



Madrid
Ahorra
con Energía



Dirección General de Industria,
Energía y Minas
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y CONSUMO

Comunidad de Madrid

Guía de la Energía en el Sector del Automóvil



Guía de la Energía en el Sector del Automóvil



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency

Intelligent Energy  Europe



Dirección General de Industria,
Energía y Minas

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y CONSUMO

Comunidad de Madrid

La "Guía de la Energía en el Sector del Automóvil" ha sido realizada por iniciativa de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid por la empresa ALBA Ingenieros Consultores, S.L. y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

Depósito Legal:
Impresión Gráfica:

ÍNDICE



INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO 1. ALGUNAS NOCIONES SOBRE LA ENERGÍA	11
1.1. ¿QUÉ ES LA ENERGÍA?	11
1.2. LAS FUENTES DE ENERGÍA	12
1.3. ¿CÓMO SE MIDE LA ENERGÍA?	13
1.4. ENERGÍA FINAL Y ENERGÍA PRIMARIA	14
1.5. ¿CUÁNTA ENERGÍA CONSUMIMOS?	15
1.6. ¿QUÉ TIPO DE ENERGÍA CONSUMIMOS?	16
1.7. LA ENERGÍA EN LA COMUNIDAD DE MADRID	17
1.8. CONSECUENCIAS DEL CONSUMO DE ENERGÍA	18
CAPÍTULO 2. EL SECTOR DEL TRANSPORTE	23
2.1. MODOS DE TRANSPORTE	23
2.2. EL MODELO ACTUAL DE TRANSPORTE	24
2.3. EL CONSUMO DE ENERGÍA Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL TRANSPORTE	26
2.4. BALANCE AMBIENTAL Y SOCIAL DEL SECTOR	29
CAPÍTULO 3. LA ENERGÍA EN EL TRANSPORTE A TRAVÉS DE LA HISTORIA	33
3.1. LA ENERGÍA MUSCULAR Y LA FUERZA DE LOS ANIMALES	33
3.2. EL CARBÓN Y LA MÁQUINA DE VAPOR	34
3.3. EL PETRÓLEO Y EL AUTOMÓVIL	36
3.4. LA ELECTRIFICACIÓN DE LOS MEDIOS DE TRANSPORTE	37
3.5. SIGLO XX: EL SIGLO DEL PETRÓLEO	38
3.6. EL SIGLO XXI: NUEVAS ENERGÍAS PARA EL TRANSPORTE	39



CAPÍTULO 4. LOS BIOCARBURANTES	43
4.1. BIOCARBURANTES PARA EL TRANSPORTE	43
4.2. ¿QUÉ SON LOS BIOCARBURANTES?	45
4.3. ALTERNATIVAS DE BIOCARBURANTES	47
4.4. ¿CÓMO SE PRODUCEN LOS BIOCARBURANTES?	48
4.4.1. Bioetanol	48
4.4.2. Biodiesel	50
4.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES FRENTE A LOS COM- BUSTIBLES TRADICIONALES	52
4.6. PERSPECTIVAS DE FUTURO EN ESPAÑA	54
4.6.1. Biocarburantes en la Comunidad de Ma- drid	56
CAPÍTULO 5. LA ELECTRICIDAD	59
5.1. CLASES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	59
5.2. BREVE HISTORIA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	61
5.3. LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA ACTUALIDAD	62
5.4. ¿QUÉ ES UN VEHÍCULO ELÉCTRICO?	63
5.4.1. Categorías de vehículos eléctricos	64
5.4.2. Componentes principales de un vehículo eléctrico	66
5.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	71
5.6. UNA APUESTA POR LOS VEHÍCULOS SOLARES	72
5.7. VEHÍCULOS HÍBRIDOS	74
5.8. HISTORIA DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS	75
5.9. TIPOS DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS	77
5.10. COMPONENTES DEL VEHÍCULO HÍBRIDO ELÉCTRI- CO (VHE)	79
5.11. ¿CÓMO FUNCIONA UN VEHÍCULO HÍBRIDO?	79
5.12. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS	81
5.13. DESARROLLOS TECNOLÓGICOS	82
CAPÍTULO 6. EL GLP Y EL GAS NATURAL	85
6.1. ¿QUÉ ES EL GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (GLP) PA- RA AUTOMOCIÓN?	88
6.2. ¿CÓMO SE UTILIZA EL GLP EN LOS AUTOMÓVILES?	90
6.3. ¿CÓMO SE ALMACENA Y SE SUMINISTRA EL GLP?	96
6.4. EL GAS NATURAL VEHICULAR	99



6.5. VEHÍCULOS DE GAS NATURAL	102
6.6. ESTACIONES DE LLENADO DE REPOSTADO DE GAS NATURAL	105
6.7. DESARROLLO ACTUAL Y FUTURO DEL GNV	107
 CAPÍTULO 7. EL HIDRÓGENO	 109
7.1. ¿QUÉ ES EL HIDROGENO?	109
7.2. EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE	110
7.3. ¿CÓMO SE PRODUCE EL HIDRÓGENO?	113
7.4. ¿CÓMO SE ALMACENA EL HIDRÓGENO EN LOS VEHÍCULOS?	118
7.5. ¿CÓMO SE UTILIZA EL HIDRÓGENO EN LOS VEHÍCULOS?	120
7.6. VEHÍCULOS DE HIDRÓGENO Y ESTACIONES DE SERVICIO	124
7.7. VENTAJAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE EN AUTOMOCIÓN	126
7.8. RETOS PARA LAS PILAS DE COMBUSTIBLE	128
 CAPÍTULO 8. CONDUCCIÓN ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE VEHÍCULOS	 131
8.1. ¿QUÉ ES LA CONDUCCIÓN EFICIENTE?	131
8.2. VENTAJAS DE LA CONDUCCIÓN EFICIENTE	132
8.3. REGLAS PRINCIPALES DE LA CONDUCCIÓN EFICIENTE	133
 CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA	 137



INTRODUCCIÓN



En las últimas décadas se ha experimentado en España un importante desarrollo económico en todos los sectores de actividad, lo que ha supuesto un gran aumento de la demanda energética. Uno de los que ha contribuido en mayor medida a ello es el transporte, que a partir de los años 90 se ha convertido en el sector con mayor demanda de energía final, superando a los sectores tradicionalmente consumidores de energía, como el industrial.

Casi el 99% de la energía consumida en el transporte se cubre con derivados del petróleo, lo que supone una dependencia extrema de fuentes de energía importadas, no renovables y cuya combustión es la fuente principal de generación de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, el sistema de transporte actual no es eficiente en su conjunto. Existe un fuerte desequilibrio en la participación de los diferentes modos de transporte de viajeros y mercancías, con un dominio absoluto del transporte por carretera en detrimento de otros modos de transporte energéticamente mucho más eficientes y que generan menos efectos externos negativos, como el ferrocarril.

Este hecho ha provocado un considerable aumento de la contaminación atmosférica en las zonas urbanas y periurbanas, donde el tráfico de vehículos es una de las principales fuentes de contaminación, además de dar lugar a otros efectos externos que disminuyen notablemente la calidad de vida de los ciudadanos, como congestión y atascos, ruido, mayor riesgo de accidentes, etc.

En este sentido hay que destacar el gran protagonismo que ha adquirido el vehículo privado. Las familias españolas consumen un 15% de la energía generada en España en el uso del coche privado, lo que supone el 50% de toda la energía utilizada en el transporte por carretera.

De mantenerse esta tendencia, los problemas de congestión se agravarán, se incrementará la contaminación atmosférica y, con ello, todos sus costes económicos y sociales derivados.

Para evitarlo, se viene trabajando desde hace tiempo para transformar el sistema de transporte actual en otro que sea ambien-



tal y socialmente sostenible, es decir, para desarrollar un sistema de transporte que contribuya al bienestar económico y social sin agotar los recursos naturales, destruir el medio ambiente, ni dañar la salud humana.

En esta labor, las vías de acción se centran en tres ámbitos principales:

- La **tecnología**, mediante mejoras en los vehículos y en los estándares de los combustibles convencionales que permitan disminuir la emisión de contaminantes e incrementar su eficiencia energética; y el desarrollo de combustibles alternativos a los derivados del petróleo.
- La **educación**, fomentando cambios de comportamiento y usos sociales para el alcanzar una utilización de los medios de transporte energéticamente más eficiente.
- La **gestión**, en cuanto al desarrollo de medidas políticas, fiscales y de planificación territorial encaminadas a equilibrar la distribución modal a favor de aquellos modos de transporte más respetuosos con el medio ambiente.

Estas medidas están claramente interrelacionadas y para que sean efectivas deben combinarse en una estrategia conjunta en la que participen todos los agentes implicados en el modelo de transporte: los usuarios particulares, las distintas administraciones (nacional, autonómica, local) y diversos sectores económicos (industria automovilística, construcción de infraestructuras, etc.).

Esta Guía pretende abordar de manera sencilla y didáctica las alternativas para el transporte particular energéticamente sostenible, describiendo los carburantes alternativos a los tradicionales (gasolinas y gasóleos) como son el GLP, el gas natural, los denominados biocombustibles (básicamente el bioetanol y el biodiesel) y el hidrógeno. Pero, también se describen los desarrollos tecnológicos habidos en la fabricación de automóviles, vinculados a las distintas fuentes de energía o cadenas energéticas de los vehículos.

El estudio y desarrollo de esas energías alternativas y vehículos más avanzados, capaces de ir reduciendo el consumo de los productos petrolíferos en la automoción, es una tarea primordial en los próximos años y solamente con su impulso se logrará un mundo más sostenible.

1

ALGUNAS NOCIONES SOBRE LA ENERGÍA



La energía ha sido esencial para la Humanidad. A lo largo de los siglos, el Hombre siempre ha utilizado la energía disponible en la naturaleza, bien de forma directa, o empleando diferentes sistemas tecnológicos, desde los molinos de viento a los reactores nucleares.

En el mundo actual, la energía es la fuerza vital que mueve nuestra sociedad. De ella dependen la iluminación, el calentamiento y la refrigeración de las viviendas, el transporte de personas y mercancías, el funcionamiento de las fábricas, etc.

Su uso forma parte de nuestra forma de vida y conforme las sociedades se van haciendo más desarrolladas, las necesidades energéticas crecen progresivamente.

1.1. ¿QUÉ ES LA ENERGÍA?

Energía es un concepto intuitivo que se utiliza habitualmente, pero que resulta extremadamente complicado definir. Es más, incluso reputados científicos, como el Premio Nobel Richard Feynmann, afirman que *"hoy en día, desde el punto de vista de la Física, no sabemos qué es realmente la Energía"* (Lecciones de Física, 1988).

Pero, la energía siempre está presente: cuando un rayo de sol penetra a través de la ventana, al caminar por la acera, cuando el semáforo se abre para los peatones, se está utilizando energía.

Hay muchas formas diferentes de energía: mecánica, eléctrica, energía que proviene del calor o de la luz, energía química, electromagnética, etc. Todas ellas tienen en común la capacidad de causar algún tipo de cambio o producir un trabajo. Y de esta propiedad nace una de sus definiciones más básicas: *energía es la capacidad para producir un trabajo o provocar un cambio*.

La energía de los rayos del Sol provoca un cambio porque calienta el interior de la casa, y la energía *"realiza un trabajo"* dentro de nuestro cuerpo al permitirnos mover las piernas para caminar.



Además, las diversas formas de energía pueden transformarse unas en otras. Siguiendo el ejemplo anterior, la energía del Sol se transforma en calor, la energía química de los alimentos en energía mecánica que mueve los músculos, y la energía eléctrica que alimenta el semáforo se transforma en energía lumínica.

1.2. LAS FUENTES DE ENERGÍA

Se denomina **fuentes de energía** a los elementos de la naturaleza que pueden suministrar energía.

Las **fuentes de energía no renovable** son aquellas cuyas reservas son limitadas y se agotan a medida que se utilizan. Estas fuentes, una vez consumidas, no pueden reponerse. También se les llama **fuentes convencionales de energía**, porque el modelo energético actual se basa en ellas.



Figura 1.1. Energías no renovables.

Incluyen los *combustibles fósiles* (petróleo, carbón y gas natural), originados por la transformación de restos orgánicos a lo largo de millones de años; y los *combustibles nucleares*, como el uranio y el plutonio, que son de origen *mineral*.



Las **fuentes de energía renovable** se producen, o llegan a la Tierra, de forma continua y son inagotables a escala humana. También se denominan **fuentes alternativas de energía**, porque podrían llegar a sustituir a las fuentes de energía convencionales. El viento, el Sol, los ríos, las mareas y las olas, el calor del interior de la Tierra y la biomasa, son fuentes de energía renovable.



Figura 1.2. Energías renovables.

1.3. ¿CÓMO SE MIDE LA ENERGÍA?

La unidad básica de medida de la energía en el Sistema Internacional de Unidades es el **julio** (J). Además de ésta, se utilizan otras unidades, como la caloría o el kilovatio.

El consumo de energía se mide en **toneladas equivalentes de petróleo** (tep), que es el calor desprendido al quemar una tonelada de petróleo. Esta unidad permite comparar el consumo energético de diferentes países o regiones de forma homogénea, o conocer su evolución a lo largo del tiempo.

Tabla 1.1.

UNIDADES DE MEDIDA DE LA ENERGÍA		
UNIDAD	DEFINICIÓN	EQUIVALENCIA
julio (J)	Es la energía necesaria para levantar a 1 m una masa de 1 kg.	-----
caloría (cal)	Es la energía necesaria para aumentar la temperatura de un gramo de agua de 14 °C a 15 °C a 1 atmósfera de presión.	4,18 J
Caloría (Cal)	Se escribe con mayúscula y es igual a 1.000 cal (1 kcal). Se utiliza en nutrición y alimentación.	4.180 J
Kilovatio hora (kWh)	Equivale a la energía eléctrica producida o consumida por una potencia de un kilovatio durante 1 hora. Es la unidad empleada en los recibos de la luz.	3,6 millones de julios.
Tonelada Equivalente de Carbón (tec)	Es la cantidad de energía obtenida con la combustión de 1 tonelada de carbón	29.000 millones de julios.
Tonelada Equivalente de Petróleo (tep)	Es la cantidad de energía obtenida con la combustión de 1 tonelada de petróleo.	40.000 millones de julios.
kilotón (kt)	Es la energía equivalente a la que se libera cuando explotan 1.000 toneladas de trinitrotolueno (TNT).	4,2 billones de julios.

Fuente: Agencia de la Energía de Barcelona

Tabla 1.2.

UNA TONELADA EQUIVALENTE DE PETRÓLEO (tep) EQUIVALE, APROXIMADAMENTE, A:	
Combustibles sólidos	1,5 toneladas de carbón mineral
	De 3 a 5 toneladas de lignito
Combustibles gaseosos	10.000 m³ de gas natural
Electricidad	12 megawatios/hora
Energía eléctrica nuclear	3,83 megawatios/hora

Fuentes: A.I.E., D.G.P.E.M., Foro Nuclear

1.4. ENERGÍA FINAL Y ENERGÍA PRIMARIA

La mayoría de las formas de energía que se utilizan (gasolina, gas butano-propano, electricidad, etc.) se obtienen mediante un proceso de transformación o generación. Por ejemplo, la gasolina y el gas butano se obtienen del refinado del petróleo, y la electricidad puede generarse utilizando energía hidráulica, nuclear, solar o eólica, o quemando carbón o gas natural.



Se denomina **energía final** a la que se utiliza en los diferentes puntos de consumo, y **energía primaria** a la que se obtiene en la naturaleza, sin ninguna transformación, y se utiliza para producir la energía final. Siguiendo los ejemplos anteriores, las energías hidráulica, nuclear, solar y eólica y el carbón, el gas natural y el petróleo son energías primarias; y la electricidad, el gas butano y la gasolina, energías finales.

El concepto de energía primaria es útil para evaluar las necesidades energéticas de un país o región, ya que representa la suma de la energía necesaria para producir toda la energía consumida en dicho territorio. El consumo de energía final y su evolución permite analizar el comportamiento energético de los distintos sectores económicos y sociales (industria, hogares, transporte, comercio, etc.).

1.5. ¿CUÁNTA ENERGÍA CONSUMIMOS?

El consumo de energía primaria se ha incrementado en casi dos veces y media en los últimos treinta años y, actualmente, España es el quinto país de la Unión Europea que más energía consume, por detrás de Alemania, Francia, Reino Unido e Italia.

Una de las principales razones que explican este importante aumento de la demanda de energía es el crecimiento económico experimentado en las últimas décadas, que ha permitido mejorar los estándares de calidad de vida, confort y *movilidad* de los ciudadanos.

La necesidad de electricidad en los hogares se ha incrementado por la generalización de los electrodomésticos, hay mayor consumo de combustibles debido al crecimiento del parque automovilístico y el desarrollo residencial en la periferia de las ciudades ha determinado mayores necesidades de transporte.

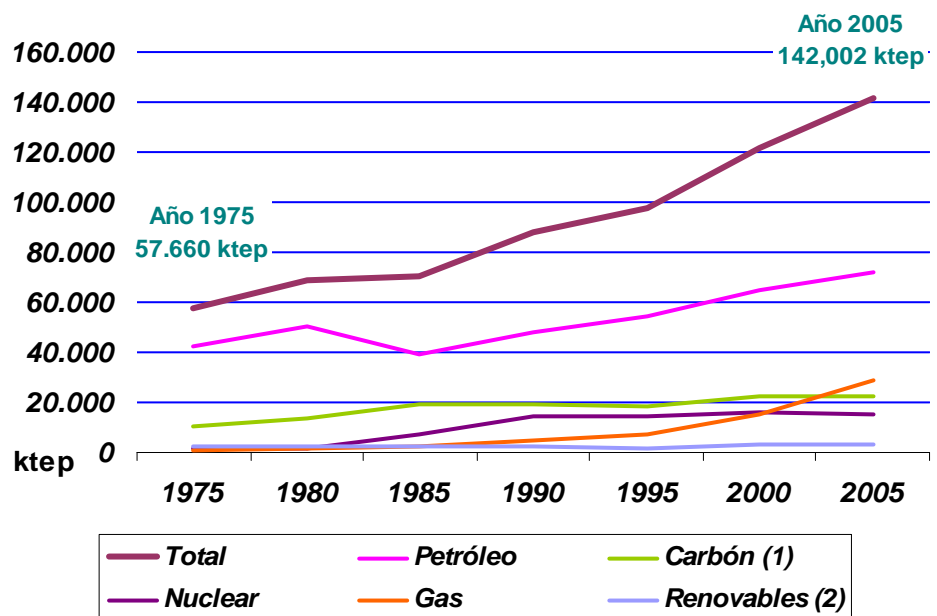


Figura 1.3. Evolución del consumo final de energía primaria en España.

Fuente: Subsecretaría General de la Energía. M.I.T.C.



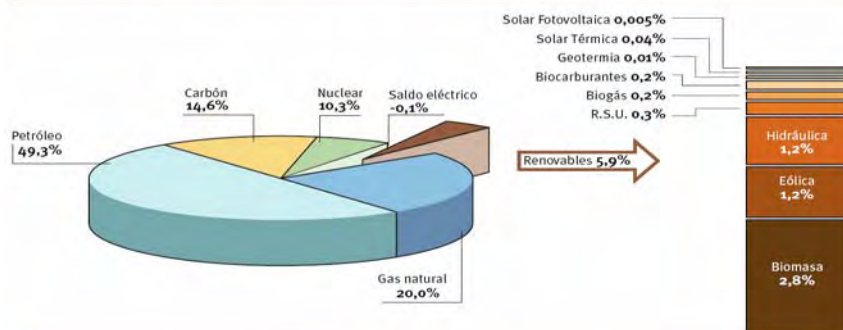
Desde 1993, las mayores tasas de aumento se han registrado en el sector residencial y en el transporte privado, sectores muy ligados a la calidad de vida, mientras que la industria ha reducido progresivamente su participación en el consumo energético final, gracias a las medidas de ahorro adoptadas y la mejora de los procesos de fabricación.

Actualmente, el transporte es el sector que más energía final consume, por delante, incluso, de la industria. El consumo energético de las familias representa el 30% del total nacional, repartido a partes iguales entre la vivienda (calefacción, iluminación, agua caliente, etc.) y el coche.

1.6. ¿QUÉ TIPO DE ENERGÍA CONSUMIMOS?

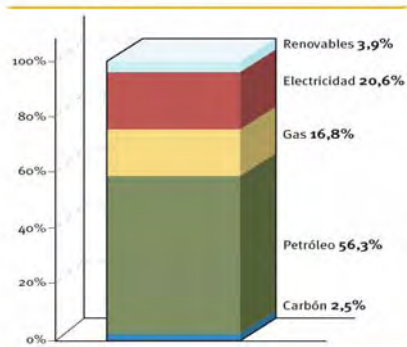
La energía que se consume en el mundo proviene mayoritariamente de fuentes no renovables, y más del 85% de ella se obtiene quemando combustibles fósiles.

Consumo de energía primaria por fuentes en España, 2005



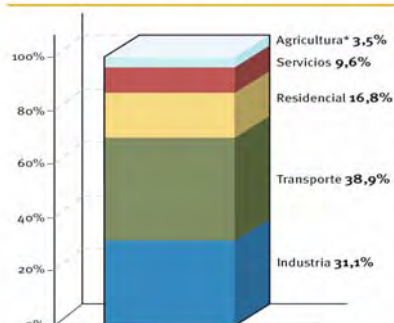
Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (Dirección General de Política Energética y Minas) / IDAE.

Consumo de energía final por fuentes en España, 2004



Nota: Excluidos consumos no energéticos.
Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Consumo de energía final por sectores en España, 2004



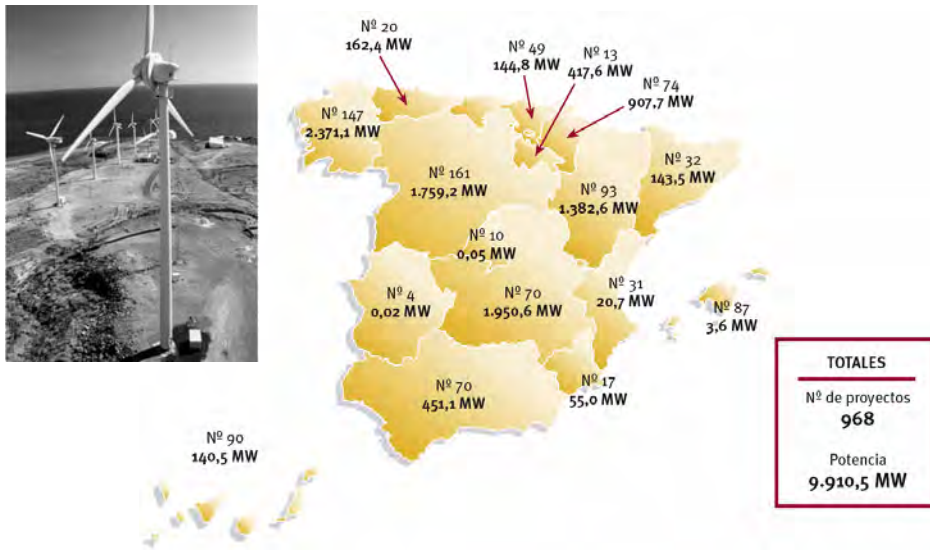
Nota: Excluidos consumos no energéticos.
Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
* Incluidas diferencias estadísticas.

En España se mantiene esta misma tónica, y más acusada si cabe: la utilización de fuentes de energía no renovable supera el 90% de la energía primaria consumida con una preponderancia total del petróleo, que proporciona más del 50% de la energía primaria.

La contribución de las energías renovables todavía es poco significativa. Únicamente representa un 6% de la energía primaria total, aunque su peso en el balance energético nacional está experimentando un incremento progresivo y se espera alcanzar el 12% en el año 2010.

Figura 1.4. Tipos de energía consumida.

Fuente: Eficiencia Energética y Energías Renovables. Boletín IDAE Nº 8, octubre, 2006.



España, con más de 11,5 GW de potencia total a finales de 2006, es el segundo país del mundo con más potencia instalada, por detrás de Alemania (18 GW) y por delante de EE.UU (9 GW).

Fuente: IDAE, 2006

Figura 1.5. Distribución de la potencia instalada y número de proyectos con energía eólica a finales de 2005.

La biomasa y las energías eólica e hidráulica son las fuentes renovables que mayor aportación tienen a la demanda de energía primaria, con casi el 90% del total, aunque la energía solar y los biocarburantes están en clara expansión, con crecimientos anuales del 52% y el 24%, respectivamente (Datos 2004-2005).

Respecto a energía final, los derivados del petróleo, de los que más del 60% se destina al transporte, son también la fuente de energía más utilizada. Esta situación provoca una fuerte dependencia del exterior, ya que en España se importa más del 98% del petróleo que se utiliza.

1.7. LA ENERGÍA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

El balance generación/consumo de energía de la Comunidad de Madrid presenta un marcado desequilibrio. De los más de 11,2 millones de tep que se consumen anualmente, lo que representa el 11 % del total nacional, únicamente se generan dentro de su territorio 0,3 millones de tep, el 3,2% de esta energía.



Al igual que en el resto de España, la mayor parte de la energía primaria proviene de fuentes no renovables. Durante el año 2006, únicamente el 1,3% del total se generó a partir de fuentes de energía renovable, en concreto, a partir de biomasa térmica, residuos sólidos urbanos y biogás y energía hidráulica.

A diferencia de otras comunidades, el mercado final de energía de la Comunidad de Madrid está marcadamente "*terciarizado*", con un peso extraordinario del sector transporte que, en términos energéticos, desplaza a los usos industriales a una cuota de apenas el 11%, muy inferior a la media nacional, que supera el 30%.

El transporte, con más de 5 millones de tep, representa casi el 50% de la demanda de energía final. La práctica totalidad de esta energía proviene de los derivados del petróleo (gasolinas, gasóleo, etc.), ya que sólo determinados medios de transporte, como el metro o el tren, utilizan electricidad y, por el momento, la utilización de biocarburantes y tecnologías no dependientes del petróleo es testimonial.

El segundo gran consumidor de energía final es el sector residencial. Las familias madrileñas utilizan cerca de 2,7 millones de tep anuales en sus hogares. El recurso energético más usado en los hogares es la electricidad, aunque el gas natural y los combustibles derivados del petróleo cada vez están adquiriendo mayor peso en los sistemas de calefacción y agua caliente.

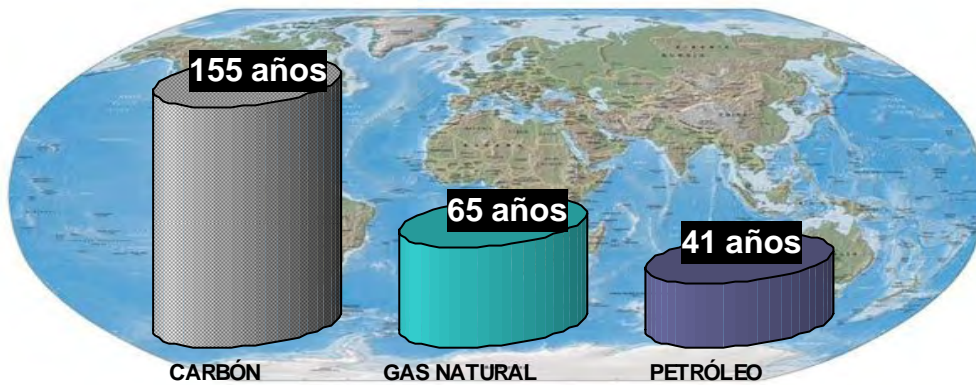
1.8. CONSECUENCIAS DEL CONSUMO DE ENERGÍA

El empleo de energías no renovables, en especial de combustibles fósiles, está en el origen de algunos de los mayores problemas ambientales que sufre el planeta y tiene graves consecuencias para la salud humana y el equilibrio social y económico global. Las energías renovables también tienen efectos negativos, pero de mucha menor magnitud y casi siempre reversibles.

A continuación se hace un breve repaso a las principales consecuencias que puede tener el uso de la energía.

- **Agotamiento de las fuentes de energía no renovable**

Las energías no renovables se están consumiendo a una velocidad 100.000 veces superior a la de su formación, lo que puede conducir al agotamiento de todas sus reservas, sin posibilidad de renovación, en un plazo más o menos largo.



El petróleo es el combustible fósil más utilizado y del que quedan menos reservas. Si se mantiene el nivel actual de demanda y consumo, únicamente resta petróleo para unos 40 años.

Fuente: BP Statistical Review of the World Energy, Junio 2006

Figura 1.6. Reservas mundiales probadas de combustibles fósiles. Año 2005.

Por el contrario, la utilización de determinadas fuentes de energía renovable, como la solar, la eólica o la energía mareomotriz, no entraña riesgo ninguno de agotamiento. Con otras, como la biomasa o la energía geotérmica, es necesario ajustar el ritmo de utilización a sus ciclos de renovación, para evitar su agotamiento y la degradación de los ecosistemas naturales.

- Problemas ambientales**

La contaminación atmosférica, el efecto invernadero o la lluvia ácida son algunos de los problemas ambientales derivados del uso de *combustibles fósiles*.

La *contaminación atmosférica* afecta a millones de personas de todo el mundo, sobre todo en los grandes núcleos urbanos, provocando problemas respiratorios, alergias y muchas otras enfermedades.

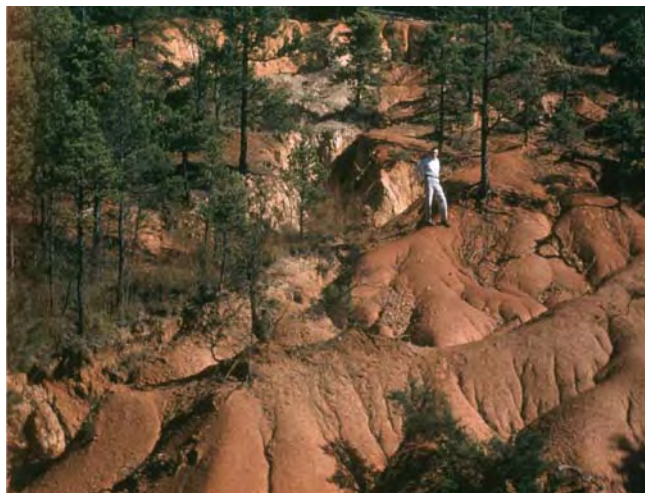


Figura 1.7. En algunos países en vías de desarrollo, el aprovechamiento excesivo de biomasa natural ha provocado la destrucción de los bosques y graves problemas de erosión y desertización.



El CO₂ y otros gases generados al quemar combustibles fósiles son los responsables del *efecto invernadero*, que es causa directa del cambio climático, un problema con repercusiones no sólo ambientales, sino también de orden social, político y económico.

Al quemar ciertos carbonos se desprenden óxidos de azufre y de nitrógeno que reaccionan con el agua de la atmósfera y caen sobre la tierra en forma de *lluvia ácida*, que daña las plantas, ataca el suelo agrícola y forestal y provoca el llamado *mal de la piedra* en edificios y monumentos.



Figura 1.8. Efecto invernadero.

Por otro lado, la *energía nuclear* genera residuos radiactivos muy difíciles de eliminar, y además las centrales podrían entrañar algún riesgo para la población, a pesar de que las de los países desarrollados son seguras y están muy controladas.

Las *energías alternativas* están consideradas como “energías limpias” ya que, aunque también provocan impactos ambientales -por ejemplo, el deterioro del paisaje ocasionado por las centrales eólicas o la emisión de gases contaminantes en las instalaciones de biomasa térmica- su repercusión es muy inferior a la de las energías convencionales.

Tabla 1.3.

IMPACTOS AMBIENTALES DERIVADOS DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD	
Tecnologías	Ecopuntos
Minihidráulica	5
Eólica	65
Gas natural	267
Nuclear	672
Carbón	1.356
Petróleo	1.398
Lignito	1.735
CUANTOS MÁS ECOPUNTOS, MAYOR IMPACTO	
Fuente: IDAE, CIEMAT, APPA y CC.AA.	



- **Problemas políticos y económicos**

Las reservas energéticas convencionales están concentradas en muy pocos países; por ejemplo, las dos terceras partes del petróleo mundial proceden de los países del Golfo Pérsico. Este hecho genera una importante dependencia energética en el resto de los países, inseguridad en el suministro y altos precios del combustible.

Las energías no renovables son energías autóctonas que se generan en el mismo lugar donde se consumen, lo que permite, si no evitar, sí disminuir la dependencia energética exterior, además de que su explotación es fuente de generación de empleo.



Figura 1.9. Reservas de petróleo probadas a finales de 2005.

Fuente: Modificado de BP Statistical Review of the World Energy, Junio 2006.





2 EL SECTOR DEL TRANSPORTE

El transporte es un sector esencial para el desarrollo económico y social, que permite a los ciudadanos satisfacer su demanda de *movilidad* en relación con sus desplazamientos al trabajo, a los lugares de compra y de ocio, etc.

Lleva aparejados indudables beneficios sociales y económicos, pero, también es responsable de numerosos efectos negativos, como contaminación atmosférica, ruido, accidentes o congestión.

Por otro lado, la utilización masiva del automóvil es una de las causas de que se haya incrementado la dependencia de los combustibles fósiles y de que el transporte contribuya, de forma cada vez más importante, a agravar algunos problemas ambientales, como el cambio climático.

2.1. MODOS DE TRANSPORTE

La denominación *sector transporte* se refiere al conjunto de medios que se emplean para trasladar personas o bienes de un lugar a otro. Suelen diferenciarse tres tipos o *modos* principales de transporte:

- **Transporte terrestre**, que incluye todos los sistemas de transporte por carretera, particulares y colectivos (automóvil, autobuses y autocares, camiones, motocicletas, etc.), el ferrocarril y el transporte de mercancías por tubería (gasoductos y oleoductos).
- **Transporte marítimo**, que se efectúa con buques de navegación (barcos de pasajeros, transbordadores, buques de transporte, petroleros), e incluye la navegación exterior, la de cabotaje y la navegación por canales y vías interiores.
- **Transporte aéreo**, que se refiere al traslado de pasajeros o mercancías en aviones, helicópteros y avionetas, tanto en vuelos regulares como no regulares.



2.2. EL MODELO ACTUAL DE TRANSPORTE

En las últimas décadas, el transporte de viajeros y mercancías ha crecido espectacularmente y continúa creciendo. Entre 1990 y 2003, la demanda de transporte de viajeros en España prácticamente se ha duplicado y las estimaciones realizadas para el horizonte del año 2015 apuntan que se producirá un incremento del orden del 30% respecto de la situación actual.

Los *modos de transporte* que más han crecido son la aviación, que en los últimos años casi ha triplicado el número de pasajeros por kilómetro, y el transporte por carretera, con un crecimiento superior al 85%, mientras que el incremento del número de usuarios del ferrocarril ha sido muy moderado.

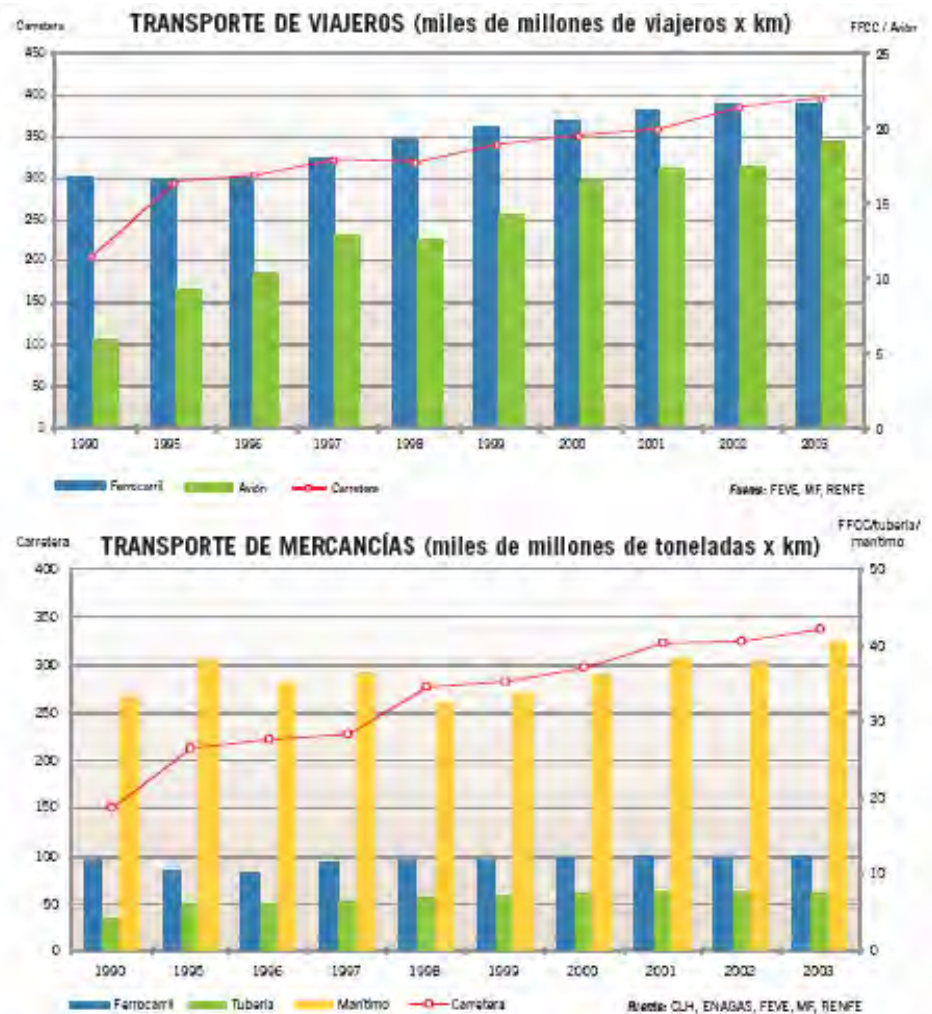


Figura 2.1. Evolución del transporte de viajeros y mercancías.



Este desigual crecimiento es una de las causas por las que el modelo actual de transporte presenta un fuerte desequilibrio en cuanto a la participación de los diferentes modos de transporte. El transporte por carretera, con una participación de más del 90%, predomina claramente sobre el resto (ferrocarril, transporte aéreo, marítimo), y dentro de aquel el protagonismo del coche es absoluto.

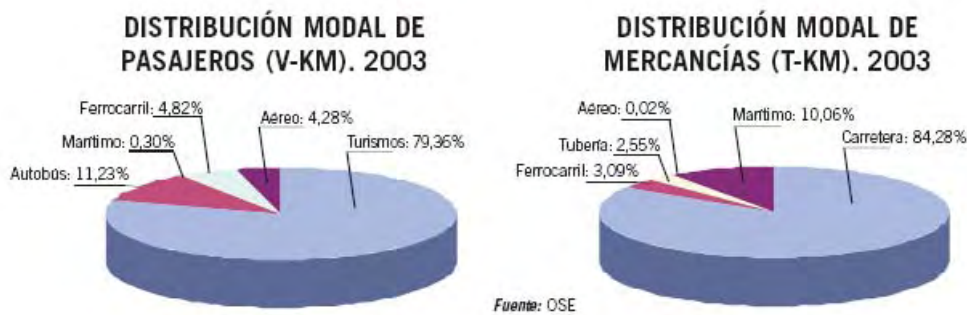
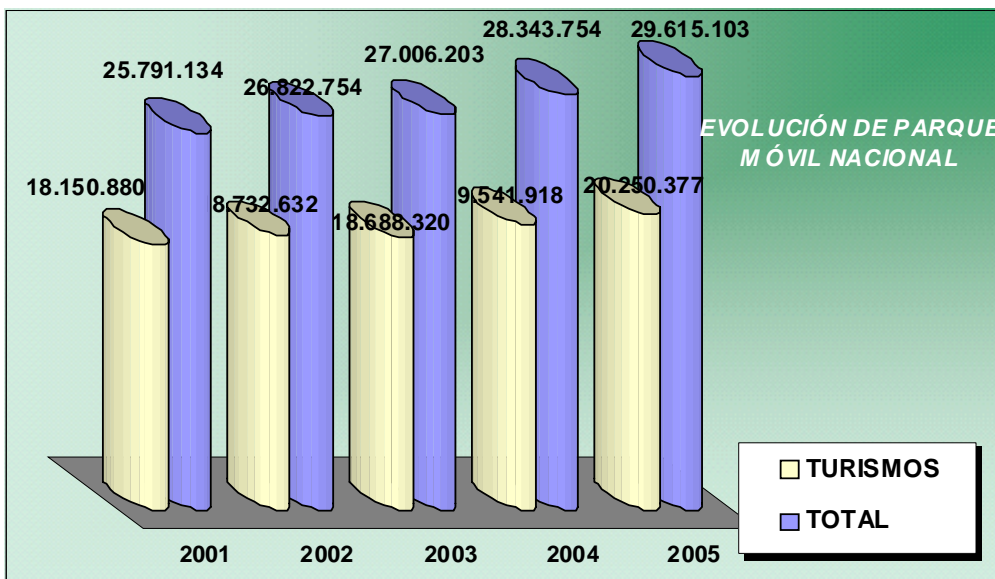


Figura 2.2. Distribución modal del transporte.

La urbanización de los corredores metropolitanos y la mejora de las redes viarias, son factores que determinan una dependencia cada vez mayor del automóvil y, a pesar de la mejora del transporte público, casi el 80% de los desplazamientos de personas se realiza en vehículos privados.



El *parque móvil* se acerca a los 30 millones de vehículos, de los que más de 20 millones son turismos. Estas cifras suponen que, como media, a cada hogar español le corresponden dos turismos.

Más del 90% del transporte de pasajeros y cerca del 85% del de mercancías se realiza por carretera. El número de viajeros por kilómetro de carretera supera los 410.000 millones anuales, de los que casi 355.000 millones se desplazan en coche particular.

Fuentes: MMA; D.G.T.

El número de matriculaciones aumenta año tras año y ya se han sobrepasado los 2 millones anuales, mientras que el número de bajas permanece constante.

Figura 2.3. El parque de vehículos está en continuo crecimiento.



En la Comunidad de Madrid hay más de cuatro millones de vehículos matriculados, de los que casi el 80% son turismos. La tasa *de motorización*, 664 vehículos por cada 1.000 habitantes, es superior a la media nacional, 636 vehículos/1.000 habitantes, y equivale a más de 2 turismos por cada hogar.

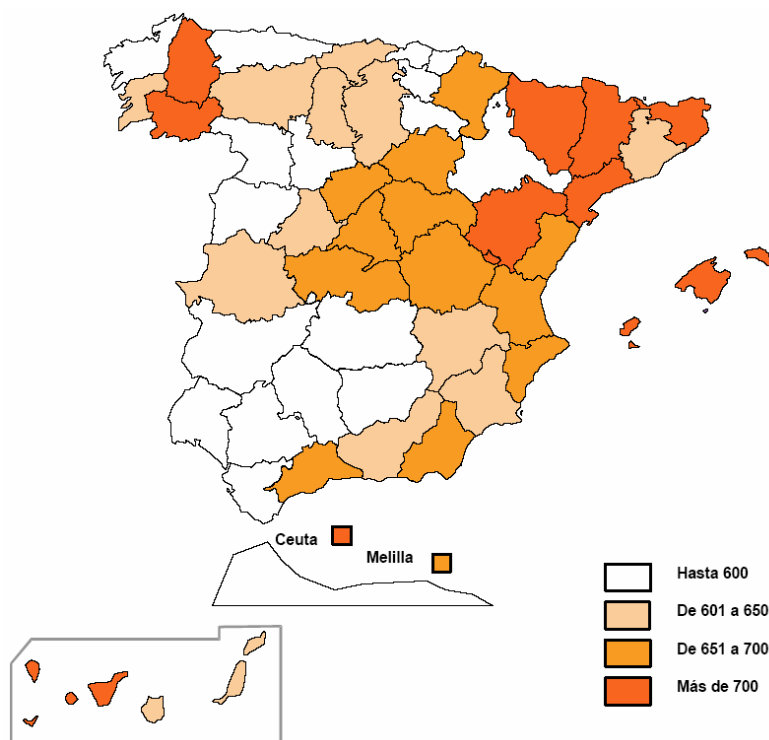


Figura 2.4. Parque de vehículos por mil habitantes (año 2005)

Fuente: Anuario Estadístico General 2005. Ministerio del Interior.

2.3. EL CONSUMO DE ENERGÍA Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL TRANSPORTE

A diferencia de otros sectores, las medidas de ahorro y *eficiencia energética* aplicadas al transporte no han resultado suficientemente efectivas, y actualmente, el transporte es, con gran diferencia, el sector que más energía consume en España.

El consumo de energía del sector transporte supone alrededor del 40% del total de la *energía final* a nivel nacional. Mantiene un crecimiento constante, superior al de cualquier otro sector económico, que, por el momento, no presenta indicios de que vaya a detenerse.

Ejemplo de ello es que, a pesar de que los vehículos consumen un 20% menos que hace 20 años, el gasto energético global en este mismo periodo, lejos de estabilizarse o descender, ha crecido más de dos veces y media.

Además del gran incremento global experimentado por el sector, que supone una mayor demanda de energía, las causas de esta situación están directamente relacionadas con el predominio de los modos de transporte menos eficientes energéticamente, la compra masiva de coches y el uso que se hace de ellos.

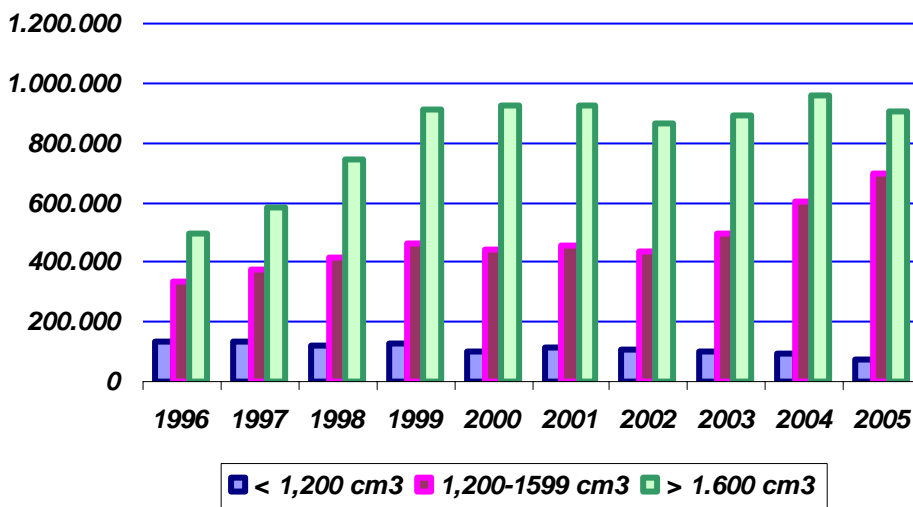


Figura 2.5. Matriculación de vehículos según cilindrada.

El automóvil privado, que absorbe más del 80% del transporte de pasajeros, es uno de los medios de transporte que más energía gasta por viajero y kilómetro. En viajes interurbanos consume casi tres veces más que el autocar, y en trayectos urbanos seis veces más que el metro o el autobús.

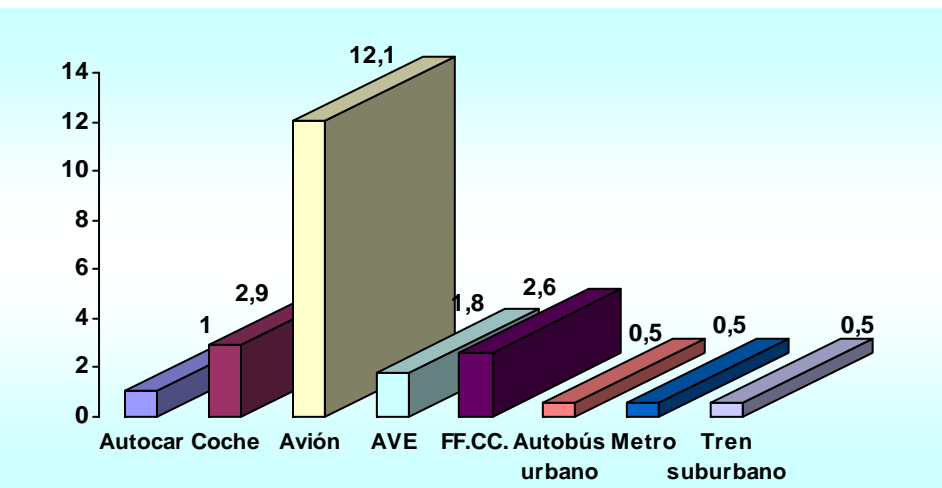


Figura 2.6. Eficiencia energética de distintos modos de transporte. (Unidades de energía por pasajero/km).

El número de vehículos de gas-oil prácticamente dobla la cifra de los de gasolina. Pero los vehículos cada vez son más grandes y potentes, lo que anula las ventajas de su menor consumo.

Una berlina de tamaño medio consume casi una vez y media más por kilómetro recorrido que un utilitario.

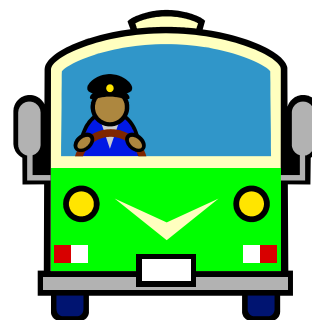


Además se utiliza mayoritariamente con un solo ocupante (el índice medio de ocupación es de 1,2 pasajeros por vehículo) y para recorridos cortos, generalmente urbanos, que podrían realizarse por otros medios. En este tipo de desplazamientos, el consumo de combustible llega a duplicarse debido a que el motor funciona en frío, por la frecuencia con que es necesario parar y arrancar de nuevo, por la utilización de marchas cortas, etc.



1 COCHE/1 PERSONA
10 LITROS DE COMBUSTIBLE

1 COCHE/4 PERSONAS
3 LITROS DE COMBUSTIBLE



1 AUTOBÚS/25 PERSONAS
1 LITRO DE COMBUSTIBLE

1 AUTOBÚS/ 50 PERSONAS
MEDIO LITRO DE COMBUSTIBLE

Figura 2.7. Energía consumida por persona y 100 kilómetros recorridos.

El segundo gran consumidor de energía es el transporte aéreo, que representa el 12,50% del consumo energético total del sector, y es el menos eficiente en términos de energía consumida por viajero y kilómetro.

La preponderancia de estos dos modos de transporte, carretera y avión, frente al resto, determina que prácticamente toda la energía consumida provenga de los derivados del petróleo (gasóleos, gasolinas, queroseno), un recurso que España tiene que importar casi en su totalidad y cuya utilización conlleva serios problemas ambientales.

En España se gastan cada año en el transporte más de 9.000 millones de litros de gasolina, 29.000 millones de litros de gasoil y 6.900 millones de litros de queroseno de aviación, lo que equivale al volumen de agua que puede almacenar el embalse de Riosequillo al cien por cien de su capacidad.

En la Comunidad de Madrid, el consumo anual de carburantes es de unos 1.000 millones de litros de gasolina y 3.000 de gasoil.



2.4. BALANCE AMBIENTAL Y SOCIAL DEL SECTOR

- **Coste externos**

El transporte aporta indudables beneficios económicos y sociales, pero también impone a la sociedad unos costes considerables derivados de los accidentes, la congestión del tráfico, la contaminación atmosférica y otras consecuencias no deseadas.

Todas las modalidades y formas de transporte tienen, en mayor o menor medida, consecuencias negativas, aunque el transporte por carretera es el principal responsable de la mayoría de ellas.

En cuanto a ámbitos geográficos, la repercusión de estos efectos es mayor en las áreas urbanas, donde se concentran la población y las actividades ligadas al transporte.

Según la Agencia Europea del Medio Ambiente, los costes externos o externalidades del transporte ascienden a unos 800.000 millones de euros anuales, el 8,3% del Producto Interior Bruto de la Unión Europea.

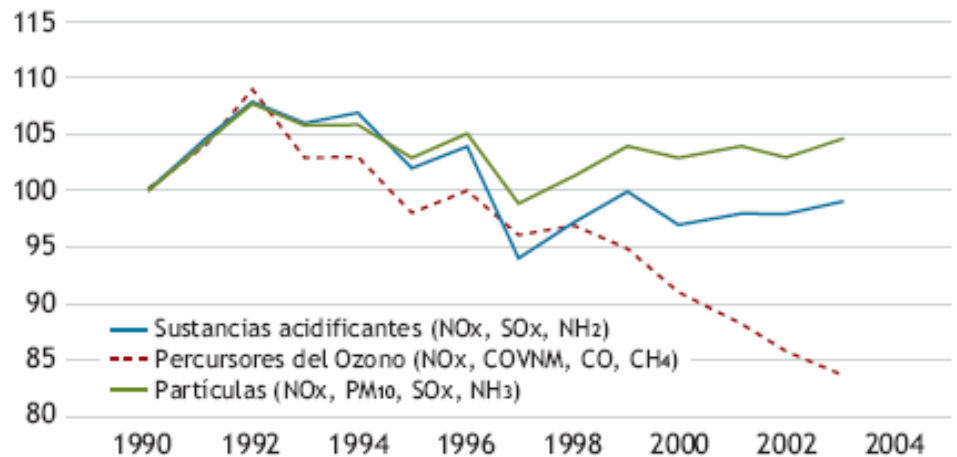
- **Contaminación atmosférica**

Los gases generados por los motores de los vehículos tienen efectos nocivos sobre el medio ambiente, la salud y la calidad de vida de los ciudadanos. Los que mayor preocupación suscitan por su repercusión sobre la salud humana son las partículas finas (PM₁₀) y los gases precursores del ozono troposférico.

El ozono troposférico es un contaminante secundario que se forma a partir de una serie de gases, denominados precursores del ozono, por efecto de la luz solar y las temperaturas elevadas. Suele formarse durante el verano e incide fundamentalmente en zonas rurales cercanas a las ciudades. Puede causar tos, irritación de garganta y ojos, dificultades respiratorias, cansancio y malestar general.



Las mejoras tecnológicas incorporadas a los vehículos (catalizadores, nuevos sistemas de combustión, etc.) y la eliminación de las sustancias más nocivas de los carburantes, han contribuido a disminuir la contaminación debida al tráfico, aunque con desigual resultado.



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de calidad Ambiental.

Figura 2.8. Emisiones totales de contaminantes atmosféricos procedentes del transporte en España, 1990-2003.

Para limitar las emisiones y reforzar la protección del medio ambiente y de la salud, la Unión Europea ha establecido unos límites máximos de emisión de contaminantes que deberán alcanzarse en 2010 (Directiva 2001/81/CE).

• Ruido

Aunque estamos habituados a él, el ruido no sólo provoca molestias, sino que tiene efectos nocivos sobre la salud, sobre todo cuando se supera el límite de 65 decibelios. El insomnio, la falta de concentración, el estrés y los trastornos auditivos, son algunos de los efectos provocados por el ruido.



Figura 2.9. Niveles de ruido de los diferentes medios de transporte.

El transporte por carretera, especialmente el tráfico urbano, el avión y el ferrocarril son fuentes de ruido que están incidiendo de manera importante sobre la población.



Se estima que el 30% de la población de la Unión Europea se encuentra expuesta a niveles de ruido procedentes del tráfico de carretera, superiores al límite de tolerancia establecido por la Organización Mundial de la Salud, un 10% se ve afectada por niveles importantes de ruido procedente de aviones y un porcentaje similar a éste por el ruido producido por el ferrocarril.

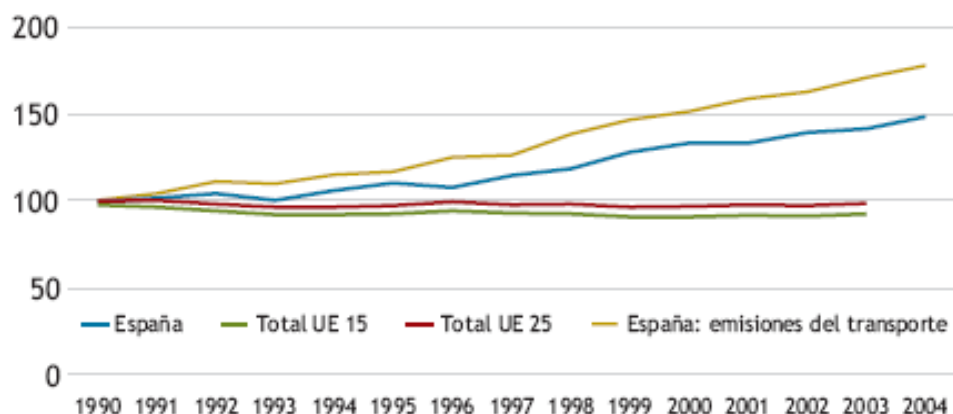
- **Emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y contribución al calentamiento global**

El transporte es, junto con la producción de energía en centrales térmicas, uno de los principales responsables de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), y, dentro de este sector, el transporte por carretera es el que más contribuye a ello.

La causa principal del calentamiento del planeta es el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por la actividad humana. Los principales son el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6).

En España, las emisiones de GEI procedentes del transporte se incrementaron más de dos veces y media entre 1995 y 2004, y se prevé que en torno al año 2010 el transporte será la mayor fuente individual de emisión de GEI de la Unión Europea.

El CO_2 es el gas de efecto invernadero más importante en el transporte y el principal responsable de este incremento, debido a que cuando se utilizan combustibles fósiles en los vehículos no hay sistemas técnicos que eviten las emisiones de CO_2 , mientras que sí se han desarrollado diferentes sistemas para disminuir la emisión de otros GEI.



Fuente: MMA, Eurostat.

Figura 2.10. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los vehículos de gasoil emiten el 10% menos de CO₂ por kilómetro recorrido que los de gasolina, unos 162 g por kilómetro frente a 178 g/km, a pesar de que su tasa de emisión por litro de combustible consumido es superior: 2,32 kg de CO₂/litro de combustible en gasolina frente a 2,6 kg de CO₂/litro en gasoil.

El compromiso del conjunto de la Unión Europea para el año 2010 es reducir las emisiones de los GEI a un 8% de las emisiones habidas en 1990. Por su parte, España no debe aumentar sus emisiones más de un 15% sobre el mismo año.

Para alcanzar estas metas, la industria automovilística se ha comprometido a desarrollar modelos que emitan menor cantidad de CO₂. Una reducción del 25% respecto al nivel de 1995 permitiría situar la tasa de emisión de CO₂ en los turismos nuevos a 140 g/km, frente a los 162 g/km de los vehículos que circulan actualmente.

La Comisión Europea ha propuesto recientemente limitar las emisiones de los vehículos a 120 g CO₂/km a partir de 2012 frente a la media de 162 CO₂/km actuales. La mejora de la aerodinámica y la eficiencia en los motores, la optimización de los neumáticos y un mayor desarrollo de los modelos híbridos y basados en el hidrógeno son algunas de las vías para lograr este objetivo.

3 LA ENERGÍA EN EL TRANSPORTE A TRAVÉS DE LA HISTORIA



La evolución de los medios de transporte está estrechamente ligada al descubrimiento y aplicación práctica de las fuentes de energía.

A lo largo de la historia se ha pasado de la "*energía a sangre*" y el aprovechamiento del viento, al uso de la electricidad, el carbón y el petróleo, hasta llegar a la energía electromagnética o el hidrógeno, que se emplea como combustible en los transbordadores espaciales.

Y en cada época, con el descubrimiento de nuevas fuentes de energía, fueron surgiendo nuevas máquinas para viajar, comunicarse y transportar mercancías.

3.1. LA ENERGÍA MUSCULAR Y LA FUERZA DE LOS ANIMALES

El primer tipo de *energía* que se utilizó en el transporte fue la *muscular* o *energía a sangre*, obtenida de los animales y de los propios músculos de las personas. Se aprovechó durante miles de años de forma directa en el acarreo y para el arrastre de carros, barcazas, tranvías, trineos y todo tipo de vehículos y dispositivos de carga.



Figura 3.1. Energía a sangre.



El aprovechamiento de la *energía del agua y el viento* en el transporte fluvial y marítimo fue también muy temprano, estimulado por la tendencia de las poblaciones a concentrarse en las costas y a lo largo de los ríos.



Figura 3.2. Energía del viento.

Desde las primeras embarcaciones de remo y los barcos de vela más primitivos, la construcción de barcos y el aparejo y manipulación de las velas fueron perfeccionándose hasta alcanzar un desarrollo tecnológico que, unido a la invención de la brújula, el astrolabio y otros sistemas de orientación, hizo posible la navegación transoceánica.

La primera línea ferroviaria comercial del mundo que funcionaba exclusivamente con locomotoras de vapor, se inauguró en 1830 entre Liverpool y Manchester (Gran Bretaña).

3.2. EL CARBÓN Y LA MÁQUINA DE VAPOR

La evolución del transporte a través de los siglos fue muy lenta, sin prácticamente más avances que el mayor confort y ligereza de los vehículos, hasta que, en la segunda mitad del siglo XVII, se descubrió la forma de aprovechar la energía almacenada en los *combustibles fósiles*.

Un paso fundamental fue la invención de la máquina de vapor que permitió reemplazar la fuerza humana y animal por *energía mecánica*. En ella se aprovechaba la energía del vapor de agua para producir movimiento, empleando como combustible carbón o madera en un *motor de combustión externa*.

Este invento culminó con la aparición y desarrollo del ferrocarril, que hizo posible el transporte de mercancías y pasajeros a gran escala. También se aplicó al transporte fluvial y marítimo, y desde mediados del siglo XIX la navegación a vapor hizo rápidos progresos desplazando a los veleros.



La primera línea férrea de lo que hoy es la Comunidad de Madrid, se inauguró en 1851 entre Madrid y Aranjuez. Era el primer tramo de una línea radial proyectada para terminar su recorrido en la provincia de Alicante. Las locomotoras alcanzaban una velocidad máxima de 32 km/h.



Figura 3.3. Locomotora de carbón.

En España la implantación del ferrocarril fue bastante rápida, y hacia 1870 la red ferroviaria española era la tercera en extensión de Europa, tras Inglaterra y Francia.

En muchas ciudades se implantaron tranvías a vapor. Estaban formados por una pequeña locomotora de vía estrecha, de tracción a vapor, que arrastraba dos o tres coches.

El 26 de octubre de 1878 tuvo lugar en Madrid la prueba oficial de los llamados "Tranvías de Fuego". Estos tranvías funcionaban principalmente como ferrocarriles secundarios que enlazaban el centro de la ciudad con los suburbios

La máquina de vapor y el carbón mantuvieron su supremacía durante casi 150 años, pero acabaron siendo sustituidos por la máquina eléctrica y por motores alimentados con otros combustibles y fuentes de energía, como el petróleo.



3.3. EL PETRÓLEO Y EL AUTOMÓVIL

A partir de 1885 se puede hablar de tres sistemas de tracción: el motor de vapor, el eléctrico de baterías y el *motor de combustión interna*. Este último se aplicó al automóvil empleando como combustible un derivado del petróleo *-la gasolina-*, lo que permitió desarrollar un vehículo ligero y manejable que no necesitaba caldera, ni dependía del tendido de raíles para circular.

El automóvil se popularizó rápidamente y, en relativamente pocos años, pasó a ser un objeto de consumo multitudinario. Un aspecto clave fue la producción a escala industrial de los primeros derivados del petróleo, que se inicia a principios del siglo XX.

Los antecesores directos del automóvil actual fueron construidos en 1885 por los alemanes Karl Benz y Gottlieb Daimler. En 1893 se patentó el primer automóvil de cuatro ruedas y en 1900 se inició la matriculación de vehículos.

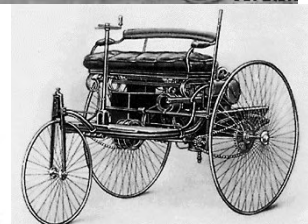


Figura 3.4. Primeros automóviles con motores de combustión.



El transporte público también se benefició del motor de combustión interna. En 1908 empezaron a circular los primeros autobuses, que entraron en fuerte competencia con el ferrocarril y provocaron la desaparición definitiva de las diligencias.

Figura 3.5. Autobús de principios del siglo XX.

El parque automovilístico en España experimentó un rápido crecimiento en la primera década del siglo XX: se pasó de 30 unidades en 1902, a más de 1.000 en 1907. En esa época no había gasolineras y el combustible se vendía en tiendas, farmacias y algunas estaciones y apeaderos de ferrocarril, a donde los automovilistas acudían a repostar.



3.4. LA ELECTRIFICACIÓN DE LOS MEDIOS DE TRANSPORTE

La aplicación de la *electricidad* al automóvil no tuvo éxito, ya que la utilización de baterías en serie hacía que el vehículo tuviera un tamaño excesivo y resultase lento y difícil de manejar.

Esta fuente de energía, sin embargo, resultó idónea para el ferrocarril y sus sistemas de transporte derivados (tranvía, metro, trolebús, etc.), especialmente para los trayectos urbanos.



La electrificación del transporte urbano en Madrid se inició en 1889, con la inauguración oficial de las líneas de tranvía Sol-Serrano y Sol-Hipódromo. Este sistema de transporte se popularizó rápidamente y los viajeros se triplicaron en tan sólo 15 años (1905-1920). A partir de esa fecha, y con la llegada del Metro en 1919, se inicia la edad moderna del transporte urbano de viajeros.

En 1905 utilizaron el tranvía 56 millones de pasajeros, actualmente el transporte público madrileño es utilizado por más de 2.700 millones de viajeros al año.



Figura 3.6. Evolución del transporte público con accionamiento eléctrico.



La utilización de la electricidad en los transportes públicos urbanos supuso una mejora importante de las condiciones higiénicas de las ciudades, al desaparecer el exceso de ganado en la vía pública que provocaban los vehículos de *tracción de sangre*, y el humo y los ruidos de los tranvías de vapor.

En 1881 empezaron a funcionar en Berlín y París las primeras líneas de tranvías eléctricos del mundo, y nueve años más tarde, en 1890, se inauguró en Londres la primera línea de metro operada con locomotoras eléctricas.

3.5. SIGLO XX: EL SIGLO DEL PETRÓLEO

En el siglo XX se produce un predominio absoluto del petróleo y sus derivados como fuente de energía en el transporte. La utilización de electricidad se limita, prácticamente, a algunos sistemas de transporte urbano, como el metro o los trenes de cercanías.

En el *transporte terrestre*, se desarrollan modelos de automóvil cada vez más rápidos y sofisticados y una mayor variedad de combustibles (gasóleo, gasolinas de diverso octanaje, etc.), y las máquinas de vapor se abandonan definitivamente y son sustituidas por locomotoras *diesel*. La *navegación* sigue el mismo camino, y las embarcaciones movidas por motores de explosión desplazan a los barcos de vapor.



Figura 3.7. Medios de transporte actuales.

En este siglo se inicia y desarrolla el *transporte aéreo*, que llega a alcanzar un gran protagonismo. En este campo, los derivados del petróleo también son la fuente principal de energía; se utiliza gasolina de aviación y *queroseno*.



En el último tercio del siglo se constató que la dependencia extrema de una única fuente energética, no renovable y que es una de las fuentes principales de la generación de gases de efecto invernadero, podría provocar serios problemas económicos y ambientales a escala global.



Para reducir los efectos ambientales negativos del empleo de derivados del petróleo se han desarrollado motores de menor consumo y se han eliminado el plomo y otros componentes tóxicos de las gasolinas.

Figura 3.8. Estaciones de Servicio para el repostaje de vehículos.

Ante esta perspectiva, se inició el desarrollo de fuentes energéticas alternativas al petróleo y de nuevas tecnologías más respetuosas con el medio ambiente.

3.6. EL SIGLO XXI: NUEVAS ENERGÍAS PARA EL TRANSPORTE

En el inicio del siglo XXI, la tendencia en el transporte es reducir la dependencia de petróleo y lograr que los vehículos sean limpios, seguros y energéticamente eficientes.

Los combustibles alternativos obtenidos a partir de materia vegetal y los vehículos eléctricos, híbridos y los equipados con pilas de combustible, son algunas de las soluciones que pueden consolidarse en un futuro.



La flota de autobuses urbanos de Madrid ya cuenta con vehículos que funcionan con biodiesel 100% renovable y con hidrógeno.



Figura 3.9. Autobuses de la EMT en Madrid que funcionan con biodiesel.

Los *biocarburantes* y el *hidrógeno* son combustibles alternativos a los derivados del petróleo, muy poco contaminantes -el hidrógeno únicamente produce vapor de agua-y que se obtienen a partir de fuentes renovables.

Los *vehículos híbridos*, que disponen de un motor eléctrico y otro de alimentación convencional, y las *pilas de combustible*, que convierten la energía química del carburante en energía eléctrica, son alternativas reales, limpias y silenciosas a los motores convencionales que ya están siendo desarrolladas por la industria de automóvil.



Desde 1987, se celebra la World Solar Challenge, una carrera en la que únicamente compiten vehículos de energía solar.

En 2005 ganó el *Nuna 3*, un vehículo que alcanza los 170 km/h y que sólo necesita una potencia eléctrica equivalente a la de un secador de pelo.

La utilización de *energía solar* en el transporte cada vez está más cercana y en el transporte ferroviario ya se emplea con éxito la *energía electromagnética*.



La *levitación magnética* es un sistema en el que se utilizan campos magnéticos para suspender los trenes por encima de las vías e impulsarlos a lo largo de un carrilguía. Consume un 60% menos de combustible por pasajero y kilómetro que un automóvil, y se alcanzan velocidades de hasta 500 km/h.

Figura 3.11. Ferrocarril funcionando por electromagnetismo.



4 LOS BIOCARBURANTES



La preocupación cada vez mayor por el cuidado del medioambiente y la minimización de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, han conducido a fomentar las energías renovables que favorecen un mayor equilibrio ambiental, en detrimento de las no renovables, como petróleo, carbón, gas, etc.

Entre las distintas fuentes de energía renovable se encuentra la biomasa obtenida a partir de la transformación biológica de la materia orgánica para producir electricidad y calor de uso doméstico e industrial, así como en el área del transporte.

Dentro de la política europea para el desarrollo de una energía sostenible, competitiva y segura, destaca el fomento de los biocarburantes en sustitución de los combustibles fósiles.

El Plan de Energías Renovables Español, ha fijado para el año 2010 que el consumo de biocarburantes alcance una cuota del 5,75% respecto al total de gasolinas y gasóleos empleadas en la automoción.



Foto 4.1. Vehículo de bioetanol.

4.1. BIOCARBURANTES PARA EL TRANSPORTE

El uso mayoritario de combustibles fósiles en el transporte contribuye especialmente al deterioro de la calidad del aire, con un aumento exponencial respecto a la emisión de gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global de la Tierra. En España, el 28% de las emisiones totales expresadas en dióxido de carbono (CO₂) equivalente son atribuidas al transporte por carretera.

En el periodo 1990-2003 las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes del transporte se han incrementado un 57,5%.

Por otra parte, más del 98% de la energía utilizada en el sector del transporte en la Unión Europea proviene del petróleo, que como ya se



ha comentado, constituye una fuente de energía no renovable, y con un alto nivel de importaciones.

La casi total dependencia que mantiene el transporte de los compuestos derivados del petróleo, de producción limitada y sometidos a importantes fluctuaciones en su comercialización y mercado, con precios en constante alza, junto con los perjudiciales efectos ambientales que comporta su empleo, han llevado a intensificar la investigación en el desarrollo de nuevos combustibles, e incluso de nuevas alternativas al transporte, como son el gas natural y el GLP (gases licuados del petróleo), la fabricación de vehículos híbridos, el hidrógeno, etc.



Foto 4.2. Vehículo de bioetanol.

Dentro de la estrategia comunitaria para el desarrollo sostenible figura el fomento de combustibles de origen biológico, denominados biocombustibles, donde se incluyen los biocarburantes para transporte. Así, la *Directiva 2003/30/CE relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables para el transporte*, fija para el año 2010 como proporción mínima de referencia para los estados miembros, una tasa de sustitución del 5,75% de las gasolinas y gasóleos comercializadas con fines de transporte.

Con vistas a cumplir las directrices comunitarias, España ha elaborado un Plan de Energías Renovables (PER) para el periodo 2005 – 2010, en el que se establecen los principales objetivos energéticos para cada una de las áreas técnicas de energías renovables consideradas. Respecto a los biocarburantes, las previsiones de producción que se establecen en dicho Plan para el año 2010 son de aproximadamente 2,2 Mt. Ello representa un 5,83% del consumo de carburantes totales para el transporte previsto para ese mismo año, el cual se ha estimado en unos 35,6 Mt, porcentaje ligeramente superior al objetivo inicial comunitario.

La buena situación industrial y tecnológica del área de los biocarburantes, junto a las favorables reformas fiscales y legales que se han realizado dentro del sector han permitido revisar al alza las previsiones del primer Plan de Fomento de Energías Renovables en España (PFER), en el que tan sólo se establecía una producción de 50 ktep, dada la total ausencia de plantas de producción en ese momento.

Fuente: IDAE, 2005

Para lograr el horizonte previsto será preciso desarrollar toda una serie de estrategias en los ámbitos de aplicación normativo y fiscal, de desarrollo tecnológico, de abastecimiento de materias primas, de incentivos al consumo, etc.



4.2. ¿QUÉ SON LOS BIOCARBURANTES?

Los biocombustibles se producen a partir de biomasa y se consideran, por tanto, una fuente de energía renovable, siempre que se utilicen unas prácticas medioambientales adecuadas en su explotación y uso.

La **biomasa** incluye todo un conjunto de materias primas y residuales de origen vegetal y animal susceptibles de transformarse en energía térmica, electricidad o combustible, mediante su valorización energética, así como de emplearse en la elaboración directa de otros biocombustibles para la automoción. Atendiendo a su origen, las principales fuentes de biomasa son las siguientes:

- Cultivos energéticos agrícolas (cardo, sorgo, remolacha, girasol, maíz, etc.) o forestales (chopos, eucaliptos, acacias, etc.).
- Residuos y excedentes agrícolas, y derivados de la industria agroalimentaria.
- Residuos forestales procedentes de podas, aclareos, etc.
- Fracción orgánica procedente de los residuos urbanos o municipales.
- Residuos animales.
- Lodos de depuración de aguas residuales.
- Emisiones de gas de vertederos controlados.
- Aceites alimentarios usados.

Según define la Real Academia Española, biomasa es la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.



Foto 4.3. Tipos de biomasa.



Dependiendo del estado del producto obtenido se habla de **biocombustibles sólidos**, como la madera, que se queman o gasifican, **líquidos**, como los aceites vegetales, que se puede utilizar directamente en motores o turbinas, y **gaseosos**, al que pertenecen el biogás y el hidrógeno, de gran potencial energético.

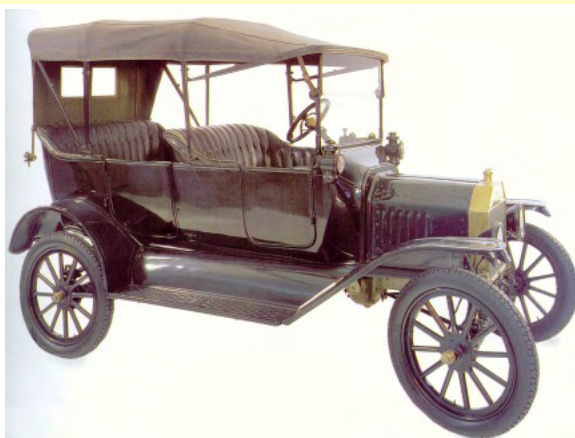
Tabla 4.1.

TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES OBTENIDOS DE BIOMASAS	
SÓLIDOS	Paja; Leña sin procesar; Astillas; Briquetas; Pellets; Triturados finos (> 2 mm); Carbón vegetal
LÍQUIDOS	Alcoholes; Biocarburentes; Aceites y Ésteres derivados; Aceites de pirólisis
GASEOSOS	Gas de gasógeno; Biogás; Hidrógeno
Fuente: "Energías Renovables para todos. Biomasa"	

Dentro de los biocombustibles líquidos se incluye el grupo de los **biocarburentes**, caracterizados por su posible aplicación a los actuales motores de combustión interna.

Los biocombustibles líquidos empleados en motores de automoción - conocidos con las siglas BLT-, en sustitución de los combustibles fósiles derivados del petróleo, o como aditivos de éstos para su uso en motores, constituyen una de las alternativas más viables e interesantes a corto plazo al apremiante problema del transporte. Se pueden emplear tanto en motores convencionales de gasolina del tipo Otto, como en los de combustión interna tipo Diesel.

En los inicios del desarrollo de los motores de combustión interna la gasolina y el alcohol eran competidores, pero la industria petrolífera y el bajo coste del crudo impusieron el dominio del petróleo.



El mítico *Ford T* de 1908, primer coche de la historia, utilizaba etanol como combustible.

Foto 4.4. Vehículo del siglo pasado propulsado con etanol.

4.3. ALTERNATIVAS DE BIOCARBURANTES

Actualmente, los biocarburantes más desarrollados y con mayor proyección comercial engloban a dos tipos de productos, principalmente, el *bioetanol* y el *biodiésel*.

El bioetanol y sus derivados sustituyen total o parcialmente a las gasolinas o a los aditivos que se utilizan para aumentar los octanos en los motores de explosión. Y el biodiésel es un biocarburante líquido que funciona en cualquier motor diésel, puro o en mezcla con el gasóleo de automoción.

Además de estas sustancias existen otras, también producidas a partir de biomasa, como el biogás, el biometanol y el bioaceite, que igualmente pueden incluirse dentro del grupo de los biocarburantes, aunque todavía con una escasa presencia en España.

La forma de empleo de los principales biocarburantes, en estado puro, mezclados y en líquidos derivados, define las distintas clases de productos que actualmente se pueden encontrar disponibles. Si bien, su comercialización y distribución no es homogénea a nivel mundial y depende del desarrollo de este sector en cada país. Por ejemplo, Brasil, que es el mayor productor y consumidor mundial de bioetanol, con una producción efectiva que supera los 17 millones de m³, ha logrado la autosuficiencia en combustibles para automoción gracias al bioetanol y biodiésel. En la actualidad, Brasil cuenta con un parque automovilístico de más de 2 millones de vehículos adaptados para funcionar con bioetanol y 16 millones que utilizan mezclas de etanol/gasolina en un porcentaje que oscila entre el 22 y el 25%; además, todos los vehículos nuevos disponen de motores mixtos.

En España, las especificaciones técnicas que deben cumplir los carburantes, incluidos los biocarburantes empleados en automoción, están reglamentadas desde el año 2006 por una legislación propia: *Real Decreto 61/2006*.

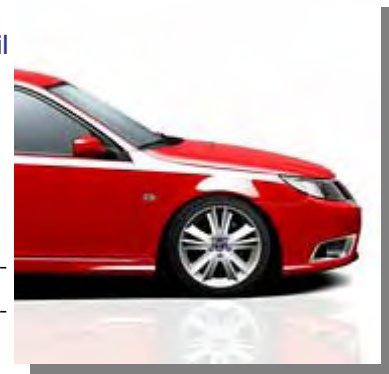


Foto 4.5. Vehículos de bioetanol.



Tabla 4.2.

TIPOS DE BIOCARBURANTES SEGÚN SU COMPOSICIÓN Y MEZCLA		
TIPO	DENOMINACIÓN*	OBSERVACIONES
BIOETANOL PURO	E100	Requiere motores especiales
MEZCLA BIOETANOL / GASOLINA	E5; E10; E25; E85; E95	Requiere algunas modificaciones en los motores convencionales, a excepción del tipo E5
MEZCLA BIOETANOL / GASOIL	E-DIÉSEL	El porcentaje de bioetanol varía entre el 5 y el 15%. Se precisa un aditivo solvente que asegura la estabilidad de la mezcla
ADITIVO OXIGENANTE DE LA GASOLINA	ETBE	Sirve para mejorar el octanaje y la lubricación de la gasolina
BIODIÉSEL PURO	B100	Los motores precisan ciertas modificaciones, en especial los más antiguos, para evitar problemas de mantenimiento y rendimiento. No debe emplearse con bajas temperaturas
MEZCLA BIODIÉSEL / GASOIL	B2; B5; B10; B20	Mezclas por debajo del 20% de biodiésel no requieren cambios en los motores.
* El número que acompaña a la inicial del tipo de hidrocarburo indica el porcentaje que representa en la mezcla (E5: 5% Bioetanol + 95% Gasolina).		

Los vehículos denominados *flexifuel* pueden funcionar indistintamente con gasolina o con una mezcla de gasolina (15%) y E85 (85% bioetanol).

4.4. ¿CÓMO SE PRODUCEN LOS BIOCARBURANTES?

Los biocarburantes se obtienen mediante la transformación de materias primas de origen vegetal ricas en azúcares. Aunque existe una amplia variedad de productos que pueden emplearse como materia prima, conociéndose más de 300 especies vegetales no comestibles de las que es posible extraer biocarburantes, los más habituales son los frutos y semillas de los cultivos denominados energéticos, como colza, palma, girasol, soja, etc.

4.4.1. Bioetanol

La producción de bioetanol para su uso como combustible líquido se basa en la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica, y la posterior deshidratación del alcohol obtenido - hidratado al 5% -, paso necesario para que pueda mezclarse con gasolina.

Estos azúcares se obtienen directamente de productos agrícolas ricos en ellos (remolacha y caña de azúcar), o mediante hidrólisis para libe-

El Gobierno Valenciano ha firmado un convenio con otros organismos públicos y privados para desarrollar la producción de etanol a partir de residuos cítricos.

rar los azúcares contenidos en el almidón y celulosa de muchas plantas.

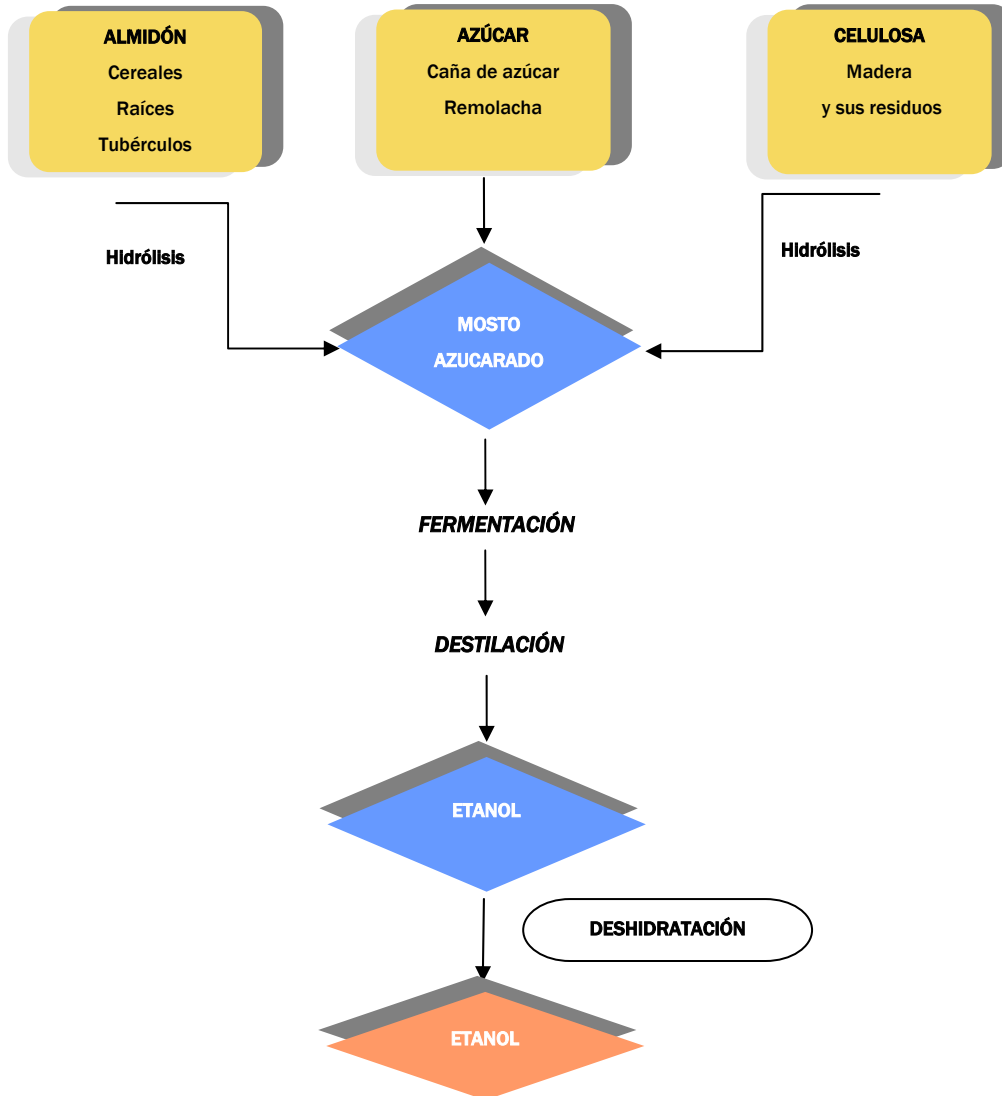


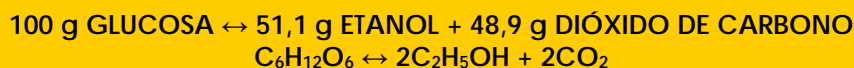
Figura 4.1. Producción de bioetanol.

El proceso industrial de producción de bioetanol comienza con la preparación de la materia prima, -limpieza, trituración o molienda de los granos y restos vegetales-, para la obtención de una harina o pasta rica en azúcares, fibra o almidón.

Una vez extraídos los compuestos azucarados básicos, el mosto resultante se somete a un proceso de fermentación con enzimas y levaduras de la glucosa, dando como resultado etanol hidratado y dióxido de carbono. El proceso concluye con la purificación y deshidratación del alcohol producido.



Foto 4.6. Maíz.



Como residuos de la fermentación se obtiene una pulpa (de remolacha) o un producto sólido compuesto por restos no fermentados de los granos originales (DDGS), con altos contenidos en levaduras, minerales y vitaminas del grupo B, que le hacen especialmente adecuado como pienso para animales.

El rendimiento de las materias primas empleadas depende del tipo y forma de cultivo de las plantas. En España los cultivos que mayoritariamente se emplean para producir bioetanol son el trigo, la remolacha y la cebada. Si bien, diferentes estudios señalan viable la posibilidad de introducir otros cultivos como la colza, la patata y el sorgo azucarero, en las zonas tradicionalmente agrícolas de España, pero actualmente sin explotar o con una productividad muy baja.

Tabla 4.3.

PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS Y SUS RENDIMIENTOS			
	TRIGO SECANO	CEBADA	REMOLACHA
PRODUCCIÓN MEDIA CULTIVO (t/ha)	2,85	3,07	60
RENDIMIENTO (ALCOHOL) (kg/l)	2,67	2,98	10
PRODUCCIÓN (ALCOHOL) (l/ha)	1.067	914	6.000
RENDIMIENTOS COPRODUCTOS (kg/t)	340 (DDGS)	415 (DDGS)	80 (PULPA)
Fuentes: "Energías Renovables para todos. Biomasa"; "Dosbio 2010: Grupo Ebro Puleva"			

4.4.2. Biodiesel

La estructura química del biodiesel corresponde a un ester monoalcalino, obtenido a partir de aceites vegetales y grasas animales, siendo

En España, para producir un litro de bioetanol se precisan del orden de tres kilos de cereal de secano.

la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin en España.

Desde el punto de vista puramente bioquímico, el biodiesel es el producto de la reacción entre los ácidos grasos y los alcoholes.

La obtención se basa en el proceso químico de la transesterificación. Los ácidos grasos vegetales o animales, en presencia de un alcohol sencillo, generalmente metanol o etanol, y con la ayuda de sosa o potasa como catalizador, se someten a un proceso de alcoholisis (hidrólisis ↔ ruptura), y posterior neutralización y destilación para obtener otros ésteres, junto a glicerina y metanol, como subproductos.

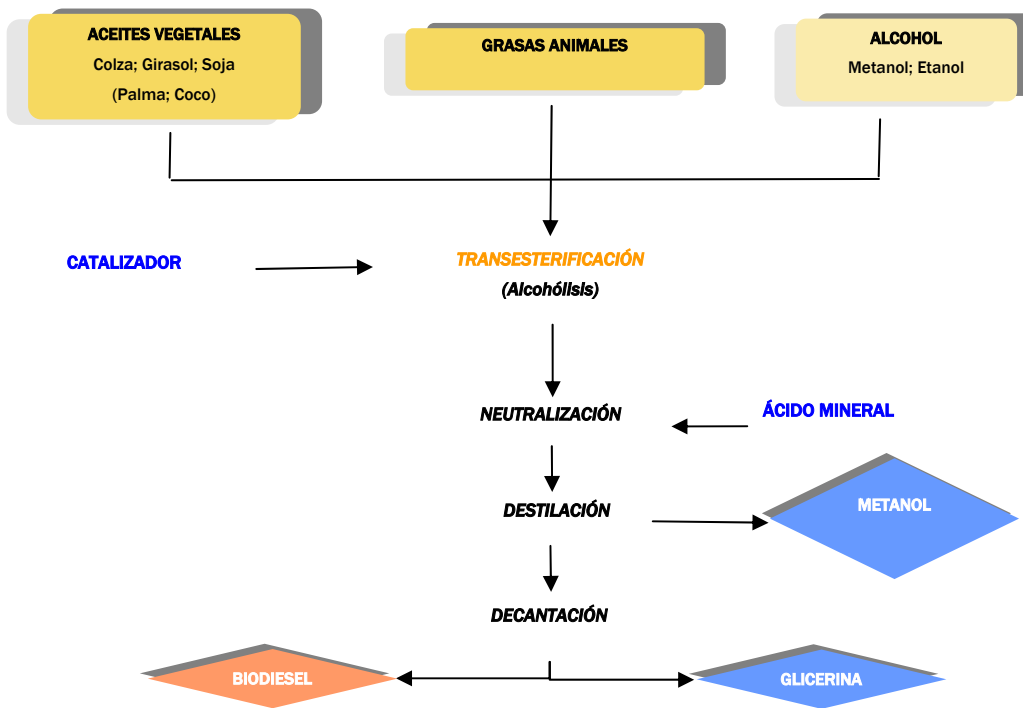


Figura 4.2. Producción de biodiesel.

1.000 kg ACEITE VEGETAL + 156 kg METANOL + 9,2 kg POTASA
(Catalizador) ↔ 965 kg BIODIÉSEL + 178 kg GLICERINA + 23 kg METANOL

Fuente: " Energías Renovables para todos. Biomasa"



Foto 4.7. Campo de girasoles.



producción de biodiesel, se deberá poner el acento en la búsqueda de nuevas aplicaciones a mayor escala al volumen excedentario de glicerina que se espera producir.

Tabla 4.4.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES BIOCARBURANTES FRENTE A DERIVADOS DEL PETRÓLEO				
CARACTERÍSTICAS	GASOLINA	BIOETANOL	GASÓLEO	BIODIÉSEL
Estructura química	HC derivado del petróleo $C_4 - C_{12}$	Alcohol Etílico derivado de azúcares vegetales C_2H_6O	HC Pesado derivado del petróleo $C_{10} - C_{20}$	Ester Monoalcalino derivado de aceites vegetales $C_{16} - C_{18}$
Densidad (kg/m^3)	730 (20 °C)	810 (Etanol Puro) 788 (E85) 740 (ETBE)	850 (15 °C)	880 (E. Metílico de Girasol)
Viscosidad Cinemática (cm^2/s)	-	-	0,051 (20 °C)	0,08
Nº de Octano	86 - 94	100	-	-
Nº de Cetano	-	-	40 - 55	46 - 60
Poder calorífico (kJ/kg)	45.417	28.255 (Etanol Puro)	42.695	38.640 (E. Metílico de Girasol)

Los bioalcoholes y bioaceites obtenidos, presentan unas características físico - químicas bastante similares a los combustibles convencionales derivados del petróleo.

Las propiedades del biodiésel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiésel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si éstos se adaptan convenientemente. Todos los vehículos diésel fabricados en los últimos 10 años pueden utilizar biodiésel.

4.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES FRENTE A LOS COMBUSTIBLES TRADICIONALES

El uso de biocarburantes en sustitución de los combustibles fósiles presenta ventajas energéticas, ambientales, económicas y sociales importantes.

Los biocarburantes producidos a partir de biomasa se erigen como una fuente inagotable de energía renovable, garantizando el suministro de combustible. Además, el dióxido de carbono emitido a la at-

mósfera por los automóviles que emplean biocombustibles líquidos, se compensa con la función fotosintética de las plantas cultivadas como materia prima para su producción.

También contribuyen a la mejora de la situación ambiental. Con su empleo se disminuyen las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, en general, y de efecto invernadero, en particular, al no incrementar los niveles de CO₂ y, por tanto, su contribución al calentamiento global de la Tierra.

Reducen las emisiones de compuestos tóxicos, tales como el plomo de las gasolinas "súper" o los derivados del petróleo.

Aunque el empleo de bioetanol puede ayudar a la reducción global de emisiones de CO₂, su utilización, sin embargo, puede agravar otros problemas medioambientales, tales como el incremento de la emisión de compuestos orgánicos volátiles, res-

ponsables de la generación de ozono, tal y como se ha comprobado en algunos estados americanos, como California.

Además, desde el punto de vista social, revitaliza las economías rurales y el sector agroindustrial, en general, al ser necesario aumentar la producción de determinadas plantas, mejorando el aprovechamiento de las tierras de escaso valor agrícola, ya que a medio plazo terminan siendo abandonadas por la escasa rentabilidad de los cultivos tradicionales.

En contra, la todavía baja demanda de este tipo de productos les hace poco competitivos, siendo su coste de producción bastante superior al de las gasolinas y gasóleos. Además, la producción de biocarburantes precisa de una transformación previa compleja.

Por otra parte, el rendimiento de los monocultivos también es bajo, del orden del 7% de la plantación, requiriéndose grandes superficies de terrenos, así como dosis importantes de herbicidas y pesticidas.

Entre otros inconvenientes expuestos por expertos internacionales,



Para que los biocarburantes puedan considerarse un recurso realmente renovable el balance energético debe ser positivo.





destaca que la fuerte demanda de biocombustibles procedentes de cereales, e incluso de aceites usados, puede amenazar los precios de los alimentos básicos para mucha población.

Tabla 4.5.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL USO DE BIOCARBURANTES	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
Desarrollo sostenible tanto en agricultura como en energía	Mayor coste energético de producción
Reducción de las emisiones contaminantes: SO ₂ , partículas, humos visibles, hidrocarburos y compuestos aromáticos	Incremento en la emisión de NO _x : <ul style="list-style-type: none"> • 1,2% Mezcla al 20% de Biodiésel • 5% Bioetanol
Mejora la calidad del aire	Incremento de la emisión de compuestos orgánicos volátiles
Reduce la generación compuestos cancerígenos como PAH y PADH	Incremento del precio de los alimentos
Reduce el CO ₂ en el ambiente, cumpliendo el protocolo de Kyoto	Pérdida de biodiversidad
Balance energético positivo	El uso de biodiésel requiere la adaptación de vehículos antiguos
El 85% del Biodiésel se degrada en 28 días	
El Bioetanol es más biodegradable que las gasolinas	
Ayuda al desarrollo rural	
Reduce la dependencias de petróleo: importaciones	

Considerando todas estas ventajas e inconvenientes, el fomento y diversificación de los biocarburantes constituye uno de los objetivos prioritarios de la Unión Europea. Con independencia de las controversias sociales y políticas que ello comporte y sin menoscabo del medioambiente, a la par que se impulsa el mercado agrícola y se benefician las zonas rurales, es necesario desarrollar ayudas públicas e implementarse beneficios fiscales, para alcanzar una más rápida expansión y mayor competitividad.

4.6. PERSPECTIVAS DE FUTURO EN ESPAÑA

Hasta el momento España no ha cumplido con el objetivo comunitario de alcanzar un consumo del 2% de biocarburantes especificado

en su Plan de Fomento de la Energía Renovable, a pesar de que en los últimos años se han instalado nuevas plantas de biocarburantes, debido fundamentalmente a la falta de mercado e incentivos de producción.



El consumo de biocombustibles en España en el año 2006 no sobrepasó el 0,6% del total de carburantes consumidos, cifra muy por debajo del resto de participación de los países de la Unión Europea.

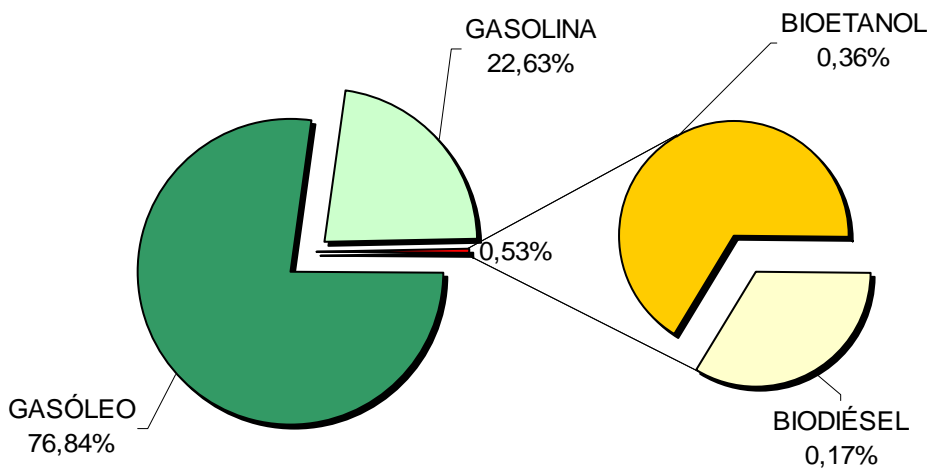


Figura 4.3. Situación de los biocarburantes en España en 2006.

Actualmente en España hay dieciocho plantas en las que se producen biocombustibles; cuatro son de bioetanol, localizadas en A Coruña, Salamanca, Ciudad Real y Murcia, y catorce de biodiésel, que por Comunidades Autónomas se distribuyen entre Asturias (2), País Vasco (1), Navarra (1), Aragón (1), Cataluña (2), Castilla y León (1), Castilla – La Mancha (4), Madrid (1) y Andalucía (1).



Foto 4.8. Planta Biodiesel en Alcalá de Henares, IDAE.



4.6.1. Biocarburantes en la Comunidad de Madrid

En la Comunidad de Madrid hay actualmente seis estaciones de servicio donde se expende al público en general biocombustibles líquidos. Tres se localizan en Madrid capital y el resto los municipios de Arganda del Rey, Vicálvaro y Miraflores de la Sierra.

Tabla 4.6. Estaciones de servicio que comercializan biocombustibles.

E.S. Ibérica de Enclaves Ctra. Arganda-Chinchón. (Arganda del Rey) Telefono: 91-871-90-04
TOP OIL Ctra. M-203, pk. 3,700 - 28036 Vicálvaro Telefono: 619.016282
E. S. Valdebernardo I Avda. de la Democracia, 41 (Mgen. Izquierdo) - 28032 Madrid Telefono: 91-5350622 Mail: www.spstarpetroleum.com
E.S. Valdebernardo 2 Avda. de la Democracia, 62 (Mgen. derecho) - 28032 Madrid Telefono: 91-535-06-22 Web: www.spstarpetroleum.com
E.S. Miraflores Cr. M-611 Km. 7,6 - 28792 Miraflores de la Sierra Telefono: 918 443 067
Star Petroleum Nuestra Señora de Fátima, 22. 28047 Madrid Web: www.spstarpetroleum.com



Foto 4.9. Estación de bioetanol.

Madrid dispone de una flota de 560 autobuses que circulan con bio-etanol, al que se le añade un aditivo para mejorar su ignición. El coste de un autobús de estas características es un 20% superior a uno tradicional.



Foto 4.10. Autobús de la EMT de Madrid funcionando con biocombustible.



5 LA ELECTRICIDAD



Los vehículos necesitan realizar trabajo para desplazarse; para ello adquieren energía de alguna fuente y la transforman, con algún tipo de motor (térmico convencional, eléctrico, etc.), en energía mecánica para que las ruedas giren y se produzca el desplazamiento.

Los vehículos clásicos toman esa energía que se encuentra almacenada en un combustible fósil (p.e. gasolina) y que es liberada mediante la combustión en el interior de un motor térmico convencional. El par de salida de ese motor térmico se transmite a las ruedas.

Los motores eléctricos se perfilan hoy como los sustitutos de los motores térmicos, puesto que son altamente controlables y sus rendimientos (energía consumida vs. energía útil) son muy altos (por encima del 90% y hasta casi un 100% en algunos casos). En el caso de los motores térmicos se pierde gran cantidad de energía en calor, ruido y vibraciones. El rendimiento de un motor térmico en un vehículo se encuentra por debajo de un 40%. Así, de cada diez litros de gasolina se pierden lanzando a la atmósfera seis litros en forma de calor, ruido, vibraciones, residuos, etc.

El gran problema actual con el que se encuentra el motor eléctrico para sustituir al térmico en el vehículo es la capacidad de acumulación de energía eléctrica, que es muy baja en comparación con la capacidad de acumulación de energía en forma de combustible. Aproximadamente, 1 kg de baterías actuales puede almacenar la energía equivalente a unos 20 gramos de combustible. Esto supone una barrera tecnológica importante para un motor eléctrico.

Los motores eléctricos han demostrado capacidades de sobra para impulsar un coche eléctrico (trenes, robots de gran potencia en fábricas, etc.). Sin embargo, las posibilidades de almacenamiento energético en un vehículo móvil obligan a los diseñadores a usar una complicada cadena energética multidisciplinar e híbrida para sustituir a una sencilla y barata cadena energética clásica depósito-motor-ruedas.

Los motores eléctricos poseen frente a los térmicos un gran rendimiento.

5.1. CLASES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La electricidad, como producto energético, facilita el uso de tecnolo-

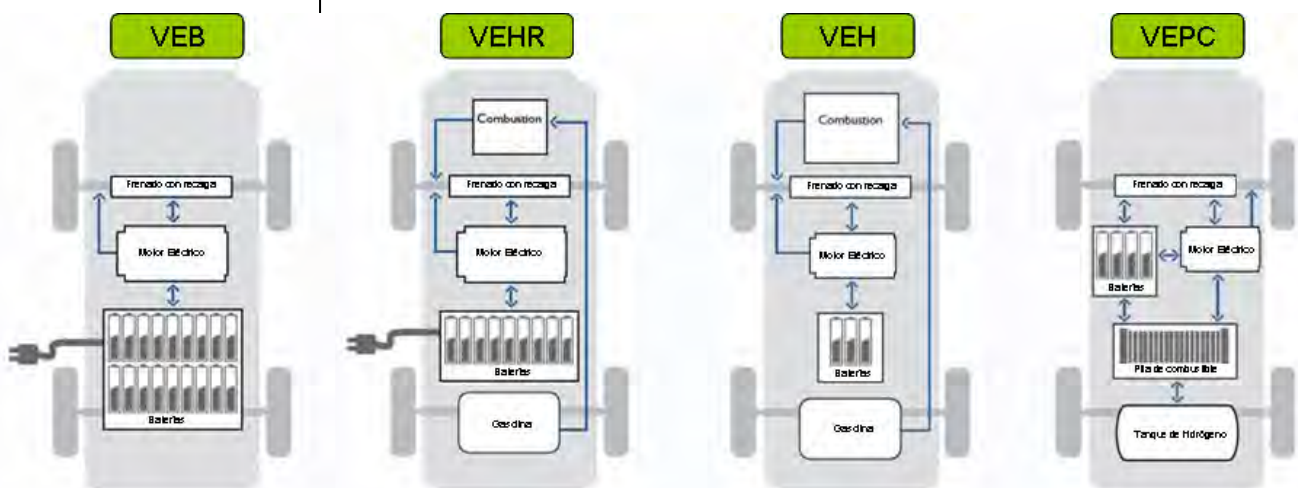


gías muy diversas, ya que el motor eléctrico consume electricidad, independientemente de la fuente empleada para generarla.

Actualmente, los vehículos de accionamiento eléctrico pueden clasificarse en cuatro grandes grupos:

- **Vehículos Eléctricos de Baterías (VEB) (*Battery Electric Vehicles*):** son vehículos eléctricos que utilizan la energía química almacenada en paquetes de baterías recargables.
- **Vehículos Eléctricos Híbridos (VEH) (*Hybrid Electric Vehicles*):** son vehículos en los que la energía eléctrica que los impulsa procede de baterías y, alternativamente, de un motor de combustión interna que mueve un generador. Normalmente, el motor térmico también puede impulsar las ruedas del vehículo de manera directa.
- **Vehículos Eléctricos Híbridos Recargables (VEHR) (*Plug-in Hybrid Electric Vehicles*):** son vehículos similares a los anteriores pero con la posibilidad de recargar las baterías por medios externos, es decir, conectándolos a la red.
- **Vehículos Eléctricos de Pilas de Combustible (VEPC) (*Fuel Cell Electric Vehicles*):** son vehículos de accionamiento eléctrico que disponen de una pila de combustible de hidrógeno que genera la electricidad a partir de ese gas almacenado en un depósito.

En la siguiente figura se esquematizan los componentes básicos de cada una de estas clases de vehículos.



5.2. BREVE HISTORIA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los coches eléctricos, a finales del Siglo XIX y principios del XX tenían la mayoría del mercado y se vendían más que los coches con motor de gasolina y que los coches de vapor. Incluso poseían los récords de velocidad y distancia recorrida de entonces.

Los vehículos eléctricos son más antiguos de lo que la gente, en general, piensa. El primer vehículo eléctrico conocido fue un pequeño modelo construido por el Profesor Stratingh en la ciudad alemana de Groninberg en 1835. Pero los primeros utilitarios fueron construidos por Thomas Davenport en los Estados Unidos y por Robert Davison en Edimburgo en 1842.

Al principio se tuvieron que usar células eléctricas no recargables, por lo que el vehículo eléctrico no se convirtió en una opción viable hasta que se inventó la batería, hacia 1881.

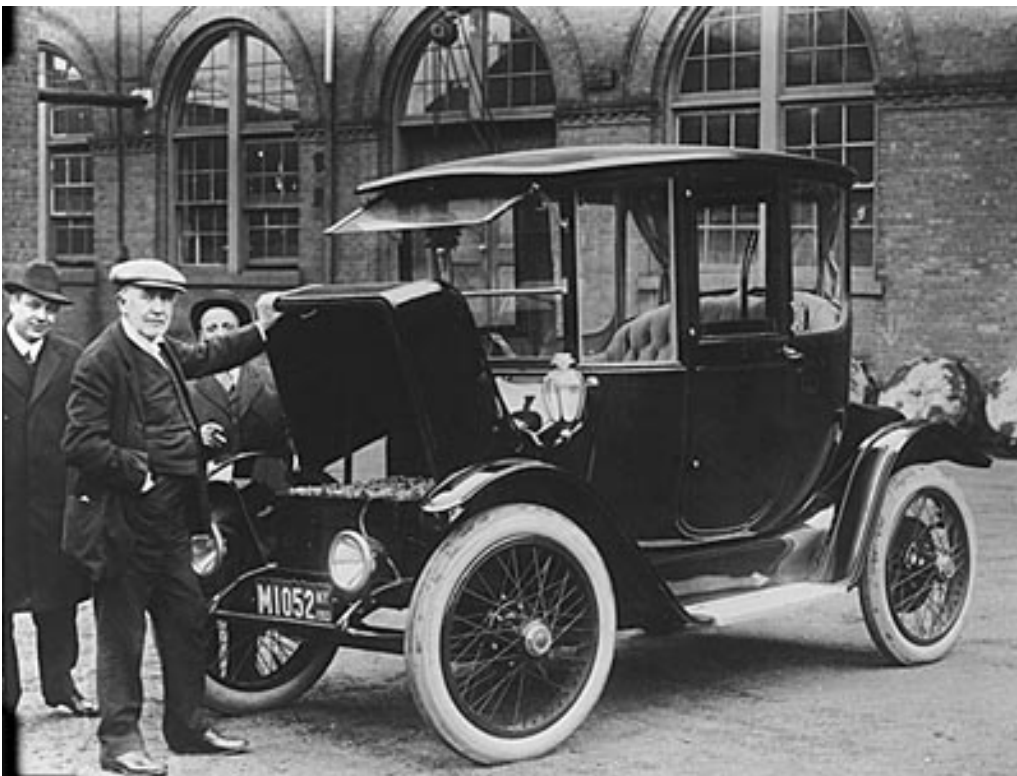


Foto 5.1. Edison con un modelo de vehículo eléctrico en 1914.

En 1899 el belga Camille Jenatzy rompió el récord de velocidad mundial en Francia con el vehículo llamado "*La Jamais Contente*", que alcanzó más de 100 km/h. Estaba propulsado por motores eléctricos y lleno casi completamente de baterías, y aunque el diseño tenía un aspecto aerodinámico, la mayor parte del cuerpo del conductor estaba erguido en la corriente de aire.



Los primeros vehículos eléctricos datan de finales del Siglo XIX.



Foto 5.2. Vehículo "*La Jamais Contente*" de 1899.

Cuando la industria del automóvil empezó a tomar forma a finales del siglo XIX no se sabía qué tipo de propulsión (eléctrica, gasolina o vapor) se convertiría en la más extendida. En Nueva York comenzaron a funcionar los taxis eléctricos en 1897. La Electric Vehicle Company llegó a tener más de 100 de estos coches circulando por las calles y pronto fueron habituales los taxis eléctricos también en Chicago, Filadelfia, Boston y Washington DC.

Pocos años después, aún con grandes mejoras en los automóviles y en las baterías, el mercado de los coches eléctricos empezó a reducirse y para 1920 este mercado ya era minúsculo.

5.3. LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA ACTUALIDAD

Los vehículos eléctricos han sido usados continuamente desde 1910 en muchas aplicaciones, como en plantas industriales donde las emisiones de un motor de combustión interna perjudica la salud de los empleados dada la toxicidad de sus emisiones, en campos de golf donde su conducción suave se une al entorno relajante, como medio de transporte entre edificios de una empresa o de un campus universitario, etc.

Hoy en día los avances de la tecnología en temas de baterías, aerodinámica, etc., consiguen que los vehículos eléctricos puedan hacer su papel en las calles de las ciudades.

a autonomías del orden de los 160 km, distancia que es notoriamente mayor que la que se recorre diariamente en una ciudad. Como ejemplo de ello tenemos los siguientes datos:

- En seis años, en la carrera de vehículos eléctricos "*American Tour de Sol*" la autonomía de los vehículos ha aumentado de 56 km a 321 km.
- Según un artículo del "*Green Car Journal*", el coche eléctrico IZA, producido por la "*Tokyo Power Company*" alcanzó una autonomía de 551 km en una sola carga con una velocidad constante de 40 km/h.
- En 1992, el "*Horlacher Sport EV*", que usaba baterías de sodio-azufre, recorrió 547 km sin parar a la velocidad de 119 km/h.
- El récord de velocidad se logró en 1994 con un *Impact* de GM, especialmente modificado, que alcanzó los 294'6 km/h.



Foto 5.3. Vehículo Horlacher (Solar Cup, 1992)

Según la prestigiosa revista "*Automobile Week*", los vehículos eléctricos representan la mejor opción como segundo coche urbano para la mayoría de los californianos, siendo, como siempre, el mayor inconveniente el precio de compra del vehículo. Esta realidad se puede hacer ampliable al resto del planeta, ya que lo primero, o casi, que se mira en un coche cuando se va a comprar es su precio.

Un punto clave a tener en cuenta es que la mayoría de los vehículos eléctricos pueden recargar sus baterías durante la noche, periodo en el que hay menos consumo, con lo cual la red eléctrica no necesita una gran ampliación, aun considerando que parte de los vehículos eléctricos se verán obligados a recargar en horas pico de demanda, o más bien, durante el día, ya que no siempre se puede prever cuándo un vehículo se va a quedar sin "combustible".

5.4. ¿QUÉ ES UN VEHÍCULO ELÉCTRICO?

Los vehículos eléctricos obtienen su capacidad de movimiento por la energía eléctrica liberada por unas baterías o bien por una pila de combustible de hidrógeno. El sistema de generación y acumulación de la energía eléctrica constituye el sistema básico para mover un vehículo eléctrico. Generalmente, para ello se utilizan los acumuladores electroquímicos, formados por dos sustancias conductoras bañadas



en un líquido también conductor. El intercambio de cargas positivas y negativas entre ambos componentes mantiene una corriente eléctrica que puede ser utilizada para el funcionamiento del motor del vehículo eléctrico.

En el motor de combustión, sólo el 18% de la energía del combustible es utilizada para mover el vehículo, el resto sirve para accionar el motor. En el vehículo eléctrico el 46% de la energía liberada por las baterías sirve para mover el vehículo, lo que indica una eficiencia entre 10-30% superior de éste respecto al vehículo convencional con motor de explosión.

En un vehículo eléctrico puede haber un solo motor de tracción, o varios, adosados a las ruedas. Su función es transformar la energía eléctrica que llega de las baterías en movimiento. Esta energía puede ser aprovechada tal cual llega, es decir, en forma de corriente continua, o bien, y gracias a un transformador-alternador, en forma de corriente alterna.

5.4.1. Categorías de vehículos eléctricos

Actualmente, los vehículos eléctricos pueden clasificarse, según sus dimensiones y otras características, en las siguientes categorías:

1. Vehículos eléctricos ligeros (VEL).
2. Vehículos eléctricos con carrocería convencional.
3. Vehículos solares.

1. Vehículos Eléctricos Ligeros (VEL)

Son generalmente vehículos pequeños de 2 plazas, hechos de fibra de vidrio, termoplásticos o materiales compuestos, de más o menos 2,5 m de longitud y con peso de 290 - 600 kg. Tienen una demanda de energía entre 9 y 20 kWh/100 km. Desarrollan una velocidad máxima de 50 a 90 km/h, y tienen un alcance entre 30 y 90 km dependiendo de la forma de conducción.



Foto 5.4. Moto eléctrica Vectrix.

Generalmente son alimentados con baterías de plomo-ácido. Se han vendido en muchos países como Austria, Dinamarca, Alemania y Suiza, Estados Unidos y México.



Foto 5.5. Vehículo eléctrico ligero de la marca GEM.



2. Vehículos eléctricos con carrocería convencional

Son de dos tipos:

- a) Los convertidos a partir de vehículos de combustión interna.
- b) Los diseñados desde su origen como vehículo eléctrico.

Los vehículos de combustión interna convertidos son la forma más barata para probar trenes motrices y baterías. El inconveniente es que estos vehículos fueron diseñados para funcionar a gran velocidad y potencia, por lo cual su autonomía es baja y su eficiencia también.

Los diseñados desde su origen como vehículo eléctrico, tienen la gran ventaja de que los diferentes elementos son diseñados para ser utilizados en este tipo de vehículos, los neumáticos, los materiales de la carrocería y el chasis, son, por esta razón, más eficientes y tienen mayor autonomía.

3. Automóviles solares

Son los vehículos provistos de células solares y una pequeña



batería. Estos vehículos no han probado ser todavía realmente prácticos, en virtud de que requieren una gran superficie para las células solares (de 8 a 10 m²).

5.4.2. Componentes principales de un vehículo eléctrico

Las partes principales de un vehículo eléctrico son: el tren motriz, la fuente de energía o alimentación y el sistema de recarga.

5.4.2.1. El tren motriz

Un motor eléctrico es un dispositivo rotativo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

Los tres tipos de motores que se han desarrollado para vehículos eléctricos son:

- Motores de corriente continua.
- Motores de corriente alterna de inducción.
- Motores de corriente alterna sincrónicos.

El coste de los motores de corriente continua combinado con su controlador es menor que el de los de corriente alterna.

El motor de inducción de corriente alterna, aunque es algo inferior en eficiencia al motor sincrónico, es más atractivo en términos de coste y fiabilidad.

Los motores eléctricos presentan las siguientes ventajas con respecto a los motores de combustión interna en:

- No contaminan al no producirse emisiones de gases.
- A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.
- Se pueden construir de cualquier tamaño.
- Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.
- Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 80%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina).
- La gran mayoría de los motores eléctricos son máquinas reversibles pudiendo operar como generadores, convirtiendo energía mecánica en eléctrica.

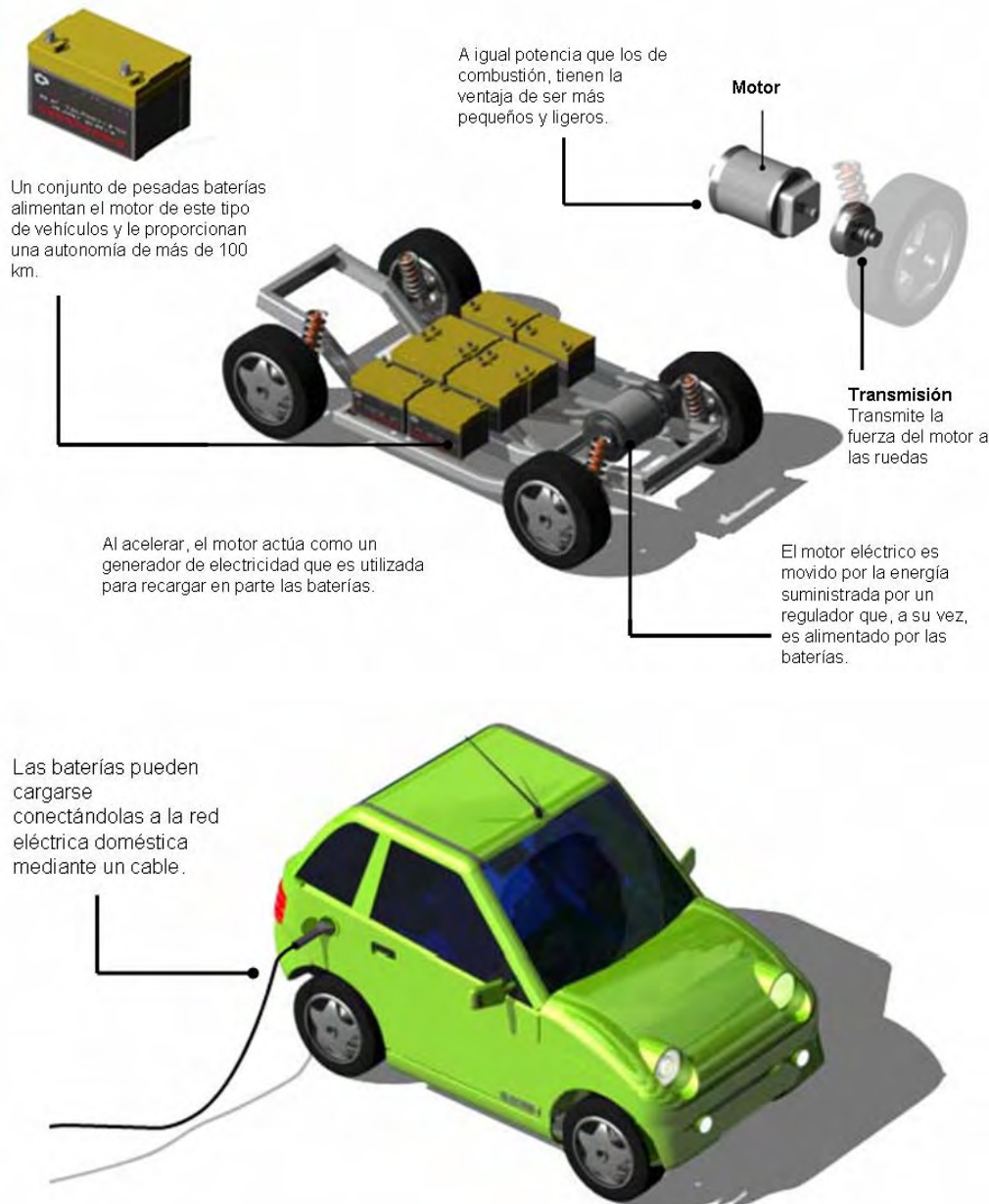


Figura 5.2. Componentes básicos de un vehículo eléctrico.

- No necesitan operar en vacío (ralentí) cuando el vehículo no está en movimiento.
- Es posible desarrollar transmisiones más ligeras, más completas y más eficientes.

Por estos motivos son ampliamente utilizados en instalaciones industriales y demás aplicaciones que no requieran autonomía respecto de la fuente de energía, dado que la energía eléctrica es difícil de almacenar. La energía almacenada en una batería de varios kilogramos equivale a la que contienen 80 gramos de gasolina. Así, en automóvi-



les se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos.

5.4.2.2. La fuente de energía

La fuente de energía más común en estos vehículos son las baterías, las cuales deben tener las siguientes características:

- Alta potencia específica.
- Prolongado ciclo de vida.
- Bajo coste.
- Seguridad.
- Mantenimiento simple.
- Capacidad para ser reciclada.
- Sin riesgo de causar contaminación ambiental cuando sean desechadas.
- Capacidad para proporcionar una correcta estimación de la energía remanente.
- Baja autodescarga.
- Capacidad para ser recargada rápidamente.

Se le llama batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, al dispositivo que almacena energía eléctrica usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces. Se trata de un generador eléctrico secundario, es decir, de un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga.

También se le suele denominar batería puesto que, muchas veces, se conectan varias de ellos en serie, para aumentar el voltaje suministrado. Así la batería de un automóvil está formada internamente por seis elementos acumuladores del tipo ácido plomo, cada uno de los cuales suministra electricidad con una tensión de unos 2 V, por lo que el conjunto entrega los habituales 12 V, o por 12 elementos, con 24 V para los camiones.

Las nuevas baterías deberán tener una mayor energía específica, entendida como la cantidad de watios-hora de electricidad que la batería ofrece por kilogramo de masa para una velocidad de descarga específica.



La potencia específica es el número máximo de watios (por batería) que puede transmitir en un estado específico de carga.

Las baterías más utilizadas en los VE son las de ácido plomo. Sin embargo, se están utilizando también las siguientes:

- Níquel – Cadmio.
- Sodio – Azufre.
- Níquel – Hierro.
- Nitruros metálicos.
- Ión Litio.

El mayor problema para el desarrollo de los vehículos eléctricos es su baja autonomía, siendo las baterías la causa de este problema.

La autonomía de las baterías actuales de plomo no es comparable con la de un depósito de gasolina: llenar un depósito de combustible tarda sólo unos pocos minutos, mientras que la recarga eléctrica puede tardar horas.

El ciclo de vida (número de veces que la batería puede ser recargada), es también importante. Idealmente la vida de la batería debería ser la misma que la del vehículo; sin embargo, éstos tienen una vida relativamente larga (alrededor de 15 años), mientras que la tecnología actual de baterías implican una vida máxima de tres años para éstas.

Otro factor importante es su estado de carga (nivel de energía) antes de la recarga, ya que ésta afecta a la vida de la batería. Por ejemplo las baterías de ácido plomo pueden recibir cargas superficiales (parciales) alargando su vida; las de óxido de níquel requieren de una carga completa para volver a funcionar; en las de sodio-azufre su vida se relaciona con el número de ciclos de recarga a que es sometido, independientemente del estado anterior de carga y de la profundidad de éstos. Las baterías generalmente se corroen con cada recarga.

El coste es el parámetro que define la aceptación en el mercado.

Tipos de baterías

- ***Batería de ácido plomo***

Casi todas los vehículos eléctricos de uso práctico emplean baterías de ácido plomo, su energía específica de cerca de 30



Wh/kg para las de tipo sellado y 40 Wh/kg para tipo ventilado, han alcanzado niveles satisfactorios en términos de densidad de potencia, poco mantenimiento y especialmente el bajo coste las hacen más populares que cualquier otro tipo de batería.

En las baterías actuales de ácido plomo sólo se tiene información imprecisa de la capacidad remanente.

- ***Batería de Níquel-Cadmio***

Las tecnologías de las baterías de níquel-cadmio, han sido desarrolladas para recarga rápida (minutos en comparación con otros tipos de baterías).

Ofrecen ventajas en la densidad de potencia y de energía con respecto a las de ácido plomo. Comparadas con éstas, las de níquel-cadmio tienen: 30% más de energía específica y dos o tres veces más de vida útil. Por su baja eficiencia de carga a altas temperaturas, deben ser enfriadas antes de recargarse. Deben usarse a temperaturas de 50 °C o más bajas. Deben cargarse a temperaturas de 30 °C o más bajas. Presentan problemas de "memoria".

Su capacidad tiende a declinar temporalmente si son cargadas parcialmente y descargadas en repetidas ocasiones, por lo tanto, tienen que descargarse completamente y cargarse a intervalos regulares.

En 1991 se desarrolló una batería de Ni/Cd que puede ser cargada al 40% de su capacidad en sólo 6 minutos. Un obstáculo es el alto coste del níquel y del cadmio. Cada tipo de batería tiene obstáculos particulares que deben ser resueltos.

Más recientemente se están empezando a utilizar de manera experimental baterías de ión-litio, similares a las de los teléfonos móviles.

5.4.2.3. Sistema de recarga

Los sistemas de recarga de los vehículos eléctricos pueden ser: recargando la batería del mismo vehículo o con el reemplazo de las baterías descargadas.



Foto 5.6. Batería de Ni-MH preparada para alojarse en el asiento de un vehículo Toyota.

En la primera opción, el sistema de recarga puede estar integrado al vehículo o colocado de manera independiente, en un lugar fijo y la recarga puede ser rápida usando unos cuantos minutos o lenta alrededor de 8 horas (la más recomendable es esta última, la cual es realizada durante la noche).



El reemplazo de baterías descargadas se utiliza en autobuses para pasajeros y se realiza en unos cuantos minutos.

Ambos sistemas tienen ventajas e inconvenientes y todavía no está claro cuál es el más práctico.



Foto 5.7. El Mega, camioncito que se fabrica en versión eléctrica para usos urbanos.

5.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los vehículos eléctricos tienen las siguientes ventajas e inconvenientes:

VENTAJAS

Algunas ventajas de los vehículos eléctricos son:

1. Utilizan una energía alternativa.
2. Son más eficientes que los motores de combustión interna.
3. No producen emisiones contaminantes en el lugar de operación.
4. Tienen costes de mantenimiento menores.
5. Son más fiables que los motores de combustión interna.
6. Son más fáciles de conducir.
7. Tienen menos sistemas que los de combustión interna.

A igualdad de uso y operatividad, un vehículo eléctrico evita la emisión anual de más de 500 kg de CO₂, frente a uno diesel.



INCONVENIENTES

1. El coste inicial es alto comparado con los de combustión interna.
2. El coste de las baterías es alto.
3. Generalmente son de baja autonomía.
4. Son lentos con respecto a los de combustión interna.
5. Es una tecnología poco conocida por la mayoría de las personas.
6. Se requieren instalaciones para la recarga de baterías.
7. Se requiere formación especializada de los mecánicos para su mantenimiento.
8. El motor y los controles son de importación.

5.6. UNA APUESTA POR LOS VEHÍCULOS SOLARES

Los coches solares son prototipos que ya han conseguido marcas asombrosas, y podrían ser la base en los próximos años de vehículos más ecológicos tanto eléctricos como híbridos.

Son vehículos eléctricos que se alimentan directamente a través de las células fotovoltaicas ubicadas en su superficie. Aunque actualmente no son más que prototipos futuristas, su desarrollo podría permitir en los próximos años la fabricación de coches basados en algún sistema eléctrico para desplazarse de manera ecológica.



Foto 5.8. Vehículo solar.

Es espectacular contemplar in situ a estos vehículos en las carreras que se organizan todos los años en diversos lugares del mundo. Algunas de las más conocidas son la *World Solar Challenge* australiana o la *American Solar Challenge* de Estados Unidos.



Estas competiciones suelen estar apoyadas por instituciones, como el Departamento de Energía de Estados Unidos (USDE), y en ellas participan desde estudiantes universitarios hasta equipos profesionales de multinacionales del automóvil. La optimización del uso de la energía es una de las principales tareas de estos equipos científicos. Por ello, este tipo de coches de competición suelen emplear sofisticados sistemas que miden siempre en tiempo real, la velocidad, el consumo o la energía cargada a través del panel solar.

El coche solar más rápido del mundo, el *Nuna 2*, fue capaz de recorrer 6.500 kilómetros por toda Europa en 2004, tan sólo con la energía suministrada por sus paneles solares. Se trata de un vehículo diseñado y construido por estudiantes holandeses, con el apoyo de la Agencia Espacial Europea (ESA), que proporcionaba las células solares y los componentes electrónicos del interior. En enero de 2007, un equipo de estudiantes de la Universidad australiana de Nueva Gales del Sur lograba que su vehículo, el *Jaycar SunSwift III*, atravesara los 4.000 kilómetros del desierto Australiano Out-Back en cinco días y medio.



Foto 5.9. Vehículo Jaycar SunSwift III.

En cualquier caso, se trata de vehículos con escasa autonomía que dependen de la luz solar para moverse. Además, la prioridad de optimizar su rendimiento conlleva la reducción al máximo del habitáculo de los pasajeros, normalmente con espacio para una o dos personas. Por ello, los expertos reconocen que estos coches solares no podrán convertirse en una alternativa de vehículo comercial, reduciéndose en todo caso a situaciones muy concretas, como por ejemplo los coches de golf.

No obstante, la tecnología solar podría contribuir al desarrollo de coches eléctricos de batería, o incluso híbridos, que utilicen en parte energía eléctrica y en parte gasolina dependiendo de las circunstancias. En estos casos, los paneles solares ocuparían mucho menor espacio y ayudarían a alargar la autonomía de la batería, respetando el diseño y la habitabilidad interior del vehículo.



Por este camino avanza la empresa francesa Venturi, dispuesta a fabricar automóviles que no necesiten el uso de combustibles fósiles. En junio de 2007 pretendía lanzar al mercado 200 vehículos de su modelo "Eclectic", a un precio estimado de 23.000 euros, cantidad que espera reducir hasta los 13.000 euros cuando se fabrique en serie para 2009. Sus responsables lo denominan el "primer coche autónomo del mundo", porque es capaz de recargar sus baterías por medio de energía solar o eólica, y en caso de ser necesario, se puede conectar a la red eléctrica. Por otra parte, la compañía francesa pretende poner a la venta el "primer coche comercial híbrido electro-solar" con el nombre de "AstroLab", en enero de 2008.

Asimismo, la recarga de estos vehículos eléctricos a batería podría realizarse incluso por el propio usuario en su casa, si contara con paneles fotovoltaicos y la tecnología necesaria que suministrara al vehículo la energía obtenida. Se trataría, en definitiva, de una manera indirecta de aprovechar el sol, que permitiría a los consumidores una mayor independencia energética.

5.7. VEHÍCULOS HÍBRIDOS



Un Vehículo Híbrido Eléctrico (VHE) es aquel que combina dos motores; uno eléctrico y otro de explosión. Ambos se encargan de mover el vehículo, pero cada uno entra en funcionamiento dependiendo de las circunstancias. Generalmente, es la mecánica eléctrica la que se ocupa de poner el coche en marcha, de modo que el motor de gasolina sólo actúa como apoyo de éste. El motor eléctrico no necesita conectarse a la red, toma energía de las baterías que se recargan mediante el motor de gasolina, durante las deceleraciones, o frenando y recuperando energía cinética. Lo que supone una reducción considerable en el consumo de combustible y en la emisión de gases contaminantes.



Foto 5.10. Diferentes modelos de vehículos híbridos.

En el diseño de un automóvil híbrido, el motor térmico es la fuente de energía que se utiliza como última opción, y se dispone un sistema electrónico para determinar qué motor usar y cuándo hacerlo.

En el caso de coches híbridos gasolina-eléctricos, cuando el motor de combustión interna funciona, lo hace con su máxima eficiencia. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como

generador y carga la batería del sistema. En otras situaciones, funciona sólo el motor eléctrico, alimentándose de la energía almacenada en la batería.

En algunos modelos es posible recuperar la energía cinética al frenar, convirtiéndola en energía eléctrica.

La combinación de un motor de combustión operando siempre a su máxima eficiencia, y la recuperación de energía del frenado (útil especialmente en la ciudad), hace que estos vehículos alcancen mejores rendimientos que los vehículos convencionales.

La gran ventaja de este tipo de automóviles es que en velocidades bajas, funciona únicamente mediante el motor eléctrico, siendo el ruido mínimo y la emisión de gases nula, por lo cual este tipo de sistema se perfila como el más óptimo para la circulación por zonas urbanas.

Su conducción es convencional y no se perciben diferencias, más que en el consumo y en la construcción interna del vehículo. Ante las actuales subidas de precio del crudo, se prevé una rápida amortización, ya que su precio es sólo ligeramente superior a los diésel.

Así, como todos los coches eléctricos utilizan baterías cargadas por una fuente externa, lo que les ocasiona problemas de autonomía de funcionamiento sin recargarlas, este inconveniente se evita con los coches híbridos.

5.8. HISTORIA DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS

A finales del siglo XIX no eran muchos los industriales que estaban convencidos de que los carruajes sin caballos serían los medios de transporte del futuro. Esas cosas sin equinos eran muy extrañas. En esa época la fuerza que los movían era tan diversa, como curiosos los personajes que se montaban en ellas.

Entre las diversas técnicas que se ponían a prueba, estaba la propulsión de vapor, que al menos había probado su capacidad moviendo las grandes locomotoras del ferrocarril. Pero la llegada del motor "Otto" del ingeniero alemán del mismo nombre comenzó a poner en duda las virtudes de los vehículos de cuatro ruedas (o de tres) propulsados por vapor.



En 1867, Nicolaus August Otto desarrolló un motor mejorado, conocido como el *motor atmosférico de pistón libre*. Este motor fue premiado con la medalla dorada en la Feria Mundial de París en 1867, a pesar del ruido que produjo durante su funcionamiento.



De inicio, el motor de combustión interna no fue predominante, sino uno de los variados métodos con los que se ensayaba. Otro de los visionarios de la época fue H. Piper que estaba trabajando en una idea de combinar un motor de combustible por otro de batería eléctrica.

Todos aquellos poseídos por el afán de quitar los caballos de delante de los carruajes trataban todos los medios posibles, ante las miradas muy escépticas de quienes los rodeaban. Una de las fábricas de prestigio entonces, General Electric, produjo ciertos tipos de vehículos eléctricos en 1898 y en 1899, e incluso construyó un híbrido de cuatro cilindro ese año, el último del siglo XIX.

En Europa algunas empresas como Krieger, de Francia, experimentaba con una combinación de motor de combustión por alcohol y motor eléctrico que finalmente se dio a conocer en el año 1904. Otra figura que sería luego conocida para siempre, Ferdinand Porsche, estaba trabajando con un constructor de carruajes vienés llamado Jacob Lohner, hasta que entre ambos lograron una combinación híbrida de fuerza, que fue conocida como "Lohner-Porsche".



Foto 5.11. Galt Gas Electric.

Pero con los años las esperanzas en el vehículo eléctrico, o su más compleja variante, la híbrida, en lugar de ir aumentando fue disminuyendo. La empresa Woods Motor Company of Chicago, fundada en 1899, fue capaz de sobrevivir hasta 1919 vendiendo carros eléctricos. Una de sus últimas esperanzas, un modelo del año 1917, llegó a lograr una velocidad de 20 millas por hora nada más que con su batería eléctrica, o hasta 25 millas por hora cuando se ponían en marcha al mismo tiempo la batería y el motor de gasolina. En 1914, en Canadá, Galt Motor Company puso en el Mercado un motor de dos pasos bajo el nombre Galt Gas Electric de 10 caballos de fuerza, que era conectado a un generador de la marca Westinghouse con el cual, según el fabricante, se podía mantener una velocidad promedio de hasta 30 millas por hora.

Fue el ingeniero norteamericano H. Piper, ya mencionado con anterioridad, el primero que presentó una patente para un vehículo que combinara la fuerza de la combustión interna y la fiabilidad de una batería eléctrica. Pero el principal interés de Piper cuando llevó su solicitud en 1904 era generar más poder a los entonces insuficientes mo-

tores de combustión interna. Cuando la patente fue aprobada cuatro años después, ya los motores de gasolina habían dejado atrás su etapa de incertidumbre y poder menguado para comenzar una nueva era en la historia.



5.9. TIPOS DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS

Los vehículos híbridos se clasifican en dos tipos: la configuración en paralelo y la configuración en serie.

- **Configuración en Paralelo:** tanto el motor térmico como el eléctrico pueden hacer girar las ruedas.

Esta configuración cuenta con un depósito de combustible, el cual alimenta al motor de gasolina. Pero a su vez cuenta con un conjunto de baterías que provee de energía al motor eléctrico. Ambos motores, el eléctrico y el de gasolina, pueden mover la transmisión al mismo tiempo, y ésta mover las llantas.

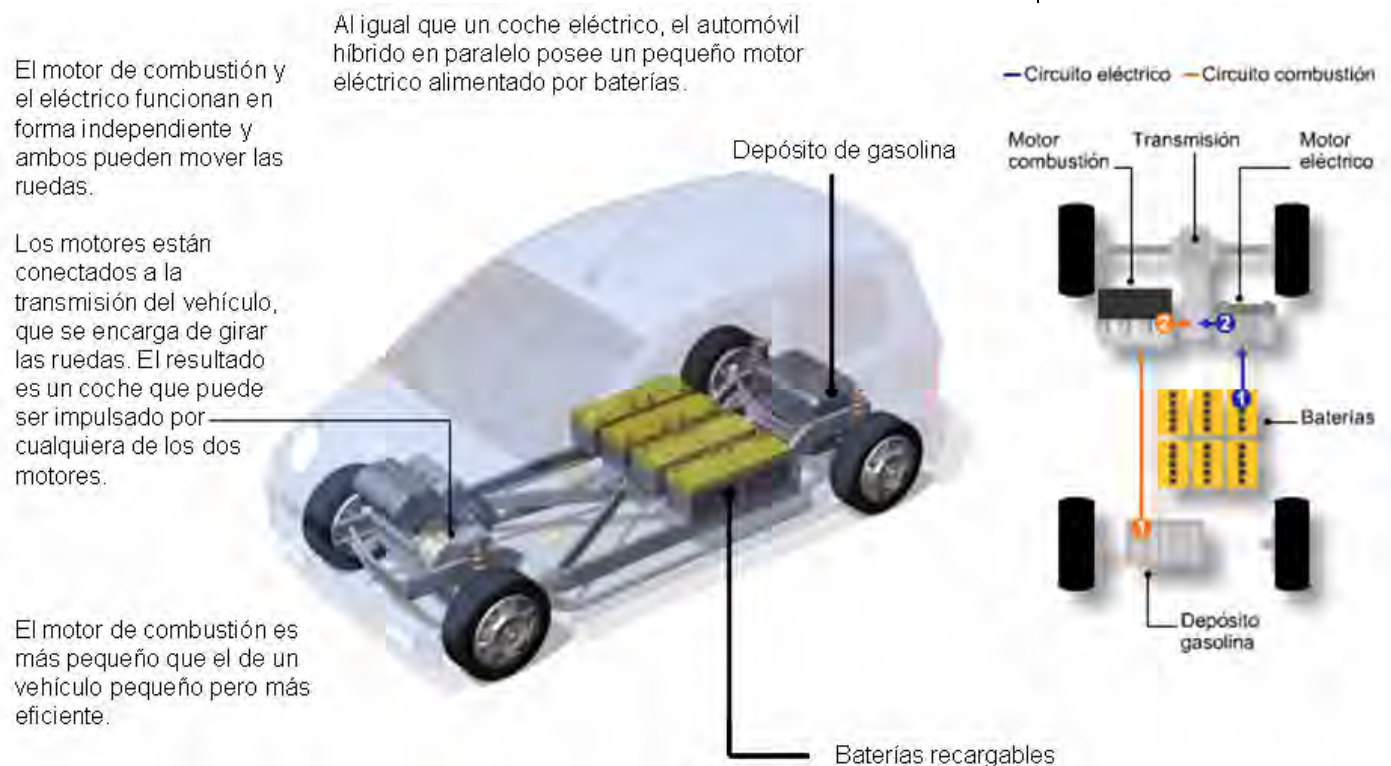


Figura 5.3. Configuración en paralelo.



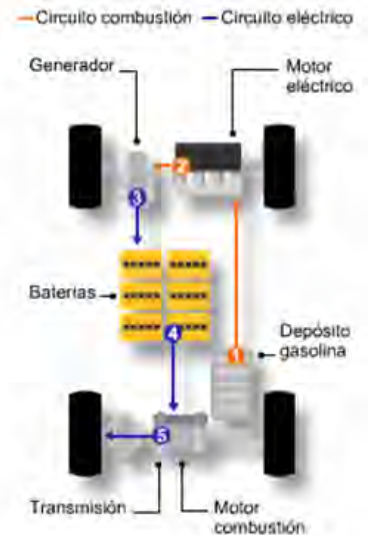
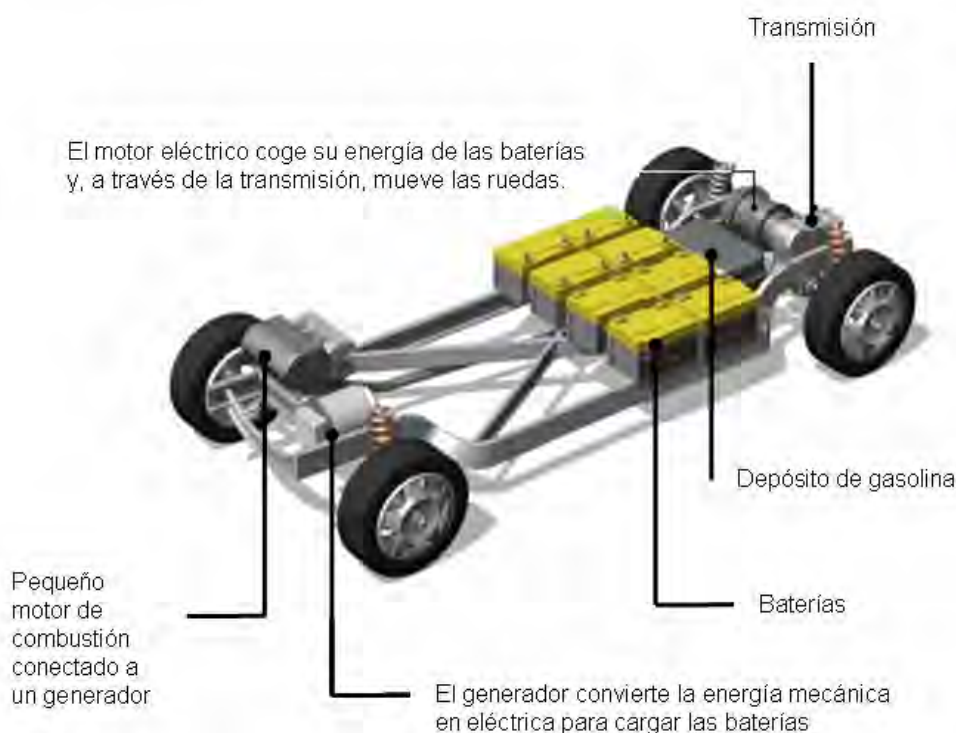
En la figura anterior se muestra una configuración típica en paralelo de un vehículo híbrido. Se observa que el tanque de combustible y el motor a gasolina están conectados a la transmisión. A su vez las baterías y el motor eléctrico están conectados a la transmisión de forma independiente. Como resultado, en la configuración híbrida paralela, ambos motores proveen de propulsión al automóvil.

- **Configuración en Serie:** el motor térmico genera electricidad y la tracción la proporciona sólo el motor eléctrico.

En esta configuración el motor de gasolina mueve un generador, el cual carga las baterías o alimenta al motor eléctrico que maneja la transmisión del vehículo. En este caso el motor a gasolina no mueve directamente al automóvil.

Como se muestra en la siguiente figura, empezando por el depósito de gasolina, se puede observar como todos los componentes forman una línea la cual se conecta eventualmente con la transmisión del automóvil.

Posee ambos motores, de combustión y eléctrico, pero este último es el que impulsa las ruedas.



5.10. COMPONENTES DEL VEHÍCULO HÍBRIDO ELÉCTRICO (VHE)

Los principales componentes de estos vehículos son:

1. **Motor a Gasolina:** éste es similar al que tienen los automóviles convencionales. Sin embargo, el motor en un híbrido es más pequeño y cuenta con tecnología avanzada que reduce las emisiones e incrementa la eficiencia del mismo.
2. **Depósito de Gasolina:** el depósito de combustible del híbrido es la fuente de energía del motor a gasolina. La gasolina tiene mucha mayor densidad energética que las baterías. Por ejemplo, se requiere alrededor de 500 kg de baterías para almacenar la energía equivalente a 3,5 kg de gasolina.
3. **Motor Eléctrico:** el motor eléctrico de un vehículo híbrido es muy sofisticado. La electrónica avanzada permite que éste actúe correctamente como motor y generador. Por ejemplo, cuando es necesario, puede tomar energía de las baterías para acelerar el automóvil, pero como generador puede disminuir la velocidad para recargar las baterías.
4. **Generador:** es parecido a un motor eléctrico, pero éste sólo trabaja para producir energía eléctrica. Se usa más en vehículos híbridos que tienen configuración en serie.
5. **Baterías:** las baterías en un automóvil híbrido son la fuente de energía del motor eléctrico. A diferencia de la gasolina, en el depósito de combustible, que sólo puede proveer de energía al motor a gasolina, el motor eléctrico en el vehículo híbrido puede suministrar energía a las baterías, así como obtenerla de éstas.
6. **Transmisión:** la transmisión en un automóvil híbrido cumple la misma función básica que en un vehículo convencional. Algunos híbridos, como el Honda Insight, tiene un sistema de transmisión convencional, a diferencia de otros como el Toyota Prius, que cuenta con una transmisión completamente distinta.

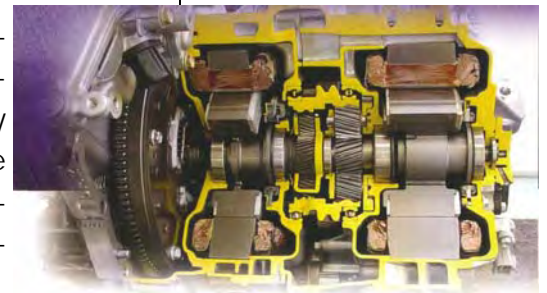


Figura 5.5. Tren motor de un vehículo eléctrico.

5.11. ¿CÓMO FUNCIONA UN VEHÍCULO HÍBRIDO?

A continuación se describe brevemente como funciona un automóvil híbrido.



- **Puesta en marcha**

El automóvil se pone en marcha únicamente mediante el motor eléctrico; es silencioso y no se emiten gases de combustión.

- **Conducción**

Cuando el vehículo alcanza los 25 ó 30 km/h, el motor eléctrico llega a su límite y el sistema enciende automáticamente el motor de combustión, con el cual se funciona mientras no se rebaje esa velocidad. Por este motivo, este tipo de vehículo es especialmente indicado para su uso en ciudad, donde se circula a baja velocidad.



Figura 5.6. Motor propulsor/generador con imanes permanentes integrados de un tren motor híbrido de Honda.

- **Frenado**

El motor eléctrico aprovecha la energía cinética del frenado o de las subidas de cuestas, que normalmente se desperdicia en forma de calor a través de los neumáticos, convirtiéndola en electricidad y almacenándola en la batería.

- **Aceleración**

Al alcanzar altas velocidades, por ejemplo durante los adelantamientos, el motor eléctrico entra en juego de nuevo, complementando y aumentando la potencia proporcionada por el motor convencional, con lo cual aumenta la seguridad de la conducción.

- **Paradas frecuentes**

Ante un semáforo en rojo, ambos motores se encuentran apagados, y sólo en el momento de pisar de nuevo el acelerador salta de nuevo el motor eléctrico, hasta el momento en que se sobrepase su capacidad, lo que ocurre a una velocidad de 25-30 km/h, y se haga necesario activar de nuevo el motor de combustión.

- **Conducción en carretera**

Durante trayectos por carretera convencional, la batería se recarga aprovechando el movimiento de las ruedas del coche.

La capacidad de este sistema de funcionar únicamente con el motor eléctrico en bajas velocidades, y el hecho de que recupere energía durante los frenados, lo hacen especialmente indicado para su uso en ciudad. A esto hay que añadirle la ventaja de la reducción de ruidos y gases, y el hecho de que disminuya el envejecimiento del motor convencional.



5.12. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS

Este tipo de vehículos presentan sobre los tradicionales las siguientes ventajas e inconvenientes:

Ventajas

- Menos ruido que uno térmico.
- Más par y más elasticidad que un motor convencional.
- Respuesta más inmediata.
- Recuperación de energía en deceleraciones.
- El sistema de frenado tiene a su vez capacidad regenerativa de la potencia absorbida, lo que reduce las pérdidas de eficiencia.
- Mayor autonomía que uno eléctrico simple.
- Mayor suavidad y facilidad de uso.
- Recarga más rápida que uno eléctrico (lo que se tarde en llenar el depósito).
- Mejor funcionamiento en recorridos cortos.
- Consumo muy inferior. Un automóvil térmico en frío puede llegar a consumir 20 l/100 km.
- En recorridos cortos, no hace falta encender el motor térmico, evitando que trabaje en frío, disminuyendo así el desgaste.
- El motor puede desactivarse durante la marcha cuando no se necesita.



Figura 5.7. Esquema de un vehículo híbrido.



- El motor térmico tiene una potencia más ajustada al uso habitual. No se necesita un motor más potente del necesario porque si hiciera falta esa potencia en algunos momentos, el motor eléctrico suple la potencia extra requerida. Esto ayuda además a que el motor no sufra algunos problemas de infrautilización como el picado de bielas.
- Son capaces de conseguir una eficiencia doble, lo que se consigue por la supresión de la mayor parte de las pérdidas de potencia que se producen en los vehículos tradicionales.
- El motor se dimensiona sólo para una potencia promedio, y los picos de potencia los proporciona la fuente de energía alternativa. Esto además permite que el motor funcione siempre en su punto óptimo o muy cerca de él. Por ello su eficiencia resulta doblada, pudiéndose aligerar el peso y volumen hasta en un 90%.
- Instalación eléctrica más potente y versátil. Es muy difícil que se quede sin batería por dejarse algo encendido. La potencia eléctrica extra también sirve para usar algunos equipamientos, como el aire acondicionado, con el motor térmico parado.
- La eficiencia del combustible se incrementa notablemente, lo que se traduce en la reducción de las emisiones.

Desventajas

- Mayor peso que un coche convencional: hay que sumar el motor eléctrico y, sobre todo, las baterías.
- Más complejidad, más posibilidad de averías.
- Por el momento, también el precio.

5.13. DESARROLLOS TECNOLÓGICOS

El sector del automóvil está dedicando en los últimos tiempos importantes recursos para adaptarse a la situación energética mundial y poder así asumir, también, los compromisos medioambientales de los distintos países.

Entre los elementos que pueden ser utilizados en la configuración de la cadena energética de los vehículos híbridos, y que deben de estar coordinados mediante un sistema electrónico-informático, se encuentran los siguientes:

- **Baterías de alta capacidad**, tanto para almacenar energía eléctrica como para mover el vehículo.



- **Pila de combustible**, para conseguir almacenar energía eléctrica en forma de combustible y transformarla en el momento de su utilización. De esa forma se consiguen capacidades de almacenamiento energético similares o superiores a las del depósito de combustible fósil.
- **Paneles fotovoltaicos** como ayuda a la recarga de las baterías.
- **Volantes de inercia**, que permitan recuperar la energía generada en la frenada. Las baterías no se cargan bajo picos de energía cortos y muy altos, así que acelerar un volante de inercia y luego utilizar esa energía cinética para ir cargando lentamente dichas baterías se perfila como una buena opción.
- **Ultra condensadores** para poder realizar la misma función que los volantes de inercia usando sólo tecnología eléctrica.
- **Grupos electrógenos** para, en caso de niveles muy bajos de batería, consumir combustible fósil para generar electricidad.

De esta forma utilizando una mezcla de tecnologías que apoyen al motor eléctrico se consigue un vehículo que pueda competir en prestaciones con la versión clásica.

En la figura adjunta se indican los ámbitos de investigación y desarrollo en los que se está trabajando actualmente dentro de la tecnología de accionamiento eléctrico y que se concretan en: almacenamiento de la energía eléctrica, los componentes de accionamiento eléctrico, la infraestructura y los productos o vehículos eléctricos.

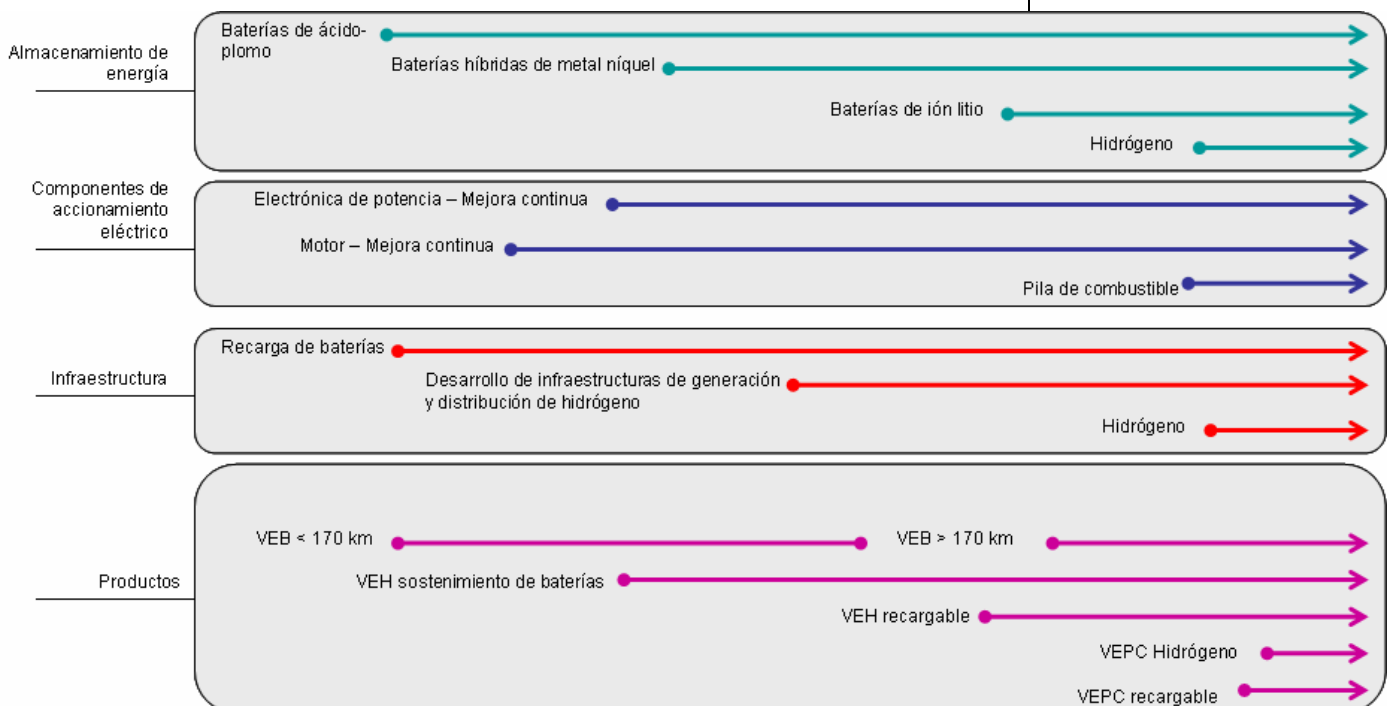


Figura 5.8. Evolución de los desarrollos tecnológicos.



6 EL GLP Y EL GAS NATURAL



Los primeros usos de los gases combustibles en el sector del automóvil datan de finales del Siglo XIX.

El ingeniero francés, Etienne Lenoir, construyó en 1883 una máquina que era impulsada con gas de carbón común: llegó a colocarla sobre ruedas y viajaba en ella. Siegfried Marcus, un inventor vienés, utilizó por primera vez en 1875 gas de petróleo para mover un pequeño coche por las calles de Viena.

También, en 1884, el inglés Edward Butler equipó en Londres un pequeño triciclo con un motor de nafta de dos cilindros, gasificador y encendido eléctrico. Era uno de los inventos más adelantados para esa época, pero no tuvo demasiado éxito por la *ley de la bandera roja*, que prohibía a los vehículos sin caballos transitar a más de 6 km/h en los caminos libres y 3 km/h en lugares poblados.

En Alemania, entre tanto, se producía un progreso permanente. Empezó en 1872 con el motor de gas de Nikolaus Otto. Si bien esta máquina dependía del gas de la red de suministro, significó un gran adelanto. Otto utilizó el sistema de émbolo cilíndrico de la máquina de vapor; pero en su motor y, desde entonces, en todos los motores de explosión la combustión tenía lugar en el interior y no en una caldera especial, como en las máquinas de vapor.

Gottlieb Daimler ingresó en las fábricas de Otto y contribuyó en gran medida a mejorar el motor de gas. Estaba convencido de que allí se encontraba la máquina ideal para el tránsito por las calles. Otto, en cambio, opinaba que su motor sólo servía para una máquina fija.

Otro antecedente curioso del empleo de los gases combustibles actuales se encuentra en el *gasógeno*, muy utilizado en las décadas de los años 30 y, sobre todo, 40 del siglo pasado.

Este equipo era un aparato cilíndrico que se adosaba a la parte trasera o lateral -según el vehículo-, construido de chapa resistente y con un espacio para el carbón vegetal y que, después de encenderlo, emitía el *gas pobre* -como se le llamaba en la época-.

La combustión incompleta de la biomasa, técnicamente llamada *pi-*

El gas pobre procedente de la biomasa se utilizó en automoción después de la Segunda Guerra Mundial.



rólisis, produce la liberación de un gas pobre -mezcla de monóxido, dióxido de carbono, de hidrógeno y de hidrocarburos ligeros-. Ese gas de poco poder calorífico es el que liberaba el gasógeno y permitía el accionamiento de los motores de combustión de los vehículos.

Durante la segunda guerra mundial, de 1939-45 y en plena reconstrucción española después de la devastadora guerra civil de 1936-39, la escasez de carburantes había paralizado el transporte en España, de tal manera que la aplicación del sistema gasógeno fue en aquella época un recurso prácticamente mágico, para la propulsión de automóviles, camiones y generadores de corriente eléctrica.

Figura 6.1. Anuncio de gasógenos en la década de los años 40 del siglo pasado.

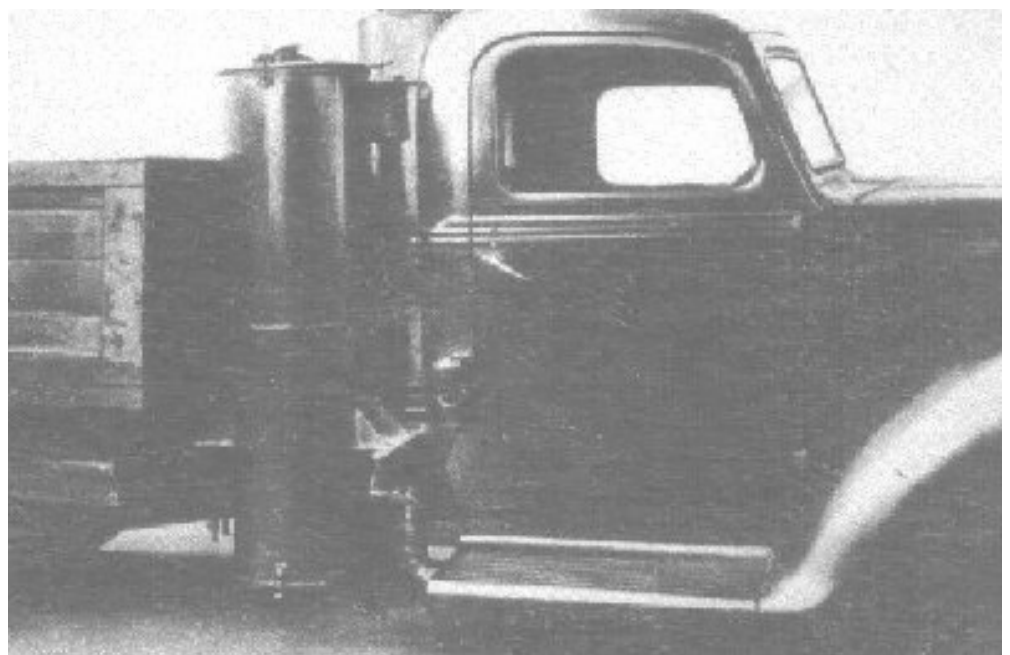




Foto 6.2. Durante la posguerra la falta de gasolina obligó a buscar soluciones imaginativas para hacer funcionar los vehículos. Camión con gasógeno.

En la actualidad, los combustibles gaseosos para vehículos más utilizados son los siguientes:

- GLP (Gases Licuados del Petróleo)
 - Mezcla de propano y butano para automoción.
 - 3 – 15 bar a temperatura ambiente (licuado).
- GNC (Gas Natural Comprimido)
 - Metano CH_4 .
 - 200 bar a temperatura ambiente.
- GNL (Gas Natural Licuado)
 - Metano CH_4 .
 - Criogénico licuado a $-162\text{ }^\circ\text{C}$ (normalmente $-140\text{ }^\circ\text{C}$ a 3 ó 5 bar).

Con la finalidad de aclarar las diferencias entre uno y otro producto, se recogen en la Tabla 6.1 las características de cada uno de ellos.



Tabla 6.1.

Gas Natural Vehicular	Gas Licuado del Petróleo
Es un hidrocarburo gaseoso compuesto en su mayoría por metano (90 %) y con un pequeño porcentaje de etano (10 %).	Es un hidrocarburo compuesto mayormente de propano (60 %) y butano (40 %).
Mayormente se obtiene del gas natural.	Se puede obtener del procesamiento del gas natural o del refinado del petróleo.
Es más liviano que el aire por lo que en caso de una fuga éste se disipa fácilmente en la atmósfera. Sin embargo, para su almacenamiento se requiere de una presión alta (200 bar).	Es más pesado que el aire por lo que en caso de fuga éste permanece sobre la superficie, disipándose solamente con la circulación de aire. El GLP se encuentra en estado gaseoso y puede cambiar a estado líquido para su almacenamiento con una presión relativamente baja (7 bar).
Se usa principalmente en flotas de autobuses urbanos e interurbanos, vehículos de carga, flotas de servicios públicos, taxis y vehículos particulares.	Se emplea tanto para uso doméstico (cocina, calefacción, iluminación) como para uso industrial (comercios, restaurantes) y vehicular (camiones, autobuses, taxis).

6.1. ¿QUÉ ES EL GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (GLP) PARA AUTOMOCIÓN?

GLP es la abreviatura de "*gases licuados del petróleo*", denominación aplicada a diversas mezclas de propano (C_3H_8) y butano (C_4H_{10}) que alcanzan el estado gaseoso a temperatura y presión atmosférica, y que tienen la propiedad de pasar a estado líquido a presiones relativamente bajas, propiedad que se aprovecha para su almacenamiento y transporte en recipientes a presión.

Tiene su origen en los Estados Unidos entre los años 1900 y 1912 donde se comprobó que la gasolina natural no refinada tenía una gran tendencia a evaporarse debido a la presencia de estos hidrocarburos ligeros.

A finales de los años 30 eran ya varias empresas las que habían entrado en este mercado, y como innovaciones técnicas de esta época se

El GLP data de principios del siglo pasado.

tienen los primeros vagones para transporte de GLP por ferrocarril, y el establecimiento de plantas de llenado de botellas por todo Estados Unidos. En Europa, la primera botella se vendía en Francia en 1934.

El propano (químicamente) es un compuesto orgánico, cuya molécula, saturada, está compuesta por tres átomos de carbono y 8 de hidrógeno (fórmula C_3H_8).

El butano es parecido al propano, salvo que su molécula, también saturada, está compuesta por cuatro átomos de carbono y 10 de hidrógeno (fórmula C_4H_{10}). Ambos gases tienen un gran poder calorífico: el propano proporciona 22200 kcal/m³ y el butano 28300 kcal/m³, lo que facilita el transporte y los hace muy prácticos.

El GLP se obtiene como parte del refinado del petróleo o a partir de yacimientos de gas natural. Más del 60% del GLP proviene directamente de pozos de gas natural y el resto procede de la destilación fraccionada del petróleo en las refinerías propias.

Como ya se dijo, el GLP en su estado natural es gaseoso a temperatura ambiente y presión atmosférica. Para obtener líquido, estado en el que se suministra, se debe someter a presión relativamente baja que oscila entre 4 y 8 atmósferas. Su densidad en estado líquido a 15 °C es de 0,564 kg/l.

El GLP es uno de los combustibles alternativos más utilizado en el mundo, a día de hoy, con posibilidad real de implantación efectiva e inmediata en el gran público.

La mayoría de los países de nuestro entorno utilizan el GLP como una mejora rápida y efectiva de la calidad del aire en entornos urbanos. Su rápido desarrollo conlleva unos resultados espectaculares en cuanto a emisiones totales en tan sólo unos años.

El mercado mundial del GLP en automoción se desarrolla desde los años setenta por razones fundamentalmente económicas, de diversificación energética y medioambiental. Desde entonces, el mercado ha crecido hasta alcanzar en todo el mundo cifras elevadas y que confirman al GLP como uno de los combustibles alternativos de gasolinas y gasóleos más desarrollados tanto tecnológicamente como comercialmente y más implantado en el mundo.



En Europa existen casi 4 millones de vehículos alimentados con GLP, sin contar los más de 1.400 autobuses urbanos utilizados en 25 ciudades europeas.



6.2. ¿CÓMO SE UTILIZA EL GLP EN LOS AUTOMÓVILES?

El uso del GLP en vehículos puede llevarse a cabo a través de una sencilla transformación en vehículos dotados de motor de explosión, de encendido por chispa, es decir, vehículos de gasolina, nunca diesel, incorporándole un equipo que mantiene el funcionamiento de los vehículos sin cambios, siendo fácil de instalar y económico. El equipo necesario para el uso del GLP es adicional al equipamiento propio del vehículo, no lo sustituye, por lo que el vehículo se convierte en "bi-fuel", permitiendo a su usuario utilizar indistintamente gasolina o GLP como combustible.

La instalación de un equipo a GLP (depósito, vaporizador, red de tuberías, dispositivo de inyección y unidad electrónica de control) en un vehículo de gasolina debe realizarse en un taller autorizado por el fabricante del equipo, y debe estar amparada por una Reforma de Importancia Generalizada, debidamente autorizada.

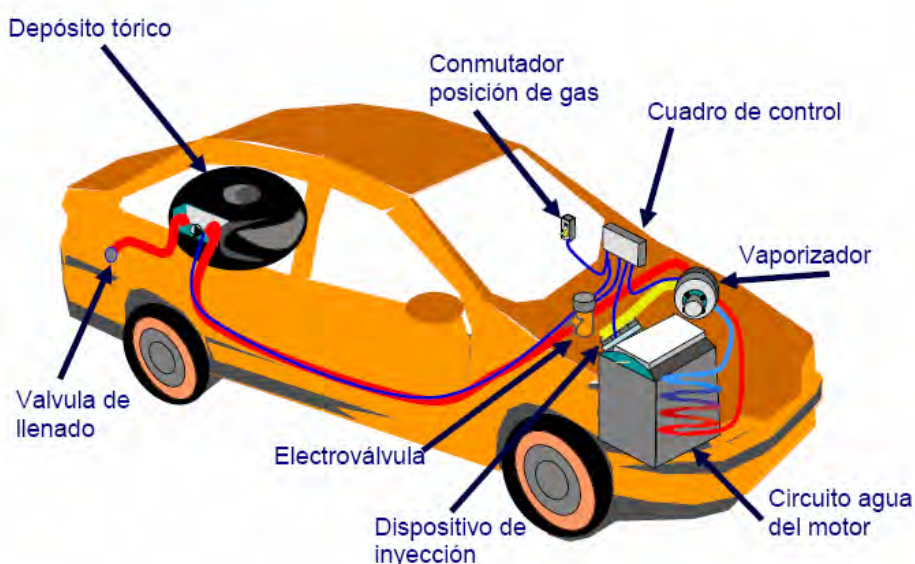


Figura 6.2. Componentes básicos de un vehículo transformado para consumir GLP.

Un vehículo convencional de gasolina transformado debe contar con un equipo específico de almacenamiento y alimentación de GLP, y consistente básicamente en:

- Un depósito (tórico o cilíndrico).
- Un evaporizador.
- Una red de tuberías.
- Un dispositivo de inyección.
- Una unidad electrónica de control.

El depósito puede estar situado, para ganar espacio, en la zona de la rueda de repuesto. Son los denominados tóricos, con una capacidad de carga media de 57 litros, lo que le confiere una autonomía aproxi-

mada de 450 km (consumo medio 10 l/100 km y capacidad de llenado del depósito del 80%).

Estos depósitos están fabricados siguiendo las normas que regulan el uso de GLP en automoción. Poseen los siguientes elementos de seguridad:

- *Caja estanca*: este accesorio cierra (por medio de dos pletinas laterales) herméticamente (por encaje y presión) el pequeño habitáculo sobre el depósito, donde van instaladas las válvulas y el indicador de nivel, con el fin de aislar el maletero de cualquier pequeña fuga de gas.
- *Válvula de alimentación*: alimenta el GLP en fase líquida al evaporador-regulador, que a su vez lo suministra en fase gaseosa al motor. La válvula incorpora un dispositivo de seguridad compuesto por una válvula de exceso de flujo. Este dispositivo asegura que, en caso de rotura de la tubería de cobre o, incluso, del arranque de cuajo de la válvula de su acoplamiento en el depósito, se cierre automáticamente la salida de GLP del mismo.
- *Válvula de seguridad*: hace imposible que la presión suba dentro del depósito, más allá de un valor prefijado. Si sobrepasase ese límite esta válvula permitiría la salida, durante un instante, de una pequeña cantidad de carburante gaseoso, que desde la caja estanca saldría, a través del tubo de purga que incorpora dicha caja estanca, al exterior del vehículo.
- *Válvula de llenado*: esta válvula es utilizada para el llenado del depósito. A ésta se conecta un dispositivo constituido por un acoplamiento, una canalización y un adaptador situado en el exterior del vehículo para la conexión al boquerel. Esta válvula lleva incorporados dos sistemas de seguridad:

- Doble válvula antiretorno, que evita la salida del GLP cuando se conecta el boquerel.



Foto 6.3. Depósito de GLP integrado en el maletero de un vehículo, SEAT.



- Un dispositivo de máximo llenado, que garantiza que no se sobrepase, en el llenado, el 80% de la capacidad del depósito cerrándose automáticamente.

En lo referente al funcionamiento, el combustible almacenado en las el depósito de GLP es conducido, en fase líquida al evaporador-regulador de presión. A la entrada del evaporador-regulador va instalada una válvula electromagnética de corte de GLP, conectada a un conmutador situado en el tablero de mandos.

El evaporador-regulador dispone en su interior de una serie de cámaras en la cuales se realizan distintas funciones que permiten regular, vaporizar y dosificar el GLP que es aspirado por el motor del vehículo. El GLP llega en fase líquida, y a una presión aproximada de entre 3 y 5 kg/cm², a la primera cámara del evaporador-regulador. En esta primera cámara se reduce la presión a 420 g/cm² y se vaporiza el líquido, transformándose en GLP en fase gaseosa.

La permanente vaporización del líquido se consigue manteniendo caliente el interior del evaporador-regulador. Para ello se hace circular agua del radiador por el interior del aparato. Ya en fase gaseosa, el GLP pasa, cuando es aspirado por el motor, a la segunda cámara. Y de aquí, a través de la unidad de mezcla, instalada en el colector de admisión, al motor.

Además, el evaporador-regulador también incorpora un dispositivo electromagnético que permite al motor funcionar al ralentí, cuando el vehículo está parado.

La unidad de mezcla, como su nombre indica, tiene la misión de proporcionar una adecuada mezcla de aire con el gas para obtener una correcta combustión.

El conmutador es un dispositivo eléctrico que se incorpora a la instalación para poder efectuar el cambio de combustible a utilizar. Bien sea para pasar de gasolina a GLP, o de GLP a gasolina. El conmutador debe ser fijado al tablero de mandos de tal manera que sea visible y fácilmente manipulable desde el puesto del conductor del vehículo.

En motores de inyección, el conmutador es automático, es decir, que aunque esté en posición de GLP, el arranque lo realiza siempre en gasolina. Y hace el cambio a GLP de forma automática a un número determinado de revoluciones, que se pueden regular por medio de

Los coches de GLP en versión bicarburante poseen una buena autonomía al disponer de un depósito complementario de gasolina.

un tornillo de reglaje situado en la parte posterior del conmutador. Se aconseja regular a 1.500 r/min.

El conmutador trabaja por impulsos del encendido, así que si se tiene el contacto puesto y el motor parado la electroválvula de gas estará cerrada.

El emulador de inyectores tiene la misión de cortar la corriente a los inyectores y mandar una señal emulada a la centralita de gasolina.

Finalmente, el *oxigen sensor* simulador indica cómo es la mezcla en el colector de escape y así se puede hacer la regulación en el evaporador.



Foto 6.4. Conjunto inyectores, evaporador y centralita electrónica de un vehículo transformado en origen.

Los grandes fabricantes de vehículos tales como Ford, GM, Chrysler, Toyota, Renault, Citroën, Nissan, Mazda, Seat y Volvo mantienen un gran interés en los desarrollos relacionados con el GLP. Originalmente las compañías especializadas desarrollaban y comercializaban los *Kits* de conversión de los vehículos. Sin embargo, conforme el uso del GLP se ha hecho más popular, y se ha incentivado su uso por los gobiernos, los fabricantes se han involucrado más en el desarrollo y comercialización de instalación de equipos en origen. Fabricantes en Esta-



dos Unidos, Canadá, Japón, España, Reino Unido y Suecia ya están produciendo vehículos en versiones mono y bi-carburantes, para satisfacer la demanda de vehículos a GLP.

La utilización de GLP se basa en una tecnología plenamente desarrollada, capaz de dotar a los vehículos de prestaciones y fiabilidad equivalentes a las de los vehículos de gasolina o diesel, ofreciendo las siguientes ventajas técnicas:

- **Mayor vida del motor.** Una mezcla homogénea, controlada y bien distribuida en los cilindros con el aire comburente, facilita una combustión más limpia y completa. Provoca un menor desgaste del motor, haciéndose más kilómetros.
- **Mantenimiento más económico.** En general los costes de mantenimiento de un vehículo de gasolina son menores que en Diesel teniendo un menor número de averías.
- **Menor coste del cambio de aceite.** Los periodos de cambios de aceite son más largos por la ausencia de depósitos carbonosos que ensucian el aceite lubricante. El cambio de aceite de un vehículo diesel es cada 8000 km mientras que un vehículo de GLP prácticamente se duplica.
- **Ajuste de inyectores y válvulas.** La relación coste / frecuencia es más económica para vehículos gasolina que para diesel.
- **Menores costes por el cambio del filtro.** Precios de sustitución de filtros en vehículos diesel más costosos que en gasolinas-GLP y muy inferior la duración de los mismos. Diesel cada 15000 km frente a la sustitución cada 75000 km de vehículos gasolinas.
- **Autonomía.** Las horas de trabajo entre cada repostaje es similar que con gasolina y mayor a los necesarios para otros carburantes alternativos como el GNC. Fácil y rápido reaprovisionamiento.
- **Conducción suave, silenciosa y sin vibraciones.**
- **La respuesta casi inmediata ante la demanda de un esfuerzo.** Mayor potencia y mayor par motor a carga parcial (arranques y paradas de los automóviles) que es su régimen natural de funcionamiento.

El preparador alemán Hartge intenta lograr el récord de velocidad máxima con un coche impulsado con gas licuado del petróleo, usando un BMW Serie 1.



La potencia del motor sube hasta los 550 caballos y la velocidad máxima superará los 300 km/h. Usando el motor V8 del Hartge H1, el pequeño Serie 1 intentará batir el récord que ostenta el *IdéeVerte Compétition* en el 2004, con 315 km/h y se calcula que podría llegar esta vez a los 330 km/h.



Foto 6.5. Vehículo puesto en funcionamiento en 2007, gracias a un convenio con la Comunidad de Madrid.

Por otro lado, son dignas de destacar las siguientes ventajas medioambientales:

- Mejora sustancial en emisiones de NOx y partículas frente a un gasóleo.
- Emisiones de CO₂ bajas (aprox. reducción del 13% respecto a la gasolina) e inferiores con respecto al gas natural sin refrigerar.
- Muy bajo contenido de azufre y alto número de octano.
- Emisiones de contaminantes no regulados (benceno, formaldehídos, etc.) muy bajos respecto al gasóleo/gas natural.

Los componentes cuyos límites de emisiones se encuentran regulados son los hidrocarburos (HC), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx) y las partículas (PM). Estos valores límites se encuentran regulados por una normativa Europea que año tras año se va haciendo más restrictiva.

En la Tabla 6.2 se reflejan las emisiones según el tipo de carburante.

Si un vehículo de gasolina recorre anualmente 50.000 kilómetros, transformándolo a GLP se pueden evitar emitir a la atmósfera más de 1500 kilos anuales de CO₂.

Tabla 6.2.

g/km	HC	CO	NOx	PM
Gasolina	0,08	0,60	0,03 - 0,08	0,001
Diesel	0,06	0,50	0,30 - 0,50	0,040
Diesel + FP	0,01	0,01	0,30 - 0,50	0,002
GNC	0,15	0,30	0,03 - 0,06	< 0,001
Metanol M85	0,05	0,60	0,05 - 0,08	< 0,001
Etanol E85	0,08	0,60	0,05 - 0,08	< 0,001
GLP	0,05	0,30	0,03 - 0,06	< 0,001

Fuente: Repsol Gas.

Frente al Diesel, el GLP reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno en un 90% y en más de un 97% de partículas (50% si los vehículos diesel están dotados de filtro de partículas) y frente a los vehículos a gasolina, reducen un 50% las emisiones de CO y en un 37% las de HC.

Comparando el GLP con otros combustibles alternativos, se ve que frente al metanol y al etanol el uso del GLP permite unas reducciones de emisiones similares a las indicadas respecto a los vehículos de gasolina.

6.3. ¿CÓMO SE ALMACENA Y SE SUMINISTRA EL GLP?

Los depósitos de almacenamiento son recipientes de acero destinados a contener GLP en estado líquido bajo presión. Los depósitos pueden situarse aéreos o enterrados, en función del terreno disponible y las necesidades, guardando las preceptivas distancias de seguridad establecidas en la reglamentación vigente.

Actualmente, existen dos posibilidades de suministro; a través de:

- **Unidades autónomas:** un *skid* compuesto por un depósito de GLP desde 4.800 hasta 13.000 litros con unidad de suministro (volumétrica o no) incorporada. La instalación de dicho equipo requiere la autorización previa del organismo competente en Industria y unos consumos de acuerdo a dicha capacidad.

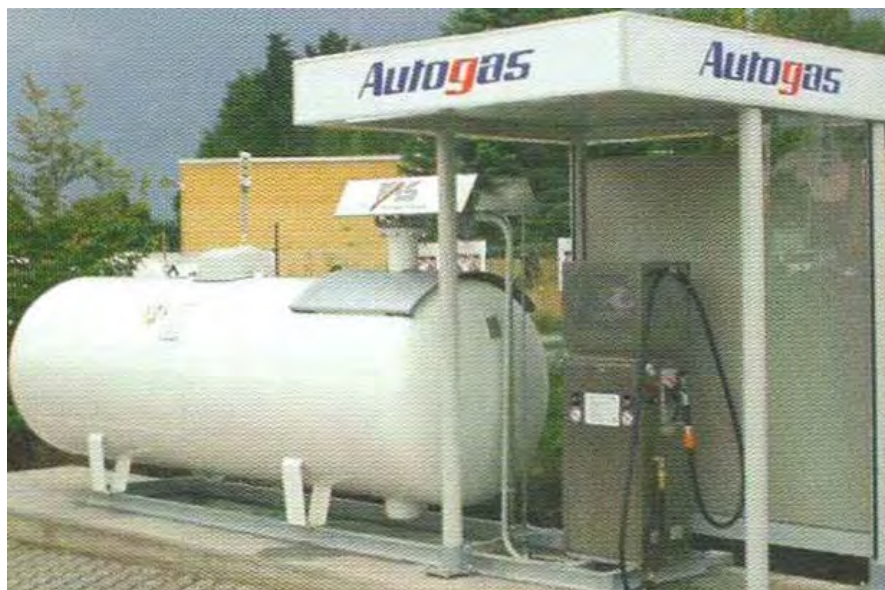


Foto 6.6. Skid con depósito de GLP y surtidor.

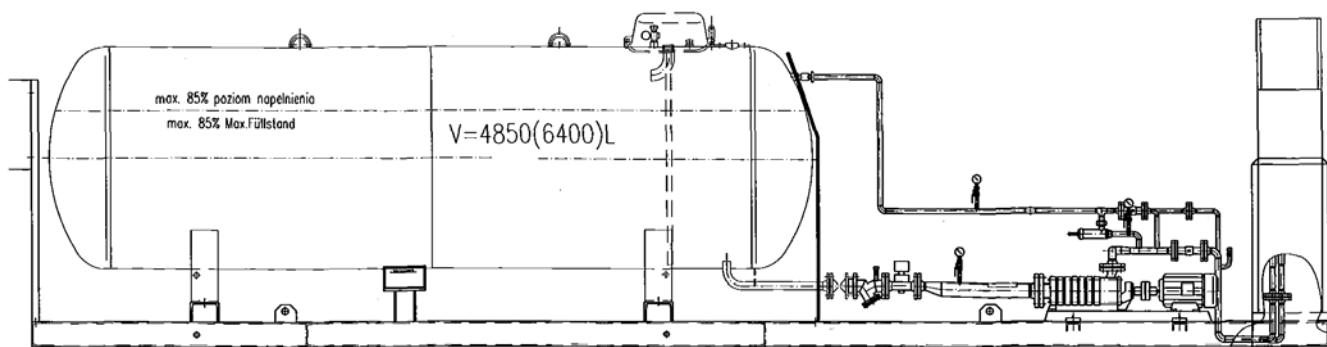


Figura 6.3. Esquema de un skid de GLP.

- **Instalación convencional.** (Sencilla estación de llenado con los mismos elementos que una estación de suministro de gasolina):
 - Depósito de almacenamiento GLP
 - Electrobomba.
 - Poste de suministro.

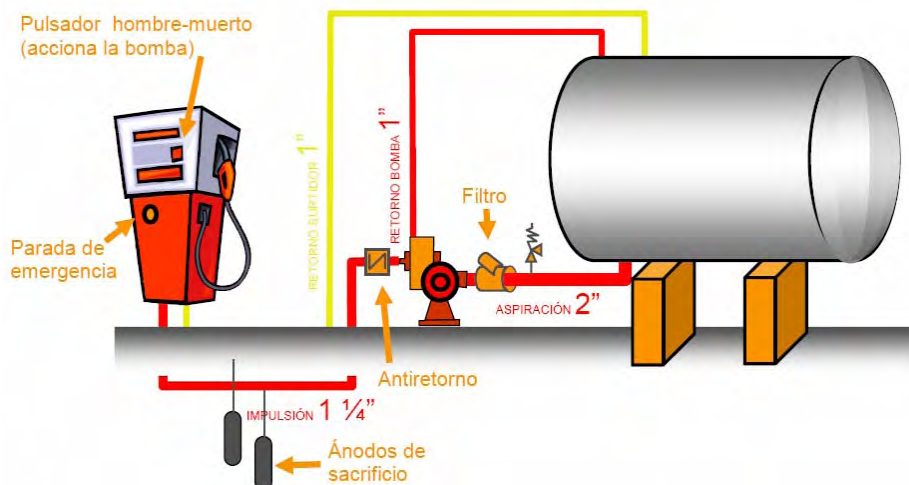


Figura 6.4. Esquema de una instalación convencional.



Foto 6.7. Surtidores de GLP y de otros combustibles en una estación de servicio.

Para proceder al llenado de un vehículo, el GLP es bombeado desde el depósito de almacenamiento y suministrado en estado líquido, por medio del aparato surtidor, al depósito incorporado en el vehículo.

El procedimiento del suministro es muy similar al que se utiliza para repostar gasolina. A la válvula colocada en el lateral del vehículo se conecta el boquerel de la manguera del surtidor de GLP, por un sistema de acoplamiento rápido y totalmente estanco.





Ya en la vehículo, el GLP en estado líquido sale del depósito y antes de llegar al motor pasa por un reductor-vaporizador, en el cual el GLP pasa del estado líquido al gaseoso, modo en el que se introduce a través de los inyectores en cada uno de los colectores de aspiración de los cilindros del motor para su combustión.

6.4. EL GAS NATURAL VEHICULAR

Este gas existe en estado natural, y en gran cantidad, en yacimientos de algunos países como Argelia, Rusia e Irán.

Está constituido, fundamentalmente, por metano y por pequeñas fracciones de etano, propano, butano, hidrógeno y anhídrico carbónico.

Debido a las grandes reservas que de este gas existen en el mundo, por sus características físico-químicas que permiten consumirlo a altas presiones sin licuar, por su carácter no contaminante y por su alto poder calorífico, se utiliza como combustible en el sector doméstico y en diversas actividades del sector industrial, abarcando múltiples usos en la industria siderúrgica, textil, alimentaria, etc., aportando notables ventajas respecto a sus competidores líquidos y sólidos.

El gas natural presenta una serie de propiedades que lo hacen especialmente adecuado para su empleo como combustible en motores de vehículos. Lo mas importante es que su combustión es prácticamente completa, por lo que no produce contaminación medioambiental.

Debe tenerse en cuenta que para almacenar la misma cantidad de energía, hay que disponer de mayores volúmenes de depósitos que con otros combustibles.

El gas natural es un combustible fósil del que se dispone de reservas, a nivel mundial, para unos 70 años, al ritmo actual de consumo, frente a los 40 años del petróleo.

Tabla 6.3.

CONCEPTO	BUTANO	PROPANO	GAS NATURAL
Fórmula química	C ₄ H ₁₀	C ₃ H ₈	CH ₄
Temperatura de vaporización (°C)	-0,5	-42	-
Densidad del gas (a 15 °C y 760 mm Hg)	2	1,5	0,65
Presión (a 20 °C y en kPa)	200	800	120
Poder calorífico por m ³ de gas (kcal)	28.344	22.262	11.107
Temperatura de inflamación (°C)	700	700	-
Fuente: Motor GLP, S.A.U.			



La aplicación del gas natural a los vehículos está siendo experimentada por los principales países europeos (Alemania, Francia, Italia, etc.), que ya han puesto en marcha políticas de desarrollo del GNV (Gas Natural Vehicular).

El avance no ha sido homogéneo en el mundo, siendo Italia (que con 380.000 vehículos y más de 50 años de experiencia es el pionero en Europa), EEUU y Argentina los líderes en el desarrollo de esta tecnología.

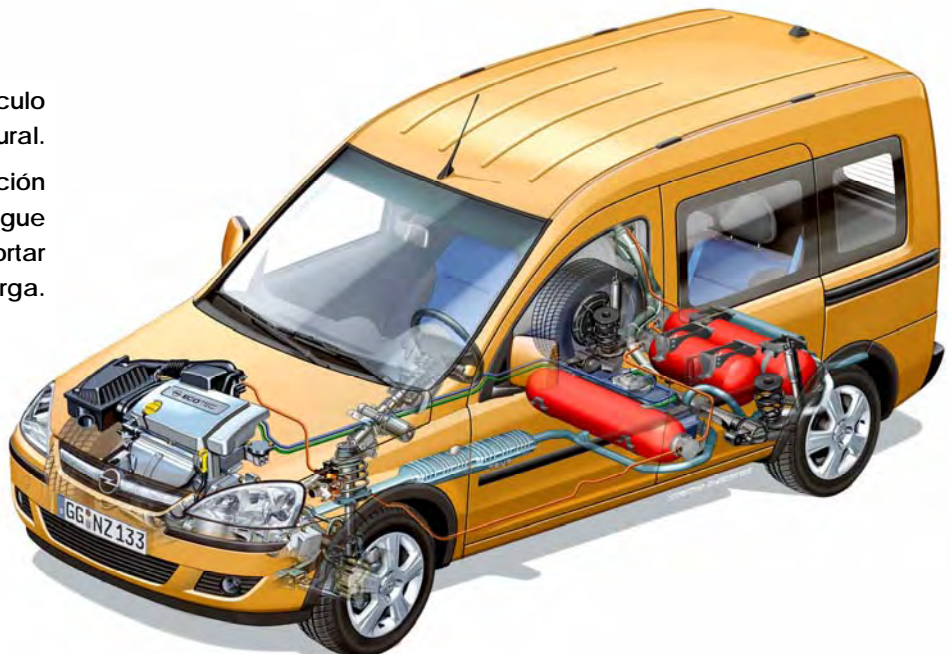
Actualmente, circulan por carreteras del mundo más de tres millones de vehículos con gas natural y su crecimiento es elevado.



Foto 6.9. Vehículo propulsado con gas natural.

Figura 6.5. Esquema de un vehículo propulsado con gas natural.

Este vehículo gracias a la ubicación del depósito, bajo el suelo, consigue no sólo ahorrar espacio, sino aportar capacidad de carga.





En la Tabla 6.4 se refleja la situación del GNV en el mundo en el año 2006.

Tabla 6.4. Desarrollo del GNV en 2006.

PAÍS	VEHÍCULOS	ESTACIONES DE CARGA
España	968	32
Países líderes en GNV		
Argentina	1.459.000	1.529
Italia	402.000	543
Estados Unidos	147.000	1.600
Subtotal	2.008.000	3.772
Otros países de la UE		
Alemania	39.000	655
Francia	8.900	125
Suecia	7.900	85
Subtotal	55.800	865
Otros países		
Pakistán	1.000.000	930
Japón	27.600	311
Brasil	1.118.000	1.253
India	248.306	198
China	127.200	415
Subtotal	2.521.106	3.107

Fuente: Gas Natural.

Desde el punto de vista ambiental, los niveles de emisiones contaminantes producidas por vehículos de gas natural son mucho menores que los que producen los de gasolina o gasoil. Algunas ventajas se refieren a:

- Reduce las **emisiones de CO₂**.
- **Metales pesados:** no contiene plomo ni trazas de otros metales pesados, lo que evita la emisión a la atmósfera de estos elementos.
- **Monóxido de carbono:** las propiedades químicas del gas natural permiten el uso de catalizadores, en particular de tres vías, con lo que se minimizan las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos.
- **Partículas sólidas en suspensión:** no emite partículas sólidas en suspensión, que es uno de los principales problemas ambientales que genera el gasóleo, que puede afectar a la salud (enfermedades respiratorias y cardiovasculares).
- **Azufre:** no contiene azufre y, por tanto, no emite dióxido de azufre (SO₂).
- **Ruido:** presenta niveles de emisión sonora inferiores a los produci-



dos en los motores diesel; la reducción es de aproximadamente 10 decibelios, así como menores niveles de vibración.

- Permite el uso de catalizadores, etc.

En la Tabla 6.5 se comparan las emisiones de vehículos ligeros y pesados utilizando diferentes tipos de carburantes.

Tabla 6.5.

Resumen de Promedios de Emisiones Contaminantes de todas las Referencias (*)						
	GEI	Contaminantes				
	CO ₂ g/km	CO g/km	NOx g/km	NMHCs g/km	Partículas g/km	SO ₂ g/km
Vehículos pesados						
Gas Natural	1,074	2,105	3,459	0,353	0,053	0,000
Gasoil	1,291	2,819	12,874	0,950	0,536	1,457
Vehículos Ligeros						
Gas Natural	148	0,602	0,248	0,031	0,010	0,000
Gasoil	157	0,799	0,770	0,560	0,107	0,230
Gasolina	217	1,939	0,240	0,580	0,013	0,140

Fuente: ICAEN.

El empleo de gas natural permite también ahorrar en el mantenimiento de los vehículos, ya que su combustión no produce depósitos de carbono en las partes internas del motor, lo que contribuye a prolongar la vida útil del aceite lubricante y de la necesidad de filtrado.

6.5. VEHÍCULOS DE GAS NATURAL

La tecnología de los vehículos a gas natural está totalmente resuelta desde hace muchos años, ya que se utiliza el motor de combustión interna operando en ciclo Otto (Motor de Gasolina).

Existen dos tipos de almacenamiento del gas natural en el vehículo:

- Para *vehículos ligeros*, autobuses urbanos y camiones RSU, el almacenamiento es con cilindros a 200 bar en estado gaseoso y a la temperatura ambiente (GNC).
- Para *vehículos de transporte de mercancías* el almacenamiento es a través de un depósito en fase líquida a baja presión y -160 °C (GNL).

Actualmente hay fabricantes de automóviles que ofrecen en catálogo vehículos a gas natural (BMW, Citroën, Chrysler, Fiat, Ford, Honda, Opel, Volvo).

conversión para motores de ciclo Otto de inyección electrónica, de forma que puedan circular tanto con gas natural como con gasolina. Hoy en día, es posible la homologación de la transformación.



Foto 6.10. Vista de la boca de un depósito de gas natural junto a la del depósito de gasolina.

Para vehículos pesados es conveniente el uso de vehículos diseñados específicamente para gas natural. El GNC implica modificaciones por el mayor peso en el vehículo, 1 tonelada aproximadamente, y para el caso del GNL requiere cambios por la pérdida de potencia del motor a gas natural.

Muchos fabricantes de Vehículos/ Motores disponen de esta tecnología desde hace varios años (Caterpillar, Cummins, DAF, Ford, Iveco, Man, Mercedes-Benz, Volvo, etc.).

En algunos países, donde hay disponibilidad de GNL, se está utilizando el GNL para el transporte de mercancías. (Se destaca entre otros a EEUU y Reino Unido). Se trata generalmente de compañías de transporte de mercancías de camiones que incorporen motores a gas natural (Cummins, Caterpillar, Detroit, etc.).

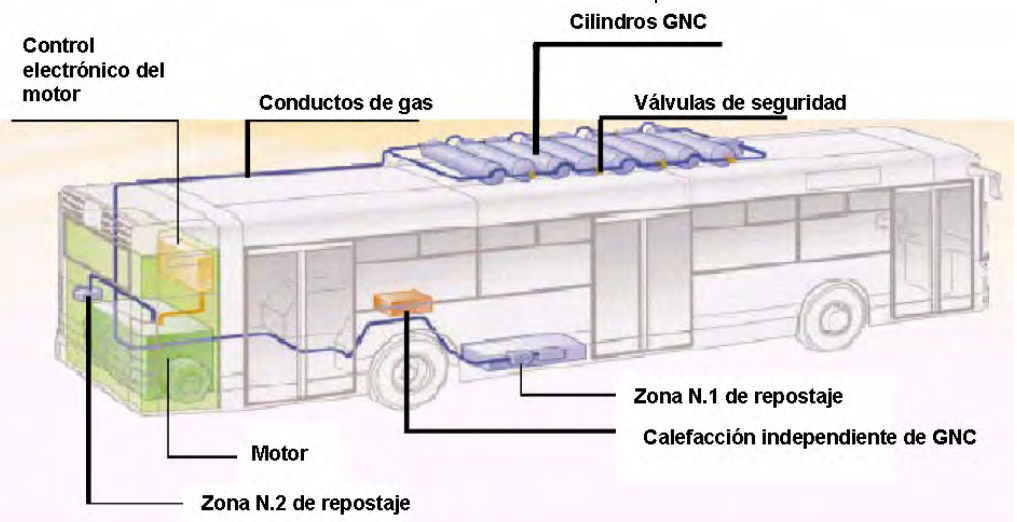


Figura 6.6. Disposición de los depósitos en un autobús urbano.

En los vehículos ligeros, los componentes básicos son los siguientes:

1. Motor

El motor utilizado es de combustión interna con encendido por chispa, tipo Otto, similar al de gasolina. En el caso de los vehículos grandes (autobuses o camiones), el motor está diseñado especialmente para funcionar sólo con gas natural. En los vehículos



pequeños, el motor es el mismo que para gasolina, pudiendo funcionar indistintamente con uno u otro carburante (bi-fuel), mediante un simple cambio de interruptor.

2. Sistema electrónico

Otro componente del sistema es un programador electrónico que regula tanto la inyección como el encendido, en función de la información suministrada por una sonda situada en el conducto de gases, que analiza el oxígeno contenido en los productos de combustión.

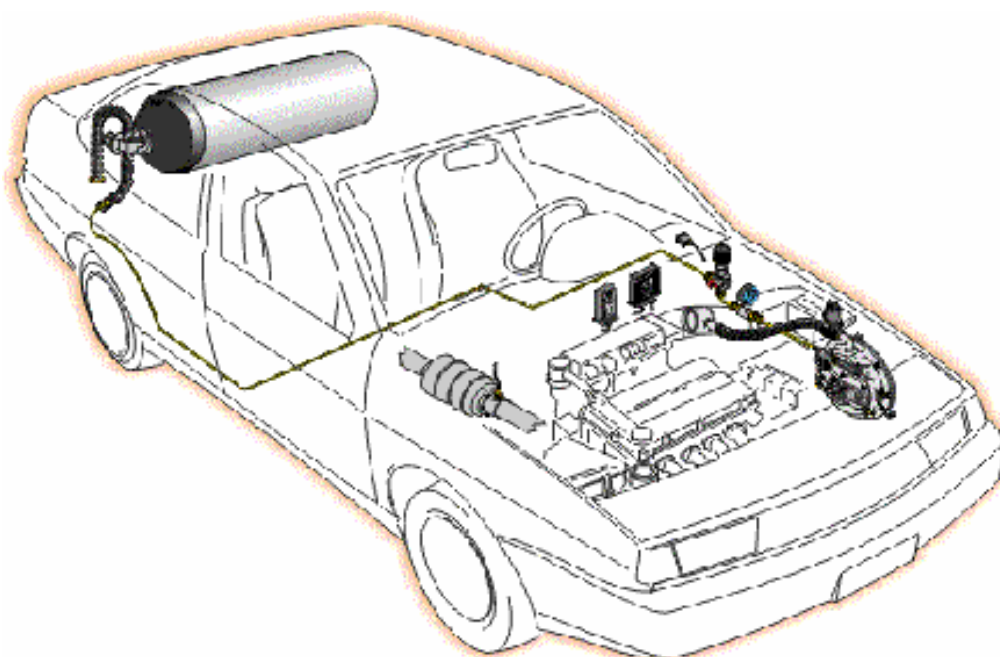


Figura 6.7. Componentes de un vehículo a gas natural.

3. Regulador de presión

Antes de entrar en el motor, la presión del gas natural se reduce hasta la presión necesaria para su introducción en el mismo (pocos bar, en función del tipo de motor). Esto se consigue con un regulador de presión, que normalmente es de dos etapas, aunque ahora existen reguladores de una sola etapa.

4. Catalizador

Tal como existe en los vehículos de gasolina, los de gas natural también disponen de un catalizador de tres vías, para rebajar más la emisión de productos contaminantes.

5. Depósitos

El gas natural se almacena en depósitos a una presión de unos

200 bar, a fin de disponer de una cantidad suficiente. Los depósitos son de acero inoxidable, aunque también se están utilizando depósitos de *composite*, que tienen un peso menor. La autonomía que se consigue está entre los 250 y 300 km. En vehículos grandes existe la posibilidad de almacenar el gas natural en estado líquido, a la temperatura de $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la presión atmosférica. En este caso, los depósitos están convenientemente aislados para mantener el gas licuado.

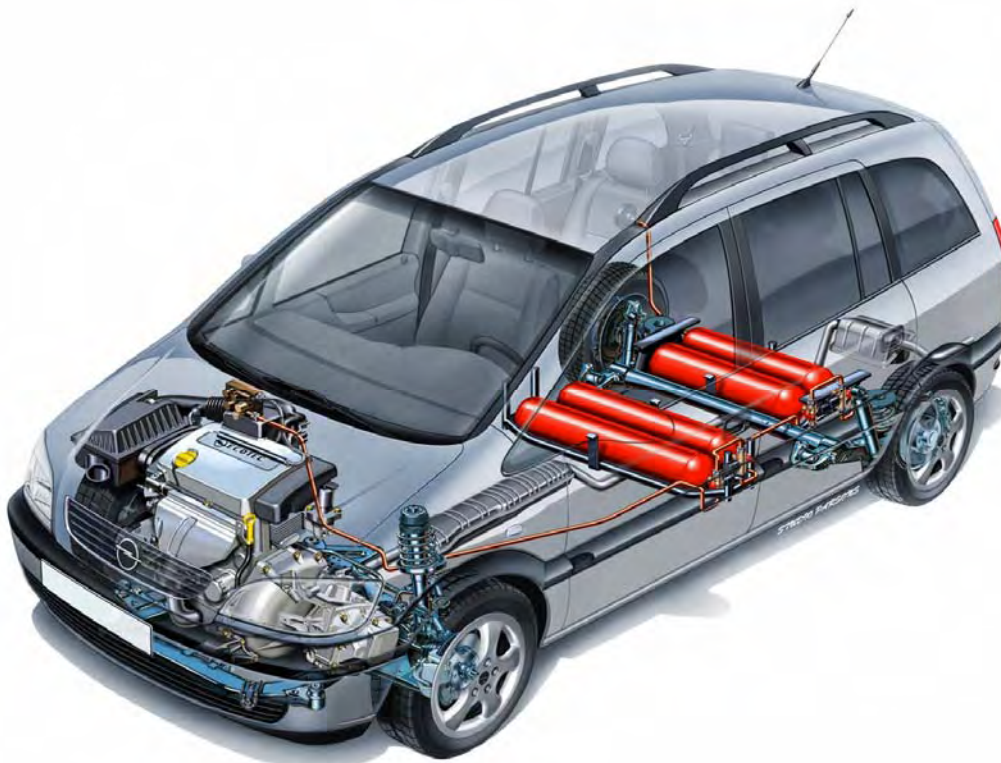


Figura 6.8. Depósitos de gas natural en la parte inferior de un vehículo.

6.6. ESTACIONES DE LLENADO DE REPOSTADO DE GAS NATURAL

La infraestructura relativa a estaciones de llenado de gas natural comprimido (GNC) normalmente a 200 bar, va creciendo a medida que lo va haciendo el parque de vehículos de gas natural (GNV).

Hay dos tipos de estaciones de carga de vehículos según el uso. Las de *carga lenta* para vehículos que disponen de suficiente tiempo para el llenado del depósito y que pueden hacerlo siempre en el mismo sitio (por ejemplo autobuses, camiones de basura, flotas de distribu-



ción, etc.) y las de *carga rápida* que han de funcionar de manera similar a las estaciones de servicio de gasolina y gasóleo para dar servicio a vehículos pequeños que están de paso. En estas últimas los compresores, cuando no han de cargar vehículos, van llenando de gas natural unos cilindros a presión que podrán descargar en el depósito del vehículo cuando éste llegue a la estación, aumentando así la velocidad de carga. Con ello, se rebaja la potencia del compresor y el consumo de energía eléctrica.

En la creación de la infraestructura básica de instalaciones de llenado, las empresas distribuidoras de gas están realizando un importante esfuerzo económico y técnico.

En España las primeras aplicaciones de GNC se han dirigido a autobuses urbanos, actualmente circulan más de 700 autobuses en las principales ciudades de la Península. Se han ampliado los colectivos que utilizan este tipo de energía en sus vehículos circulando también más de 500 camiones de recogida de residuos sólidos y limpieza urbana.

El gas natural está, desde hace muchos años, consumiéndose en el sector del transporte público en las grandes ciudades.



Foto 6.11. Autobús de la EMT propulsado con gas natural.

En el caso de los vehículos de gas natural licuado, la estación de carga debe tener un depósito de gas natural licuado, así como un sistema de elevación de la presión (por incremento de temperatura), para poder efectuar el llenado del depósito.

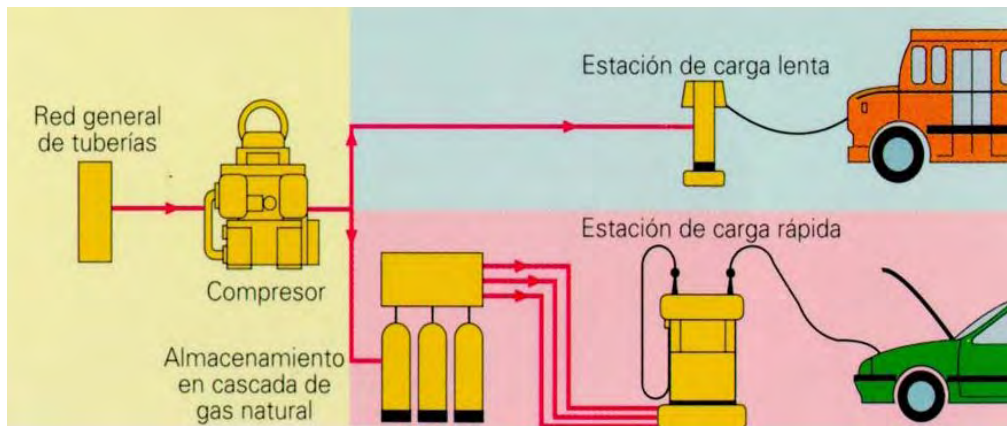


Figura 6.9. Esquema general de carga de GNC.

En todos los casos los surtidores deben disponer de una boca de llenado, que se acople herméticamente a la boca del depósito para evitar fugas de gas, aparte del correspondiente sistema de medición.



Foto 6.12. Estación de servicio y boquerel de suministro de gas natural en una ciudad europea.

6.7. DESARROLLO ACTUAL Y FUTURO DEL GNV

En lo referente a la situación actual del GNV en España, hasta ahora ha habido un desarrollo razonable en los sectores de servicio público,



como se pone de manifiesto por el gran número de autobuses y camiones de recogida de basuras en muchas capitales españolas.

A continuación se detalla la situación en el momento actual a través del número de vehículos en servicio:

Tabla 6.6.

Autobuses	760 GNC
Camiones de limpieza urbana	513 GNC + 22 GNL
Camiones de transporte de mercancías	11 GNL
Carretillas elevadoras	43 GNC
Estaciones de carga	32 GNC + 3 GNL
Vehículos ligeros	80 GNC

El desarrollo del GNV, teniendo en cuenta que existen vehículos fabricados en origen que usan este carburante, pasa fundamentalmente por el despliegue de una red de puntos de suministro estratégicamente ubicada próxima a la red de gasoductos existente.



Foto 6.13. Estación de servicio de GNC y vistas de un surtidor.

7 EL HIDRÓGENO



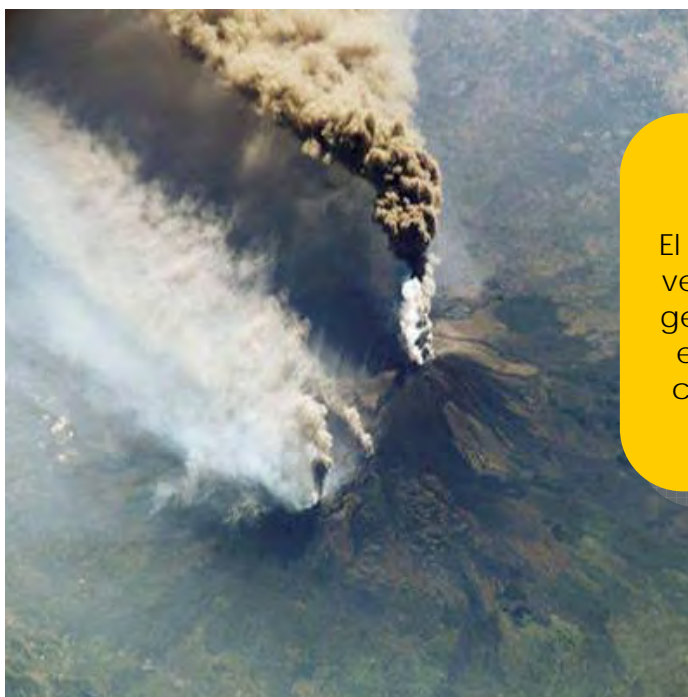
El hidrógeno se perfila como una de las energías con mayor potencial para contribuir en el futuro a diversificar las fuentes de energía y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Su utilización en el transporte presenta grandes ventajas frente a los derivados del petróleo, ya que es una fuente abundante y su consumo solamente produce -energía calorífica o eléctrica- y vapor de agua, lo que permitiría desarrollar sistemas de transporte limpios y silenciosos.

Su explotación a gran escala todavía requiere numerosos avances tecnológicos y científicos relacionados con su producción, almacenamiento, distribución y uso final, pero en los últimos tiempos se están desarrollando programas que permitirán a medio-largo plazo sustituir la economía de los hidrocarburos, por la economía del hidrógeno.

7.1. ¿QUÉ ES EL HIDROGENO?

En condiciones normales de presión y temperatura, el hidrógeno (H_2) es un gas incoloro e inodoro, muy ligero -pesa casi 15 veces menos que el aire-, no tóxico y muy inflamable, sobre todo cuando entra en contacto con flúor o cloro.



El hidrógeno es un gas tan ligero que la gravedad no puede retenerlo, y el poco hidrógeno que se produce de forma natural, por ejemplo en las erupciones volcánicas, escapa rápidamente fuera de la atmósfera.

Foto 7.1. Producción natural de hidrógeno.



Aunque es el elemento más abundante del Universo, en la Tierra no existe en estado libre. Se encuentra en combinación con otros elementos, formando parte de diferentes compuestos químicos y materias.

Por ejemplo, el hidrógeno forma parte del agua (H_2O), que constituye el 70% de nuestro planeta, de la materia orgánica, de la biomasa y el biogás y de los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural.

7.2. EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE

El hidrógeno, tal y como se encuentra en la naturaleza, no puede aprovecharse directamente. Hay que realizar una inversión previa de energía para obtenerlo a partir de los compuestos y materias de los que forma parte.

No es, por tanto, una *fuentes primaria de energía*, como lo son el petróleo o el carbón, si no que, al igual que la electricidad, es un *vector energético*. Así es como se denomina a las formas intermedias de energía que permiten transportarla y convertirla después en otras energías diferentes. Es decir, el hidrógeno es un *portador de energía*.

Históricamente, en el uso de la energía ha habido una tendencia progresiva hacia las fuentes con mayor contenido relativo en hidrógeno.

Fuente: Wired, 1997.

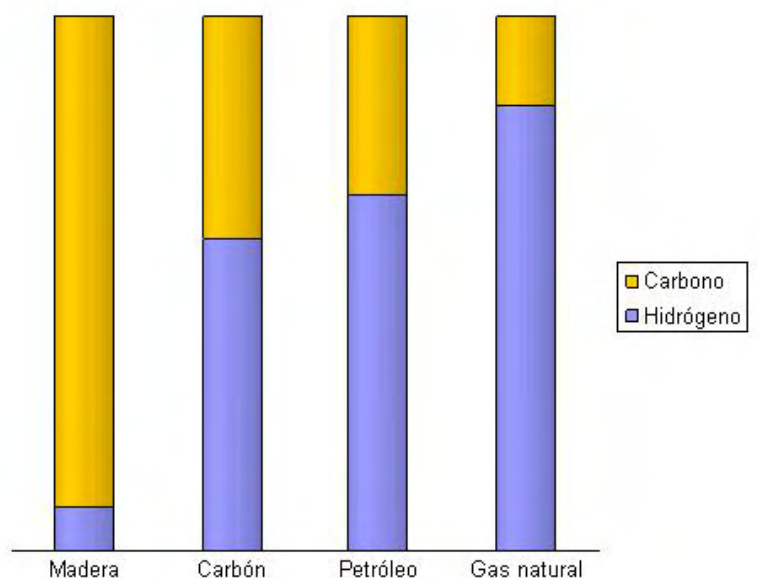


Figura 7.1. Presencia de hidrógeno en los distintos combustibles.

A pesar del gasto previo de energía que requiere su obtención, el hidrógeno tiene una serie de características que le hacen muy interesante como combustible y que apoyan la idea de que, por el momento, es el único que podría llegar a desbancar a medio-largo plazo a los combustibles fósiles.



En primer lugar, el hidrógeno es un combustible capaz de proporcionar más energía por unidad de masa que cualquier otro conocido: mientras que con un 1 kg de hidrógeno pueden generarse 33,3 kWh de electricidad, con 1 kg de gas natural tan sólo pueden generarse unos 14 kWh y con uno de petróleo únicamente 12,4 kWh.

Tabla 7.1.

1 kg DE HIDRÓGENO CONTIENE LA MISMA CANTIDAD DE ENERGÍA QUE:
<i>2,78 kg de gasolina</i>
<i>2,80 kg de gasóleo</i>
<i>2,40 kg de metano</i>
<i>2,40 kg de metano</i>
<i>Entre 2,54 y 3,14 kg de gas natural, dependiendo de su composición</i>
<i>2,59 kg de propano</i>
<i>2,62 kg de butano</i>
<i>6,09 kg de metanol</i>
Fuente: ARIEMA

Es un combustible limpio, que cuando se quema sólo produce energía y vapor de agua, a diferencia de los combustibles fósiles, que emiten CO₂ y otros gases contaminantes y de efecto invernadero.

Aunque no es un recurso renovable, puede obtenerse a partir de un amplio abanico de recursos naturales, desde agua a carbón vegetal o biomasa, y utilizando para ello prácticamente cualquier fuente primaria de energía, incluidas las renovables (solar, eólica, hidráulica, etc.). Lo que elimina la dependencia geoestratégica de los combustibles fósiles, ya que, potencialmente, es posible obtenerlo empleando recursos y fuentes energéticas propias.

Pero, quizá su mayor interés reside en que, a diferencia de la electricidad, el hidrógeno puede almacenarse y utilizarse después en el momento y lugar que interese. Esta capacidad de servir de “almacén” de energía es la que hace rentable la inversión inicial de energía para su obtención, y convierte al hidrógeno en el complemento ideal de las energías renovables, que son energías discontinuas.

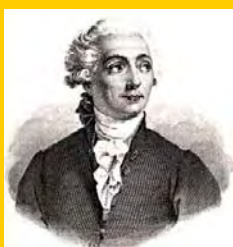


Aunque es una tecnología en desarrollo, que apunta a una nueva era en la utilización de la energía, la invención y desarrollo de las pilas de combustible se remonta a la mitad del pasado siglo. Por ejemplo, en 1959 se realizó una demostración con el primer tractor movido por células de combustible del mundo. Estaba dotado de un sistema de células de combustible alcalinas, que en ese momento, fue el mayor sistema de células de combustible del mundo.

Tabla 7.2.

EL HIDRÓGENO FRENTE A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<i>Mayor cantidad de energía por unidad de masa. Bajo peso de combustible en los tanques de almacenamiento</i>	<i>Menor cantidad de energía por unidad de volumen. Se requieren tanques grandes y pesados para su almacenamiento</i>
<i>Gran disponibilidad. Se puede producir a partir de diferentes materias primas, renovables y no renovables</i>	<i>Es un combustible secundario. No se encuentra libre en la naturaleza y hay que consumir energía para obtenerlo</i>
<i>Elemento estable y no corrosivo, muy seguro en espacios abiertos</i>	<i>Menos seguro en espacios confinados</i>
<i>Combustible seguro por su alto límite inferior de inflamabilidad y su alta temperatura de combustión espontánea</i>	<i>Transporte y almacenamiento costosos y de implementación compleja</i>
<i>Su combustión con oxígeno sólo produce agua. Aunque con determinadas proporciones hidrógeno/aire se producen óxidos de nitrógeno (NOx), precursores del ozono</i>	<i>Extremadamente volátil y difícil de hacer líquido</i>
Fuentes: Tecnociencia, 2005; ARIEMA	

HISTORIA DEL HIDRÓGENO



Fue descubierto en 1776 por el químico y físico inglés Henry Cavendish, que le bautizó como "aire inflamable", y en 1785, el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier le dio su nombre definitivo: hidrógeno, que en griego significa "generador de agua".

A finales del siglo XVIII comenzó a producirse para ser utilizado en globos militares de reconocimiento.



En los años 20 del pasado siglo se empleó como combustible secundario de los zeppelin, pero, tras el accidente del dirigible Hindenburg, en 1937, se abandonó su uso por pensarse que el accidente había sido provocado por la alta inflamabilidad del gas.

En los años 70, la crisis del petróleo impulsó de nuevo la investigación para desarrollar el potencial del hidrógeno como sustituto del petróleo y, actualmente, con el cambio climático, el interés por el hidrógeno se centra, principalmente, en su calidad de combustible limpio.





7.3. ¿CÓMO SE PRODUCE EL HIDRÓGENO?

Hay multitud de procesos que permiten convertir cualquier energía en hidrógeno. Actualmente se produce por vías muy distintas, utilizando una amplia gama de tecnologías, algunas basadas en procesos industriales consolidados y otras que precisan todavía de una investigación y desarrollo considerables.

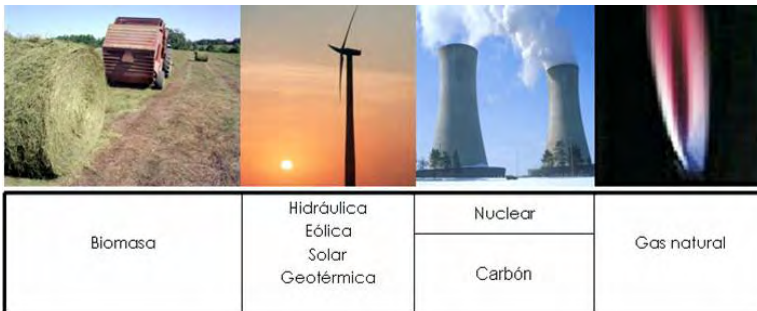


Figura 7.3. Procesos de obtención de hidrógeno.

El hidrógeno puede ser producido a partir de una amplia gama de recursos, lo que le convierte en un prometedor vector energético que podría ser producido en cualquier parte del mundo.

Uno de los principales escollos que presenta su utilización a corto plazo como fuente de energía es el alto coste económico que supone su producción, muy superior al de otros portadores de energía, o *vectores energéticos*, como la electricidad o la gasolina.

Cada año se producen en el mundo unos 50 millones de toneladas de hidrógeno, de los que sólo una pequeñísima parte, alrededor de 500.000 toneladas, se destina a la producción de energía, principalmente en aplicaciones espaciales. El resto se utiliza en diversos procesos industriales, como la fabricación de fertilizantes, metanol y agua oxigenada, la hidrogenación de aceites orgánicos comestibles o la preparación de productos derivados del petróleo en refinerías.

Fuentes: U.S. Department Energy; Fundación Bellona/AIE

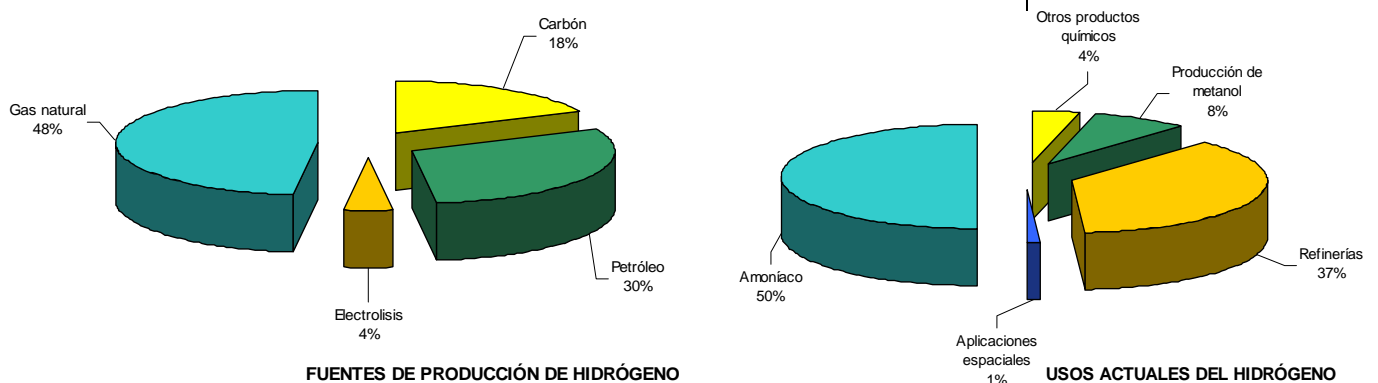


Figura 7.4. Fuentes y uso actuales del hidrógeno.



La investigación se ha orientado al desarrollo de tecnologías de producción de hidrógeno no contaminantes, basadas en recursos y energías renovables y que aseguren precios competitivos.

El hidrógeno se puede producir a partir de diversas materias primas (agua, hidrocarburos, gas natural, biomasa), consumiendo en el proceso energía primaria procedente de los combustibles fósiles, de fuentes renovables o de origen nuclear. Por ello, el hidrógeno será un combustible limpio y renovable o no, dependiendo de la materia prima y del origen de la energía que se hayan empleado en su producción.

- **Producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles**

Actualmente casi el 95% del hidrógeno mundial se produce a partir de combustibles fósiles. El hidrógeno está presente en todos los combustibles fósiles y a partir de cualquiera de ellos puede obtenerse hidrógeno (carbón, gasolina, gas natural, hidrocarburos pesados, etc.).

Los más adecuados son los que tienen mayor proporción de hidrógeno y menor contenido en oxígeno, como el gas natural (CH_4), ya que estas características simplifican el proceso de obtención y lo hacen más eficiente.

En 2003 se inauguró en Madrid la primera estación de servicio de hidrógeno de España, en la que repostan los autobuses de hidrógeno de la EMT. Cuenta con una microplanta de reformado de gas natural con vapor de agua para producir el hidrógeno, un sistema de almacenamiento y un surtidor de llenado rápido.



Foto 7.2. Estación de repostaje de hidrógeno de la EMT.

El método más utilizado es el reformado de gas natural con vapor de agua, que consiste en romper las moléculas de gas con vapor de agua para separar los átomos de hidrógeno de los de carbono. Casi el 50% de la producción mundial y la mayoría del hidrógeno empleado por la industria petroquímica se genera de esta manera.

Este proceso tiene una eficiencia de entre el 70 y el 90% y resulta más barato y menos contaminante que otras opciones basadas en el empleo de otros combustibles fósiles.

El *reformado con vapor de agua* también se aplica a gran escala a distintos tipos de hidrocarburos, como la gasolina de la que se obtiene el 30% del hidrógeno, y de alcoholes.

Otro método muy utilizado es la *gasificación del carbón*. Consiste en calentar carbón a 900 °C en presencia de vapor de agua y oxígeno para obtener un gas, denominado *gas de síntesis*, que tiene un alto contenido en hidrógeno.

La *gasificación* resulta mucho más eficiente que quemar directamente el carbón para obtener electricidad y utilizarla después para producir hidrógeno, y representa hoy el 18% de la producción mundial de hidrógeno.

El hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles no es "*limpio*", ya que se basa en recursos no renovables y en el proceso se genera CO₂, pero es una buena solución de transición en tanto se desarrollan a escala industrial técnicas basadas en recursos renovables y con emisión cero de gases de efecto invernadero.

- **Producción de hidrógeno a partir de agua y electricidad**

La *hidrólisis*, que significa "*ruptura del agua*", es un método de obtención de hidrógeno que se viene empleando en diversos procesos industriales desde el siglo XIX. Consiste en aplicar una corriente eléctrica al agua para romper sus moléculas y separar el oxígeno y el hidrógeno.

No genera contaminantes y proporciona hidrógeno de gran pureza, pero requiere un aporte muy considerable de energía eléc-



La gasificación del carbón es un procedimiento utilizado desde principios de la era industrial para producir el "gas ciudad" con el que se iluminaban las ciudades a principios del siglo XX.

El agua es el carbón del futuro, "La Isla Misteriosa", Julio Verne, 1874



En España se están desarrollando diversos proyectos para la producción de hidrógeno a partir de energías renovables, como el Proyecto Hércules, en el que está previsto construir una planta de producción de hidrógeno a partir de energía solar fotovoltaica y de energía solar térmica de alta temperatura, junto a la Plataforma Solar de Sanlúcar la Mayor (Sevilla); la creación de un centro piloto para la producción de hidrógeno con energía eólica junto al parque eólico de Aizkibel (Navarra), o dos plantas experimentales en Canarias, que generarán hidrógeno empleando un sistema híbrido de energía solar fotovoltaica y eólica y un aerogenerador de gran potencia.

trica, que supone hasta el 80% del coste total de generación del hidrógeno.

- **Producción de hidrógeno a partir de la energía nuclear**

La industria nuclear está trabajando en el desarrollo de nuevos reactores de alta temperatura para realizar lo que se conoce como *ciclos termoquímicos de hidrólisis del agua*, que consiste en producir hidrógeno a partir de agua mediante una cadena de reacciones químicas y una fuente de calor de alta temperatura.

Estas reacciones químicas permiten rebajar la temperatura de ruptura de las moléculas de agua de 2.000 °C a unos 850 °C, y los reactivos empleados se reciclan y son utilizados para repetir el proceso.

- **Producción de hidrógeno a partir de recursos y fuentes de energía renovables**

La obtención de hidrógeno a partir de distintos tipos de *biomasa* es una opción que podría resultar técnica y económicamente viable a medio plazo empleando dos tecnologías: la *gasificación de la biomasa*, en un proceso similar al de la gasificación del carbón, y a través del *reformado con vapor de agua de biocombustibles*, alcoholes biológicos y gases derivados de la biomasa, empleando una técnica similar al reformado de gas natural.



Actualmente existen diversos proyectos de investigación que intentan producir hidrógeno a partir de la electricidad generada en parques eólicos o plantas fotovoltaicas.

Se están investigando alternativas que permitan utilizar electricidad de origen renovable. Una de ellas es la *fotoelectrolisis*, en la que se utiliza una célula fotovoltaica fabricada con un material

semiconductor especial. Esta célula, sumergida en el agua, aprovecha la energía de la luz solar para disociar directamente las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno.

La *fotoelectrolisis* está en sus primeros estadios de desarrollo, pero presenta un alto potencial a medio-largo plazo para la producción sostenible de hidrógeno y con un impacto ambiental muy bajo.

Más cercana está la *electrolisis renovable*, es decir, la electrolisis realizada con electricidad generada con energías renovables, como la solar, hidroeléctrica o eólica, que asegura la producción de hidrógeno completamente limpio y sostenible.

Otra forma de producir hidrógeno que podría resultar viable a medio plazo son *concentradores solares*. Estos dispositivos capturan la luz solar y generan temperaturas superiores a 2.000 °C, que podrían utilizarse para producir hidrógeno mediante *hidrólisis térmica* o *ciclos termoquímicos*.

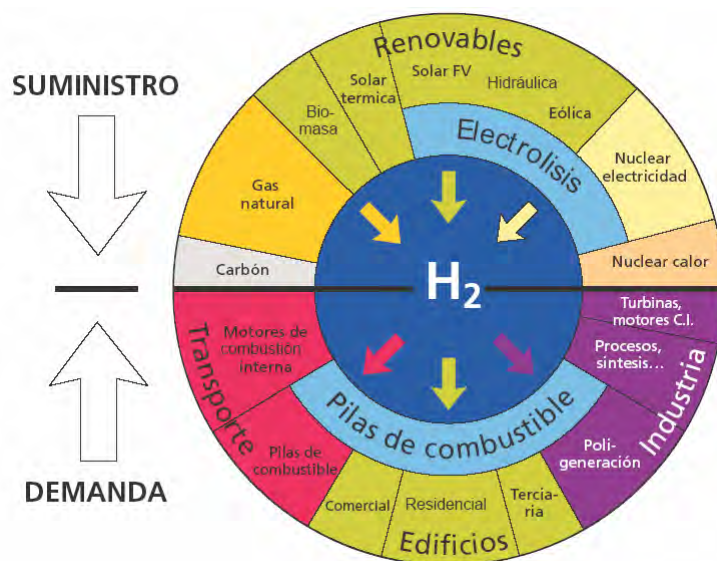


Figura 7.5. Fuentes de energía primaria en la producción de hidrógeno.

La *producción fotobiológica* por medio de algas, bacterias y otros microorganismos es otra posibilidad que se está considerando. Por ejemplo, la cianobacteria y las algas verdes pueden producir hidrógeno utilizando únicamente luz solar, agua y la *en-cima hidrogenasa*.

Esta tecnología es aún objeto de investigación y las posibilidades de que pueda ser utilizada a gran escala son todavía muy remotas. El ritmo de producción de hidrógeno es muy lento, se necesi-



tan grandes superficies y aún no se ha encontrado el organismo más adecuado para ello.

7.4. ¿CÓMO SE ALMACENA EL HIDRÓGENO EN LOS VEHÍCULOS?

Uno de los principales retos que presenta la utilización del hidrógeno como combustible en el transporte es el lograr formas de almacenamiento a bordo que aseguren prestaciones similares a las que ofrecen los actuales vehículos, en cuanto a tamaño y peso de los depósitos y a autonomía del vehículo.

La densidad extremadamente baja del hidrógeno determina que la cantidad de energía que aporta por unidad de volumen sea muy pequeña. Por ello, utilizando como combustible hidrógeno gas sin tratar, los vehículos tendrían que llevar depósitos inmensos de combustible para conseguir una autonomía similar a la de los vehículos de gasolina y gasoil.

Una de las vías de solución a este problema ha sido reducir el volumen del hidrógeno comprimiéndolo en botellas o enfriándolo hasta licuarlo, como se hace con cualquier otro gas. Pero ninguna de estas dos alternativas ha dado resultados totalmente satisfactorios.

En el primer caso porque, incluso comprimido, el hidrógeno continúa ocupando mucho espacio, y en el segundo por la gran inversión de energía que requiere la generación del frío necesario para licuarlo, el 30-40% de la energía que proporcionaría ese hidrógeno, además de que también en estado líquido su volumen es excesivo, ya que requiere depósitos casi 4 veces mayores en peso y volumen que uno de gasolina para la misma autonomía.

En los últimos años la investigación se ha centrado en sistemas más eficientes, como el almacenamiento en *hidruros metálicos* y los *nanotubos de carbono*.

Los *hidruros metálicos* son combinaciones de hidrógeno con ciertos metales, obtenidas mediante la aplicación de frío y presión. Calentando la mezcla y reduciendo la presión, el hidrógeno se libera y puede ser utilizado. Es un sistema de almacenamiento estable y seguro, pero demasiado lento y pesado para ser aplicado a los vehículos.

Para almacenar 1 kg de hidrógeno, con el que se pueden recorrer unos 100 km, se necesita un depósito de casi 11.000 litros, mientras que los depósitos de los actuales vehículos de gasolina y gasoil, que no suelen superar los 60 l de capacidad, permiten una autonomía de más de 800 km.

Los *nanotubos de carbono* son estructuras tubulares con un diámetro del orden del nanómetro, capaces de almacenar hidrógeno. Se presentan como un sistema muy eficiente, pero su aplicación a escala industrial requiere todavía un mayor desarrollo tecnológico.

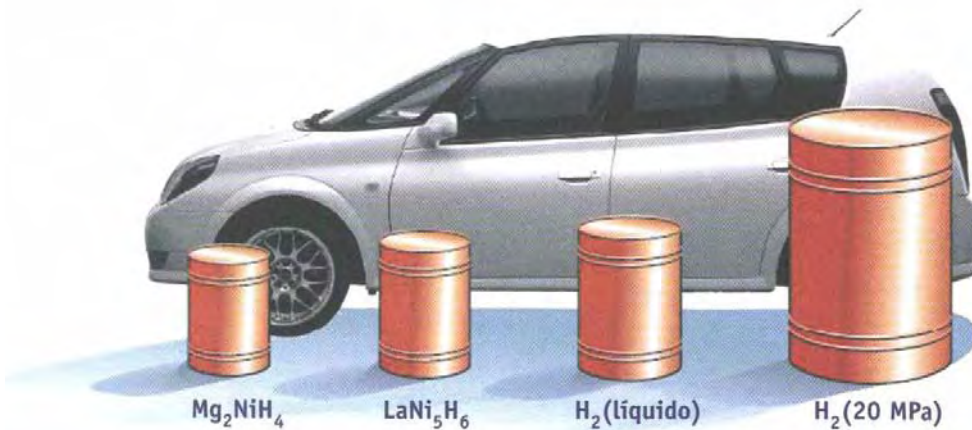


Figura 7.6. Volumen que ocupan 4 kg de hidrógeno almacenados en diferentes formas /tamaños relativos a un coche real). Fuente: Schlapbach and A. Züttel, 2001.

A pesar de los avances logrados, todavía no se ha conseguido desarrollar un sistema de almacenamiento de hidrógeno a bordo, en contenedores seguros, ligeros y económicos, que proporcione a los vehículos de hidrógeno una autonomía similar a la de los modernos vehículos de gasolina o gasóleo.

Como solución transitoria, algunas marcas de automóviles han optado por incorporar a los vehículos un reformador que extrae el hidrógeno de otros combustibles primarios, como el metanol o la gasolina, más fáciles de almacenar y que ocupan menos volumen. Aunque el empleo de estos reformadores presenta claras desventajas: incrementan el coste de fabricación de los vehículos y agregan un peso extra al motor que reduce su potencia y disminuye su eficiencia total cerca de un 50%.

Para solventar estos problemas, se están desarrollando *células de combustible* capaces de utilizar indistintamente hidrógeno y otros combustibles fácilmente disponibles, sin necesidad de reformador. Pero, en cualquier caso, la utilización de combustibles hidrocarbonados, como la gasolina, anula la mayor parte del beneficio ambiental del hidrógeno, ya que generan CO₂ y otros gases contaminantes que son emitidos a la atmósfera desde el escape de los vehículos.

A una presión de 200-350 bares, el hidrógeno continúa ocupando muchísimo espacio: por cada kilogramo de hidrógeno comprimido se necesitan más de 60 l de capacidad de depósito.

Se han desarrollado nuevos materiales, como los composites de fibra de carbono con polímeros o aluminio, que permiten almacenar hidrógeno a presiones de hasta 700 bares y embarcar mayor cantidad con menos volumen.



7.5. ¿CÓMO SE UTILIZA EL HIDRÓGENO EN LOS VEHÍCULOS?

Existen dos formas posibles para que un vehículo emplee hidrógeno como combustible. En la primera de ellas, el hidrógeno arde en presencia del oxígeno del aire en un *motor de combustión interna*. La eficiencia de esta transformación de energía química en energía mecánica a través de la generación de energía térmica está limitada por la eficiencia de Carnot y es, aproximadamente, el 25%.

Combustión del hidrógeno:



La NASA prueba el BMW Hydrogen 7, habiendo finalizado un período de dos meses de prueba por parte de la NASA con el BMW Hydrogen 7, el primer sedán de lujo propulsado con hidrógeno.

El acuerdo entre NASA y BMW, intensificará las investigaciones con el hidrógeno líquido como combustible, que también impulsa a los transbordadores espaciales en su fase de despegue.

El personal de la NASA usó un grupo de vehículos Hydrogen 7, que fueron reabastecidos en las mismas instalaciones de Cabo Cañaveral, en Florida, aunque el Hydrogen 7 lleva un motor dual que lo mismo puede funcionar con gasolina, comprobando que las emisiones del sedán de hidrógeno son las más puras que se pueden encontrar en todo el mercado emergente de coches híbridos y nuevos combustibles. El valor de emisiones virtualmente es cero, con nada más que vapor de agua.



En la segunda de ellas, el hidrógeno es “quemado” electroquímicamente con el oxígeno del aire en una pila de combustible, que produce electricidad (y calor) y hace funcionar un motor eléctrico.

En este segundo caso, el proceso de transferencia de electrones desde el oxígeno al hidrógeno no está limitado por el ciclo de Carnot, por lo que una *pila de combustible* puede alcanzar una eficiencia del 50-60%, es decir, dos veces mayor que la de una de combustión interna. Además las pilas de combustible pueden utilizarse como sistemas cogeneradores de calor y electricidad si el calor residual generado por

la reacción electroquímica de estos dispositivos se captura y se utiliza, por ejemplo, para calentar el vehículo. Con esta capacidad de co-
generación el rendimiento total de la pila podría alcanzar el 80-85%.

Una **célula de combustible** o **celda de combustible** es un dispositivo electroquímico de conversión de energía similar a una batería, pero se diferencia de esta última en que está diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos; es decir, produce electricidad de una fuente externa de combustible y de oxígeno en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía que posee una batería. Además, los electrodos en una batería reaccionan y cambian según como esté de cargada o descargada; en cambio, en una celda de combustible los electrodos son catalíticos y relativamente estables.

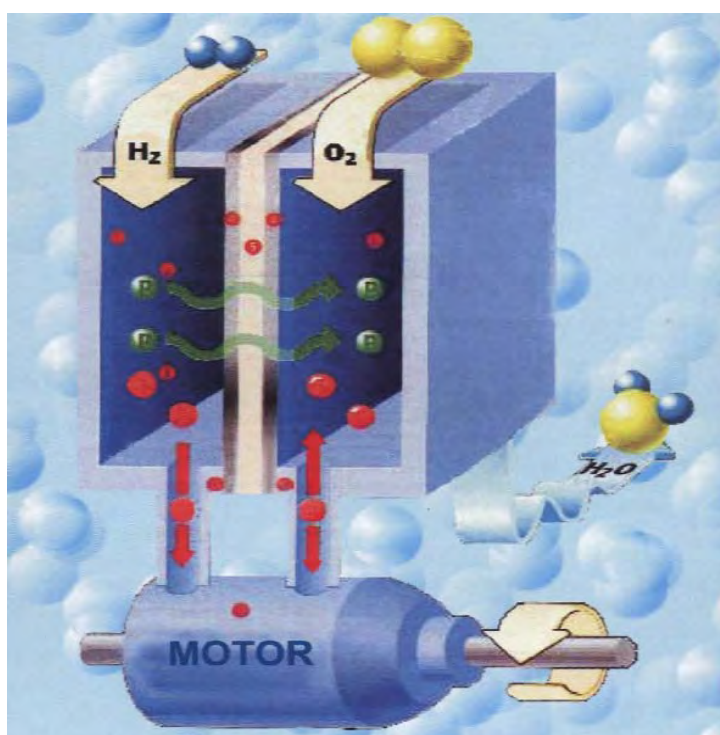
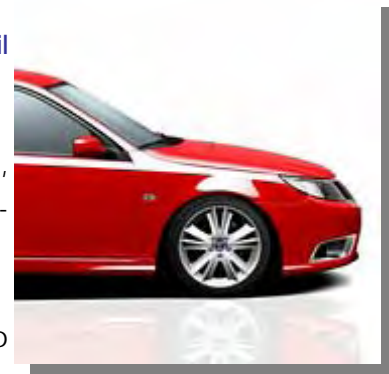


Figura 7.7. Esquema de funcionamiento de una pila de combustible.

Los reactivos típicos utilizados en una celda de combustible son hidrógeno en el lado del ánodo y oxígeno en el lado del cátodo (si se trata de una celda de hidrógeno).

Existen diferentes tipos de pilas de combustible con distintas características de operación (temperatura de trabajo, combustible utilizado, etc.), aunque su clasificación atiende al tipo de electrolito que emplean:



- Pilas de combustible poliméricas (PEMFC).
- Pilas de combustible alcalinas (AFC).
- Pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC).
- Pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC).
- Pilas de combustible de óxidos sólidos (SOFC).

En la Tabla 7.3 se resumen las principales características de los distintos tipos de pilas de combustible.

Tabla 7.3. Principales características de las pilas de combustible.

Tipo de pila	Electrolito	Tª trabajo	Combustible	Ventajas	Aplicaciones
PEMFC	Membrana de polímero sólido	60 - 80 °C	Hidrógeno	Baja Tª Arranque rápido Baja corrosión y mantenimiento	Transporte Portátiles Residencial
AFC	Solución alcalina	100 - 120 °C	Hidrógeno	Mayor eficiencia Reacción catódica más rápida	Espaciales
PAFC	Ácido fosfórico	200 - 250 °C	Hidrógeno Gas natural	Acepta H ₂ con 1% CO	Generación eléctrica distribuida
MCFC	Carbonatos fundidos	600 - 700 °C	Gas natural	Reformado interno Cogeneración	Generación eléctrica
SOFC	Material cerámico	800 - 1000 °C	Gas natural	Reformado interno Cogeneración	Generación eléctrica

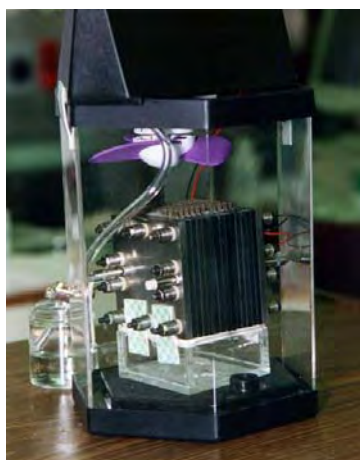


Foto 7.3. Pila de hidrógeno de laboratorio.

En el ejemplo típico de una célula de membrana intercambiadora de protones (o electrolito polimérico) hidrógeno/oxígeno de una celda de combustible (PEMFC, *proton exchange membrane fuel cell*), una membrana polimérica conductora de protones (el electrolito) separa el lado del ánodo del lado del cátodo.

En el lado del ánodo, el hidrógeno que llega al ánodo catalizador se disocia en protones y electrones. Los protones son conducidos a través de la membrana al cátodo, pero los electrones están forzados a

viajar por un circuito externo produciendo energía ya que la membrana está aislada eléctricamente. En el catalizador del cátodo, las moléculas del oxígeno reaccionan con los electrones, conducidos a través del circuito externo, y protones para formar el agua. En este ejemplo, el único residuo es vapor de agua o agua líquida.



Reacciones que tienen lugar en una pila de combustible

Ánodo $\text{H}_2 - 2 \text{e}^- \leftrightarrow 2 \text{H}^+$

Cátodo $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}$

Reacción global $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}$

Además de hidrógeno puro, también se tiene el hidrógeno contenido en otras moléculas de combustibles, incluyendo el diésel, el metanol (véase DMFC) y los hidruros químicos. El residuo producido por este tipo de combustibles, además de agua, es dióxido de carbono, entre otros.

Una celda de combustible típica produce aproximadamente 0,8 voltios; para crear suficiente voltaje, las celdas se agrupan combinándolas en serie y en paralelo, en lo que en inglés se denomina "Fuel Cell Stack" (pila de células de combustible). El número de celdas usadas es generalmente superior a cuarenta y cinco y varía según el diseño.

En las pilas de combustible en las que se utiliza hidrógeno, el único residuo emitido a la atmósfera es vapor de agua.

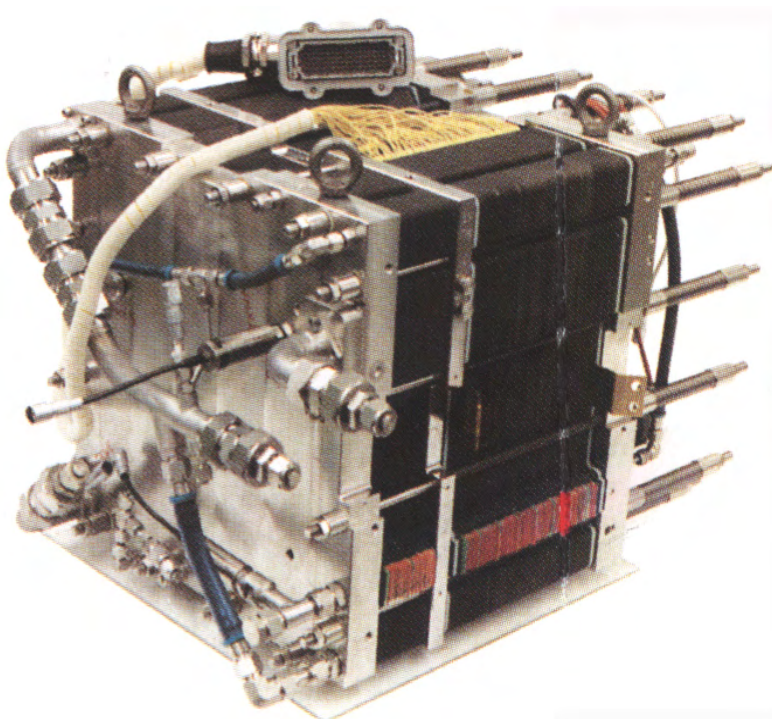


Figura 7.8. Pila de combustible de un autobús de pasajeros.



De acuerdo con lo anteriormente expuesto, las pilas de combustible de hidrógeno se caracterizan por su alta eficiencia y por la emisión cero de contaminantes. Son, además, dispositivos muy simples y de funcionamiento silencioso porque carecen de partes móviles, habiéndose estimado que el nivel de ruido a 30 m de una pila de combustible de tamaño medio es únicamente de 55 decibelios. Asimismo, es de destacar que operan a temperaturas y presiones bajas -debe tenerse en cuenta que en un vehículo de combustión interna se alcanzan temperaturas de mas de 1.400 °C, mientras que las pilas de combustible funcionan en un rango de 180 °C < a 750 °C-.

7.6. VEHÍCULOS DE HIDRÓGENO Y ESTACIONES DE SERVICIO

La primera estación de reabastecimiento de hidrógeno como combustible fue abierta en Reykjavík, Islandia, en abril de 2003. Esta estación abastece a tres autobuses construidos por DaimlerChrysler, y que



Foto 7.4. Pila de combustible en un turismo.

prestan servicio en la red de transporte público de Reykjavík. La propia estación produce el hidrógeno que necesita gracias a una unidad electrolizadora, y no necesita ser abastecida externamente: los únicos suministros necesarios son electricidad y agua.

Recientemente, se han llevando a cabo varios proyectos europeos de demostración, entre los que cabe destacar el denominado CUTE3 (*Clean Urban Transport for Europe*), que consiguió poner en

servicio, en condiciones reales, una flota de veintisiete prototipos de autobuses de hidrógeno, limpios y silenciosos, en las redes de transporte público de nueve ciudades europeas entre las que se encuentran Amsterdam, Barcelona, Estocolmo, Hamburgo, Londres, Luxemburgo, Madrid, Oporto y Stuttgart. Dicho proyecto comenzó en el año 2001 y en mayo de 2003, una vez concluida la construcción de las infraestructuras de suministro necesarias, Madrid fue la primera ciudad europea en contar con tres autobuses de hidrógeno en su red de transporte público.

Otro proyecto de demostración similar llamado CITYCELL (2002-2006) se desarrolló en cuatro ciudades europeas -Madrid, París, Turín y Berlín- y también tenía como objetivo demostrar la viabilidad y las ventajas del hidrógeno como combustible para el transporte público urbano.



Foto 7.5. Estación de repostaje de hidrógeno en la EMT.

Asimismo, el proyecto ECTOS4 (*Ecological City Transport System*), en Reykjavik, ha permitido que tres autobuses circulen y estén abastecidos por hidrógeno producido a partir de energías renovables.

Hay numerosos prototipos y modelos de coches y autobuses basados en la tecnología de celdas de combustible. Las empresas de automoción siguen investigando y ya han llegado a fabricar algunos modelos prototipos compañías como DaimlerChrysler, Ballard Power Systems, Ford, Volvo, Mazda, General Motors, Honda, BMW, Hyundai, Nissan, etc., entre muchas otras. Según la industria del automóvil se espera que los primeros vehículos comerciales estén disponibles en el 2010.



Foto 7.6. Sistema de llenado del depósito.



7.7. VENTAJAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE EN AUTOMOCIÓN

Los vehículos de pila de combustible tienen una autonomía mayor que los de baterías, aunque los prototipos no pueden aun compararse con los vehículos convencionales de gasolina o gasóleo. No obstante, los vehículos de pila de combustible de hidrógeno ofrecen diversas ventajas con respecto a los motores de combustión interna de hidrógeno o las pilas de otros combustibles distintos:

- **Eficiencia:** los automóviles de pilas de combustible han demostrado eficiencias muy elevadas al funcionar con hidrógeno en comparación con los motores de combustión interna y las pilas de combustible acopladas con reformadores de metanol o gasolina a bordo.
- **Emisiones de CO₂ y seguridad energética:** los vehículos de pilas de combustible alimentados por hidrógeno son los que más ventajas presentan en relación con los motores de combustión interna del futuro y con los vehículos de pilas de combustible que utilizan otros combustibles, especialmente en el contexto de una transición al hidrógeno renovable a plazo más largo.

Las emisiones de CO₂ en los vehículos con pila de combustible no existen.



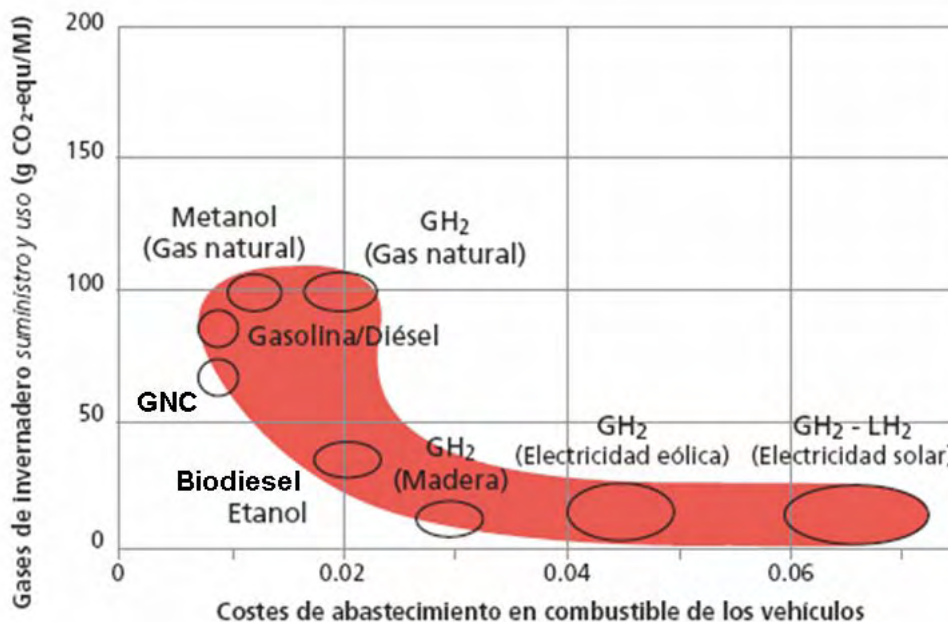
Foto 7.7.

- **Emisiones reguladas:** los automóviles de pilas de combustible tienen unas emisiones muy bajas, e incluso nulas en el punto de utilización cuando están alimentadas por hidrógeno.



- **Energía:** las pilas de combustible de los automóviles pueden suministrar la electricidad a bordo con un elevado rendimiento. De esta forma los automóviles de pilas de combustible podrían producir energía para el hogar, la oficina o zonas apartadas.
- **Prestaciones y cualidades:** los vehículos de pilas de combustible y de hidrógeno podrían ofrecer cualidades similares o mejores en cuanto a prestaciones.
- **Congestión:** los vehículos silenciosos podrían entregar mercancías de noche, aliviando el tráfico durante el día.
- **Comodidad:** los vehículos de pilas de combustible tienen una marcha muy suave y emiten escaso ruido.

En la siguiente figura se indican los costes relativos del hidrógeno, como combustible para el transporte, y los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de energía aportada por distintos combustibles, entre ellos el hidrógeno comprimido y líquido, producidos por diferentes vías.



En algunos casos podría entregarse el hidrógeno (p.e., mediante reformado a gran escala del gas natural) a un coste comparable o por debajo del de los combustibles fósiles impuestos incluidos, y a un coste competitivo con el de otros combustibles alternativos.

Figura 7.9. Emisiones específicas de gases de invernadero – Suministro y uso – en función de los costes de suministro de combustible al vehículo.

Los niveles de gases de efecto invernadero incluyen los liberados en la producción del combustible y durante su combustión completa en condiciones ideales.



Como puede apreciarse, los costes del hidrógeno entregado al usuario final serán generalmente superiores a los costes de las opciones de combustibles fósiles actuales (excluyendo los impuestos sobre el combustible).

La introducción prudente del hidrógeno ocasionaría una reducción de los costes externos asociados a la conversión de energía en la generación de electricidad y el transporte, a causa de la disminución de la contaminación atmosférica y de las repercusiones sobre la salud asociadas a ella y la mitigación de las situaciones meteorológicas extremas debidas al cambio climático resultante de las emisiones de gases de invernadero. Las emisiones de estos gases asociadas al hidrógeno producido a partir de fuentes primarias renovables son en general muy bajas, pero no necesariamente nulas, ya que incluyen ciertas emisiones asociadas al consumo de energía de fuentes convencionales, por ejemplo en la compresión, licuefacción, distribución y almacenamiento del hidrógeno.

El elevado rendimiento de conversión de las pilas de combustible podría reducir más aún la distancia entre los combustibles fósiles convencionales y el hidrógeno.

Además, los beneficios del hidrógeno desde el punto de vista ambiental podrían ser importantes en términos económicos, especialmente si se considera la posibilidad de que las emisiones a partir de fuentes renovables sean nulas.

7.8. RETOS PARA LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

- **Coste:** salvo en aplicaciones particulares como la generación de energía de reserva para las grandes instituciones financieras, las pilas de combustible suelen ser hoy demasiado caras para su introducción comercial.
- **Duración:** algunos sistemas de pilas de combustible han sido demostrados durante miles de horas, pero la mayoría aún debe ser sometida a prueba.
- **Fiabilidad:** es preciso someter a prueba no solamente las pilas de combustible, sino también los equipos auxiliares, tales como los procesadores de combustible.
- **Novedad:** en la mayor parte de los mercados conservadores, cualquier tecnología nueva requiere un apoyo significativo para poder competir.



- Hacen falta **avances tecnológicos** decisivos para mejorar simultáneamente las prestaciones, la fiabilidad y el coste de las pilas de combustible.
- **Infraestructura:** todavía no se dispone de una red de repostaje, de procesos de fabricación a gran escala ni de infraestructuras de apoyo tales como personal formado para los sistemas de pilas de combustible.

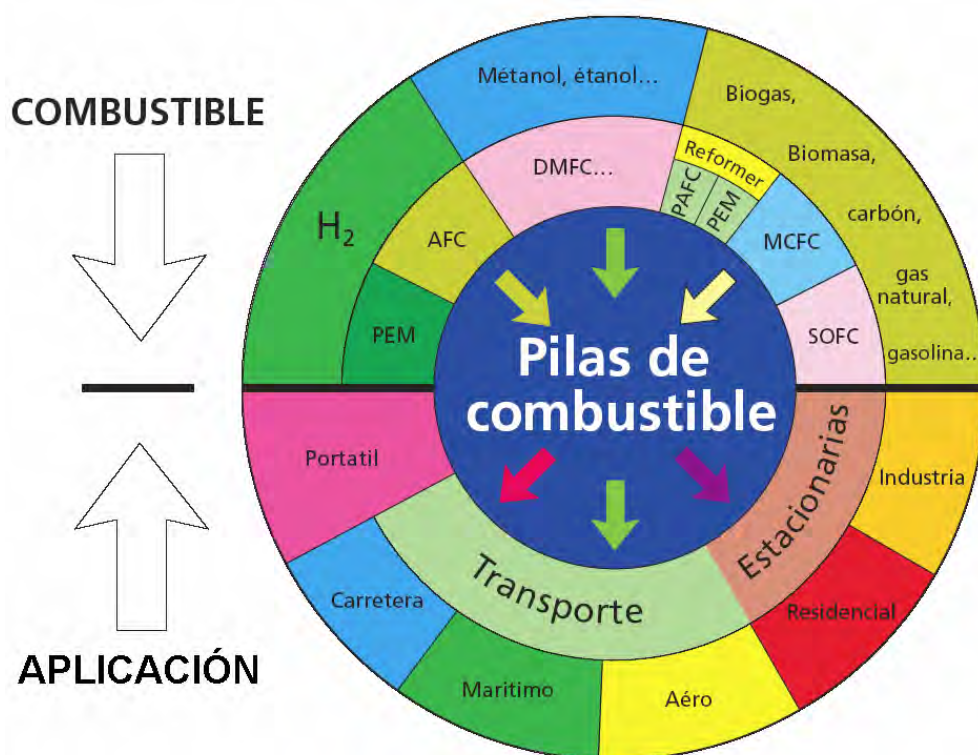


Figura 7.10. Tecnologías de pilas de combustible: posibles combustibles y aplicaciones.

La introducción del hidrógeno como vector energético, al lado de la electricidad, permitiría a Europa explotar recursos que se adaptan mejor a las circunstancias regionales.



8

CONDUCCIÓN ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE VEHÍCULOS



8.1. ¿QUÉ ES LA CONDUCCIÓN EFICIENTE?

Para contribuir a la reducción del consumo de energía en el sector transporte, el primer paso es la mayor utilización de los modos de transporte más eficientes (tren y autobús para viajes interurbanos y marcha a pie, bicicleta y transporte público en medio urbano).

Complementariamente, es muy importante saber que aun utilizando el coche para desplazamientos se pueden lograr grandes ahorros de energía y emisiones contaminantes.



Foto 8.1.

La evolución tecnológica ocurrida a lo largo de los últimos años ha modificado en gran medida el diseño de los vehículos y se han introducido importantes modificaciones en el motor y en los distintos sistemas destinados a aumentar su rendimiento, reduciendo su consumo de carburante y sus emisiones. Estas mejoras tecnológicas demandan al conductor un nuevo estilo de conducción acorde con ellas, aprovechando todas las ventajas que ofrecen los motores modernos. A este nuevo estilo de conducción se le denomina **conducción eficiente**.



La conducción eficiente de vehículos consiste en una serie de técnicas que, unida a una adecuada actitud del conductor, dan lugar a un nuevo estilo de conducción que logra importantes ahorros de carburante y la reducción de emisiones al medio ambiente, así como una mejora en la seguridad.

8.2. VENTAJAS DE LA CONDUCCIÓN EFICIENTE

La conducción eficiente ofrece las siguientes ventajas:

La conducción eficiente permite conseguir un ahorro medio de combustible y de emisiones de CO₂ del orden del 15%.

- **Ahorro de energía:** el conductor, con su comportamiento, tiene una gran influencia sobre el consumo de carburante del vehículo, dando lugar a ahorros medios de carburante del 15%. Esto supone un considerable ahorro energético para la Región, mejorándose además la balanza de pagos a nivel nacional y reduciéndose la dependencia energética del exterior.

- **Ahorro económico:** el carburante supone la principal partida en los gastos que genera la actividad de un vehículo. Una mayor eficiencia en el consumo de carburante incidirá en un ahorro de costes y, por tanto, en un mayor beneficio económico para el propietario.

- **Ahorro en mantenimiento:** el efecto de reducción de consumo está asociado no sólo a un menor coste en carburante, sino también a un menor coste en mantenimiento del vehículo, ya que las nuevas pautas a seguir provocan que los distintos sistemas del vehículo (frenos, embrague, caja de cambios, motor, etc.) estén sometidos a un esfuerzo inferior al que soportarían en el caso de conducción convencional.

- **Reducción de emisiones:** la reducción del consumo de carburante a través de la puesta en práctica de la conducción eficiente va ligada a una reducción de las emisiones de CO₂ y de contaminantes al medio ambiente. Con la reducción de emisiones de CO₂ lograda por la conducción eficiente se contribuye a la resolución de los problemas del calentamiento de la atmósfera y al cumplimiento de los acuerdos internacionales en esta materia.

Eficiencia Energética

Marca Modelo Tipo Carburante Transmisión	X Y Gasolina Manual
Consumo de carburante (litros por cada 100 kilómetros) Equivalencia (kilómetros por litro) Emisión de CO ₂ (gramos por kilómetro)	6 litros/100 km 16,7 km/litro 144 g/km
Comparativa de consumo (con la media de los coches de su mismo tamaño a la venta en España)	
Bajo consumo	
<-25% A	
-15-25% B	B
-5-15% C	
media D	
+5-15% E	
+15-25% F	
>25% G	
Alto consumo	

* En todos los puntos de venta puede obtenerse gratuitamente una guía sobre el consumo de combustible y emisiones de CO₂ en la que figuran los datos de todos los modelos de automóviles de turismo nuevos.

* El consumo de combustible y las emisiones de CO₂ no sólo dependen del rendimiento del vehículo; también influyen el comportamiento al volante y otros factores no técnicos. El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero responsable del calentamiento del planeta.



- **Reducción del riesgo de accidentes:** la conducción eficiente incrementa la seguridad en la conducción, ya que estas técnicas de conducción están basadas en la previsión y en la anticipación.
- **Aumento del confort en la conducción:** además de todos los sistemas de mejora del confort que incorporan los vehículos modernos, se puede hacer que el viaje sea aún más cómodo mediante la nueva conducción eficiente.

8.3. REGLAS PRINCIPALES DE LA CONDUCCIÓN EFICIENTE

La conducción eficiente se podría resumir en las siguientes reglas:

1. Arranque y puesta en marcha:

- Arrancar el motor sin pisar el acelerador.
- En los motores de gasolina, iniciar la marcha inmediatamente después del arranque.
- En los motores diésel, esperar unos segundos antes de comenzar la marcha.

2. Primera marcha:

- Usarla sólo para el inicio de la marcha, y cambiar a 2ª a los 2 segundos o 6 metros aproximadamente.

3. Aceleración y cambios de marchas:

- Según las revoluciones:
 - En los motores de gasolina: entre las 2.000 y 2.500 r/min.
 - En los motores diésel: entre las 1.500 y 2.000 r/min.
- Según la velocidad:
 - 3ª marcha: a partir de unos 30 km/h.
 - 4ª marcha: a partir de unos 40 km/h.
 - 5ª marcha: por encima de unos 50 km/h.
- Después de cambiar, acelerar ligeramente.

La conducción eficiente es un estilo de conducción impregnado de tranquilidad y sosiego que reduce las tensiones y el estado de estrés producido por el tráfico al que están sometidos los conductores.





4. Utilización de las marchas:

- Circular lo más posible en las marchas más largas y a bajas revoluciones.
- En ciudad, siempre que sea posible, utilizar la 4ª y la 5ª marcha, respetando los límites de velocidad.

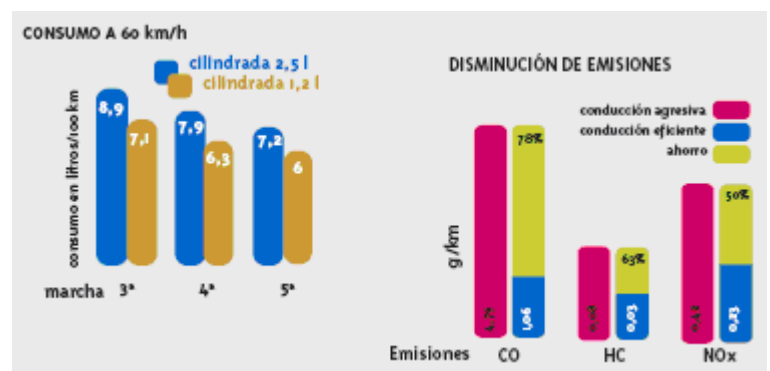
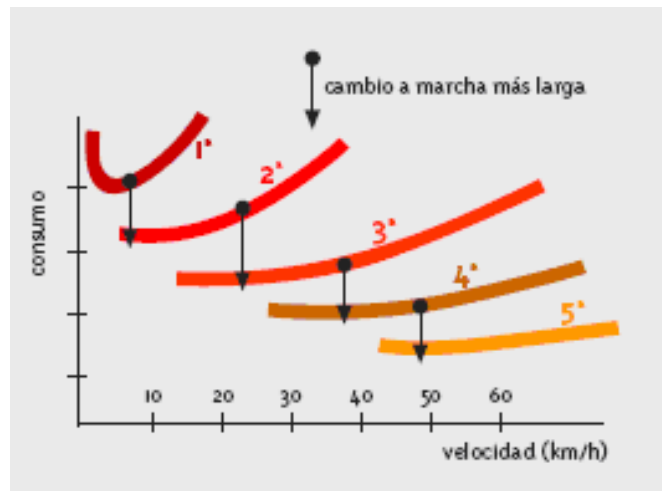


Figura 8.1. Consumo en función de la velocidad para las diferentes marchas de la caja de cambios. (Fuente: IDAE).

5. Velocidad de circulación:

- Mantenerla lo más uniforme posible; buscar fluidez en la circulación, evitando todos los frenazos, aceleraciones, y cambios de marchas innecesarios.

6. Deceleración:

- Levantar el pie del acelerador y dejar rodar el vehículo con la marcha engranada en este instante, sin reducir.

- Frenar de forma suave y progresiva con el pedal de freno.
- Reducir de marcha lo más tarde posible.



7. Detención:

- Siempre que la velocidad y el espacio lo permitan, detener el coche sin reducir previamente de marcha.

8. Paradas:

- En paradas prolongadas, de más de unos 60 segundos, es recomendable apagar el motor.

9. Anticipación y previsión:

- Conducir siempre con una adecuada distancia de seguridad y un amplio campo de visión que permita ver 2 ó 3 coches por delante.
- En el momento que se detecte un obstáculo o una reducción de la velocidad de circulación en la vía, levantar el pie del acelerador para anticipar las siguientes maniobras.



10. Seguridad:

- En la mayoría de las situaciones, aplicar estas reglas de conducción eficiente contribuye al aumento de la seguridad vial. Pero obviamente existen circunstancias que requieren acciones específicas distintas para que la seguridad no se vea afectada.

Además de lo indicado, resultan de suma importancia tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- A **velocidades altas**, por encima de unos 100 km/h, el consumo se multiplica. Es clave moderar la velocidad para mejorar además la seguridad en las carreteras.
- Los **accesorios exteriores** aumentan la resistencia del vehículo al aire y, por consiguiente, incrementan el consumo de carburante. No es recomendable transportar objetos en el exterior del vehículo, si no es estrictamente necesario.





- El uso de **equipos auxiliares** aumenta significativamente el consumo de carburante, siendo el aire acondicionado el de mayor influencia. Es, por lo tanto, recomendable utilizarlos con moderación.
- Para conseguir una sensación de bienestar en el coche, se aconseja mantener la temperatura interior del habitáculo en torno a 23-24 °C. Es recomendable utilizar el **aire acondicionado** sólo lo imprescindible ya que su uso aumenta hasta un 20% el consumo.
- El conducir con las **ventanillas bajadas** provoca una mayor resistencia al movimiento del vehículo y, por lo tanto, mayor esfuerzo del motor y mayor consumo.
- Para ventilar el habitáculo, lo más recomendable es utilizar de manera adecuada la circulación forzada de aire del vehículo.
- El **peso** de los objetos transportados en el vehículo y el de sus ocupantes influye sobre el consumo de manera apreciable, sobre todo en los arranques y periodos de aceleración. Una mala distribución de la carga afecta además a la seguridad y aumenta los gastos por mantenimiento y reparación.
- El **mantenimiento** del vehículo influye en el consumo de combustible. Será especialmente importante el buen estado del motor, el control de niveles y filtros, y sobre todo una presión adecuada de los neumáticos. La presión y el estado de los neumáticos son además fundamentales para la seguridad de su vehículo.
- Por último, no hay que olvidar realizar las **revisiones periódicas** del vehículo establecidas por el fabricante, ya que garantizan que se encuentra en el estado idóneo para circular.

9

BIBLIOGRAFÍA



- AOP (2006): "Transporte y Energía". VII Jornadas de AOP sobre el Marco Institucional de la Industria Petrolera. Bilbao.
- BANCO PÚBLICO DE INDICADORES AMBIENTALES DEL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE.
- BAREA MARTÍNEZ, E.M. (2007): "Interés medioambiental del almacenaje de hidrógeno en medios de automoción". III Premio Carrefour de Medio Ambiente. Carrefour.
- BALLESTER M. (2003): "Biocombustibles para el transporte". CIEMAT - Departamento de Energías Renovables.
- CALIFORNIA ENERGY COMMISSION (2006): "A Student's Guide to Alternative Fuel Vehicles".
- Centro de Investigación del Transporte (TRANSyT) (2006): "Observatorio de la movilidad metropolitana. Informe junio 2006". Universidad Politécnica de Madrid. Ministerio de Fomento y Ministerio de Medio Ambiente.
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (2001): "LIBRO BLANCO: La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad". Bruselas.
- COMISIÓN EUROPEA (2003): "La energía del hidrógeno y las pilas de combustible. Una visión para nuestro futuro". Dirección General de Investigación, Dirección General de Energía y Transportes.
- COMUNIDAD DE MADRID (2004): "Plan energético de la Comunidad de Madrid 2004-2012". Consejería de Economía e Innovación Tecnológica.
- COMUNIDAD DE MADRID (2004): "Cómo ahorrar combustible en su vehículo". Consejería de Economía e Innovación Tecnológica.
- COMUNIDAD DE MADRID (2005): "El Recorrido de la Energía. El Hidrógeno". Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica.



- COMUNIDAD DE MADRID (2007): "Estrategia de calidad del aire y cambio climático en la Comunidad de Madrid, 2006-2012. PLAN AZUL". Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- COMUNIDAD DE MADRID (2006): "Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol". Colección vt. CEIM. Dirección General de Universidades e Investigación.
- CUADERNOS DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA TODOS (2006). Edit. Merino, L., Mosquera, P.
- CHEMET, S.A.: "Información Técnica".
- Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros carburantes renovables en el transporte.
- DRESSER – WAYNE PIGNONE: "Información Técnica".
- FERRERO F. M. (2004): "Desarrollo de las Energías Renovables y Sostenibilidad". POWER EXPO 2004. BIOCARBURANTES.
- FLÜSSIGASS – ANGALEN GMBH: "Información Técnica".
- IDAE (2006): "Guía para la gestión del combustible en las flotas del transporte por carretera".
- IDAE (2006): "Boletín IDAE. Eficiencia Energética y Energías Renovables (Nº 8)". Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- IDAE (2007): "Guía práctica de la energía". 2ª edición.
- IHOBE (2005): "Estado del Medio Ambiente en la Comunidad Autónoma del País Vasco 2004. Capítulo 7: Transporte". Gobierno Vasco.
- Luque Berrueto, R. (2005): "Hidrógeno y pilas combustibles: las claves". Boletín Electrónico del IADE, nº 20, Noviembre.
- MOTOR GLP, S.A.U.: "Información Técnica".
- REPSOL: "AUTOGAS: La opción más inteligente para el combustible de flotas de vehículos comerciales".



- Robusté, F., Campos J. M., et al. (2003): « Libro Verde del Transporte en España ». Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales Y Puertos. Comisión de Transportes. Madrid.
- Secretaría de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa (2003): "Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012: E4". Ministerio de Economía.
- Secretaría de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa (2005): "Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012: Plan de Acción 2005-2007". Ministerio de Economía.
- Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático (2005): "Perfil Ambiental de España 2005". Ministerio de Medio Ambiente.
- Strelow, H. (2006): "Passenger transport in the European Union". Statistic in focus. European Communities.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY HYDROGEN PROGRAM: "Hydrogen Fuel Cells".
- WOLF ECOSEGUI (2006): "Biodiesel. Ventajas de su utilización en el sector transporte". Ciclo de conferencias sobre la eficiencia energética en los sectores residencial y transporte. ARGEM.
- www.aop.es
- www.appa.es
- www.biodieselpain.com
- www.consumer.es
- www.ebb-eu.org
- www.eere.energy.gov
- www.energias-renovables.com
- www.energy.gov/energyefficiency/transportation.htm



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency

Intelligent Energy  Europe

www.fenercom.com



Dirección General de Industria,
Energía y Minas
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y CONSUMO

Comunidad de Madrid

www.madrid.org

