

Contenido

Combustibles alternativos al diésel.	3
Gas licuado del petróleo (GLP)	3
Gas natural.	3
Ventajas e inconvenientes del uso del gas natural como combustible.	5
Biocarburantes.....	5
Biodiesel.	6
Bioetanol.....	7
Biogás.	7
Vehículos con batería.....	8
Tipos de batería	8
Recarga en las paradas de autobús.....	8
Recarga inductiva dinámica.....	10
Ventajas e inconvenientes de los autobuses eléctricos.....	10
Trolebús.....	11
Hidrógeno (H ₂).	11
Vehículos con pila de combustible.....	11
Pilotos.....	12
Motores de combustión interna de hidrógeno	13
Normativa.....	13
Reglamento de emisiones GEI procedentes de los sectores difusos, como el transporte	13
Emisiones contaminantes.....	14
Medida y registro de las emisiones.	15
Emisiones medidas mediante equipos embarcados.....	15
Radares para medir emisiones	16

Combustibles alternativos al diésel.

El sector del transporte por carretera ocupa un lugar relevante en el consumo de productos petrolíferos. Actualmente los autobuses y camiones utilizan mayoritariamente el diésel como combustible, aunque existen bastantes iniciativas de cambio a Gas, menos a electricidad y puntualmente a hidrógeno.

A continuación se describen los sistemas de propulsión con combustibles alternativos al diésel, que actualmente son el GLP, el gas natural y los biocarburantes. En los puntos siguientes se aborda la propulsión eléctrica y con hidrógeno.

Gas licuado del petróleo (GLP)

El GLP, o gas licuado de petróleo, es una mezcla de propano y de butano. La proporción de ambos gases varía en función del país y del tipo de vehículo; en España el GLP de automoción para vehículos turismo tiene normalmente una composición volumétrica de 30% de propano y 70% de butano, mientras que el GLP para vehículos monocombustible, tiene 70% de propano y 30% de butano. Los GLP se extraen a partir de los procesos de refino (45% de la producción mundial de GLP en los últimos 2 años) y de los yacimientos de gas natural húmedo (55% restante).

Los vehículos a GLP son similares a sus equivalentes de gasolina, pero difieren en los sistemas de almacenamiento y alimentación de combustible al motor. El GLP es un gas en condiciones normales de presión, pero se licua al someterlo a una presión relativamente baja (unos 10 bares). El almacenamiento del GLP en los vehículos se hace en estado líquido, aunque su combustión en el motor se realiza en estado gaseoso.

Los vehículos GLP presentan unas emisiones contaminantes de NOx, CO, HC y partículas inferiores a los de los carburantes convencionales (gasolinas y gasóleos) y unas emisiones de CO2 inferiores a los de gasolina y similares a las del gasóleo.

Los consumidores de GLP de automoción en España hasta ahora son vehículos de servicio público, principalmente taxis, pero también autobuses urbanos.

Gas natural.

El gas natural usado en la automoción está compuesto, mayoritariamente, por metano y es el mismo gas que el de la red de suministro con el que está familiarizada la mayoría de la gente para su uso doméstico en cocinas y calefacción. Concretamente, se compone de entre 83 y 98% de metano (según la procedencia), junto con otros gases, como son etano, propano y butano, principalmente. El gas natural es un combustible fósil extraído de yacimientos que no en todos los casos están asociados a los del petróleo. Es la energía de origen fósil que plantea el **menor impacto ambiental**, tanto por las propias características del producto, como por las tecnologías disponibles para su utilización. El biogás, equiparable al gas natural, procede de la digestión anaeróbica de materiales orgánicos, estando compuesto también mayoritariamente por metano

La mayoría de los vehículos a gas natural (VGN) funcionan con motores de combustión interna de encendido provocado con bujías (aunque los modelos de doble combustible emplean motores diésel) y son similares a los vehículos a gasolina, difiriendo de estos en los mecanismos de almacenamiento y alimentación del combustible. Dado que el gas natural no se licua por compresión, tiene que almacenarse en los vehículos como gas natural comprimido a alta presión (GNC), normalmente a 200 bares, o como gas natural licuado (GNL) por debajo de -160°C. El GNL puede ser más ventajoso en aquellos casos en que se necesite mayor autonomía en el vehículo y se disponga del combustible en esta fase líquida, como es el caso de España, donde más de la mitad de las entradas

de gas al sistema se producen en estado líquido. Sin embargo, es el GNC la opción más extendida a día de hoy.

El gas natural se aplica tanto a vehículos pesados (camiones y autobuses) como a ligeros (turismos). De forma general, en una fase inicial, hasta que exista una red de puntos de suministros razonable, el gas natural se introduce con más facilidad en flotas cautivas de vehículos pesados (autobuses urbanos y camiones de recogida de basuras), que realizan recorridos diarios y vuelven a la misma base, en donde se instala la infraestructura de carga.

Hay **tres tecnologías del gas natural** en la automoción: los VGN monocombustible, que emplean únicamente gas natural como carburante; los vehículos bicombustible, que pueden optar entre gas natural y gasolina; y los VGN a doble combustible, que funcionan con una mezcla de gas natural y gasóleo, cuyas proporciones relativas van cambiando en función de la velocidad del motor y de la carga.

Los motores a doble combustible se benefician de la mayor eficiencia de los motores diésel a cargas parciales. En este tipo de motores el gasóleo prende por compresión y actúa como ignición piloto para que se inflame el gas natural. A bajas cargas, por ejemplo cuando el motor está al ralentí, los motores a doble combustible funcionan mayoritariamente o totalmente con gasóleo, pero con cargas mayores utilizan una mezcla de ambos combustibles, hasta una proporción de 80-90% de gas natural a cargas altas.

Los vehículos propulsados por gas natural pueden considerarse bastante limpios, respecto a las emisiones atmosféricas que afectan a la salud humana, como el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx), los hidrocarburos (HC) y las partículas. Las emisiones tan reducidas de estos motores suponen una clara ventaja cuando los VGN sustituyen a los diésel, que es generalmente el caso de vehículos industriales. El metano es un importante gas de efecto invernadero. Los VGN monocombustible suelen llevar catalizadores de tres vías diseñados específicamente para oxidar y eliminar los niveles relativamente altos de metano libre que suelen emitir sus motores, evitando el efecto invernadero. Sin embargo, estos catalizadores no pueden instalarse en los VGN a doble combustible. Los VGN funcionando a cargas razonablemente altas tienen unas emisiones de CO₂ casi un 20% inferior a las de sus equivalentes de gasolina, y entre 5 y 10% en comparación con sus análogos diésel. En el ámbito urbano, sin embargo, debido al mejor rendimiento de los motores diésel a bajas cargas, esta ventaja de los VGN se ve invalidada, y las emisiones de CO₂ en este caso son similares en ambos motores.

El empleo de gas natural como carburante en España comenzó en la década de los años 90, con la introducción de la tecnología de gas natural comprimido (GNC) en las flotas de autobuses urbanos de varias ciudades españolas. Por el momento, Madrid, Barcelona, Sevilla, Málaga, Valencia, Burgos y Salamanca son las ciudades que ya hacen uso del gas natural comprimido en los servicios de transporte urbano de viajeros. Además, en Madrid, Alcobendas, Pozuelo, Barcelona, El Prat, Tarragona, Reus, Oviedo y Vigo, las empresas adjudicatarias de los servicios de recogida de basuras disponen actualmente de camiones a gas natural comprimido.

En España, la mayor parte del parque circulante a gas natural son camiones pesados. En 2017, el parque de vehículos que utilizan gas natural como combustible creció en un 68%.

En lo que respecta a los vehículos de gas natural matriculados en 2017, la cifra aumentó hasta las 5.745 unidades, un 146% más que el ejercicio anterior.

Ventajas e inconvenientes del uso del gas natural como combustible.

Ventajas:

- Es un combustible más económico que la gasolina o el diésel.
- Es una alternativa a corto y medio plazo, tal como demuestra la apuesta de la Comisión Europea para su desarrollo.
- Permite reducir la dependencia de los combustibles tradicionales como la gasolina y el diésel.
- Desde el punto de vista ambiental, es uno de los combustibles más “limpios”. Se consiguen importantes reducciones en las emisiones de NOx, CO y especialmente de partículas
- El gas natural presenta un nivel de emisiones que cumple la norma Euro 6.
- Existe compatibilidad con la tecnología diésel, especialmente con las tecnologías de motor para dos combustibles basadas en el GNL.
- Los motores de gas natural presentan un menor nivel de vibración y son más silenciosos que los vehículos convencionales.
- Existen grandes reservas naturales de gas.
- Los vehículos que utilizan este combustible pueden beneficiarse de las medidas que se apliquen en las zonas de bajas emisiones.
- El GNC es un combustible gaseoso más ligero que el aire, motivo por el que, en caso de fugas, se eleva sin formar acumulaciones peligrosas como sucede con los líquidos.
- El gas natural comprimido tiene una temperatura de ignición más elevada que la de los combustibles convencionales, lo que reduce el peligro de una inflamación accidental espontánea.

Inconvenientes:

- El gas natural genera menos emisiones de CO2 que el diésel pero emite niveles más altos de metano. Teniendo en cuenta el ciclo total de combustible de ambos, las emisiones globales de los gases de efecto invernadero son muy parecidas.
- La infraestructura de recarga está menos extendida que la tradicional.
- El precio del gas natural incorpora un impuesto especial.
- La colocación de los tanques de almacenamiento de gas natural exige refuerzos de la estructura de los vehículos y, por ese motivo, aumenta el peso del vehículo.
- En la actualidad, los vehículos con tecnología de combustibles alternativos presentan unos precios de compra superiores a las alternativas convencionales.
- La necesaria compresión o licuefacción del gas natural encarece los costes de explotación.
- La carga de este combustible es más lenta.
- La autonomía de un vehículo que funcione con gas natural es menor que uno que funcione con gasóleo. Sin embargo, las alternativas tecnológicas bifuel o para dos combustibles consiguen igualarlas o superarlas.

A día de hoy, el gas natural parece ser una buena opción en el corto plazo para sustituir a los combustibles más contaminantes en las flotas de transporte y el transporte público por su rendimiento y alto kilometraje.

Biocombustibles.

Los biocombustibles son aquellos combustibles producidos a partir de la biomasa y que son considerados, por tanto, una energía renovable. Los biocombustibles se pueden

presentar tanto en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) como líquida (bioalcoholes, biodiesel) y gaseosa (biogás, hidrógeno). Dentro de los biocombustibles, los biocarburantes abarcan al subgrupo caracterizado por la posibilidad de su aplicación a los actuales motores de combustión interna (motores diésel y gasolina). Son, en general, de naturaleza líquida. Los biocarburantes en uso proceden de materias primas vegetales, a través de reacciones físico-químicas. Los biocarburantes han alcanzado mucha relevancia en los últimos años.

Las razones principales para fomentar su uso son: la contribución a la seguridad del suministro energético y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, promueven un uso mayor de energías renovables y la diversificación de las economías agrícolas.

Los principales biocarburantes son el biodiésel y el bioetanol. El biodiésel es una alternativa al gasóleo, mientras que el bioetanol es un aditivo o sustituto de la gasolina. Los biocarburantes pueden usarse en todo tipo de vehículos, bien sean coches, furgonetas, autobuses, camiones o vehículos agrícolas.

Biodiesel.

El biodiesel puede emplearse como combustible único sustituyendo al gasóleo por completo o puede mezclarse con él en distintas proporciones en motores de encendido provocado (MEP) o diésel. Lo más frecuente es mezclarlo con gasóleo, siendo la mezcla habitual de un 5% de biodiésel y 95% de gasóleo.

Las propiedades físicas y químicas del biodiésel son muy similares a las del gasóleo, por lo que los motores diésel convencionales no necesitan modificaciones para poder utilizar mezclas al 5%.

El coste de producción de biodiésel a partir de semillas oleaginosas es sensiblemente más elevado que el gasóleo derivado de crudo. El biodiésel producido a partir de residuos vegetales oleaginosos se beneficia de los precios relativamente bajos de estos, lo que hace que su fabricación resulte económica con los incentivos fiscales actuales. Sin embargo, el suministro limitado de estos residuos y los problemas sobre la calidad del combustible producido pueden limitar la contribución que pudiera suponer el empleo de estas materias primas.

La ventaja principal de utilizar biodiésel como combustible de automoción es que reduce las emisiones netas de gases de efecto invernadero en comparación con el empleo de gasóleo fósil. En teoría, podría considerarse que el biodiésel es un combustible libre de CO₂, dado que el CO₂ emitido, cuando se quema, se absorbió inicialmente de la atmósfera durante el crecimiento de la cosecha oleaginosa. En la práctica, sin embargo, las reducciones de CO₂ a partir del biodiésel obtenido de cosechas oleaginosas quedan limitadas, porque el procesamiento de estas cosechas necesita un aporte de combustible fósil.

El biodiésel también reduce las emisiones de gases contaminantes, aunque las emisiones exactas de este biocarburante varían en función del tipo de vehículo diésel y de la especificación del combustible. Asimismo, el biodiésel se biodegrada fácilmente, lo que resulta realmente beneficioso en ciertos usos, como la propulsión de barcos en vías fluviales. Además, el biodiésel es una fuente europea de suministro de carburante, que hace a Europa menos dependiente de las importaciones de crudo.

Bioetanol.

Actualmente, Brasil y los EE.UU son los mayores productores del mundo de bioetanol como combustible de automoción, con la caña de azúcar y el maíz como materias primas, respectivamente. En Europa, el bioetanol se produce principalmente a partir de la remolacha azucarera o el trigo. España, Polonia y Francia dominan el sector europeo del bioetanol. Otros países como Suecia, Austria y Alemania, también participan de la producción europea de bioetanol.

Al igual que en la fabricación de biodiésel, las principales materias primas empleadas en la producción de etanol proceden de cosechas agrícolas que utilizan técnicas de cultivo convencionales, y que fomentan el desarrollo de economías rurales. El bioetanol se fabrica mediante la fermentación del azúcar, del almidón o de la celulosa. La elección de la materia prima depende de consideraciones técnicas y económicas.

El bioetanol puede emplearse mezclado con gasolina en una proporción de 5% de bioetanol y 95% de gasolina, no siendo necesaria la modificación del motor. Algunos fabricantes de vehículos especifican que la mezcla máxima de bioetanol con gasolina no debe exceder el 5% de bioetanol por volumen para no anular la garantía del vehículo, mientras que otros establecen un máximo del 10%. La producción actual de bioetanol, al igual que la de biodiésel, resulta bastante más cara que la de gasolina y gasóleo, respectivamente.

La ventaja principal de emplear bioetanol como carburante es que reduce las emisiones netas de gases de efecto invernadero en comparación con el uso de la gasolina. Aunque no hay que obviar que el proceso de producción de bioetanol demanda en sí una cantidad importante de energía. La sustitución de gasolinas por este biocarburante contribuye a reducir las emisiones globales de CO₂.

Biogás.

El biogás es un gas producido por un proceso metabólico de descomposición de materia orgánica mediante la acción de bacterias metano-génicas en ausencia de oxígeno; es decir, en un ambiente anaeróbico. A nivel industrial este gas se genera en digestores de estaciones depuradoras de aguas residuales y de vertederos de residuos sólidos urbanos.

Hasta ahora su uso mayoritario es en plantas de cogeneración para la producción simultánea de energía térmica y electricidad. Si del biogás se separa el CO₂ que contiene y otros gases minoritarios, como el ácido sulfhídrico, hasta aumentar la concentración en metano que tiene el gas natural, entonces puede emplearse en automoción como sustituto del propio gas natural

El empleo de biogás en automoción genera unas emisiones atmosféricas similares a las del gas natural. Sin embargo, considerando el ciclo de vida completo del biogás, las emisiones de CO₂ de éste son inferiores a las del gas natural, ya que se trata de un combustible renovable. Además, con el uso de este biocarburante en la automoción se asegura que el metano (un gas de efecto invernadero) que se genera en los vertederos y en las plantas depuradoras de aguas residuales se recoja y no escape a la atmósfera.

Suecia en 2004 tenía 779 autobuses con biogás. La operadora de transporte Reading Buses en Reino Unido puso en funcionamiento 17 nuevos autobuses Scania de alta gama y dos pisos a biogás. Pamplona y A Coruña tienen iniciativas de autobuses con biogás

Vehículos con batería.

Los vehículos eléctricos, al no tener emisiones atmosféricas en el punto de uso, son una alternativa a los vehículos de motor de combustión muy atractiva para zonas urbanas de mucho tráfico, donde la calidad del aire entraña problemas de salud. Un análisis completo de los beneficios medioambientales de los vehículos eléctricos ha de considerar las emisiones asociadas a la producción y suministro de la electricidad empleada para recargar las baterías. Estas emisiones, lógicamente, varían de un país a otro en función del modo de producir su electricidad (centrales térmicas de combustibles fósiles, energías renovables, etc.). En cualquier caso, la contaminación global asociada a estos vehículos es inferior a la de los vehículos con combustibles convencionales.

En el caso de transporte de viajeros, un autobús eléctrico es un autobús que utiliza un motor eléctrico como medio de propulsión. Los vehículos eléctricos se pueden agrupar en los totalmente eléctricos (trolebús), los alimentados por baterías, los que utilizan pilas de combustible y los vehículos híbridos.

Las baterías son el sistema de almacenamiento de la energía en los vehículos eléctricos, lo que equivale al combustible en vehículos con motor de combustión. Hasta el momento, las baterías presentan el inconveniente de su gran peso y baja autonomía

Tipos de batería

Las baterías de **plomo-ácido** se usaron por primera vez hace unos 170 años y siguen utilizándose en los vehículos eléctricos. Son económicas y fáciles de reciclar; sin embargo, tienen baja energía específica y baja densidad de energía, con lo que son grandes pesadas, y con una autonomía limitada.

Las baterías de **níquel-cadmio** (Ni-Cd o nicad) se han utilizado durante bastantes años. Tienen mayor energía específica (cerca de 55 W h/kg) y mayor densidad de energía que las baterías de plomo-ácido; sin embargo, debido a que el cadmio es un metal pesado contaminante, en el año 2002 una Directiva Europea prohibió la instalación de estas baterías en vehículos eléctricos nuevos a partir de finales del año 2005.

Las baterías de **níquel-metal-hidruro** tienen una energía de alrededor de 90 W h/kg y ciclos de vida útil muy largos. Son reciclables y relativamente benignas con el medioambiente, dado que el ánodo está hecho con una aleación de metales no pesados. Las baterías más pequeñas de níquel-metal-hidruro se están empleando actualmente en algunos vehículos híbridos.

Las baterías de iones de **litio** tienen una energía específica muy alta, de aproximadamente 150 W h/kg y ciclos muy largos de vida útil. Se han fabricado varios prototipos de vehículos eléctricos de batería de litio.

La mayoría de la producción de baterías se hace en Asia: especialmente en China, también en Japón y Corea del Sur.

Recarga en las paradas de autobús.

Los pantógrafos y colectores bajocarrocera se integran en las paradas de autobús para la recarga ultrarrápida del autobús, haciendo posible la utilización de una batería más pequeña, lo que reduce la inversión inicial, acercando el precio al de un autobús diésel. Los costes de mantenimiento suelen ser inferiores.

El modelo de autobuses eléctricos con capacidad de carga en línea está comenzando a funcionar en distintas ciudades como Valladolid, Irún, Pamplona, Sevilla, San Sebastian, Málaga, Madrid o Barcelona.

La Empresa Municipal de Transportes de Madrid (EMT) adjudicó el contrato de suministro de 35 autobuses eléctricos. La llegada de estos vehículos a la flota de EMT se producirá a lo largo del segundo semestre de 2019. En 2020, EMT sumará otros 20 vehículos estándar eléctricos a su flota hasta llegar a la cifra de 93 vehículos eléctricos, los mismos que tiene actualmente Londres.

La EMT ha instalado un sistema de recarga inductiva para autobuses eléctricos. El sistema permite la recarga propiciada por dos puntos de carga inductiva. Dichos puntos están situados en las dos cabeceras de la línea 76 de EMT. De esta manera, el sistema permite la operación de la línea (con 42 paradas y 14 Km de longitud) de manera ininterrumpida durante toda la jornada, mediante 5 autobuses 100% eléctricos.

La recarga por inducción se efectúa mediante un sistema de dos bobinas magnéticas. Una de ellas en la parte inferior del autobús y otra empotrada en la calzada. La estación de recarga se activa eléctricamente. La activación se produce cuando el sistema de control reconoce que un autobús con bobina inductiva se ha detenido encima. Esto junto con el aislamiento de todos los componentes, garantiza la seguridad de la operación del conjunto.

Algunas de las características más relevantes del sistema son las siguientes:

- No supone una carga de trabajo adicional para los conductores
- Los autobuses han sido equipados con un sistema de ayuda al aparcamiento sobre el punto de carga.
- El conductor activa el proceso de carga simplemente pulsando un botón.
- La información del sistema de carga está integrada en la consola del Sistema de Ayuda a la Explotación.
- El sistema incluye una aplicación web para monitorizar la operación del sistema de recarga.
- En el proyecto no fue necesaria la adquisición de autobuses eléctricos, se hizo un acondicionamiento de 5 autobuses híbridos con los que contaba EMT.
- Los autobuses cargan sus baterías por la noche de forma conductiva.
- Durante la operación diaria, se utilizan los puntos de carga inductiva de las cabeceras para llevar a cabo recargas de oportunidad rápidas en unos 8 minutos.

Pamplona tiene seis autobuses eléctricos. Se han instalado unos postes de recarga en las cabeceras de la línea que permiten a los vehículos recuperar energía en las paradas en las que más tiempo están parados. Las baterías tienen una duración superior a los 10 años.

En el caso de Valladolid la compañía de servicios de transporte público, Auvasa, cuenta con 11 autobuses eléctricos que prestan servicio por la ciudad.

Irún dispone de cuatro autobuses eléctricos que cuentan con autonomía suficiente como para hacer el trayecto de ida y vuelta de la línea que operan sin necesidad de realizar ninguna carga.

La línea L de la Empresa Malagueña de Transportes da servicio a la comunidad de universitarios que estudian en el campus de Teatinos. Los autobuses realizan un recorrido de 2,5 kilómetros en el que tardan 12 minutos aproximadamente, transportan unos 150.000 pasajeros al año. Los vehículos aprovechan la parada final para recargar sus baterías, mediante tres brazos (denominados patines) ubicados en los bajos descienden hasta tres placas ubicadas en el asfalto que, por contacto, alimentan al autobús. Una carga rápida, silenciosa e invisible para el usuario que tiene una duración de entre dos y cinco minutos -según la necesidad de recarga- y ofrece total autonomía al medio de transporte público sin retrasar los tiempos de su trayecto.

Barcelona, tiene cuatro autobuses eléctricos con recarga rápida. Transportes Metropolitanos de Barcelona se ha hecho con una flota de autobuses dotados de un sistema de recarga rápida con pantógrafo. Un proceso que en cinco minutos va cargando los vehículos en una serie de paradas. Por la noche, los autobuses eléctricos se recargan completamente dentro de las cocheras. Tienen una velocidad media comercial de entre 10 y 11 km, 160-180 km de autonomía, con el mismo nivel de confort en climas no extremos garantizando 16 horas de operación

San Sebastián cuenta con un autobús a una velocidad media comercial de 17 km/h, y 250 km de autonomía, con el mismo nivel de confort en climas no extremos, es decir 16 horas de operación.

Recarga inductiva dinámica.

Una empresa alemana, especialista en diseño y desarrollo de hormigones y asfaltos para diferentes aplicaciones, ha desarrollado un hormigón magnetizable que permite recargar un vehículo eléctrico tanto de forma estática como dinámica, manteniendo las propiedades físicas necesarias para la circulación de vehículos. La empresa, con sede en Múnich y fundada en 2015, ha recibido recientemente el premio German Innovation Award 2018 por su alta robustez y eficiencia eléctrica.

La capa de hormigón magnetizable incorpora en su interior partículas de ferrita recicladas procedentes de residuos electrónicos. Hace las veces de una bobina eléctrica primaria, conductora, en la que se puede introducir una corriente eléctrica y crear un campo magnético que activa la bobina secundaria que iría situada en el vehículo eléctrico que circula sobre la carretera. La capa superior, de hormigón convencional o de asfalto, protege el módulo eléctrico del desgaste y de las inclemencias del tiempo.

La empresa asegura que este material cuenta con varias ventajas respecto a otro tipo de infraestructuras presentadas para implementar carga dinámica e inductiva en las carreteras. La primera es que el coste de instalación es muy económico puesto que se realiza con los métodos convencionales de construcción de las carreteras. El material, al ser reciclado y contar en su composición química con metales muy abundantes, tampoco obliga a un sobrecoste excesivo. Por otro lado exige un mantenimiento similar al de las carreteras convencionales y puede tener una duración de más de 20 años ya que la capa magnética está protegida por una capa de hormigón o asfalto convencional. Además evita el vandalismo ya que todo el sistema puede ir enterrado.

Este hormigón magnético puede ser situado además bajo el pavimento de zonas de aparcamiento permitiendo la recarga estática, vinculada o de oportunidad, sin necesidad de instalar puntos de recarga en superficie.

Actualmente la empresa cuenta con varios proyectos piloto en los que se pondrá a prueba este nuevo material. Uno de ellos se implementará en la localidad finlandesa de Salo para la recarga de los autobuses eléctricos de una de sus líneas de transporte de pasajeros. Además cuenta con otros tres proyectos que se están poniendo en marcha, uno de ellos en la ciudad china de Changzhou y otros dos en Alemania, en el Campus de la Euref, en Berlín, y en el Campus GreenTec al norte del país, cerca de la frontera con Dinamarca.

Ventajas e inconvenientes de los autobuses eléctricos.

Ventajas:

- Menor coste de consumo.
- Espacio mejor distribuido. El motor de propulsión eléctrica ocupa menos espacio y es más versátil que los habituales motores de autobús.
- Menor contaminación atmosférica. Con un autobús eléctrico se rebaja la polución emitida a la atmósfera en el punto de uso.

- Ayudas y subvenciones de las administraciones públicas.
- El motor no produce ruido.
- Mantenimientos económicos. El coste que supone el mantenimiento de un autobús eléctrico resulta inferior al de sus competidores clásicos.

Inconvenientes:

- Menor autonomía.
- Precio de compra del autobús.
- Menor potencia. Aunque los autobuses eléctricos tienen potencia suficiente, no logra la potencia máxima de los autobuses con motor de combustión.
- Tiempo de recarga de las baterías.
- Peso añadido de las baterías.

Trolebús.

El trolebús, también conocido como trolley o trole, es un ómnibus eléctrico, alimentado por una catenaria de dos cables superiores desde donde toma la energía eléctrica mediante dos astas. El trolebús no hace uso de vías especiales o carriles en la calzada, por lo que es un sistema más flexible. Cuenta con neumáticos de caucho en vez de ruedas de acero en carriles, como los tranvías.

Existe alguna experiencia de vehículos que toman la energía eléctrica del suelo, a modo de scalextric.

Hidrógeno (H₂).

El hidrógeno como combustible en la automoción tiene dos aplicaciones: las pilas de combustible y los motores de combustión interna alternativos. En ambas aplicaciones este combustible se combina con el oxígeno, generando electricidad en el caso de las pilas de combustible y energía mecánica en el caso de los motores térmicos, emitiendo a la atmósfera en ambos casos únicamente vapor de agua, lo que implica grandes beneficios medioambientales. Sin embargo, el proceso de fabricación del H₂ no está exento de emisiones contaminantes. Este puede realizarse mediante diversas tecnologías, como son la electrolisis del agua, el reformado de hidrocarburos, la gasificación de biomasa y de hidrocarburos y otras tecnologías en fase de investigación. La única tecnología hasta ahora sostenible y respetuosa con el medio ambiente es la de electrolisis del agua a partir de electricidad generada mediante fuentes renovables.

Vehículos con pila de combustible.

Una celda o pila de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de reacción directamente en energía eléctrica y en calor, mientras se suministra combustible y oxidante a sus electrodos, sin más limitaciones que los procesos de degradación o mal funcionamiento de los componentes. Como resultado de la reacción electroquímica se produce agua y electricidad. El agua abandona la pila de combustible a través de los electrodos y la corriente eléctrica pasa a un circuito externo. Hidrógeno y oxígeno gaseosos son el combustible y oxidante elegidos en la mayoría de las aplicaciones de las pilas de combustible. Una pila de combustible consta de un ánodo y de un cátodo con un electrolito entre ambos. El electrolito tiene la propiedad peculiar de permitir que los iones puedan atravesarlo, pero no así las moléculas (neutras) o los electrones (con carga negativa).

Las pilas de membrana de intercambio protónico (PEMFC) son muy adecuadas para su aplicación en transporte porque son capaces de trabajar a altas densidades de corriente,

con una rápida respuesta a demandas de potencia variable, además de tener una alta densidad de potencia y una temperatura de funcionamiento relativamente baja

Uno de los aspectos clave en el desarrollo de los vehículos de pila de combustible es el **almacenamiento y transporte del hidrógeno** en ellos, existiendo diversas tecnologías con sus ventajas e inconvenientes. Una de ellas consiste en repostar y almacenar en el vehículo un compuesto que contenga una alta proporción de hidrógeno, como por ejemplo metanol o gas natural, para ser reformado a bordo. El inconveniente que tiene es que el hidrógeno así generado puede contener algunas impurezas que haga necesario una limpieza del gas para poder ser utilizado en las pila PEMFC, ya que este tipo de pila requiere hidrógeno de alta pureza. Otra opción es el empleo del hidrógeno como gas comprimido a 200 b, pero en este caso la densidad energética es muy baja y los recipientes a presión son voluminosos y pesados. El almacenamiento a muy alta presión (700 b) está aún en fase de desarrollo

El almacenamiento como líquido criogénico a -253°C presenta una buena densidad energética, aunque no es comparable a la que tienen los combustibles fósiles líquidos, como la gasolina o el gasóleo. Esta solución tiene actualmente un coste bastante elevado por la cantidad de energía necesaria para licuar el gas y por las características especiales de los depósitos de almacenamiento, que deben estar extraordinariamente aislados y ser capaces de soportar la presión de la fase gaseosa del hidrógeno.

Otro sistema consiste en emplear hidruros metálicos, de manera que el hidrógeno queda retenido en la estructura sólida del hidruro metálico y puede liberarse a medida que la pila de combustible lo demande. El principal problema que tienen es su elevado peso.

Además de estas tecnologías existen otras, como el empleo de hidruros químicos, o la utilización de estructuras de tubos microscópicos de carbono o de microesferas de vidrio, aunque estas dos últimas están todavía en fase de investigación.

Desde el **punto de vista ambiental**, los vehículos de pila de combustible alimentados con hidrógeno no producen más emisiones en el punto de utilización que vapor de agua, lo que supone grandes ventajas medioambientales. Actualmente, la mayor parte del hidrógeno se produce a partir de gas natural mediante un proceso de reformado con vapor de agua que genera CO₂. Este proceso es mucho más eficiente que el proceso de electrolisis del agua a partir de electricidad generada con combustibles fósiles. Sin embargo, a largo plazo, se espera que la producción de hidrógeno se base fundamentalmente en el uso y aprovechamiento de energías renovables.

Pilotos.

Madrid y Barcelona, junto a otras 8 ciudades europeas (Amsterdam, Estocolmo, Hamburgo, Londres, Luxemburgo, Stuttgart, Reykjavik y Oporto), son pioneras desde el año 2003 en el empleo de autobuses urbanos equipados con pilas de combustible que utilizan hidrógeno como carburante. Esta iniciativa forma parte del proyecto Clean urban Transport for Europe, auspiciado por la UE, contempla la demostración de 30 autobuses propulsados por pila de combustible en estas 10 ciudades europeas. Los 30 autobuses están equipados con pilas de 205 kW, del tipo PEMFC.

La ciudad de Madrid, además, participa igualmente desde el año 2003 en otro proyecto, el CITYCELL, que contempla la demostración con 4 autobuses propulsados por pila de combustible en 4 ciudades europeas (Madrid, París, Turín y Berlín). En el caso de Madrid y Turín, los vehículos empleados son dotados de pila de combustible de 62 kW del tipo PEMFC.

Motores de combustión interna de hidrógeno

El hidrógeno también puede emplearse como carburante en motores de combustión interna alternativos de encendido provocado (como los de gasolina), y aunque esta alternativa es más ineficiente energéticamente que las pilas de combustible, se trata de una tecnología ya probada. Algunos fabricantes de vehículos piensan que los motores térmicos de hidrógeno ayudarán a dar el salto hacia un futuro, dominado por las pilas de combustible al crearse una demanda de hidrógeno como combustible y, por consiguiente, el desarrollo de una infraestructura de estaciones de suministro. El pensamiento general del sector es que, en el futuro a largo plazo, se impondrán las pilas de combustible sobre los motores térmicos de hidrógeno, básicamente porque los primeros son más eficientes que los segundos.

Normativa.

Se distingue entre la reducción de Gases de efecto invernadero (GEI), como el CO₂ y la reducción de la contaminación, que principalmente viene dada por los óxidos nitrosos (NO_x) y las partículas en suspensión.

Reglamento de emisiones GEI procedentes de los sectores difusos, como el transporte

Se ha refrendado el texto final del nuevo [Reglamento de la Unión Europea](#) para obligar a los Estados miembros a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los llamados sectores difusos, como el transporte, para el período 2020-2030. En el caso de España, esto le obliga a reducir este tipo de emisiones en un 26%.

El 12 de noviembre de 2015 se adoptó el llamado Acuerdo de París sobre Cambio Climático en el marco de la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP 21). Este Acuerdo establece medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a aplicar después de 2020, que es cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kioto. Bajo este Acuerdo surge el compromiso de todos los países firmantes para reducir las emisiones de los sectores difusos (transporte entre ellos) en un 30% a 2030 con respecto a los niveles de 2005.

Una vez ratificado el Acuerdo por los Estados Miembros, en julio de 2016 la Comisión Europea presentó propuestas legislativas para llevar a cabo las medidas del Acuerdo de París: entre ellas, una propuesta de Reglamento que limitaría los objetivos nacionales de emisiones GEI de los sectores difusos. Esta propuesta sustituiría a la actual Decisión de la UE para refuerzo compartido de reducción de emisiones GEI en sectores difusos, que está vigente hasta 2020.

En el caso de España, el objetivo establecido es conseguir reducir sus emisiones GEI procedentes de sectores difusos en un 26% desde 2020 hasta 2030. Cabe destacar que el transporte supone un 48% de las emisiones GEI de los sectores difusos en España (datos de 2015). Igualmente, el objetivo de reducción del 26% obliga a España a triplicar los esfuerzos realizados hasta la fecha.

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, en 2015 las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte por carretera fueron un 19 % superior a los niveles de 1990. En 2015 el transporte por carretera fue responsable de casi el 73 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte, incluidos la aviación y el transporte marítimo internacional. De dichas emisiones, el 44,5 % tuvieron su origen en los turismos, mientras que el 18,8 % procedieron de vehículos pesados. No obstante, para alcanzar los objetivos del marco de actuación en materia de clima para 2030, la UE se propone reducir las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte en un 20 % por debajo de su nivel de 2008 antes de 2030.

España lleva tiempo preparando una ley de cambio de climático que facilite el empleo, la competitividad y el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París. CONFEBUS participó en consultas y audiencias públicas, así como hizo llegar al Ministerio de Medio Ambiente en 2017 sus observaciones por vía directa y también a través de CEOE. Sin embargo, parece que los trabajos para la futura Ley de España se han ralentizado. Junto con la Ley se había anunciado la preparación de un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima para fijar objetivos y medidas que permitan cumplir con los objetivos del Acuerdo de París, una hoja de ruta de actuaciones para la reducción de emisiones de los sectores difusos a 2030, planes de medidas para medir la huella de carbono, y el II Plan de Contratación Pública Verde.

Emisiones contaminantes.

En la década de los 90 se comenzó con la redacción de normativas para controlar las emisiones contaminantes provenientes de los vehículos. En Europa se implantaron las Euro, empezando por la Euro 1 en 1993.

Desde entonces hasta ahora, se han ido introduciendo sucesivas normas cada vez más severas, la Euro 6b y sus sucesivas revisiones aún más estrictas, las Euro 6c y Euro 6d

La **normativa Euro6** se puso en funcionamiento el 1 de noviembre de 2015 con el objetivo de hacer que todos los vehículos nuevos que se venden en suelo europeo reduzcan las emisiones de elementos contaminantes y partículas en suspensión, es decir, que sean más limpios. Con respecto a la Euro5, la nueva normativa europea contra la contaminación reduce las emisiones de óxido de nitrógeno de las motorizaciones diésel de 180 mg/km a 80 mg/km, mientras que las partículas en suspensión mantienen el mismo límite.

La implantación de las normas Euro ha obligado a que todo vehículo vendido nuevo en el mercado europeo deba cumplir con los límites establecidos por aquella que esté vigente en el momento de su venta. En concreto, las normas Euro se centran en 5 marcadores de las emisiones de los vehículos:

- **CO, monóxido de carbono:** es un gas que se produce por una combustión incompleta de un hidrocarburo.
- **HC, hidrocarburos:** son restos de combustible sin quemar que salen por el tubo de escape.
- **HC + NOx,** hidrocarburos con óxidos de nitrógeno: son gases que combinan los hidrocarburos sin combustionar y óxidos de nitrógeno que se producen en el funcionamiento de los motores.
- **NOx, óxidos de nitrógeno:** se trata de moléculas que se forman debido a las elevadas temperaturas y presiones de trabajo en las cámaras de combustión de los motores. Hay varios tipos de moléculas que se pueden formar, ya que su fórmula puede variar (NO, N2O, NO2...) son muy contaminantes y tienen un peligro especial en los seres vivos, ya que, cuando los respiramos, se convierten en ácidos que entran en nuestras vías respiratorias.
- **PM, partículas sólidas o aerosoles:** son productos sólidos muy pequeños que son expelidos por los vehículos. Solemos pensar en esa densa nube de humo negro que sale del escape de un vehículo viejo, pero ésa no es la única fuente. También las pastillas de freno, el rozamiento de los neumáticos contra el asfalto, el propio polvo que hay en el asfalto y es esparcido por las ruedas al pisarlo, todo eso son partículas sólidas. Dentro de estas partículas hay algunas más nocivas que otras. Las más peligrosas son los benzopirenos, un tipo de cenizas que son muy cancerígenas. En general, prácticamente cualquier partícula lo bastante pequeña como para introducirse en nuestro organismo y entrar en contacto directo con nuestras células es un peligro potencial.

El objetivo de las sucesivas normativas Euro es tratar de que las emisiones de estos 5 elementos tiendan a desaparecer. Por un lado, los avances tecnológicos son los que permiten que se puedan ir cumpliendo estas normativas, pero también es cierto que, gracias a que existe esta legislación, la tecnología avanza, ya que, para poder venderse, los fabricantes saben que tienen que limitar sus emisiones.

La **nueva norma Euro 6d** es tan estricta en algunos parámetros que incluso los eléctricos tendrán que optimizar su diseño. Cuando entre en vigor en 2020, el nivel de emisiones de partículas de un motor de combustión que logre superar la norma para comercializarse será el mismo que el de un coche eléctrico.

Para lograr cumplir con la legislación, los fabricantes han mejorado los sistemas de tratamientos de gases de escape, con un convertidor catalítico de NOx en los modelos más ligeros y con un catalizador con inyección de urea, también conocido como **AdBlue**, en los más pesados. El empleo de AdBlue, que se almacena en un depósito que en función del modelo se puede rellenar en las estaciones de servicio o durante las revisiones que tenga que pasar el vehículo, permite convertir los óxidos de nitrógeno en vapor de agua y nitrógeno inocuo. El coste adicional de la urea es uno de los pocos gastos relacionados con la Euro6.

Existe una Directiva de la Unión Europea que mandata la compra de autobuses eléctricos para los servicios públicos. Asimismo, ZeEUS (Zero Emission Urban Bus System) implantará los autobuses eléctricos en Europa; es un proyecto de la Comisión Europa coordinado desde Bélgica por la Union Internationale des Transports Publics (UITP) y en el que participan otras 40 empresas e instituciones.

Medida y registro de las emisiones.

Emisiones medidas mediante equipos embarcados.

Un equipo de la EMT, el Ayuntamiento de Madrid, el Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) ha desarrollado un modelo para cuantificar las emisiones contaminantes producidas por el transporte urbano de viajeros, llamado ECOTRAM. Ha sido validado y permite realizar un análisis del efecto que pueden tener ciertas modificaciones en una flota de autobuses,

La modelización de emisiones contaminantes generadas por fuentes móviles requiere disponer de información detallada de la actividad del tráfico de la zona que se desea analizar. Esta información puede provenir de modelos predeterminados para una red vial, o bien, de mediciones directas con equipos embarcados en los vehículos y su posterior tratamiento para el cálculo de los correspondientes factores de emisión. Esta última ha sido la forma seleccionada por los investigadores de la UPM para cuantificar las emisiones de los autobuses urbanos de Madrid.

Para la selección tanto del conjunto de vehículos como de líneas de ensayo en las que realizar las medidas durante la campaña experimental, la nueva metodología ha aplicado técnicas de muestreo. En el caso de las líneas de ensayo, el procedimiento de muestreo empleado fue un análisis por conglomerado. Mediante este método, el conjunto de las líneas se agrupó en conglomerados de características cinemáticas semejantes. Así, líneas incluidas en un mismo conglomerado conducen a resultados promedio semejantes, tanto de emisiones como de consumo. De este modo, los resultados obtenidos pueden ser extrapolados al resto de líneas de cada uno de los conglomerados, permitiendo así obtener estimaciones globales a todas las líneas de la flota.

En cuanto a la selección de los vehículos de ensayo en los que se realizaron las medidas de emisiones y consumo, se tuvieron en cuenta un gran número de variables. Las medidas se llevaron a cabo en autobuses de diferente normativa Euro (Euro II, III, IV y GNC), con distintos combustibles (gasóleo, biodiesel y gas natural) y, además –para tener en cuenta la variable del nivel de ocupación– con tres estados de carga: vacío, media carga y plena carga. En los vehículos seleccionados se instalaron equipos de medida a bordo para la monitorización de dióxido de carbono (CO₂) y otros contaminantes (CO, THC, NO_x) así como de diferentes partículas.

A partir de las mediciones experimentales se determinaron las ecuaciones o factores de emisión que mejor relacionan las emisiones y consumo con las características cinemáticas de los ciclos de conducción (velocidad, tiempo de parada y pendiente), estados de carga del vehículo y perfil longitudinal del recorrido (altitud). Finalmente, estos factores se aplicaron y extrapolaron al resto de líneas de la flota de autobuses obteniendo el consumo y emisiones de la flota en su totalidad.

Radars para medir emisiones

Madrid utilizó un programa para medir la contaminación en tiempo real. Es un programa de medición continua de emisiones de vehículos en circulación. El proyecto, llamado LIFE GySTRA, financiado por la Unión Europea, en el que colaboraron en calidad de socios las instituciones Cartif, Opus RSE, Ciemat, DGT y Ayuntamiento de Sofía (Bulgaria). La tecnología Remote Sensing, desarrollada por Opus RSE, se ha instalado de manera inicial en Madrid y Sofía. En Madrid se utilizaron dos radares móviles, mientras que en Sofía solo uno, situado en una estación de autobuses.

Estos radares son capaces de recabar información de hasta 1.000 vehículos por hora relacionada con velocidad, la aceleración y las emisiones de partículas de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) o monóxidos de oxígeno (NO_x). También se detecta el número de matrícula del vehículo.

Unas lámparas ópticas capaces de detectar rayos ultravioleta miden las condiciones ambientales, de las que restan los registros obtenidos con el paso de cada vehículo. Sobre sus monitores, aparece al instante cuánto se emite de cada gas y una foto de la matrícula del vehículo.

Madrid fue la ciudad elegida para la instalación de estos radares. Este proyecto estuvo en marcha en distintos puntos de la capital durante un periodo aproximado de dos años.