cualquier tipo de producto energético, incluida la electricidad, en forma líquida y gaseosa, dependiendo del tipo de transformación realizada (Figura 1).

La distribución de estos combustibles obtenidos, líquidos o gaseosos, precisa una determinada infraestructura, por lo que si no se dispone de ella, o el producto no se integra en los sistemas de transporte existentes, difícilmente será utilizable. Además, debe de ofrecer accesibilidad exenta de peligros, seguridad y fiabilidad.

FIGURA 1.- FUENTES DE ENERGÍA Y COMBUSTIBLES PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE MOTORES (ORIGEN: *SUSTAINABLE MOBILITY PROJECT*)



FT: proceso Fischer-Tropsch; DME: dimetil éter; GNC: gas natural comprimido; GPL: gas de petróleo licuado; MCI: motores de combustión interna; PC: pilas de combustible.



Por otra parte, está el factor económico, ya que los sistemas de transporte y de energía son explotados por las empresas, por lo que para que sean viables deben de generar beneficios. La intervención de los gobiernos para hacerlos rentables no da lugar a un desarrollo duradero, aunque se puedan permitir una visión a más largo plazo que la de las empresas. En consecuencia, no resulta lógico paralizar el sector industrial con reglamentaciones ineficaces que fomenten soluciones que a la larga no sean rentables para la sociedad.

Asimismo, la demanda de vehículos automóviles que precisen estos carburantes, y que son los responsables de una gran parte de las emisiones de gases contaminantes 'convencionales' y de 'efecto invernadero', se espera que sea creciente, especialmente para los países en desarrollo, pasando de los 700 millones de los que se estima que se contaba en el año 2000 a los 1300 millones en el 2030, y estos vehículos, en su casi totalidad, están dotados de motores de combustión interna que funcionan con carburantes derivados del petróleo (gasolina y gasóleo), por lo que constituyen la referencia, y si las tendencias actuales se confirman, será igual en los próximos decenios.

Hay muchos factores que intervienen sobre el consumo de combustible de los motores, especialmente los que se derivan de sus características técnicas y de la reglamentación sobre emisiones de los gases de escape, por lo que resulta difícil cuantificar con precisión el consumo. Se espera que, hasta el 2010, se produzca una reducción en el consumo de los motores de gasolina, en mayor medida que en los diésel; posteriormente, si tienen éxito las tecnologías de combustión con carga homogénea (HCCI) de los diésel, esta tendencia se invertirá.

Este sistema de combustión HCCI es híbrida entre el encendi-



 **NO RESULTA LÓGICO
PARALIZAR EL SECTOR
INDUSTRIAL CON
REGLAMENTACIONES
INEFICACES QUE
FOMENTEN SOLUCIONES
QUE A LA LARGA NO
SEAN RENTABLES PARA
LA SOCIEDAD** 

do por chispa y el encendido por compresión, y la combustión tiene lugar espontánea y homogéneamente sin propagación de la llama, lo que elimina las zonas con mezcla de aire y combustible heterogéneas. Además, como consecuencia de las más bajas temperaturas se reducen las emisiones del óxido de nitrógeno.

En los vehículos automóviles hay que contar, además, con el descenso de los consumos que se derivan de las nuevas transmisiones funcionando en conjunto con los motores, de la reducción de la masa de los vehículos y de

la menor resistencia a la rodadura de los neumáticos. En su conjunto se espera que la reducción del consumo pueda ser del 20% para el 2030, tomando como referencia los consumos de los vehículos actuales con motor diésel.

Por otra parte, se ofrecen otras alternativas para la propulsión, como la híbrida con motor de combustión interna, o una pila de combustible con su generador, una batería y uno o varios motores eléctricos, cuyos componentes pueden combinarse de diferentes maneras. Estas soluciones, aunque no pueden considerarse como totalmente limpias, dan lugar a una reducción considerable de las emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido. Los motores de combustión, en estos casos, pueden utilizar carburantes líquidos convencionales, solos o mezclados con biocarburantes, e incluso biocarburantes puros.

En las pilas de combustible la energía eléctrica se genera mediante un proceso electroquímico, por lo que no se produce combustión. Permiten aumentar el rendimiento energético y, si utilizan hidrógeno que no procede de una fuente con carbono, reducen al mínimo las emisiones, tanto de gases convencionales como de efecto invernadero. Las mejoras

de las baterías que acumulan la electricidad generada puede incrementar la eficiencia, al igual que sucedería en los híbridos.

La tecnología que parece más prometedora es la que utiliza membrana de intercambio de protones funcionando con hidrógeno almacenado (tecnología PME). La tecnología disponible para los depósitos no está por el momento adaptada a los vehículos que se fabrican en serie. También hay que advertir del elevado coste de las pilas de combustible como consecuencia de la cantidad de metales preciosos necesarios para su fabricación, lo que obligará a mejorar la tecnología de la membrana para hacerla económicamente competitiva, lo cual parece que puede suceder en un plazo de unos 10 años.

Los carburantes y su distribución

Para poder aplicar en la práctica las diferentes soluciones potenciales se necesita contar con redes de distribución apropiada que pongan los diferentes combustibles al alcance de los usuarios. Con algunos de ellos se pueden utilizar las redes de distribución actuales; para otros habrá que contar con una infraestructura separada.

Hay que contar con la gasolina sin plomo como el principal carburante para los motores de explosión, incluidos los híbridos. La reducción del contenido en azufre, tanto en la gasolina como en el gasóleo, permite la utilización de catalizadores en el escape y filtros de partículas que reducen el consumo y las emisiones de gases contaminantes.

A corto y a medio plazo, la gasolina y el gasóleo, sometidos a procesos de refinado más modernos, estarán mezclados, o serán sustituidos en determinadas circunstancias, por carburantes derivados de otras fuentes de energía primaria diferentes del petró-



EL PROCESO

FISCHER-TROPSCH ES UN PROCESO QUÍMICO QUE PERMITE OBTENER HIDROCARBUROS LÍQUIDOS A PARTIR DE GASES (CO Y H₂)



leo. Una de las posibles soluciones es el gasóleo derivado del gas natural GLT (*Gas-To-Liquid*) obtenido según la técnica de Fischer-Tropsch, también denominado gasóleo FT, aunque esta solución no podrá generalizarse sin contar con carbón, o con biomasa. Con el carbón habría que utilizar la tecnología del secuestro de carbono para conseguir bajos niveles de emisión y calidades aceptables.

El proceso Fischer-Tropsch es un proceso químico que permite obtener hidrocarburos líquidos a partir de gases (CO y H₂); inventado por los alemanes Franz Fischer y Hans Tropsch en los años '20, que ha sido utilizado por diferentes países, empezando por Alemania, para producir combusti-

bles líquidos a partir del carbón, en determinados momentos de escasez de petróleo. Las reacciones que se producen en el proceso generan gran cantidad de calor; se utilizan catalizadores de hierro y de cobalto y, para un buen rendimiento, trabajan a presiones entre 20 y 30 bar y con temperaturas entre 200 y 350°C. El proceso de obtención es similar al de polimerización por condensación que se utiliza para obtener algunos materiales plásticos, y se obtiene una mezcla de hidrocarburos con una distribución muy amplia de pesos moleculares. Su ventaja principal es que permite obtener gasóleo con bajo contenido de azufre y alto índice de cetano, aunque con un coste superior al que se obtendría por refinado. Ha cobrado nuevo interés como técnica para obtener gasolina y gasóleo a partir de biomasa vegetal, ya que, al fijar previamente el CO₂ atmosférico, permite la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Queda claro el interés actual por los biocarburantes, o sus derivados, para reducir la dependencia de los combustibles de origen fósil, limitando las emisiones a la atmósfera, tanto los de tipo alcohol, como el metanol obtenido a partir del gas natural, por el etanol obtenido a partir de

la biomasa y otras fuentes renovables, para sustituir a la gasolina, como los esteres metílicos de ácidos grasos (EMAG) y de aceites vegetales, como el de colza (EMC), para sustituir al gasóleo.

Los nuevos procedimientos para obtener biocombustibles a partir de diferentes sustratos derivados de la biomasa, incluidos la basura y los residuos agrícolas, pueden hacer más competitivos estos carburantes con respecto a la gasolina y el gasóleo, pero esto depende de la velocidad con la que se realicen estos progresos, y sus aplicación a escala comercial de la tecnología BTL (*Biomasa-To-Liquid*) en la que se incluye el procedimiento Fischer-Tropsch.

A este respecto es importante la logística, ya que la producción de combustibles a partir de la biomasa necesita que sea masiva, teniendo en cuenta que para producir 0.2 millones de toneladas por año de biocombustible se necesitaría la paja producida por una superficie de trigo de 300 000 ha, equivalentes a la décima parte de la superficie de un país como Bélgica.

Los carburantes alternativos que no pueden ser utilizados en mezclas, como el gas natural comprimido (GNC), el gas de petróleo licuado (GPL), el dimetil éter (DME) y el hidrógeno necesitarían grandes inversiones para su distribución, lo que constituye un freno económico para su difusión a gran escala. El GNC es apoyado por numerosos gobiernos, ya que permite reducir la dependencia en las importaciones de petróleo. El GPL, por su forma líquida, se considera un combustible más seguro, y se reconoce como alternativa al gasóleo y al gasolina para el aprovisionamiento de flotas de vehículos; parece probable su incremento, ya que se pueden desarrollar a un coste razonable la instalación de nuevos puntos de almacenamiento.

**PARA PRODUCIR
0.2 MILLONES DE
TONELADAS POR AÑO
DE BIOCOMBUSTIBLE SE
NECESITARÍA LA PAJA
PRODUCIDA POR UNA
SUPERFICIE DE TRIGO DE
300 000 ha**

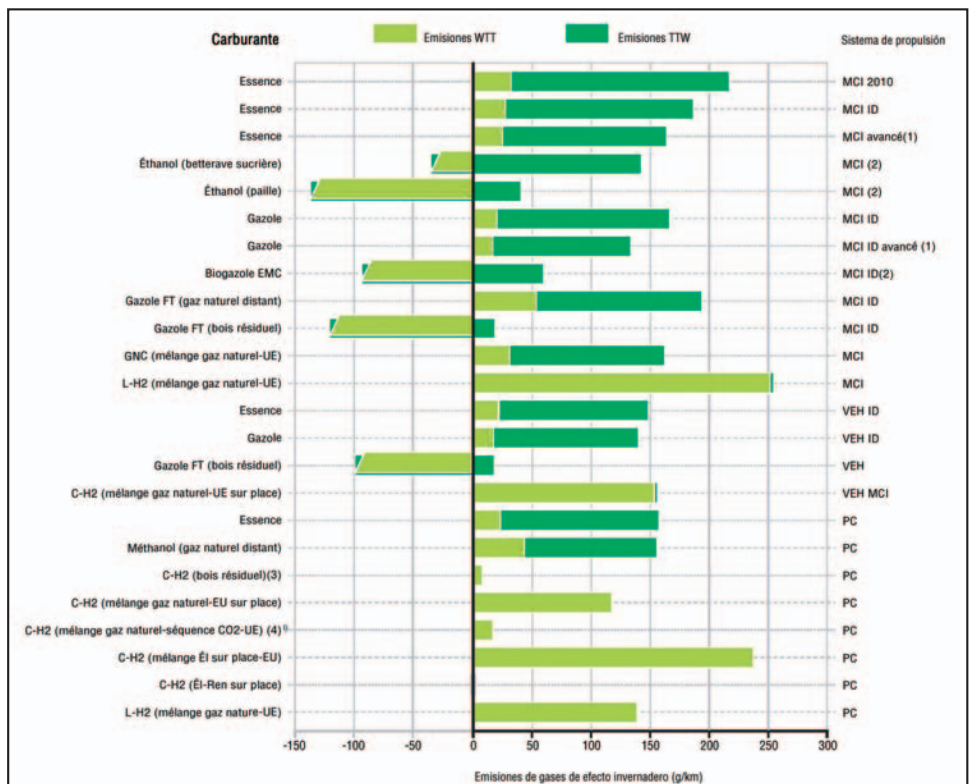
En cuanto al hidrógeno, permitiría conseguir emisión cero de CO₂ en el escape, pero, para que esto sea así en el análisis global de la cadena, el hidrógeno debe de ser producido a partir de fuentes de energía renovables, o con una tecnología de secuestro de carbono. Si se recurre a la obtención por electrolisis del agua, que

es la tecnología que ahora se domina, no está libre de emisión de carbono, ya que la producción está condicionada por el carburante a partir del cual se genera la electricidad. Tendrán que evolucionar los procesos de obtención para reducir los costes y aumentar el rendimiento energético.

Combinación de los sistemas de propulsión con los carburantes

Los sistemas de propulsión considerados anteriormente junto con los carburantes indicados se encuentran en diferentes etapas de desarrollo. Unos son soluciones comerciales, otros son solo proyectos, por lo que la determinación de los costes de explotación a escala comercial no pasan de simples especulaciones, pero pueden marcar las diferentes tendencias.

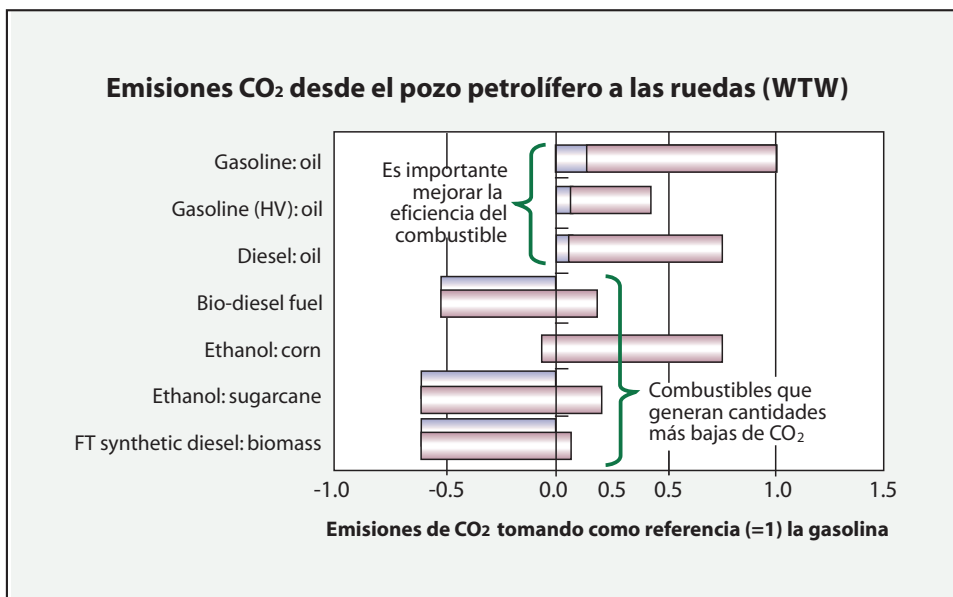
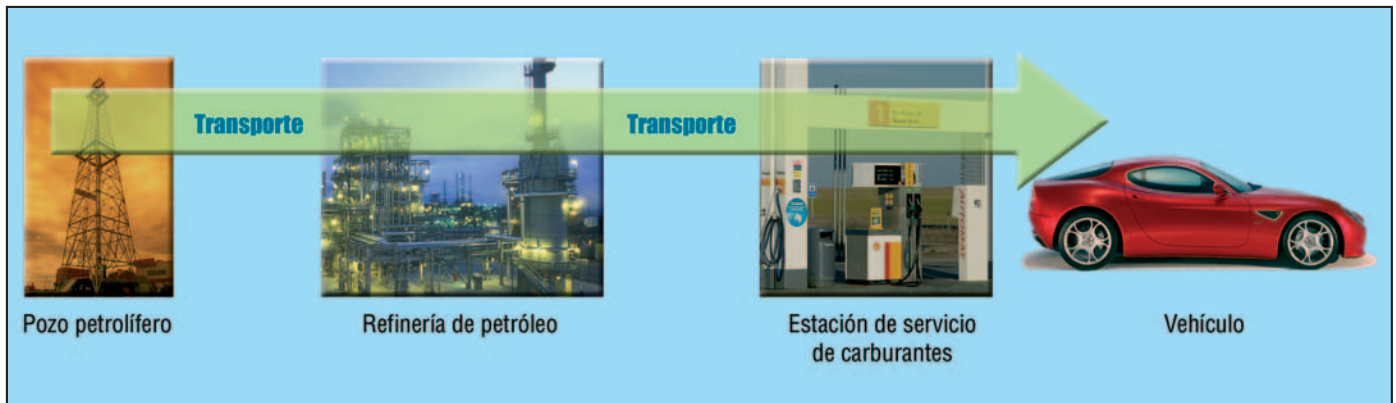
FIGURA 2.- EMISIONES TOTALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO WTW (WTT +TTW) PARA DIFERENTES COMBINACIONES DE SISTEMAS DE PROPULSIÓN Y CARBURANTES



Notas: (1) Estimaciones de VKA. (2) Estimaciones de BP, con datos de GM. (3) Resultados netos de consumo de energía en el proceso de conversión. (4) Valores de Hydro. ID: Inyección directa. PC: Pila de combustible. MCI: Motor de combustión interna. VEH: Vehículo híbrido eléctrico.

Fuente: Sustainable Mobility Project.

FIGURA 3.- EMISIONES TOTALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO WTW (WTT +TTW) PARA DIFERENTES COMBINACIONES DE SISTEMAS DE PROPULSIÓN Y CARBURANTES TOMANDO COMO REFERENCIA LA GASOLINA OBTENIDA POR DESTILACIÓN DEL PETRÓLEO (SEGÚN EL CICLO DE PRUEBAS 10-15 DE JAPÓN)



Fuente: Toyota - Mizuho Information & Research Institute report

Por otra parte, si se analizan exclusivamente las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el funcionamiento de los motores con los diferentes carburantes, no se actúa con rigor, ya que las mejoras obtenidas pueden no ser tales si se considera el impacto total, incluyendo la obtención del combustible, evaluable según lo que se denomina, tomando como referencia el petróleo, "del pozo a las ruedas" (WTW - *Well-To-Wheels*), que será la suma de la primera etapa, la correspondiente a la producción del carburante (del pozo al depósito o tanque - WTT), con la segunda, del depósito a las ruedas (TTW).

En la Figura 2 quedan reflejadas las emisiones WTW para diferentes combinaciones de motorizaciones y carburantes considerados en el proyecto PMD. Los sistemas con motores de combustión interna perfeccionada, incluidos los motores híbridos, tienen una tasa de emisiones TTW más baja como consecuencia de que reducen el consumo; también se reducen las emisiones WTT, ya que el combustible no tiene que ser producido en gran cantidad. La emisiones TTW casi desaparecen cuando se utiliza hidrógeno, aunque las emisiones totales (WTW) dependen del procedimiento utilizado para producir hi-

drógeno, por lo que en algunos casos llegan a superar las de los motores de combustión interna.

En el caso de los biocarburantes las emisiones totales WTW son muy bajas, ya que las emisiones de CO₂ debidas a la producción y a la distribución del biocarburante son negativas, al obtenerse de plantas que han absorbido el carbono de la atmósfera. Sin embargo, resulta difícil valorar correctamente las emisiones de efecto invernadero generadas en el proceso de obtención de los biocarburantes, ya que algunas de sus emisiones son más nocivas que el propio CO₂. También se discute hasta qué punto la biomasa, posteriormente convertida en biocarburante, pueden colaborar en el secuestro del carbono atmosférico.

En la Figura 3 se realiza esta comparación para algunos conjuntos de combustibles y motores tomando como referencia las emisiones correspondientes a la gasolina, sobre la base de utilizar el ciclo 10-15 de Japón para controlar los consumos de combustible.

El coste constituye el factor esencial para definir las tecnologías y los carburantes que se utilizarán en el futuro. Tomado las estimaciones de Proyecto PMD, que utiliza como referencia un estudio realizado de manera conjunta por los programas EUCAR (*European Council for Automotive R&D*), CONCAWE (*Conservation*



of Clean Air and Water in Europe) y el JRC (Joint Research Center) de la Commission Européenne, publicado en noviembre de 2003. (EUWTW 2004), y considerando

solamente las combinaciones que se pueden realizar a corto plazo, el coste anual suplementario por cada vehículo que utilice una combinación de carburante y

motorización alternativa varía entre 50 y los 600 euros. Se supone que la distancia media recorrida por un vehículo europeo en el año es de 12 000 km, lo que significa un coste suplementario entre 0.31 y 3.64 € por cada 100 km recorridos por el vehículo. El coste por tonelada de carbón suprimido varía entre 200 y 2 000.

Los resultados de los análisis WTW en otras partes del mundo serán probablemente diferentes de las europeas, pero las calculadas para el caso europeo pueden ser una referencia útil para evaluar los costes suplementarios derivados de la eficacia en la reducción de los gases de efecto invernadero, para las diferentes combinaciones de carburantes y motorizaciones que se pueden adoptar mayoritariamente en el futuro. ■

TABLA 1.- ANÁLISIS DE LAS EMISIONES TOTALES WTW ('DEL POZO A LAS RUEDAS') EN FUNCIÓN DE LOS CARBURANTES Y LAS MOTORIZACIONES UTILIZADAS.

Carburante	Motorización	Economía de gases de efecto invernadero			Coste suplementario	
		Mt de CO ₂	Variación referencia %	Coste €/t CO ₂ suprimido	Por vehículo modificado €/año	Por cada 100 km recorridos €
Convencional	Híbrido	6	-16	364	141.8	0.89
GNC gas natural comprimido	Motor PISI	5	-14	460	156.0	0.98
	Híbrido	12	-32	256	219.9	1.38
Gasóleo sintético FT de gas natural DME de gas natural	Motor CIDI+FP gasóleo	-5	14	no signif.	49.6	0.31
	CIDI	1	-3	2039	156.0	0.98
Etanol Remolacha azucarera Pasta forrajera Pasta de fermentación Pasta térmica Trigo y derivados	PISI	14	-38	418	425.5	2.67
		12	-32	563	461.0	2.89
		24	-65	254	432.6	2.71
		5	-14	1812	581.6	3.64
EMAG Ester Metílico Colza Glicerina química Glicerina combustible Ester Metílico Girasol Glicerina química Glicerina combustible	Motor CIDI+FP gasóleo	16	-43	278	326.2	2.04
		14	-38	345	354.6	2.22
		22	-59	217	340.4	2.13
		20	-54	260	368.8	2.31

CIDI: encendido por compresión de inyección directa; PISI: encendido por chispa con inyección; FP: filtro de partículas

Fuente: EUWTW 2004 con cálculos suplementarios del PMD