

Guía de Eficiencia Energética



en la Movilidad y el Transporte Urbano

Madrid Ahorra con Energía



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

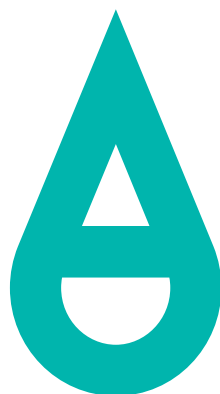
Comunidad de Madrid

www.madrid.org



La Suma de Todos

Guía de Eficiencia Energética en la Movilidad y el Transporte Urbano



Madrid **Ahorra** con Energía

Madrid, 2014



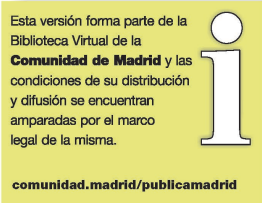
Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid



www.fenercom.com



**Biblioteca
virtual**



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan. Tanto la Comunidad de Madrid como la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, no se hacen responsables de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores ni de las posibles consecuencias que se deriven para las personas físicas o jurídicas que actúen o dejen de actuar de determinada forma como resultado de la información contenida en esta publicación.

I.S.B.N.: 978-84-616-5784-1

Depósito Legal: M-518-2014

Imprime: Gráficas Arias Montano, S. A.
28935 MÓSTOLES (Madrid)

Autores

- Capítulo 1. **El camino hacia la movilidad urbana sostenible**
Carmen Mataix González. Alba Ingenieros Consultores, S.L.
Milagros Escribano Bombín. Alba Ingenieros Consultores, S.L.
Esther Echeverría Soriano. Argumentos Para La Cultura, S.L.
- Capítulo 2. **Redes y optimización de rutas de desplazamiento urbano**
Rafael Pérez-Blanco Gómez. Ingecet 2010, S.L.
- Capítulo 3. **Flotas de transporte público en superficie. Proyectos en la empresa municipal de transportes de Madrid**
EMT Madrid
- Capítulo 4. **Gas Natural en el transporte urbano**
Oriol Martínez. Gas Natural Fenosa.
Montserrat Beltrán. Gas Natural Fenosa.
José Ramón Freire. Gas Natural Fenosa.
- Capítulo 5. **El vehículo eléctrico y la regulación de la recarga**
IBIL. REPSOL
- Capítulo 6. **Red de recarga eléctrica compartida para vehículos de flotas de empresa**
Ricardo Olalla Guerra. Robert Bosch España S.L.U.
Fernando Moreno Moreno. Robert Bosch España S.L.U.
Alberto Machuca Sánchez. Robert Bosch España S.L.U.
- Capítulo 7. **Apoyo de la Comunidad de Madrid al vehículo eléctrico**
Ricardo Vargas López. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid

Prólogo

Aunque es evidente que cada vez más se requieren medios de transporte rápidos y confortables que estén acorde con la sociedad de bienestar en la que nos movemos, también conviene saber que existen numerosos efectos perjudiciales vinculados que afectan a nuestro entorno y actividades cotidianas, siendo estos más perniciosos cuanto más ineficiente sea el medio de transporte usado. Se trata de efectos sobre la economía, el medio ambiente, la dependencia energética del país, y la salud de los ciudadanos.

El tráfico, por ejemplo, es una de las principales causas de exposición de la población urbana a los contaminantes atmosféricos. El transporte genera aproximadamente el 20% de la contaminación atmosférica en la UE y es el responsable del 40% de las emisiones urbanas.

Por otro lado, en España, la energía que se destina al transporte por carretera supera el 33% del total de la energía consumida, y en la Comunidad de Madrid esta cifra es aún mayor debido principalmente a la alta densidad poblacional de la región y al importante peso del sector servicios.

Por tanto, la movilidad ineficiente y los medios de transporte inadecuados y obsoletos conllevan consecuencias inmediatas, tales como deficiencias en la calidad del aire de nuestras ciudades, vehículos obsoletos ya desde su compra, consumos exagerados de combustible, pérdidas de tiempo en desplazamientos mal gestionados, etc...

La Comunidad de Madrid, a través de la Dirección General de Industria Energía y Minas y de la Fundación de la Energía, edita esta guía Sobre la Eficiencia Energética en la Movilidad y el Transporte Urbano, cuyas ideas pretenden concienciar sobre la necesidad de medios de transporte eficientes, planificaciones de movilidad urbana más sostenibles, y hábitos de desplazamiento racionales, ya que sus efectos están íntimamente ligados al desarrollo socio-económico, a la dependencia energética, y a la calidad ambiental de nuestras ciudades.

Carlos López Jimeno

Director General de Industria, Energía y Minas
Consejería de Economía y Hacienda

Índice

Capítulo 1. El camino hacia la movilidad urbana sostenible	13
1.1. El concepto de movilidad urbana	13
1.1.1. Una necesidad básica y un derecho social	13
1.1.2. Un factor de integración y cohesión social	14
1.1.3. Un concepto vinculado a las personas	15
1.1.4. Accesibilidad y proximidad	16
1.2. Movilidad urbana y desarrollo sostenible	18
1.3. Las políticas de movilidad	20
1.3.1. Políticas de Infraestructura	20
1.3.2. Políticas de Oferta	22
1.3.3. Políticas de Demanda de Gestión de la Demanda	24
1.3.4. Políticas de Ordenación del Territorio	27
1.3.4.1. Ciudades «compactas», ciudades «difusas» y movilidad	27
1.3.4.2. Ordenación del territorio y movilidad	30
1.4. Las políticas de movilidad urbana sostenible	35
1.5. Referencias	37
Capítulo 2. Redes y optimización de rutas de desplazamiento urbano	39
2.1. Introducción	39
2.2. Modelización del sistema de transporte a través del análisis de redes	41
2.2.1. Base estructural de un Modelo de Red de Transporte	41
2.2.2. Análisis de Costes o Impedencias como reguladores de red	44
2.3. Tipos problemas de optimización de rutas	49
2.3.1. Trazado de ruta óptima	49
2.3.2. Instalación más cercana.	51
2.3.3. Área de servicio	52
2.3.4. Matriz de coste Origen-Destino (Matriz OD)	54
2.3.5. Problemas de ruta para flotas de vehículos (<i>Vehicle Routing Problem - VRP</i>)	54
2.4. Herramientas software para la optimización de rutas	57

2.4.1.	La selección de Software	57
2.4.2.	Algoritmos	58
2.4.3.	Sistemas de Información Geográfica (SIG)	59
Capítulo 3.	Flotas de transporte público en superficie. Proyectos en la empresa municipal de transportes de Madrid	63
3.1.	Introducción	63
3.2.	Proyectos con biocombustibles en la EMT de Madrid desde el año 2003	63
3.2.1.	Descripción de los proyectos	63
3.2.1.1.	Proyecto Biodiésel BD5	63
3.2.1.2.	Proyecto Biodiésel EHN 100%	64
3.2.1.3.	Proyecto Biodiésel CLM 20%	64
3.2.1.4.	Ensayo de biodiésel en proporción variable	65
3.2.1.5.	Proyecto de uso de biocombustible en una flota completa	65
3.2.2.	Determinación de los consumos de combustible de cada proyecto	66
3.3.	Transformación de autobuses diésel a autobuses dual-fuel (gasóleo-GNC) en EMT de Madrid	67
3.3.1.	Introducción	67
3.3.2.	Tecnología dual-fuel	68
3.3.3.	Sistemas instalados en los autobuses de EMT	70
3.3.4.	Beneficios del sistema	74
3.4.	Minibuses eléctricos en las líneas M1 y M2 de la EMT de Madrid	74
3.4.1.	Descripción	74
3.4.2.	Beneficios e impactos positivos	78
3.5.	Transformación de autobuses diésel en autobuses híbridos diésel-eléctricos en EMT de Madrid	79
3.5.1.	Introducción	79
3.5.2.	Sistema instalado en autobuses de EMT	80
3.5.3.	Resultados	84
3.6.	Depósito de autobuses a gas natural de la EMT en Sanchinarro	85
3.6.1.	Descripción	85
3.6.2.	Ahorro energético	87
3.6.3.	Confort y salubridad	89
3.6.4.	Respeto al medio ambiente	90
3.7.	Transformación de autobuses estándar a autobuses con sistema de arranque y parada automático (start-stop) en EMT de Madrid	90
3.7.1.	Introducción	90
3.7.2.	Sistemas start-stop	91

3.7.3.	Sistema instalado en autobús de EMT	91
3.7.4.	Beneficios del sistema	95
Capítulo 4.	Gas natural en el transporte urbano	97
4.1.	Introducción	97
4.2.	Gas natural vehicular	99
4.2.1.	Gas Natural Comprimido (GNC)	99
4.2.2.	Gas Natural Licuado (GNL)	100
4.3.	Vehículos y motores	100
4.3.1.	Tipo de motores	100
4.3.1.1.	Dedicados, Mono-Fuel o Monovalentes	100
4.3.1.2.	Bi-Fuel o Bivalentes	101
4.3.1.3.	Dual-Fuel de inyección indirecta	101
4.3.2.	Transformación de vehículos para su uso con gas natural	102
4.3.2.1.	Transformación de motores ciclo <i>Otto</i> a motores bi-fuel	102
4.3.2.2.	Transformación de motores ciclo <i>Diesel</i> a motores dedicados	103
4.3.2.3.	Transformación de motores ciclo <i>Diesel</i> a motores <i>Dual Fuel</i>	104
4.3.3.	Estadísticas de vehículos. Modelos existentes en el mercado	104
4.4.	Estaciones de GNV	107
4.4.1.	Estaciones de GNC	107
4.4.2.	Estaciones de GNC-GNL	108
4.4.3.	Estadísticas de estaciones	108
4.5.	Ventajas medioambientales	110
4.6.	Ventajas económicas	111
4.7.	Casos de éxito	113
4.7.1.	<i>Transports Metropolitans</i> de Barcelona (TMB)	113
4.7.2.	Empresas Municipal de Transportes de Madrid (EMT)	114
4.7.3.	Taxis híbridos	115
4.7.4.	Flotas de empresa	116
4.8.	Conclusiones	116
Capítulo 5.	El vehículo eléctrico y la regulación de la recarga	119
5.1.	El vehículo eléctrico	119
5.2.	Ventajas y retos futuros	119
5.3.	La recarga del vehículo eléctrico	121

5.3.1.	Procedimientos de recarga	122
5.3.2.	Modos de carga	123
5.3.3.	Tipos de infraestructura de recarga	124
5.3.4.	El gestor de carga	125
5.3.5.	Gestión de la demanda inteligente	125
Capítulo 6.	Red de recarga eléctrica compartida para vehículo de flotas de empresa	127
6.1.	Introducción	127
6.2.	Gestión inteligente de la infraestructura de recarga	130
6.3.	Sistema eMOBILITY de Bosch	132
6.4.	Movilidad eléctrica para empresas	135
6.5.	Referencias	137
Capítulo 7.	Apoyo de la Comunidad de Madrid al vehículo eléctrico	139
7.1.	Introducción	139
7.2.	Actuaciones de la Comunidad de Madrid	140
7.3.	Renovación de los vehículos autotaxi	141
7.4.	Proyecto clima «programa 2013-2016 para el incremento del número de vehículos eléctricos e híbridos en la Comunidad de Madrid»	144
7.5.	Convenio con el gestor de carga IBIL	146
7.6.	Proyecto piloto con Seat	149
7.7.	Futuros acuerdos de colaboración	151
7.8.	Conclusiones	151
7.9.	Referencias	152

El camino hacia la movilidad urbana sostenible

Carmen Mataix González. ALBA INGENIEROS CONSULTORES, S.L.

Milagros Escribano Bombín. ALBA INGENIEROS CONSULTORES, S.L.

Esther Echeverría Soriano. ARGUMENTOS PARA LA CULTURA, S.L.

1.1. El concepto de movilidad urbana

En los últimos años la *movilidad urbana* se ha puesto de moda: centra los discursos de las autoridades municipales, se maneja en las tertulias periodísticas, da nombre a nuevos tipos de agentes de tráfico, departamentos municipales e infraestructuras viarias e, incluso, se utiliza en lemas publicitarios para promover la venta de automóviles.

Está claro que la movilidad se identifica con un valor positivo y ecológico «*que vende*». Pero ¿qué es exactamente la *movilidad urbana*?

Responder esta pregunta no es sencillo porque, a pesar de ser un concepto muy intuitivo que, sin mayor análisis, se identifica con el movimiento en las ciudades, en el contexto político, técnico y de participación ciudadana, *movilidad urbana* es un término amplio y complejo, que puede ser interpretado desde ópticas distintas y al que se dan significados y se asocian valores diferentes.

1.1.1. Una necesidad básica y un derecho social

Según el diccionario de la Real Academia, *movilidad* es la capacidad de moverse o de recibir movimiento. Siguiendo esta definición, la *movilidad urbana* se identifica con la capacidad y/o posibilidad de moverse en la ciudad.

Y este asunto es clave en la vida de los ciudadanos: a pesar de las posibilidades que ofrecen Internet y las redes sociales y de comunicación, continúa siendo imprescindible trasladarse de un sitio a otro para acceder a los diferentes servicios que ofrece la ciudad.

Desde este punto de vista, la *movilidad urbana* es una necesidad básica de las personas que debe ser satisfecha. Y serlo de manera que el esfuerzo que requieran los desplazamientos necesarios para acceder a bienes y servicios no re-

percuta negativamente en la calidad de vida, ni en las posibilidades de desarrollo económico, cultural, educativo, etc., de los ciudadanos.

Y, en cuanto a necesidad básica, la *movilidad urbana* es también un derecho social que es necesario preservar y garantizar de forma igualitaria. Siguiendo la tesis del Informe de Valladolid de 2005, «[...] todos los seres humanos sin excepción tienen derecho a que se establezcan las condiciones necesarias para que el espacio urbano e interurbano sea apto y equitativo para la movilidad interna de todos los habitantes de un territorio» (Alduan, 2006).

1.1.2. Un factor de integración y cohesión social

Actualmente, la ciudad ofrece un amplio abanico de sistemas de transporte y modos de desplazamiento. Pero determinados atributos, como la edad, el género, el nivel de renta o las capacidades físicas e intelectuales, condicionan las posibilidades de los individuos para utilizarlos, y, por tanto, las posibilidades de acceso a los diferentes servicios básicos, como la sanidad, la educación, incluso el ocio, lo que puede resultar una fuente de desigualdad.

En este sentido, la *movilidad* es un factor determinante del grado de equidad de una sociedad. Las políticas de movilidad pueden ser una importante herramienta de inserción y cohesión social o, al contrario, una potente vía de exclusión. De hecho, la movilidad de los ciudadanos se ha convertido en la cuarta condición de integración social, después de la vivienda, la salud y la educación (Lucio, 2008).

La configuración urbana y el modelo de movilidad imperante difícilmente se adaptan a las necesidades cotidianas de los sectores sociales más alejados del prototipo de usuario de la ciudad que ha primado hasta la fecha —*varón, motorizado, con solvencia económica y plenamente capacitado física e intelectualmente*—. Ancianos, niños, discapacitados, mujeres, personas de renta baja, peatones y ciclistas, entre otros, frecuentemente ven vulnerado su derecho a la movilidad e insatisfechas sus necesidades.

Frente a visiones más restrictivas, las políticas de movilidad tienen en cuenta las diferentes necesidades de una gran variedad de sujetos, conductores y no conductores. La edad, el sexo, la clase social o la condición física o psíquica, determinan problemas y soluciones muy diversas, que antes quedaban sumergidas bajo el patrón de movilidad del conductor típico.

Sus procedimientos de intervención intentan resolver la problemática asociada a estos colectivos aplicando medidas específicas, como los «*caminos seguros*»

escolares» (**Fig. 1.1.**), la eliminación de barreras arquitectónicas o los direccionamientos rugosos en el suelo, para facilitar la movilidad autónoma de niños y personas con movilidad reducida, así como otras encaminadas a rescatar a un colectivo históricamente olvidado: **los peatones.**

- **CAMINOS SEGUROS ESCOLARES.** Itinerarios elegidos entre los recorridos más utilizados por los alumnos de cada centro educativo, por lo que los niños y niñas pueden ir al colegio caminando o en bicicleta de forma autónoma y segura.
- **TRANSPORTE ESCOLAR A PIÉ O PEDIBÚS.** Monitores y/o padres y madres voluntarios realizan itinerarios como si fueran un autobús andante, recogiendo a los escolares de camino y acompañándoles al centro.
- **BICIBUS.** Caravana de alumnos en bicicleta dirigida por dos o tres padres y/o monitores, que encabezan y cierran el grupo ciclista. En algunas guarderías de Holanda, el BICIBÚS se ha adaptado a los más pequeños mediante vehículos a pedales con capacidad para seis niños.



Figura 1.1. Estrategias de fomento de la movilidad autónoma escolar.
Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

1.1.3. Un concepto vinculado a las personas

El objeto de la *movilidad* es el movimiento de las personas (también de las mercancías), de todas las personas, independientemente del medio que utilicen para desplazarse (a pie, en transporte público, en automóvil, en bicicleta, etc.).

Esta característica hace que *movilidad* sea un término mucho más amplio, en cuanto a su objeto de estudio e intervención, que *transporte* o *tráfico*, términos que, a menudo, se utilizan erróneamente como sinónimos de *movilidad*.

«Transporte» se refiere exclusivamente al sistema de medios mecánicos que se emplea para trasladar personas y mercancía, y solo es una estrategia más para posibilitar la *movilidad urbana*. El objeto del «tráfico» es, básicamente, la circulación de vehículos motorizados.

Transporte y tráfico, por tanto, excluyen a los peatones —el sector social más abundante en las ciudades— y a los transportes no motorizados, como la bicicleta; mientras que aquellos y estos son fundamentales en las *políticas de movilidad*.

Muchas de las antiguas Concejalías de Tráfico de los ayuntamientos han dado paso a las Concejalías de Movilidad. Este cambio de nombre debería llevar aparejada una transformación de sus funciones y objetivos: el papel de un concejal de movilidad no es «resolver» los problemas del tráfico, sino garantizar unas condiciones adecuadas de movilidad en todo el municipio.

1.1.4. Accesibilidad y proximidad

Para completar la aproximación al significado del concepto *movilidad* es importante introducir el término *accesibilidad*, ya que la consideración que se haga de ella tiene gran peso en los objetivos y estrategias que se utilicen para mejorar la *movilidad urbana*.

Accesibilidad es un concepto vinculado a los lugares. Indica la facilidad con que los miembros de una comunidad pueden salvar la distancia que les separa de los lugares en los que se hallan los medios de satisfacer sus necesidades o deseos.

Hay dos enfoques opuestos para mejorar la *accesibilidad*. El primero identifica *accesibilidad con facilidad de desplazamiento*: un lugar es tanto más accesible cuanto más eficientes sean las infraestructuras y sistemas de transporte para desplazarse hasta él.

Esta perspectiva, que se corresponde con la visión más convencional del transporte, conduce a reforzar continuamente las infraestructuras y el conjunto del sistema de transporte, lo cual repercute en un incremento continuo de la movilidad motorizada y, por tanto, de la producción de transporte, la congestión, la contaminación y el ruido, etc.

El segundo enfoque identifica *accesibilidad con proximidad*: en el plano espacial o geográfico, una necesidad o deseo son tanto más accesibles cuanto

menor y más autónomo pueda ser el desplazamiento que hay que realizar para satisfacerlos.

Su objetivo es reducir las necesidades de desplazamiento —sobre todo de los desplazamientos motorizados— tanto en número como en longitud, y aprovechar al máximo la capacidad que tiene el ser humano para trasladarse sin emplear vehículos motorizados.

Con esta perspectiva, en los últimos tiempos se están abriendo camino las denominadas *políticas de creación de proximidad*, que buscan conjugar la máxima accesibilidad con unas necesidades mínimas de movilidad, acercando las grandes unidades de servicios y equipamientos hasta el radio de acción que tienen las personas caminando o en bicicleta.

Se trata de reducir la distancia entre la vivienda y las principales actividades (trabajo, ocio, compras, educación, etc.) para disminuir la movilidad que fuerza el alejamiento y no generar más necesidades de movimiento que las estrictamente necesarias.

Dentro de ellas hay una promoción decidida de la bicicleta como medio de transporte habitual y de la limitación del uso del coche, con iniciativas que van desde las clásicas zonas peatonales y de acceso restringido, a la creación de barrios sin coches (*«car free residential areas»*), en los que está asegurada una amplia dotación de servicios y equipamientos y la accesibilidad a los servicios centrales mediante la bicicleta o el transporte público (**Fig. 2.2.**).

En los *BARRIOS SIN COCHES* está prohibido todo tipo de circulación motorizada, excepto las urgencias. La mayoría de sus habitantes no tiene coche, aunque suele haber un aparcamiento colectivo con plazas limitadas (10-50%).

Se ubican en áreas con buen transporte público, donde la distancia a comercios y colegios puede ser recorrida a pie. Algunos de ellos, como el Barrio de Vauban (Friburgo, Alemania), edificado en una antigua base del ejército francés, ocupan terrenos de instalaciones militares o industriales agandonadas.



Figura 1.2. Estrategias de creación de proximidad: los barrios sin coches.

Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

1.2. Movilidad urbana y desarrollo sostenible

El Desarrollo Sostenible se apoya en tres pilares: progreso económico, justicia social y preservación del medio ambiente: Su objetivo es alcanzar un equilibrio justo entre las necesidades económicas, sociales y ambientales de las generaciones presentes y futuras.

Aplicando estos conceptos y objetivos al ámbito de la *movilidad*, un modelo sostenible de *movilidad urbana* tiene que asegurar la protección del medio ambiente, mantener la cohesión social y la calidad de vida de los ciudadanos y favorecer el desarrollo económico. Un modelo de movilidad sostenible es aquel que (UITP, 2003):

- Permite satisfacer las necesidades básicas de acceso a los bienes, el trabajo, la educación, el ocio y la información de forma segura para la salud pública y la integridad del medio ambiente, y a través de la equidad entre generaciones y dentro de una misma generación.
- Es asequible, opera de manera eficiente, ofrece diferentes modos de transporte y contribuye a una economía dinámica.
- Restringe sus emisiones y residuos a la capacidad del planeta para absorberlos; minimiza el consumo de recursos no renovables, el uso del territorio y la producción de ruido; y reutiliza y recicla sus componentes siempre que puede.

El modelo actual de *movilidad urbana* no cumple estas condiciones, antes al contrario. Provoca una serie de efectos (ruido, contaminación, accidentes, congestión, etc.) que influyen negativamente en la calidad de vida y la salud de los ciudadanos, en el medio ambiente, tanto a escala local como global, y en el desarrollo económico, lo que hace inviable —*insostenible*— esta forma de *movilidad*, no solo para las generaciones futuras sino, a medio plazo, también para las actuales.

De hecho, el modelo actual de *movilidad urbana* es una de las principales causas de insostenibilidad en las ciudades y se ha convertido en uno de los objetivos centrales de la sostenibilidad global.

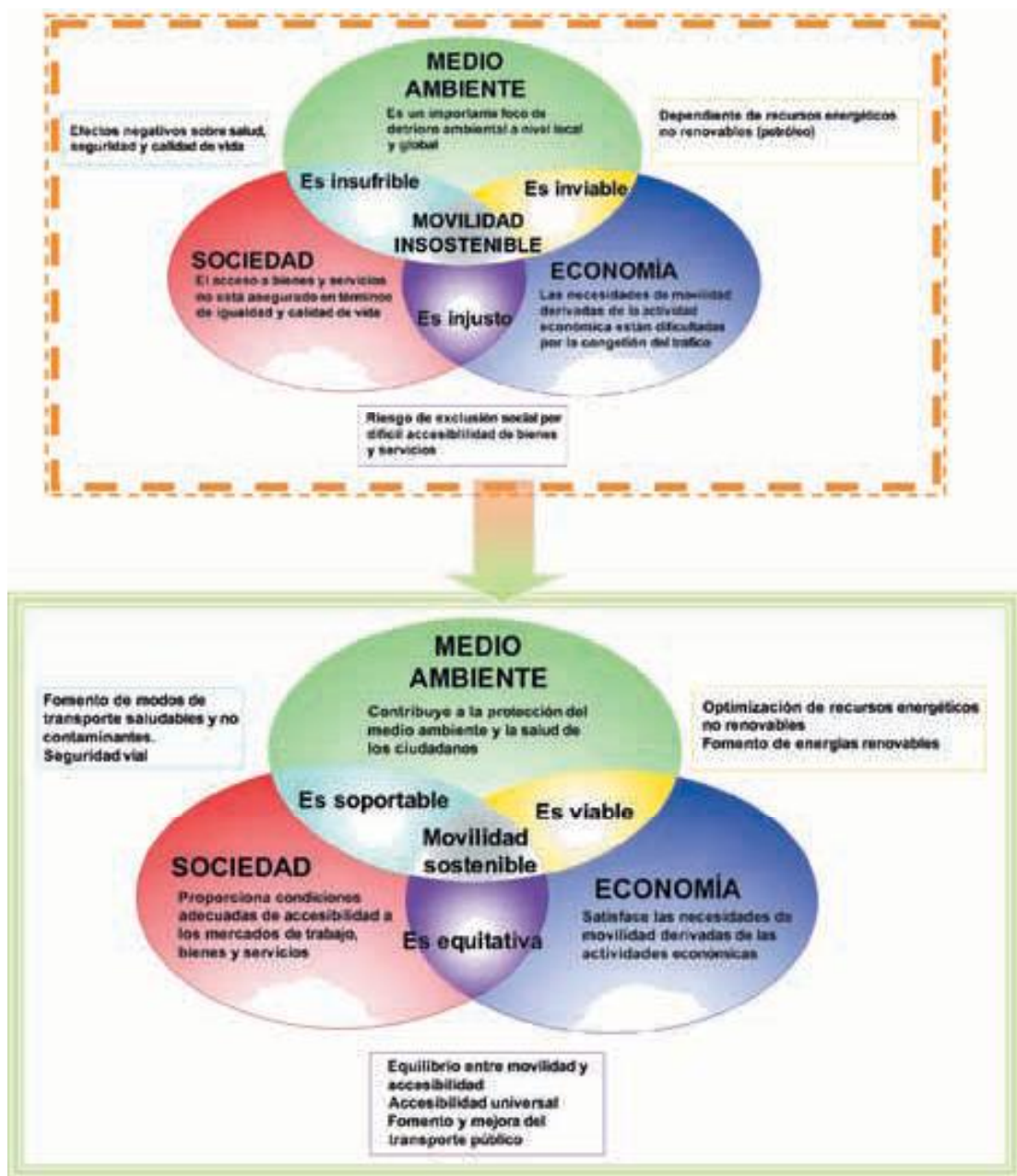


Figura 1.3. La transición hacia un modelo de movilidad sostenible.

Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

Según la UITP¹, el cambio a un modelo sostenible de movilidad está a «tan solo» tres paradas —equidad social, equilibrio ambiental y valor económico—, simples en su formulación pero que plantean complejos retos cuya superación requiere la coordinación de todas las partes implicadas, la integración de las cuestiones ambientales, sociales y económicas en la toma de decisiones importantes y un marco político propicio que sirva de respaldo.

¹ UITP: Unión Internacional de Transportes Públicos.

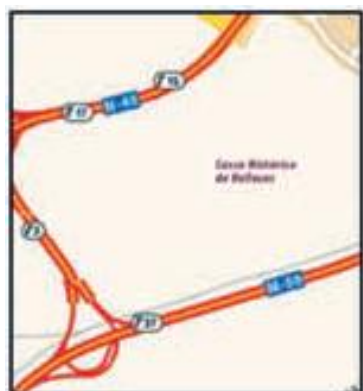
En este sentido, para que las políticas de movilidad urbana sean eficaces y faciliten la transición hacia un modelo sostenible, deben adoptar un planteamiento lo más integrado posible y combinar las respuestas más ajustadas a cada problema: innovación tecnológica; fomento de transportes limpios, seguros e inteligentes; incentivos económicos y cambios en la legislación (Comisión Europea, 2007).

1.3. Las políticas de movilidad

1.3.1. Políticas de Infraestructuras

Durante muchos años, la principal política pública para resolver los problemas de tráfico y transporte y generar condiciones adecuadas de *movilidad* ha sido la denominada **«Política de Infraestructuras»**, que considera que la congestión del tráfico es un estado anómalo del sistema de transportes que puede y debe solucionarse mediante la construcción de nuevas infraestructuras viarias y de transporte.

Bajo esta perspectiva, se evalúa la demanda futura de transporte y *movilidad* y se intenta satisfacerla mediante el aumento constante de la oferta, poniendo a disposición de los ciudadanos múltiples infraestructuras viarias de titularidad pública (autovías, radiales, rondas y circunvalaciones, etc.), generalmente, aunque no siempre, gratuitas (**Fig. 1.4.**).



Con este sistema, una empresa asume la construcción de la infraestructura y la Administración le abona por ello un canon anual en función del tráfico, durante el tiempo que dure la concesión (20 a 30 años). El recuento de vehículos se realiza con sistemas ocultos, por lo que aparenta ser una vía gratuita.

La M-45 y la M-50 son dos de las vías madrileñas financiadas con este sistema.

Figura 1.4. El peaje en sombra. Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

Pero ya se ha comprobado que las **«Políticas de Infraestructuras»** estimulan aún más el uso del coche privado y su aplicación exclusiva no resuelve los problemas

de movilidad y tráfico. La construcción de nuevas vías genera un tráfico adicional no previsto, denominado *tráfico inducido*, que puede llegar a absorber, a medio plazo entre el 50 y el 90% de la nueva capacidad ofertada, lo que obliga a acometer nuevas ampliaciones (VTPI, 2013).

Por otro lado, la ampliación de la red vial y de transporte hace accesibles terrenos inicialmente no urbanizables, pero susceptibles de serlo, lo que puede promover a medio plazo la aparición de nuevos crecimientos urbanos no programados que demandarán nuevas infraestructuras de transporte. Por ello, es importante que su construcción esté planificada y en consonancia con el modelo territorial y de planificación urbanística que se pretenda.

El área metropolitana de Madrid tiene una de las tasas más alta de kilómetros de autovías y autopistas por habitante de Europa. Hay 174 km. por millón de habitantes, mientras que en Berlín este índice se sitúa en 137 km, en París en unos 71 km. y en Londres en tan solo 43 km.

En el periodo 2003-2012, la inversión en infraestructuras viarias, solo en el municipio de Madrid, se elevó a más de 3.742 millones de euros, concentrándose la mayor parte entre 2003 y 2008.



Algunas de las autovías y autopistas urbanas del área metropolitana de Madrid

Vías de enlace y accesos			Vías rápidas y tramos autovía		
M-11	Acceso oeste al Aeropuerto	9,7 km	M-407	Enlace A-42/A-5	12 km
M-12	Eje del Aeropuerto. Conecta con la T4	9,4 km	M-410	A-5/A-4	25 km
M-13	Acceso al Aeropuerto	4 km	M-402	Enlace A-42/M-406	2,5 km
M-14	Acceso sur al Aeropuerto	1,9 km	M-203	Enlace R3/A-2	12,3 km
M-21	Enlace M-40/M-50	5,20 km	M-404	Enlace A-5/A-4	17 km
M-22	Enlace M-40/M-21 y A-2/M-14	1,5 km	M-500	M-30/A-6	4 km
M-23	Enlace centro ciudad con R3 y M-40	3 km	M-503	M-500/M-600	26 km
M-45	Enlace M-40 con Coslada	37 km	M-600	M-503/A-5	50 km
M-31	Enlace M-40/M-45/M-50		M-100	Enlace M-106/A-2	22 km
M-300	Enlace A-2/A-3	26,8 km	M-607	M-30/Colmenar Viejo	32 km

Cinturones de circunvalación			Autopistas radiales de peaje		
M-30	3.º cinturón	32,5 km	R-2	Madrid (M-40) Guadalajara (A-2)	61 km
M-40	4.º cinturón	63 km	R-3	Madrid (M-23) Arganda (A-3)	37 km
M-50	5.º cintuón	85 km	R-4	Madrid (M-31) Ocaña (A-4)	52,64 km
M-61	Cierre norte M-50	Unos 30 km	R-5	Madrid (M-40) Navalcarnero (A-5)	28,30 km

A pesar de esta densa red de autopistas y autovías, en las entradas y salidas de Madrid siuen registrándose problemas de tráfico y velocidades de circulación bajas, especialmente en los enlaces entre los municipios de circunvalación. Por otro lado, las autopistas radiales de peajes se utilizan muy poco: suponen el 30% de la oferta variada de acceso, pero solo canalizan el 3,6% del total del tráfico.

VELOCIDAD MEDIA DEL TRÁFICO URBANO EN MADRID

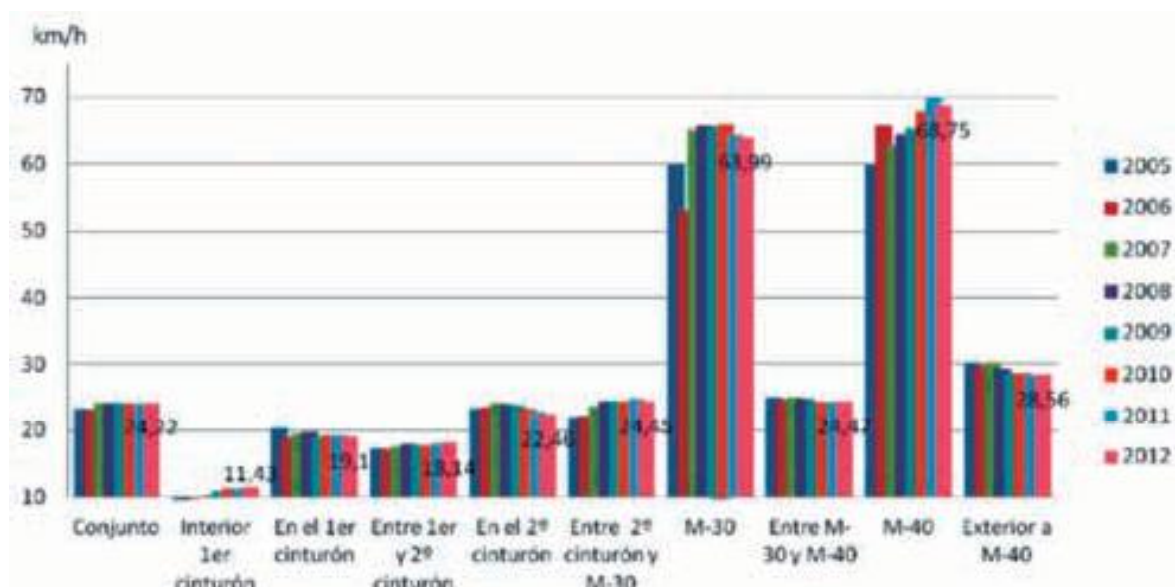


Figura 1.5. La red viaria del área metropolitana de Madrid.

Fuentes: Dirección General de Sostenibilidad Ayto. de Madrid. C.E.S. de la Comunidad de Madrid, 2008. Fundación Movilidad, 2009. IAURIF.

1.3.2. Políticas de Oferta

La imposibilidad económica, ambiental y social de mantener las políticas clásicas de infraestructuras llevó a la formulación de **«Políticas de Oferta»**, que buscan aprovechar al máximo el rendimiento de las infraestructuras existentes, para redu-

cir la necesidad de construir otras nuevas, y revitalizar el transporte colectivo, para absorber una parte de la *movilidad* en vehículo privado y reducir la demanda de viario.

En su momento, una de las medidas más innovadoras fueron los carriles reservados para autobuses y Vehículos de Alta Ocupación (BUS/VAO), en los que se priman los vehículos que transportan a más dos personas. Esta medida reduce el número de vehículos en la vía y fomenta el uso racional del automóvil y el ahorro de combustible.

Por ejemplo, el carril BUS/VAO de la Autovía A-6 (Comunidad de Madrid) canaliza el 60% de la demanda, mientras que los tres carriles convencionales tan sólo el 40% restante. Además, con estos carriles, la regularidad y velocidad del transporte público es mayor al disminuir la competencia con el tráfico privado.

Otra estrategia para favorecer la circulación en situaciones de tráfico intenso en una sola dirección (horas punta, «operación retorno», etc.) es la habilitación de «carriles especiales», como los *carriles reversibles*, que pueden ser utilizados en un sentido u otro en función del tráfico, los *carriles adicionales* o el *uso de arcenes* como carril de circulación.

Dentro de las *Políticas de Oferta* se emplean una gran variedad de soluciones tecnológicas para aprovechar al máximo la capacidad de la red viaria existente: *gestión semafórica activa*, *sistemas de información en tiempo real* para los automovilistas o *sistemas de guiado*, que son carreteras y vehículos «*inteligentes*» que permiten desviar el tráfico de las vías más congestionadas (**Fig. 1.6.**).

Para atraer nuevos usuarios al transporte público, intentan obtener mayor regularidad y mejores velocidades comerciales, con sistemas como el *carril-bus*, y hacerle más atractivo ofreciendo sistemas de transporte más cómodos y modernos (autobuses de plataforma baja, tranvías modernos, Metro-Express, metro ligero, etc.).

Las actuaciones de oferta, en general, tienen un alto coste y largo plazo de amortización. A pesar de algunos éxitos parciales, tampoco consiguen frenar suficientemente los problemas causados por el tráfico y, con frecuencia, provocan un efecto rebote que hace que reaparezcan los problemas que se pretendía resolver.



Sistemas de Ayuda a la Explotación (SAE)

Permiten el seguimiento y control de las flotas de autobuses y la comunicación interactiva con el usuario. Entre otras funcionalidades ofrece la localización automática y permanente de los autobuses a través de GPS, la regulación del servicio a lo largo de todo el recorrido de la línea y la información al usuario a bordo y en parada.



Gestión Semafórica Activa

Permite dar prioridad de paso a los vehículos de transporte público en las intersecciones, y adecuar el tiempo de semáforo en verde al volumen del tráfico, para evitar tiempos de espera innecesarios.



Gestión dinámica de la velocidad

Consiste en fijar los límites de velocidad por tramos en función del estado del tráfico, las condiciones meteorológicas, la contaminación, etc. Estos límites se determinan en un centro de control y se comunican mediante señales luminosas y paneles informativos.

Figura 1.6. Ejemplos de sistemas tecnológicos aplicados a la gestión del tráfico.
Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

1.3.3. Políticas de Demanda o de Gestión de la Demanda

Con las **«Políticas de Gestión de la Demanda»** se pretende modificar las tendencias de la demanda de transporte y *movilidad*, incentivando ciertas formas de actuar y penalizando otras. Su objetivo es reducir el uso del automóvil, desviando a los usuarios hacia otros modos de transporte (transporte público, desplazamientos a pie, etc.).

Complementan las medidas tradicionales de creación de infraestructuras al influir en el comportamiento de los ciudadanos a la hora de desplazarse antes de que empiecen el trayecto, orientándoles hacia los modos de transporte más sostenibles

Se actúa mediante estrategias combinadas de estímulo y disuasión, en lo que se denomina «*push and pull*». «*Push*» o empujar, consiste en dificultar o penalizar el uso del coche para hacerle menos atractivo. Y «*pull*» o arrastrar, consiste hacer más atractivos otros modos alternativos de transporte mediante incentivos y mejoras para atraer hacia ellos a los conductores (Fig. 1.7.).



Figura 1.7. Esquema conceptual de la estrategia «push and pull».

Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

A grandes rasgos, las medidas de gestión de la demanda pueden clasificarse en dos tipos:

- **Medidas de regulación y ordenación**, que son restricciones impuestas por la Administración para desalentar el uso del vehículo privado, por ejemplo, *restricciones vehiculares*, que es la prohibición de circular por determinadas áreas o en ciertos momentos del día; *zonas de acceso restringido para residentes*; *ampliación de las zonas peatonales* o *reducción de carriles para automóviles* en los principales ejes.
- **Medidas económicas**, que son incentivos o desincentivos económicos para fomentar determinados hábitos y disuadir de otros. Por ejemplo, con el *cobro de tarifas* y la *limitación del tiempo de aparcamiento* se trata de disuadir a los no residentes de que accedan en coche al centro de las ciudades. Medidas positivas complementarias a esta son los *aparcamientos disuasorios gratuitos* en los accesos a las ciudades o las *tarifas integradas parking + transporte público*.

Una de las medidas económicas más polémicas es el cobro de peajes urbano («*road-pricing*»). Se trata de la aplicación a la *movilidad urbana* del concepto económico de «*tarifas de congestión*», una estrategia de precios ampliamente utilizada en la prestación de servicios públicos, como electricidad o teléfono, que grava el consumo en las horas punta.

A partir de esta premisa, se considera que los problemas provocados por la congestión del tráfico en horas punta tienen que ser asumidos por aquellos que la provocan mediante el cobro de una tasa de congestión («congestion charging»). Este sistema se utiliza desde hace años en varias grandes ciudades europeas, como Oslo, Frankfurt, Roma, Estocolmo o Londres, con una reducción media del tráfico del 20% (Fig. 1.8.).



En Londres, el peaje de acceso al centro es de unos 12 los días laborales entre las 7:00 y las 18:30 horas. Los residentes tienen tarifa reducida del 10% y los vehículos de servicio público, los no contaminantes y las motos no pagan peaje.

Figura 1.8. El peaje urbano de la ciudad de Londres.
Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

Una aplicación particular de las medidas de gestión de la demanda son los *Planes de Movilidad Alternativa o de Reducción de Viajes*. Su objetivo es reducir los impactos negativos de los desplazamientos diarios por trabajo o estudios —lo que se denomina *movilidad obligada* o recurrente— mediante cambios en los hábitos personales de *movilidad* y/o en las políticas de transporte de las empresas.

Este tipo de desplazamientos son la causa principal de los atascos en horas punta. En las ciudades de tamaño medio-grande suponen algo más del 50% del total de los desplazamientos y más del 80% de los realizados en coche.

Incluyen medidas muy variadas que van desde la creación de *líneas específicas de transporte público* a los centros de trabajo o estudio, *incentivos para fomentar el uso del transporte público* y de empresa o *gestión del aparcamiento*, hasta cambios en los horarios y forma de trabajo (semana comprimida, horarios escalonados y flexibles, teletrabajo, puesto de trabajo móvil o «*hot desking*»), para los empleados que solo necesitan acudir a la oficina algún día a la semana, etc.).

El *carsharing* o *coche multiusuario* es una modalidad de movilidad en la que varios usuarios comparten una flota de vehículos gestionada por una empresa de alquiler o perteneciente a una cooperativa. En cualquiera de los casos, los

usuarios pueden acceder en cualquier momento y lugar al tipo de vehículo que deseen para usarlo de forma individual por el tiempo que necesiten. Es una alternativa que promueve un uso más racional del coche, ya que solo se utiliza cuando verdaderamente se necesita, y supone un ahorro individual y social importante en los costes de la movilidad (**Fig. 1.9.**).

AHORRO ECONÓMICO

	100% Vehículo privado	100% carsharing	50% carsharing / 50% t. público	25% carsharing / 75% t. público	100% t. público
5.000 km	4.824 €	2.220 €	1.435 €	1.042 €	650 €
10.000 km	5.121 €	3.183 €	2.241 €	1.770 €	1.300 €
15.000 km	5.339 €	4.694 €	3.322 €	2.636 €	1.950 €
20.000 km	5.653 €	6.366 €	4.483 €	3.541 €	2.600 €

BENEFICIOS SOCIALES Y AMBIENTALES

Cada coche de *carsharing* sustituye entre 6 y 9 vehículos privados.
 Liberación de espacio público: 90 y 135 m²/coche de *carsharing*.
 Reducción de la movilidad en automóvil: 45% - 67%
 Reducción de km recorridos: 40%
 Incremento del uso del transporte público: 35%
 Reducción de combustible: 24% - 53%
 Reducción de emisiones: 20%
 Ahorro energético medio: 55% (22.100-9.800 MJ/año/cliente)

Figura 1.9. Ventajas económicas y ambientales del *carsharing*.
 Fuentes: Fundación de la movilidad, 2009; Buchanan Consultores, 2008, Catalunya Carsharing, 2005; Sala, 2012.

1.3.4. Políticas de Ordenación del Territorio

1.3.4.1. Ciudades «compactas», ciudades «difusas» y movilidad

Tradicionalmente, las ciudades mediterráneas formaban un conjunto compacto de edificaciones, en el que los servicios eran atendidos dentro de las áreas urbanas principales, y el acceso al trabajo, bienes y servicios estaba asegurado en un entorno cercano, fácilmente asequible a pie o en transporte público.

Pero en las últimas décadas, las ciudades han ido conquistando ámbitos territoriales cada vez más amplios, solo parcialmente urbanizados, en los que las áreas edificadas dedicadas a una sola función (zonas residenciales, polígonos industriales, parques empresariales, centros comerciales y de ocio, etc.) se alternan con áreas vacías (**Fig. 1.10.**).

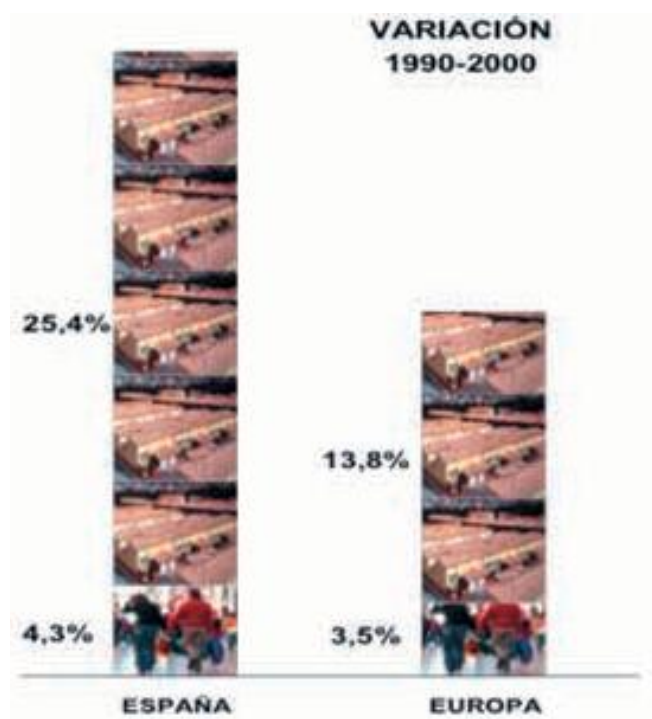


Figura 1.10. Incremento de la población y la superficie urbanizada en España y la UE. Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

Se ha pasado de la «*ciudad compacta*» tradicional a las modernas «*ciudades extensas*». Y con ello, la *movilidad urbana* ha cambiado hacia unos patrones difusos, con desplazamientos más largos y más frecuentes por el alejamiento entre las distintas zonas de uso (vivienda, trabajo, servicios públicos, etc., y con un continuo crecimiento del nivel de motorización.

En este tipo de ciudad, el vehículo privado se percibe como el medio que mejor permite satisfacer las necesidades personales de *movilidad*. Además, la demanda de movilidad es más dispersa y difícil de atender por el transporte público, lo que refuerza la dependencia del vehículo privado.

Con ello, uno de los principales problemas que acarrea este tipo de urbanismo es el agravamiento del problema de la congestión, por los desplazamientos masivos en las horas punta entre las áreas residenciales periurbanas y las zonas comerciales y de trabajo, que colapsan las vías de acceso y multiplican los tiempos de viaje (**Fig. 1.11.**).



Figura 1.11. El «círculo vicioso» del urbanismo difuso y declive urbano.
Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

Se calcula que en España, la congestión circulatoria provoca la pérdida de unos 15.000 M€ anuales en términos de tiempo productivo perdido, mayor gasto en combustible, deterioro ambiental y urbano y accidentes. Una cantidad muy significativa, poco menor que el presupuesto 2013 de la Comunidad de Madrid (19,2 M€).

En los accesos a Madrid, por los que circula cerca de 1.100.000 vehículos al día —el 53% del total de usuarios de turismo y autobús—, la congestión de tráfico hace perder diariamente casi 329.000 horas, lo que supone 81,2 millones de horas perdidas al año. Su coste se estima en 839 M€/año (unos 3,4 M€/día), que equivalen al 0,4% del PIB de la Comunidad (Fundación RACC, 2009).

Esto supone una importante carga económica, aunque no percibida, para los ciudadanos madrileños. El coste medio anual por usuario, solo por la pérdida de tiempo, es de unos 538 € al año, y para los usuarios de hora punta se alcanzan los 1.351 € anuales, lo que, según datos de 2010, equivale al 1,8% y el 4,5%, respectivamente, de la renta media disponible por hogar (Fundación RACC, 2009).

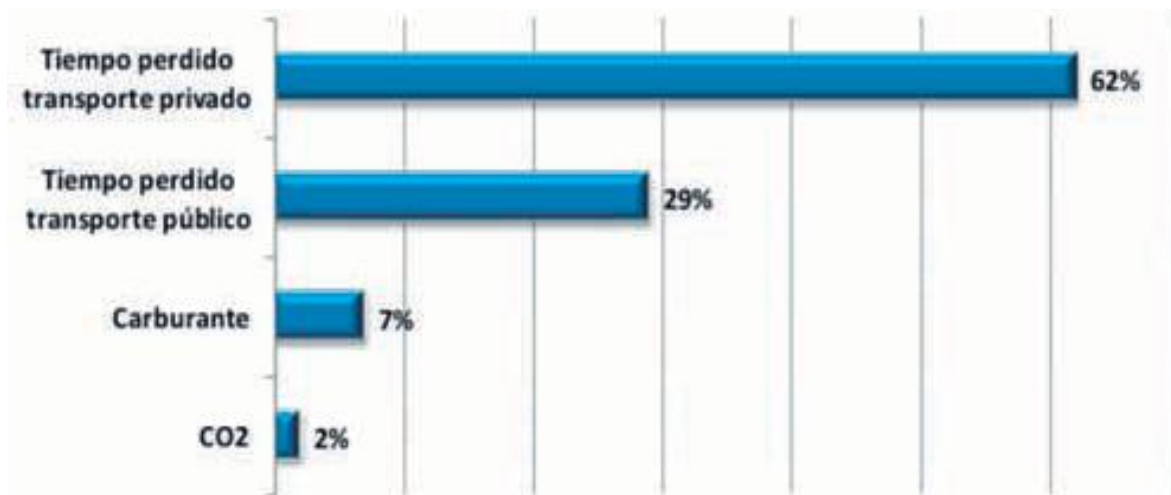


Figura 1.12. Distribución porcentual del coste total de la congestión en Madrid.
Fuente: Fundación RACC, 2009.

1.3.4.2. Ordenación del territorio y movilidad

Las **Políticas de Ordenación del Territorio** parten de la premisa de que hay una estrecha relación entre los modelos urbanos y territoriales y la demanda de *movilidad*, y propugnan que es necesario integrar las políticas de transporte y movilidad con las de Ordenación del Territorio.

Su objetivo básico es reducir las necesidades de desplazamiento mediante una planificación urbanística que limite la expansión urbana y sienta las bases para una reconversión profunda de la estructura de las ciudades, priorizando la *proximidad* y la *accesibilidad* frente a la *movilidad* y el transporte.

Se pretende la vuelta a la *ciudad compacta* y diversa, en la que el acceso a bienes y servicios estaba asegurado en un entorno cercano y asequible mediante desplazamientos cortos a pie o en transporte público. Para ello, en el interior de las poblaciones se da especial importancia a la recuperación de los barrios, diversificando y aproximando todo tipo de actividades para favorecer la autosuficiencia local (**Fig. 1.11.**).

En la ciudad de Madrid se han realizado diversas intervenciones de rehabilitación integral y dinamización en barrios del centro. Una de la más emblemáticas es la de Lavapiés, donde se han rehabilitado 7.657 viviendas y 831 locales, mejorando más de 115.000 m² de infraestructuras viarias y creando nuevos equipamientos sociales, culturales y espacios públicos.



Figura 1.13. La recuperación de la «ciudad compacta» en Madrid.

Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

En las **Políticas de Ordenación del Territorio** también se propone un nuevo tratamiento del espacio público, actualmente dominado por el vehículo privado, tomando espacio al coche y cediéndolo a los peatones, para lograr un reparto más equitativo y retornar a un ámbito urbano más tranquilo (**Fig. 1.14.**).



Figura 1.14. Consumo de espacio en m²/hora de diferentes modos de transporte. Fuente: UITP, 2003.

La *peatonalización de los centros históricos* de las ciudades se ha extendido hacia otros ámbitos urbanos como medio para conseguir calmar el tráfico y recuperar calidad de vida en cuanto a seguridad vial, calidad del aire y ruido.

Así, además de las clásicas *zonas y calles peatonales*, se definen vías de *prioridad peatonal*, en las que los peatones pueden utilizar toda la calzada y tienen

prioridad sobre los vehículos; *Áreas de Prioridad Residencial*; y *Zonas 30*, que son áreas residenciales o comerciales, por las que no discurren vías principales, en las que la velocidad máxima permitida es de 30 km/h.

La jerarquización de la red viaria, diferenciando «*calles de pasar*», que mantienen mucho tráfico y conectan las distintas zonas de la ciudad, y «*calles de estar*», que configuran la red local de la ciudad y dan prioridad, por este orden, a la circulación de peatones, aparcamiento (regulados y de residentes), reparto de mercancías (zonas de carga y descarga), circulación de bicicletas y tráfico local de vehículos, facilita la coexistencia entre peatones, vehículos privados y el resto de transportes, **Tabla 1.1.**

Tabla 1.1. Tipologías de vías en trama urbana.

	Tipo	Función	IMD por sentido	Velocidad máxima
VÍAS DE ESTAR	Peatonal	Circulación de residentes, servicios y CD	< 1.000 vehículos/día	10 km/h
	Zona de prioridad para peatones	Circulación de destino	< 2.000 vehículos/día	20 km/h
	Zona 30	Circulación de aproximación y/o destino	< 5.000 vehículos/día	30 km/h
VÍAS DE PASAR	De prioridad para vehículos (red básica)	Conexión entre zonas y con la red interurbana	En función de la población	30 - 50 km/h

Fuente: Fundación RACC, 2005


Con la aplicación de estos criterios generales se define la «*supermanzana*», que es una nueva célula básica urbana de 400x400 metros que abarca varias manzanas de las tradicionales. Por su periferia circula el conjunto de transportes motorizados y en su interior sólo se permite la circulación de los residentes, la carga y descarga, las emergencias y los servicios urbanos. Su implantación en los barrios de Gracia y el Born (Barcelona) ha permitido liberar cerca del 60% del espacio público, antes ocupado por el coche (**Fig. 1.15.**).



Figura 1.15. Esquema de «supermanzana» del Distrito de Gracia (Barcelona).
Fuente: Alba Ingenieros, 2013.

En el exterior de las ciudades se intenta controlar la ocupación difusa del territorio («urban sprawl»), dirigiendo el crecimiento de las ciudades a lo largo de ejes de comunicación que puedan ser bien servidos por transporte público y faciliten el uso de medios alternativos al vehículo privado, **Tabla 1.2.**

Tabla 1.2. Ejemplos de buenas prácticas en Políticas de Ordenación del Territorio.

Cantón de Berna (Suiza)	
	<p>Desde 1992, su planificación regional está orientada al control de la dispersión urbana y la promoción del urbanismo de proximidad, aplicando medidas como:</p> <ul style="list-style-type: none"> Desclasificación del suelo urbanizable situado a más de 300 m de una parada de transporte público. Prohibición de construir nuevos centros comerciales, de ocio y de oficinas lejos de las zonas más densamente pobladas. Sustitución de los grandes aparcamientos disuasorios de extrarradio por aparcamientos pequeños próximos a las estaciones de transporte.

Copenhague (Dinamarca)



Plan General de Ordenación Urbana con forma de mano («Plan Fingers»).

- Densificación del crecimiento urbano a lo largo de cinco corredores ferroviarios, limitando la edificación a una distancia máxima de 600 m de las estaciones de tren.
- Medidas para facilitar el acceso y tránsito de ciclistas. Se pretende conseguir, para 2015, que un 50% de los desplazamientos sean en bicicleta (actualmente suponen el 35% del total), para ayudar al objetivo de que la ciudad sea neutra de CO₂ en 2025.

Vitoria-Gasteiz (España)



La configuración de la ciudad mantiene un característico modelo radioconcéntrico de origen medieval, en el que las redes de transporte se organizan a partir de «supermanzanas».

- Freno a la expansión territorial. El 85% de la población reside en un radio no superior a 1,5 km del centro y el 95% a menos de 500 m de todo tipo de servicios básicos.
- Creación de un Anillo Verde exterior de 35 km de perímetro, con más de 90 km de itinerarios para ciclistas y peatones.
- Trazado de 33 km de sendas urbanas que conectan los espacios verdes de la ciudad y los parques del Anillo.
- Priorización de la accesibilidad a pie y configuración de una red peatonal que minimiza la coexistencia del peatón con el vehículo privado. Sólo el 28,3% de los desplazamientos urbanos se realizan en coche.

Estas políticas son eficaces a medio-largo plazo y evitan el empeoramiento de la situación al contener las necesidades de desplazamiento. Pero, al igual que las de Gestión de la Demanda, se enfrentan con la necesidad de reorientar las tendencias sociales y económicas actuales.

Por ejemplo, para que la vuelta a la «ciudad compacta» sea efectiva es necesario promover un cambio en las prioridades del ciudadano. Es decir, que se prefieran los

servicios (comercio de cercanía) a las infraestructuras (centros comerciales y de ocio); la accesibilidad (llegar andando) a la movilidad («...a solo 25 minutos por la R-2»); y la calidad de vida (vida de barrio) al prestigio social («chalet pareado con piscina»).

1.4. Las políticas de movilidad urbana sostenible

Las respuestas de las diferentes Administraciones Públicas (Gobierno Central, Comunidades Autónomas, Ayuntamientos) a los problemas del transporte y la movilidad han ido cambiando a lo largo del tiempo. Unas veces por confirmarse que las políticas que se venían desarrollando no resultaban eficaces y era necesario un cambio; otras por variar la perspectiva y prioridades a la hora de afrontar los problemas y/o por la aparición de nuevas normativas relacionadas con la protección ambiental.

En este sentido, el traspaso del núcleo duro de la problemática urbana desde el tráfico y el transporte a la *movilidad sostenible*, ha supuesto un cambio sustancial en las políticas y medidas adoptadas por las Administraciones.

Las **Políticas de Movilidad Urbana Sostenible** combinan objetivos interrelacionados de transformación física, social y económica del territorio urbano, en sintonía con la triple dimensión económica, social y ambiental del Desarrollo Sostenible, y proponen un nuevo modelo integral de movilidad y espacio público que reduzca los conflictos y disfunciones de la movilidad actual.

Frente a enfoques anteriores, la *movilidad sostenible* prioriza la *proximidad* y la *accesibilidad* sobre la *movilidad* y el *transporte*, propugnando un modelo de ciudad más compacto en el que se puedan satisfacer las mismas necesidades con desplazamientos más cortos y autónomos; discrimina positivamente el transporte colectivo, de mayor eficiencia energética, ambiental, social y económica que el vehículo privado; y da un nuevo tratamiento al espacio público para que el peatón sea el protagonista.

Para ello, se aprovechan las técnicas y conocimientos desarrollados durante las etapas anteriores (sistemas de tráfico inteligente, gestión de la demanda, estrategias incentivo y disuasión, planificación urbanística, etc.) y se promueve el uso de tecnologías no contaminantes en el transporte público y privado.

Todos estos esfuerzos responden a un objetivo que va más allá de encontrar soluciones a problemas inmediatos: las *Políticas de Movilidad Sostenible* intentan promover un cambio de mentalidad que permita modificar las pautas de la movilidad actual en aquellos aspectos que la hacen insostenible, especialmente, en el papel preponderante del automóvil.

Diversas entidades supranacionales y redes de ciudades, que intercambian experiencias innovadoras y amplios bancos de datos de «*Buenas Prácticas*», iniciaron y siguen contribuyendo de forma decisiva a la extensión de una nueva cultura entre los gestores de la *movilidad urbana*.

En este contexto, los denominados *Planes de Movilidad Urbana Sostenible* (PMUS) se identifican como una medida de aplicación prioritaria para lograr el cambio hacia un modelo de movilidad sostenible.

Son planes de actuación conjunta, no sectorial, en los que se aplican diversos tipos de instrumentos —legales, de planeamiento, fiscales, redes ciclistas, transporte público, etc.—, para asegurar la coherencia del conjunto de las políticas locales de *movilidad* y planeamiento urbano.

Con ellos se trata de cambiar el comportamiento en las pautas de movilidad de los ciudadanos, mediante propuestas de actuación cuya implantación promueve modos de desplazamientos más sostenibles desde el punto de vista ambiental, a través de estrategias integradas, compatibles con el crecimiento económico y con una coordinación equilibrada entre los usos del suelo y la movilidad, **Tabla 1.3**.

Su elaboración requiere una metodología de participación y concienciación social, información y educación por parte de las autoridades locales, análisis detallados de la situación inicial y de las propuestas, implantación progresiva de las medidas con evaluación de resultados, y realizaciones piloto, educativas y promocionales (IDAE, 2006).

Tabla 1.3. Características y objetivos de los Planes de Movilidad Sostenible.

<ul style="list-style-type: none"> • Pretenden cambiar la distribución modal hacia los modos más limpios y eficientes (caminar, bicicleta, transporte público, coche compartido). 	<ul style="list-style-type: none"> • Incluyen medidas para aumentar la accesibilidad de los grupos sociales sin disponibilidad de coche.
<ul style="list-style-type: none"> • Plantean la planificación urbanística con criterios de accesibilidad y movilidad generada y la recuperación de la proximidad como valor urbano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Introducen en el estudio de movilidad la evaluación y balance ambiental y energético.
<ul style="list-style-type: none"> • Cubren todos los modos de transporte de personas y mercancías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tienen en cuenta criterios de calidad de vida y cohesión social.
<ul style="list-style-type: none"> • Deben reducir los impactos negativos asociados al transporte (externalidades). 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporan la participación pública como un elemento imprescindible en la definición de actuaciones.

Fuente: CEDIEL, 2012.

Los PMUS no son obligatorios en España, aunque la Estrategia Española de Movilidad Sostenible (EEMS), aprobada en 2009, identifica como prioritaria su implantación en todos los núcleos que presten el servicio de transporte público, sin excluir la posibilidad de aplicación en ciudades de pequeño tamaño.

1.5. Referencias

BUCHANAN CONSULTORES (2008): «Estudio sobre los beneficios energéticos y medioambientales del carsharing. Informe Final». Instituto de Diversificación y Ahorro Energético (IDAE).

CATALUNYA CARSHARING (2005): «Carsharing y sostenibilidad». Seminario «Experiencias y herramientas para la mitigación del Cambio Climático». Palma de Mallorca. 30 de noviembre de 2005.

CEDIEL, A. (2012): «Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS)». Departamento de Transporte. IDAE. Semana de la Movilidad Sostenible 2012.

COMISIÓN EUROPEA (2007): «Libro Verde. Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana». COM (2007) 551. Bruselas.

CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA COMUNIDAD DE MADRID (2008): «Informe 1/2008 sobre la Situación Económica y Social de la Comunidad de Madrid 2007».

FUNDACIÓN MOVILIDAD (2009): «Guía de movilidad sostenible para la empresa responsable». *Papeles de Movilidad*, mayo 2009. Ed. Fundación Movilidad. Col. Club de la Excelencia en Sostenibilidad.

FUNDACIÓN RACC (2005): «Criterios de movilidad en zonas urbanas». Barcelona.

— (2009): «La congestión en los corredores de acceso a Madrid». Barcelona.

IDAE (2006): «PMUS: Guía práctica para la elaboración e implantación de planes de movilidad urbana sostenible». Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

LUCIO GIL, A. (2008): «Movilidad y cohesión social». *EBRÓPLIS Noticias*, n.º 33, otoño 2008.

OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESPAÑA (2009): «Sostenibilidad Local. Una Aproximación Urbana y Rural».

- SALA, J. (2012): «El presente y el futuro del carsharing en España Puntos fuertes y puntos débiles». II Conferencia Española del carsharing. Barcelona, 7 y 8 de junio de 2012.
- SÁNCHEZ DE MADARIAGA, I. (2004): «Urbanismo con perspectiva de género». Instituto Andaluz de la Mujer (Unidad de Igualdad y Género; 4). Consejería de Economía y Hacienda. Junta de Andalucía.
- SANZ ALDUÁN, A. (2006): «El viaje de las palabras». Inc.: Informe de Valladolid 2005, pag. 87-94. Ed.: Del Caz, R.; Rodríguez, M. y Saravia, M.E.T.S. de Arquitectura de Valladolid.
- UITP (2003): «Billete al futuro las 3 paradas de la movilidad sostenible». Heather Allen (Editor responsable). Bruselas.
- VTPI, (2013 última actualización): «Online TDM Encyclopedia». Victoria Transport Policy Institute.

2.1. Introducción

El transporte, entendido como la capacidad de desplazar personas o materiales de un sitio a otro, es tan antiguo como el hombre. Sin embargo, es lo largo de los últimos dos siglos, cuando la circulación sobre la superficie terrestre ha cambiado por completo y evolucionado más que en todo el periodo anterior. Este cambio se produce a raíz de la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, a raíz de la cual se comienzan a utilizar en esta actividad los combustibles fósiles:

- Primero el carbón permitió el desarrollo de barcos de vapor que podían transportar grandes cargas tanto por las redes fluviales como por mar, y el desarrollo del ferrocarril para el transporte terrestre.
- Luego el petróleo tomaría el relevo como fuente de energía fundamental para los distintos medios de transporte. Esto permitió la modernización de medios ya existentes y la aparición de nuevos medios de transporte como el automóvil a finales del siglo XIX y el transporte aéreo a principios del siglo XX.

Durante el siglo XX se produce un gran desarrollo en varios campos tecnológicos, lo que conduce a una expansión del transporte que sufre un carácter masivo y un papel principal en la economía, la sociedad, la cultura y la política.

Actualmente, los retos a los que se enfrentan los distintos sistemas de transporte son muy distintos a los que se planteaban antaño. El transporte se ha convertido en un importante consumidor de energía, que obtiene de la quema de combustibles mayoritariamente fósiles y genera emisiones gaseosas contaminantes. Estos combustibles están cada vez menos disponibles y hay más competencia por ellos, con la consecuente tendencia al alza de sus precios que ello supone. Esto hace que el transporte se constituya como una pieza estratégica clave de cara a la rentabilidad cualquier actividad económica que dependa de él.

Por todo ello, en el ámbito del transporte se ha pasado de la búsqueda de vehículos más rápidos y con mayor capacidad para llevar gran cantidad de mercancías o gran número de personas a la búsqueda sistemas de transporte de menor gasto energético y emisiones contaminantes, de costes más reducidos y

una mayor coordinación de medios, en definitiva, se busca un transporte más eficiente. Para ello, se dispone de dos herramientas fundamentales:

- **Tecnología:** el desarrollo tecnológico permite la fabricación de vehículos cada vez con mejores prestaciones y más eficientes, que producen menores emisiones y tienen un mejor aprovechamiento del combustible y, por tanto, menor consumo.
- **Planificación:** una adecuada planificación, basada en herramientas de toma de decisión cobra cada vez más importancia para la mejora en la eficiencia del transporte, ya sea de personas o mercancías.

En este contexto se enmarca la optimización de rutas, como herramienta de planificación clave para mejorar la eficiencia de servicios de distribución de mercancías o los desplazamientos de personas. En general, podría entenderse por optimización de rutas todas aquellas acciones que contribuyan a la mejora de la función de distribución, bien sea en términos de nivel de servicio, de mejora de la calidad, reducción de costes y emisiones contaminantes, etc.

En este campo, los análisis actualmente aplicados distan mucho de los análisis con un carácter marcadamente intuitivo que se utilizaban en un principio. Ahora se aplica una modelización del sistema de transporte y redes viales que permite planificar situaciones futuras y actuales en el mismo. El concepto «modelo» debe ser entendido como una representación, necesariamente simplificada, de cualquier fenómeno, proceso institución y, en general, cualquier «sistema». Es una herramienta de gran importancia para el planificador, pues permite simular escenarios de actuación y temporales diversos que ayudan a evaluar alternativas y realizar el diagnóstico futuro. Paralelamente, el rápido desarrollo de la informática y las tecnologías de la comunicación ha permitido implementar estos modelos en herramientas software que han proporcionado una mayor potencia de cálculo y permitido el crecimiento en complejidad de estos modelos.

Los problemas y situaciones que se pueden resolver aplicando este modelo son enormemente variables, pudiéndose dar respuesta a preguntas tan diversas como las siguientes:

- *¿Cuál es la manera más rápida de ir desde el punto A al punto B?*
- *¿Qué casas están a cinco minutos de un parque de bomberos?*
- *¿Qué áreas de mercado cubre un negocio?*
- *Una persona desea visitar un almacén. ¿Qué sucursal debería visitar el cliente potencial para minimizar el tiempo de viaje?*

- *¿Qué ambulancias o coches patrulla pueden atender más rápidamente un incidente?*
- *¿Cómo puede una flota de reparto o los vehículos de servicio mejorar el servicio al cliente y minimizar los costes de transporte?*
- *¿Dónde puede abrirse una tienda para maximizar la cuota de mercado?*
- *Si una empresa tiene que reducir su tamaño, ¿qué tiendas debería cerrar para conservar la demanda máxima global?*

En el presente documento se planteará cómo se abordan problemas de optimización de rutas de este tipo mediante el análisis de redes viales de desplazamiento y transporte.

2.2. Modelización del sistema de transporte a través del análisis de redes

2.2.1. Base estructural de un Modelo de Red de Transporte

Las redes viales constituyen la base para todo tipo de circulación sobre la superficie terrestre, desde personas hasta productos alimenticios, o inclusive sirven como soporte para otros tipos de redes. Estas infraestructuras, constituyen un sistema de enorme complejidad a través de las que circulan diversos medios de transporte y que permiten interconectar en todo el mundo a personas, organizaciones, pueblos, etc. Se podría decir que son el corazón mismo de todos los centros poblados del planeta. ¿Cómo un sistema de tal complejidad se puede estudiar a través de a un modelo sencillo de análisis?

En general, toda red está constituida desde el punto de vista geométrico por dos componentes fundamentales: los nodos y los ejes. Si tomamos como referencia la modelización de una red urbana, los ejes representarían los tramos de calle que existen en la misma y los nodos serían cada uno de los cruces de calle o puntos de conexión entre ellas. La clave con esta estructura de representación de la red es la interconectividad, es decir, a través de estos elementos sencillos podemos representar todas las relaciones de conectividad que existen entre calles del municipio.



Figura 2.1. Modelización del entramado urbano de calles en una red de transporte con estructura geométrica de arcos y nodos.

Fuente: elaboración propia, 2013.

Esta sencilla estructura de ejes y nodos sirve en realidad como base no sólo para la representación y modelización de redes viales o de transporte, sino también de otras redes de muy diverso tipo como las redes de distribución de agua, gas, petróleo, electricidad, redes de saneamiento, fluviales, etc. Sin embargo, en las redes de transporte existen algunas particularidades que conviene mencionar, las cuáles giran en torno a las características de los flujos que se producen en la misma y a los componentes de red.

En una red de cualquier tipo los flujos representan el desplazamiento a través de su estructura de materia, energía, datos, etc. En una red de transporte estos flujos simulan la circulación de vehículos o personas a través del entramado urbano de calles. La característica principal que las diferencia de cualquier otro tipo de red es que el flujo al interior de la misma es totalmente libre. Esto supone que un vehículo podrá desplazarse por ella con total libertad siempre y cuando no existan restricciones o límites al desplazamiento definidos específicamente en determinadas posiciones (como semáforos o bloqueos de calles, por ejemplo). Sin embargo, será el impedimento, esto es, el factor que queramos optimizar en el análisis (tiempo de desplazamiento, distancia de desplazamiento, energía de desplazamiento, etc), el que definirá en último término la circulación.

Además, los flujos en una red de transporte o red vial pueden producirse en los dos sentidos del eje (a no ser que se planteen restricciones específicas al respecto), a diferencia de otros tipos de redes en las que el flujo es siempre unidireccional.

Veamos un ejemplo sencillo que permita ilustrar cómo la estructura y componentes de red descritos hasta aquí permiten resolver un problema de optimización de ruta de transporte. Imaginemos que queremos resolver el problema más sencillo e intuitivo que se podría plantear en optimización de rutas: cómo llegar desde un punto de salida A hasta un punto de llegada B recorriendo la mínima distancia posible. Se trata de una ruta simple, sin puntos intermedios, en la que tratamos de minimizar la distancia recorrida. La estructura de arcos y nodos nos permite identificar las relaciones de conectividad entre elementos y analizar todas las rutas posibles entre los dos puntos planteados. Esas rutas estarán compuestas por una serie de ejes y nodos de la red que son atravesados y la distancia total recorrida será la suma de longitudes de los ejes por los que pasa cada una de ellas.

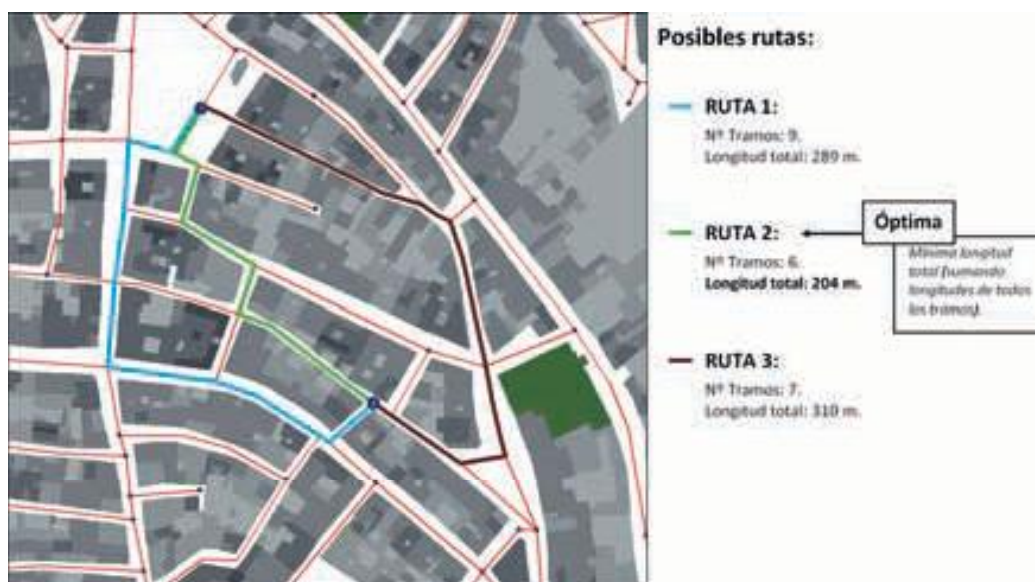


Figura 2.2. Representación esquemática de la operación de búsqueda de ruta óptima entre dos puntos (salida y llegada) mediante análisis de red.

Fuente: elaboración propia, 2013.

Por otro lado, en un modelo de red de transporte, los arcos y nodos sirven no sólo como soporte estructural fundamental de la red sino que también permiten la introducción de «eventos» dentro de la red. Por ejemplo, podríamos introducir un punto de corte de la red (imaginemos el corte de una calle por obras) mediante la introducción de un nodo que cierre el flujo. Ese punto constituiría una barrera que no podría ser «atravesada» por flujos de circulación y, por tanto, toda ruta que en principio pudiera circular a lo largo del eje sobre el que se encuentra debería ser modificada y se debería generar una solución alternativa evitando ese punto de corte.

Finalmente, conviene resaltar en relación a la modelación de redes de transporte que éstas no constituyen un elemento estático, sino que muchas de sus ca-

racterísticas, sus componentes, sus condiciones de uso, etc., pueden variar con el tiempo. Es por este motivo que dentro de cualquier modelo de redes de transporte, no solo es interesante analizar las características de los elementos constituyentes, sino que además la forma en cómo los mismos se desarrollan, evolucionan y permiten, dentro de una perspectiva temporal, la modificación progresiva de todos sus componentes a través del espacio, sea este virtual o geográfico.

Por ejemplo, en muchas oportunidades, la construcción de una carretera, responde a las necesidades actuales y futuras de desplazamiento entre dos o más puntos del espacio. Y en su diseño se han incorporado todas aquellas características que permitirán que el flujo, sea lo más expedito posible. De esta manera, la circulación a través de esta nueva red, estará definida de ahora en adelante, por la infraestructura. La cual permitirá un flujo determinado de vehículos y carga a lo largo de la misma, de acuerdo con las especificaciones dadas previamente en la etapa de diseño. Pero ¿qué ocurre cuando, producto del aumento de la producción industrial, del comercio, o de la explosión demográfica entre dos puntos de esta red, se provoca un aumento excesivo en el movimiento vehicular o de carga? ¿La infraestructura será capaz de soportar los mayores volúmenes de desplazamiento a través de ella? En la gran mayoría de las situaciones, un aumento del flujo provocará necesariamente modificaciones al diseño original de la red vial. Por lo que, los organismos públicos y privados pueden elegir diferentes alternativas para solucionar la situación. Ya sea por un aumento en el número de pistas de las carreteras principales, la construcción de nuevas rutas viales o la restricción del tráfico en algunos ejes viales de la ciudad. Todas estas medidas, de ser consideradas, alteran necesariamente las características de la red viaria existente y permiten asegurar que en estos casos, la dinámica de los desplazamientos definirá siempre, las formas y los contenidos al interior de ella.

2.2.2. Análisis de Costes o Impedancias como reguladores de red

En un principio, cuando cualquiera piensa en buscar la mejor ruta para llegar desde una localización a otra todos pensamos en la ruta más corta. En este sentido, se podría decir que la distancia es la impedancia de red más intuitiva. Sin embargo, la ruta de menor distancia no es necesariamente la más rápida o la que supone un menor coste, hay otros muchos factores que podemos utilizar como impedancias en las que basar nuestro análisis: tiempo, costes, gasto energético, etc.

Ya se ha indicado que en las redes viales o de transporte son las impedancias o costes de red los que actúan como principal regulador de flujo dentro de la red.

La impedancia de red es el factor que se intenta minimizar para la obtención de rutas óptimas o, dicho de otro modo, las rutas óptimas son aquellas que tienen un mínimo valor acumulado de impedancia de red. La selección de uno u otro factor como impedancia para el análisis de red dependerá directamente de los objetivos del estudio que estamos realizando.

Todos los elementos que componen la estructura de red (ejes y nodos) tendrán asociado un valor de impedancia de red que hace referencia al coste, en términos del factor que sea tomado como impedancia (si bien es importante recalcar que la impedancia no depende sólo de las características de la infraestructura vial, en muchos casos es proporcional a la distancia y se ve afectada por las características de la vía). Si por ejemplo estamos trabajando con el tiempo como impedancia, cada tramo de calle tendrá un valor asociado correspondiente al tiempo medio que se tarda en recorrer el tramo en cuestión. De esta manera, al conformar una ruta sobre la red el coste o impedancia acumulada de dicha ruta se obtendría sumando los tiempos de recorrido de cada uno de los tramos que la componen.

A continuación se proporcionan las cuestiones más relevantes en relación a los factores utilizados como impedancia más habitualmente.

A. Distancia:

Es el factor de impedancia más sencillo de analizar y obtener, ya que se puede extraer directamente de una medida de la geometría de los nodos de la red. Cualquier ruta trazada a lo largo de la misma tendrá una distancia total igual a la suma de distancias de los distintos ejes por los que pasa dicha ruta. Por ello, el criterio de distancia permite una rápida evaluación de las alternativas más viables a la hora de desplazarse a través de una red vial. Al diseñar una red y evaluarla en base a este criterio no es necesario contar con grandes volúmenes de información en las bases de datos, ya que para trabajar con este atributo sólo es necesario contar con la información básica proveniente desde la infraestructura (propia geometría de los ejes de red). Esta distancia se puede obtener en valores planimétricos (medidos sobre la representación en planta, plana, de la red vial) o en valores reales (medidos sobre la representación tridimensional de los ejes de la red).

B. Tiempo:

Es posiblemente uno de los factores más complejos de evaluar y administrar dentro de los modelos de redes, ya que existen una gran cantidad de factores que definirán el comportamiento de los flujos basados en esta característica. Mientras que la distancia constituye una característica intrínseca de la infraestructura disponible, el factor tiempo no solo depende de esta última,

sino que además depende de factores asociados a las características del vehículo, el tipo de normativa que regula las velocidades máximas de los flujos, congestión vehicular, condiciones climáticas o inclusive la experticia del conductor. Las cuales definirán en su conjunto, un mayor o menor tiempo de desplazamiento y la elección de la ruta más adecuada al interior de la red vial.

El tiempo de circulación se determina a partir de la velocidad de desplazamiento y la longitud recorrida. De esta forma, si queremos obtener el tiempo de recorrido de un determinado segmento de vía tendremos que dividir la longitud de ese segmento por la velocidad de desplazamiento a lo largo del mismo:

$$\text{Tiempo de recorrido de un tramo} = \frac{\text{Longitud del tramo}}{\text{Velocidad de desplazamiento}}$$

La principal dificultad radica en determinar la velocidad de desplazamiento, ya que ésta se ve afectada por numerosos factores y ni mucho menos es homogénea en distintas áreas del entramado urbano de calles, ni siquiera dentro de un tramo de calle. Esto se resuelve generalmente asignando una velocidad media a cada eje (tramo de calle) dentro de la red.



Figura 2.3. Determinación de velocidades de desplazamiento urbano en función de la tipología de vía y elementos reguladores del tráfico presentes en la misma. Fuente: elaboración propia, 2013.

A la hora de decidir qué velocidad media se asigna a cada uno de los tramos de la infraestructura de calles hay ciertas cuestiones que resultan determinantes:

- **Infraestructuras:** Pueden afectar a la velocidad de desplazamiento de distinta forma, aunque generalmente se asocia a la tipología de vía. Es evidente que dentro de las vías urbanas una avenida permitirá un tráfico más fluido y más rápido, frente a calles secundarias donde las propias limitaciones físicas (anchura de calle, obstáculos presentes, etc) y las condiciones de circulación forzarán un tráfico más lento. Las distintas vías urbanas tendrán además asociados según la normativa de circulación límites específicos a la velocidad de circulación a lo largo de ellas. Además, una mayor presencia de elementos como semáforos, pasos peatonales, resaltos, etc, reducirán la velocidad que se puede desarrollar en las vías.
- **Vehículos:** Distintos tipos vehículo pueden desarrollar velocidades medias de desplazamiento diferentes en función de sus características técnicas, de las cargas que suelen transportar, del estado en que se encuentren o incluso el conductor. Esta variabilidad se puede resolver o bien planteando unas velocidades de desplazamiento medias para todo tipo de vehículos o bien, si queremos llevar a cabo un análisis más afinado, diferenciar velocidades medias en función de tipologías de vehículo (por ejemplo, establecer unas velocidades medias de desplazamiento para vehículos de carga pesados y otra para vehículos ligeros). En este segundo caso se estarían tratando los tiempos de desplazamiento de distintos tipos vehículos como distintas impedancias de red debido a sus distintas velocidades de desplazamiento y, por tanto, se llevarían análisis de red separados para distintas tipologías de vehículo.
- **Estado del tráfico:** La cantidad de vehículos que se encuentren circulando en la red puede afectar enormemente a la velocidad de circulación, especialmente cuando se llega a un estado de saturación de las vías urbanas, superando la capacidad de circulación máxima de estas (flujo de tráfico que pueden tener sin afectar al desarrollo del mismo).
- **Otros ajustes específicos** de las velocidades se pueden realizar para afinar el análisis en función del relieve, de las intersecciones, giros de desplazamiento, etc.

Muchas de estas cuestiones permiten explicar por qué en muchos casos la distancia más corta entre dos puntos no constituye necesariamente la alternativa de menor tiempo. Ya sea por la congestión vehicular, restricciones zonales, semáforos, estado de conservación del firme, existencia de estacionamientos, u otros factores, se provocarán modificaciones a las velocidades parciales y totales de todo el recorrido de la red. Por ello, incorporar estos elementos debe ser requisito fundamental de todo modelo de red a diseñar. El interrogante es cómo traspasar estas variables, en mu-

chos casos altamente subjetivas, a datos concretos en nuestro modelo. La respuesta está dada por el criterio de cada diseñador, el cuál, apoyándose siempre en su experiencia, puede decidir cualitativamente y cuantitativamente el impacto de estos y otros factores sobre el modelo resultante. Los criterios utilizados pueden ser, bajo algunas circunstancias, discutibles pero lo importante es que se ajusten a cada realidad y no necesariamente establezcan parámetros definidos para solucionar estas subjetividades.

C. Gasto de combustible:

El gasto de combustible constituye, al igual que el tiempo, un factor de difícil análisis, ya que depende de tanto de las infraestructura (velocidades de desplazamiento desarrolladas, paradas que sea necesario realizar en semáforos, cruces, condiciones del firme,...) como de las condiciones del vehículo (tipo de vehículo, marca y modelo, carga transportada,...) e incluso del conductor (el tipo de conducción desarrollada influye en el gasto energético). Por ello, difícilmente se podrá trabajar con valores exactos de este factor para aplicarlo como impedancia de red. Sin embargo, dado que se trata de un factor directamente proporcional a la distancia siempre existe la posibilidad de obtener valores medios unitarios de gasto de combustible en función de la tipología de vehículo y para unas condiciones de carga media. Esto permite llevar a cabo un análisis de rutas para la optimización de consumos de combustible basado en esos datos medios de consumo de combustible. La importancia de este factor radica en que está directamente relacionado con otros factores de análisis de gran relevancia:

- Costes asociados al desplazamiento: el gasto de combustible se puede relacionar de forma directa con los costes del desplazamiento por medio de los precios unitarios de dicho combustible.
- Gastos energéticos: se puede decir que el gasto de combustible y el gasto energético constituyen dos caras de un mismo factor de análisis relacionadas por el poder calorífico del combustible.
- Emisiones contaminantes: si se dispone de estudios de las emisiones contaminantes que genera por término medio una unidad de volumen de combustible en un vehículo tipo podremos calcular las emisiones contaminantes asociadas a los desplazamientos y buscar rutas óptimas desde el punto de vista de las emisiones generadas.

D. Otros factores de impedancia:

Existen tantos factores que se pueden tomar como impedancias de red como criterios de análisis se nos puedan ocurrir. Por citar algunos otros

ejemplos, se pueden plantear la minimización de riesgos buscando los caminos de menor incidencia de accidentes en la red vial para, por ejemplo, el traslado de sustancias peligrosas (tóxicas, inflamables, etc) o la minimización de la distancia a centros de asistencia hospitalaria a lo largo del recorrido para traslado de enfermos en ambulancia de una instalación a otra.

2.3. Tipos problemas de optimización de rutas

La forma más intuitiva es la resolución de una ruta desde un punto A hasta un punto B siguiendo buscando el recorrido de mínimo coste, pero existen muchas más posibles situaciones o problemas que se pueden abordar basados análisis de redes y de optimización de rutas.

Sin embargo, no es la única situación o problema de gestión que se puede abordar mediante el análisis de redes, si bien es cierto que sirve de base para la resolución de otras situaciones en las que podemos aplicar dicho análisis. O dicho de otro modo, en la resolución mediante análisis de redes de cualquier problema de gestión u optimización de desplazamientos o transporte aplicamos inserta de una forma u otra la optimización de rutas individuales.

En el presente apartado se reflejan las situaciones o problemas más habituales que se pueden resolver mediante análisis de redes y de optimización de rutas.

2.3.1. Trazado de ruta óptima

Es el problema más sencillo y el primero en que se piensa cuando se aborda un problema de optimización de rutas. Podemos encontrar desarrollada gran cantidad de *software* que se implementa en distintos equipos (Aplicaciones para GPS, *software* de Escritorio, aplicaciones en páginas web, etc) que permiten llevar a cabo análisis de este tipo.

Consiste en la obtención de la ruta más eficiente que une una serie de puntos de paso. Nos permite, por tanto, obtener la mejor ruta para visitar una serie de paradas en un orden específico.

La ruta más eficiente puede significar cosas distintas en función de los objetivos del análisis que vamos a realizar: se puede tratar de la ruta más corta, la más rápida, la de menor coste económico o incluso la más pintoresca, en función de la

impedancia que elijamos para trabajar. Si la impedancia es el tiempo, entonces la ruta más eficiente sería la más rápida. Por tanto, la ruta más eficiente es la que tiene el valor acumulado de impedancia a lo largo de todo el recorrido (sumando las impedancias de cada uno de los tramos de la ruta) mínimo posible (más bajo que cualquier otra ruta que pudiéramos trazar uniendo los puntos de paso).

Cualquier problema de trazado de ruta deberá constar de los elementos constituyentes que se relacionan a continuación:

- **Red viaria:** red de calles del área urbana modelada por medio de la estructura de ejes y nodos ya descrita, donde los primeros representan los segmentos o secciones de las calles y los segundos representan las intersecciones entre dichos segmentos.
- **Vehículo:** medio de desplazamiento o transporte empleado, cuyas características técnicas y de carga pueden condicionar el análisis de optimización de ruta.
- **Puntos de parada:** Al menos tiene que existir un punto de inicio y un punto final de rutas. Además, cabe la posibilidad de que haya una serie de puntos intermedios de ruta por los que ésta deba forzosamente pasar.
- **Ruta:** La resolución del problema de trazado de ruta de mínimo coste proporcionará el recorrido que debe seguir el vehículo para pasar por los puntos de parada de la forma más eficiente posible (minimizando la impedancia de red) y cumpliendo con las restricciones que se hayan podido imponer al análisis.



Figura 2.4. Resolución de un problema de Trazado de Ruta Óptima pasando por cinco puntos de control (salida, 3 puntos intermedios de parada y llegada) en una red urbana. Fuente: elaboración propia, 2013.

2.3.2. Instalación más cercana.

Este análisis se aplica especialmente en actividades de asistencia, ya que identificar encontrar para una determinada ubicación cual es la infraestructura de asistencia más cercana o más rápida (normalmente en estos casos trabajaríamos con el tiempo como impedancia) en la red vial. Imaginemos, por ejemplo, el caso de un accidente para el que requerimos la localización del hospital más cercano y conseguir así la asistencia sanitaria más rápida, o un aviso de delito en una determinada ubicación para el que queremos encontrar la patrulla de policía más próxima, o el almacén más cercano a la dirección de un cliente.

Una vez realizado el análisis de instalación más cercana siempre es posible llevar a cabo un análisis de ruta simple para determinar el recorrido óptimo, en este caso el más corto, entre el lugar de incidencia y la instalación de asistencia.

Los problemas de análisis de instalación más cercana consta de los siguientes componentes:

- **Red viaria:** red de calles del área urbana modelada por medio de la estructura de ejes y nodos ya descrita, donde los primeros representan los segmentos o secciones de las calles y los segundos representan las intersecciones entre dichos segmentos.
- **Vehículo:** medio de desplazamiento o transporte empleado, cuyas características técnicas y de carga pueden condicionar el análisis de optimización de ruta.
- **Instalaciones de asistencia:** Infraestructuras, vehículos, etc, que pueden prestar asistencia al incidente o incidentes analizados, las cuales estarán localizadas en una posición definida sobre la red viaria. Cada una de estas instalaciones puede tener unas características o capacidad de asistencia determinadas (capacidad de asistencia, velocidad y disponibilidad de vehículos, etc), las cuales constituyen restricciones importantes que deben ser tenidas en cuenta en el análisis.
- **Incidencia:** Incidente producido y que requiere de asistencia desde las instalaciones. Deberá tener identificada su localización en la red y las necesidades de asistencia que genera, las cuales pueden afectar a uno o varios servicios de asistencia. Imaginemos, por ejemplo, un incendio en un edificio, el cuál movilizará a servicios de bomberos, sanitarios y de policía.



Figura 2.5. Resolución de un problema de Instalación Más Cercana con tres posibles instalaciones de asistencia y un único incidente.
Fuente: elaboración propia, 2013.

2.3.3. Área de servicio

Permite evaluar la accesibilidad de determinadas instalaciones de asistencia o servicio en términos de tiempos de viaje, distancia o cualquier otra impedancia de red. Para ello, permite generar el área de influencia alrededor de un punto que representa la ubicación de una determinada instalación. Esta área de influencia o área de servicio es la región que abarca todas las localizaciones accesibles desde una determinada ubicación o instalación para rango de impedancia determinado.

Se puede generar áreas de servicio con para hospitales, estaciones de bomberos, centros escolares, organismos administrativo, comercios, paradas de líneas de transporte público, etc.. Este análisis nos va a permitir determinar qué áreas se encuentran en una posición más favorable para ser atendidas o acceder a determinados servicios en función de las limitaciones (impedancia) que consideremos. Supongamos, por ejemplo, que un tiempo de desplazamiento de más de 20 minutos a hospital se considera de larga duración de cara a emergencias sanitarias. Mediante el análisis de área de servicio podemos delimitar las zonas de una determinada población que se encuentran a más de 20 minutos de una instalación de emergencia sanitaria y, de esta forma, tomar conciencia de las áreas donde existe un mayor riesgo de cara a este tipo de incidencias.



Figura 2.6. Resolución de un problema de Área de Servicio con tres posibles instalaciones de asistencia y tres rangos de tiempo de asistencia: áreas de servicio para tiempos de asistencia de 10, 20 y 30 minutos.
Fuente: elaboración propia, 2013.

Los elementos que componen un problema de área de servicio son los siguientes:

- **Red viaria:** red de calles del área urbana modelada por medio de la estructura de ejes y nodos ya descrita, donde los primeros representan los segmentos o secciones de las calles y los segundos representan las intersecciones entre dichos segmentos.
- **Vehículo:** medio de desplazamiento o transporte empleado, cuyas características técnicas y de carga pueden condicionar el análisis de optimización de ruta.
- **Instalaciones de asistencia:** Localización de infraestructuras que pueden prestar asistencia o servicios, localizadas en una posición definida sobre la red viaria. Cada una de estas instalaciones puede tener unas características o capacidad de asistencia determinadas (capacidad de asistencia, velocidad y disponibilidad de vehículos, etc.), las cuales constituyen restricciones importantes que deben ser tenidas en cuenta en el análisis.
- **Tiempos de asistencia:** En estos análisis los tiempos de asistencia límite planteados constituyen uno de los factores de entrada claves para definir las áreas de servicio. La selección de estos tiempos dependerá exclusivamente de las condiciones del servicio. Si analizamos, por ejemplo, las áreas de servicio de instalaciones de atención sanitaria, los rangos de tiempo planteados deben basarse en los requisitos de la atención médica de emergencias.

2.3.4. Matriz de coste Origen-Destino (Matriz OD)

Un matriz de coste OD es una tabla que proporciona los valores de impedancia de red acumulada entre un conjunto de puntos de origen y un conjunto de puntos de destino. Se obtiene detectando la ruta óptima para cada par origen-destino y almacenando el valor de coste acumulado de dicha ruta en una tabla donde se ofrecen los resultados para todos los pares OD existentes.

Los elementos principales de un problema de Matriz OD son:

- **Red viaria:** red de calles del área urbana modelada por medio de la estructura de ejes y nodos ya descrita, donde los primeros representan los segmentos o secciones de las calles y los segundos representan las intersecciones entre dichos segmentos.
- **Vehículo:** medio de desplazamiento o transporte empleado, cuyas características técnicas y de carga pueden condicionar el análisis de optimización de ruta.
- **Puntos de Origen:** Localizaciones establecidas como puntos de inicio de ruta, que serán relacionadas con todos los puntos de destino.
- **Puntos de Destino:** Localizaciones establecidas como puntos finales de ruta, que serán relacionadas con todos los puntos de destino.
- **Pares OD:** el resultado del análisis proporciona todas las combinaciones posibles de puntos de origen y destino con sus respectivos valores de impedancia acumulada para la ruta de mínimo coste que une cada uno de esos pares OD.

2.3.5. Problemas de ruta para flotas de vehículos (Vehicle Routing Problem - VRP)

Los conocidos en el ámbito de la logística como problemas de rutas de vehículos VRP constituyen en realidad un amplio conjunto de variantes y personalizaciones de problemas orientados al apoyo en la toma de decisiones para la administración de flotas de vehículos. En términos generales, tratan de determinar las rutas que deben seguir cada uno de los vehículos de la flota para, de forma combinada, conseguir resolver de la manera más eficiente posible a los clientes. Se busca, por tanto, encontrar la mejor forma de asignar un grupo de clientes a una flota de vehículos, así como de secuenciar y programar sus visitas. Este tipo de análisis pertenece a los problemas de optimización combinatoria.

Los objetivos para resolver tales problemas de generación de rutas para vehículos (VRP) consisten generalmente en proporcionar un alto nivel de servicio al cliente res-

petando cualquier ventana de tiempo definida y manteniendo al mismo tiempo los costes operativos y de inversión lo más bajos posible para cada ruta. Las restricciones consisten en completar las rutas con los recursos disponibles y dentro de los límites horarios impuestos por los turnos de trabajo de los conductores, las velocidades máximas y los compromisos con los clientes. Sin embargo, la función objetivo puede variar de unos casos a otros según la política de servicio que se plantee la empresa: minimizar el coste total de operación, minimizar el tiempo total de transporte, minimizar la distancia total recorrida, minimizar el tiempo de espera, maximizar el beneficio, maximizar el servicio al cliente, minimizar la ubicación de vehículos, equilibrar la utilización de recursos, etc.

Consideremos como ejemplo la distribución de género depositado un almacén central entre una serie de supermercados. El almacén central dispone de una flota de tres camiones y solo opera en una determinada ventana de tiempo, de 8:00 a 17:00 horas, dentro de la cual todos los camiones deben haber regresado al almacén. Cada camión tiene una capacidad de 7 toneladas, que limita el volumen de género que puede transportar. Cada supermercado demanda una determinada cantidad de género (en libras) que se le debe entregar, y también está sujeto a sus propias ventanas de tiempo, que delimitan las horas en las que se pueden realizar las entregas. Por otro lado, el conductor solo puede trabajar ocho horas al día, requiere una parada para comer y se le paga en función del tiempo que invierta en la tarea de conducir el camión y entregar el género en los supermercados. El objetivo consiste en proponer un itinerario (o ruta) para cada conductor tal que permita realizar todas las entregas cumpliendo todos los requisitos de servicio y minimizando el tiempo total que el conductor debe invertir en la ruta. La siguiente ilustración muestra tres rutas obtenidas a partir de la resolución de este problema VRP.



Figura 2.7. Resolución de un problema de Rutas para Flotas de vehículos de suministro desde un almacén a un total de 20 clientes.

Fuente: elaboración propia, 2013.

Los elementos principales de este conjunto de problemas son los siguientes:

- **La red viaria:** red de calles del área urbana modelada por medio de la estructura de ejes y nodos ya descrita, donde los primeros representan los segmentos o secciones de las calles y los segundos representan las intersecciones entre dichos segmentos.
- **La flota de vehículos:** Los vehículos que componen la flota tendrán un conjunto de atributos, como su capacidad de carga en peso, volumen, costes asociados, consumo de combustible, etc que resultarán relevantes en el análisis. En un vehículo se pueden transportar distintos tipos de productos o uno sólo, su contenedor puede estar compartimentado o no. En la utilización de un vehículo se incurre en unos costes fijos por uso, y variables en función del tiempo, distancia u otros parámetros fundamentalmente relacionados con las rutas que se realicen. Los vehículos de la flota pueden compartir características (flota homogénea) o ser diferentes (flota heterogénea). El número de vehículos disponibles en la flota puede ser un dato conocido o una variable de decisión. En definitiva, existe una enorme variedad de situaciones posibles en lo que se refiere a la flota que condicionarán la problemática planteada.
- **Depósitos:** Tanto los productos a transportar como los vehículos, suelen estar localizados en los depósitos (almacenes, centros de tránsito, muelles o cocheras). Es habitual que las rutas den comienzo y/o finalicen en dichos depósitos. Pueden existir varios almacenes o depósitos con localización y otras características diferenciadoras (capacidad máxima de servicio o producción, horario, flota en origen, etc.). La flota asociada al depósito puede ser conocida o parte del objetivo a determinar. Pueden existir limitaciones en el número de vehículos que operan en un mismo depósito en función de la capacidad del mismo.
- **Los clientes y servicios a atender:** Cada cliente tendrá cierta necesidad de servicio o demanda que deberá ser atendida por algún vehículo. Dicha demanda será la necesidad de una serie de productos que ocupan un volumen y un peso determinados en los vehículos y como la capacidad de éstos es limitada, normalmente un solo vehículo no podrá satisfacer las necesidades de todos los clientes. El servicio a los clientes no siempre implica distribuir producto desde el almacén hacia ellos, también puede entenderse que los clientes son proveedores, y por tanto se trataría de recoger mercancía para aprovisionar un almacén. Son muchas las situaciones que se pueden plantear en función de las necesidades de servicio de los clientes, las cuales afectan a las condiciones del análisis que se va a llevar a cabo para ejecutar todos los servicios de la forma más eficiente.
- **Rutas de reparto:** La resolución de los problemas VRP proporcionará una serie de rutas para cada uno de los vehículos que componen la flota, las

cuales deberán cumplir con los requisitos planteados en el análisis y llegar de la mejor forma posible a los objetivos propuestos.

Existen una enorme variedad de tipos de problemas VRP. A continuación se muestran algunos ejemplos de ellos:

- *Capacited Vehicle Routing Problem (CVRP)*: Optimización de rutas simples con un solo vehículo que tiene una capacidad de transporte que no debe ser superada.
- *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*: Cada cliente presenta un horario de reparto o entrega. También el depósito tiene un horario en el que permanece abierto.
- *Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)*: Existen varios depósitos de donde parten y vuelven vehículos asignados a ellos.
- *Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)*: Cada cliente requiere un número determinado de servicios en un periodo de tiempo.
- *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem (FSMVRP)*: Costes fijos dependientes del tipo de vehículo. Costes variables homogéneos. Sin limitación en el número de vehículos.
- *Vehicle Routing Problem with Deliveries and Backhauls (VRPDB)*: Existen puntos de entrega y otros de recogida hacia el almacén, pudiendo coincidir en ambos. Se permite la entrega y recogida mientras no se viole la capacidad del vehículo.
- *Multi Compartment Vehicle Routing Problem (MCVRP)*: Los vehículos deben transportar varias mercancías que deben estar separadas durante el viaje.
- *Vehicle Routing Problem with Satellite Facilities (VRPSF)*: Existen depósitos intermedios donde pueden reabastecerse los vehículos.

2.4. Herramientas software para la optimización de rutas

2.4.1. La selección de Software

Existe una gran diversidad de herramientas *software* para la optimización de rutas. Podemos encontrar desde aplicaciones generales para solventar rutas sencillas hasta específicas para gestión logística, de reparto y flotas de transporte. Estas aplicaciones pueden ser implementadas como programas de escritorio, en páginas web o en dispositivos móviles (GPS, Teléfonos móviles, PDA, Tablets).

Para escoger la herramienta más adecuada es fundamental en primer lugar tener perfectamente las condiciones del problema o problemas de planificación de ruta con que nos enfrentamos. Por otro lado, será necesario conocer detalladamente las bases de funcionamiento de las posibles herramientas software que vayamos a utilizar: las variables que maneja y los algoritmos de cálculo empleados por el *software*. De esta manera, podremos evaluar qué *software* es el más adecuado a nuestras necesidades y hacer una selección oportuna del mismo.

2.4.2. Algoritmos

A continuación se muestra una clasificación general de los algoritmos de optimización de rutas que son implementados en herramientas *software*:

- **Algoritmos de resolución exactos:** Los algoritmos de resolución exactos tratan de asegurar la obtención de la solución óptima del problema, a riesgo de emplear tiempo de computación excesivo. Entre ellos, destacan los métodos de enumeración implícita, como los algoritmos de ramificación y acotación «Branch & Bound», del plano de corte o las técnicas de programación dinámica (Papadimitriou y Steiglitz, 1982). Siempre existe un procedimiento elemental para determinar la solución óptima en los problemas consistente en llevar a cabo un inventario exhaustivo del conjunto de soluciones, generando aquellas factibles y eligiendo la que optimice la función objetivo. Sin embargo, esta forma de operar es ineficiente cuando en el problema entran en juego gran número de factores, ya que el volumen de operaciones crece de forma exponencial con ellos.
- **Algoritmos de resolución aproximados:** Permiten resolver problemas en los que entran en juego gran número de factores de forma razonablemente eficiente.
 - Algoritmos Heurísticos: Consisten en un conjunto bien definido de pasos que identifican con un esfuerzo de cálculo razonable una solución satisfactoria (no necesariamente la óptima) para un problema determinado.
 - Heurísticas de construcción de soluciones factibles: se basan en añadir paulatinamente componentes individuales a la solución hasta obtener una opción viable.
 - Heurísticas de descomposición: fragmentan el problema en otros más pequeños de forma que al resolverlos todos ellos se obtenga una solución para el problema global.
 - Heurísticas de reducción: simplifican el problema tratando de distinguir alguna característica que presumiblemente deba poseer la solución óptima.
 - Heurísticas de manipulación del modelo: tratan de simplificar el esquema teórico para encontrar los valores de las variables de decisión

con mayor facilidad, deduciendo a partir de ellas la solución del problema original.

- **Heurísticas de búsqueda local:** se basan en la exploración del entorno (neighborhood) de una solución. Este ámbito está formado por las opciones generadas por una alteración de la solución actual. Mediante estos movimientos se pasa iterativamente de una solución a otra mientras no se cumpla un determinado criterio de terminación.
- **Algoritmos Metaheurísticos:** Son estrategias que sirven para guiar a las heurísticas y que mediante combinación de diversas técnicas permiten explorar el espacio de soluciones.
- **Búsqueda secuencial por entorno:** El uso de operadores, que permiten el paso de una solución a otra de su entorno, mejora el objetivo mientras no se alcance un óptimo local. La idea central de las metaheurísticas basadas en las búsquedas por entornos se fundamenta en la degradación estratégica de las opciones que mejoran las de su vecindario para alcanzar un nuevo óptimo relativo.
 - **Algoritmos evolutivos:** Una población de soluciones puede evolucionar hacia individuos de mayor aptitud si existen mecanismos de reproducción, bien cruzando información si existen varias soluciones que originan nuevas, o simplemente de reproducción, cuando el conjunto se somete a criterios de supervivencia por selección.
 - **Redes neuronales artificiales:** Aparecieron al tratar de comprender el cerebro humano, contemplándolo como un sistema de procesamiento de la información de tipo altamente complejo, no lineal y en paralelo. Se trata de un sistema de interconexión de unidades elementales, llamadas neuronas, que colaboran entre sí para producir un estímulo de salida.

2.4.3. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Entre las opciones de *software* disponibles para la optimización de rutas, vamos a hacer especial mención a los Sistemas de Información Geográfica, cuya ventaja principal respecto a otro *software* es su gran polivalencia.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés) es una integración organizada de *hardware*, *software*, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver proble-

mas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. Resulta, por tanto, fundamental para el modelado, resolución y análisis de este tipo de problemas, en los que es necesario gestionar una enorme cantidad de información que en muchos casos tiene una marcada componente espacial: de la flota de vehículos, planes de ruta, cargamentos, puntos de depósito y recogida, las restricciones y la función objetivo, condiciones de la red viaria, etc..

La razón clave para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que difícilmente podríamos obtener de otra forma.

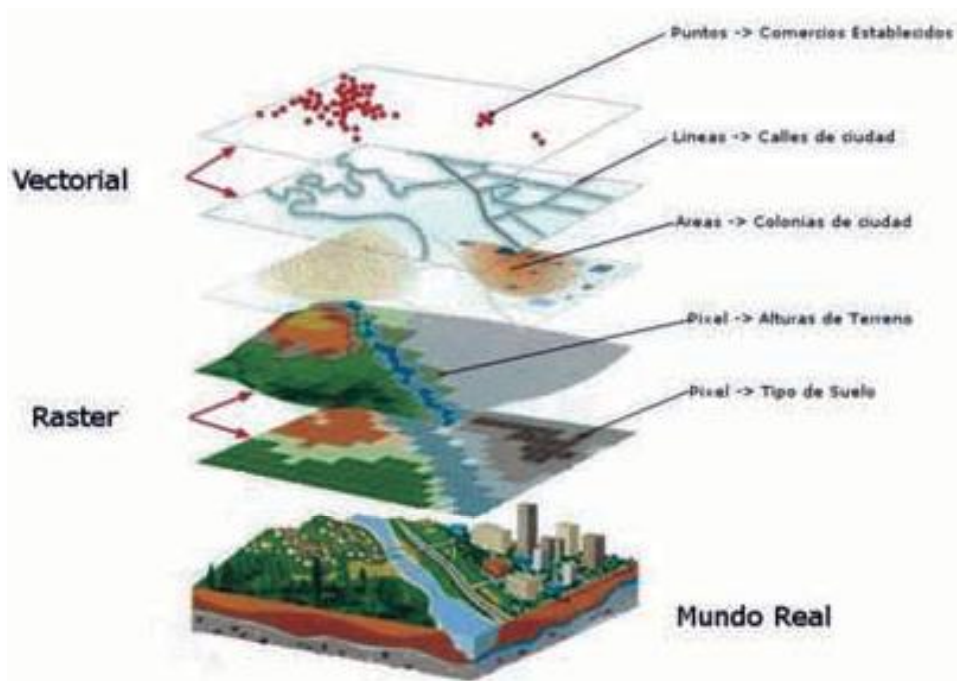


Figura 2.8. Esquema del modelo de representación de elementos del territorio a través de una superposición ordenada de capas (vectoriales y raster) en un Sistema de Información Geográfica. Fuente: National Coastal Data Development Centre (NCDDC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA, 2006.

Además de esta función de almacenamiento ordenado en bases de datos geoespaciales de toda la información de interés, el *software* SIG puede incluir extensiones específicas para el análisis de optimización de rutas y, además, permite realizar toda una serie de funciones complementarias o previas que pueden resultar de gran interés para dicho análisis. Entre ellas podemos resaltar:

- Geo-localización (*geocoding*) de direcciones, depósitos, clientes, proveedores o cualquier otro elemento que intervenga en el análisis.
- Análisis de la red de transporte, red de carreteras, sentido de circulación de las vías, infraestructura de señalización, elementos que afectan al tráfico, etc.
- Representación y seguimiento (*tracking*) de las rutas para cada vehículo.
- Análisis geoespaciales complementarios del estado de las infraestructuras, el tráfico, demografía, necesidades de desplazamientos en la población, etc..

FLOTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO EN SUPERFICIE. PROYECTOS EN LA EMPRESA MUNICIPAL DE TRANSPORTES DE MADRID

EMT MADRID

3.1. Introducción

Actualmente, el abastecimiento de las necesidades energéticas nacionales, prácticamente en su totalidad, está caracterizado por tener una dependencia externa muy elevada de la energía transformada. En cuanto al transporte, la energía que se destina a este sector supera el 33% del total de la energía consumida, y en la Comunidad de Madrid esta cifra es aún mayor debido principalmente a la alta densidad poblacional de la región y al importante peso del sector servicios.

En cuanto a los aspectos medioambientales, el tráfico genera el 40% de las emisiones y supone una de las principales causas de exposición de la población urbana a los contaminantes atmosféricos.

Por tanto contribuir a una movilidad eficiente, especialmente en los entornos urbanos, es imprescindible para corregir deficiencias en la calidad del aire, y para reducir el consumo excesivo de combustible y las pérdidas de tiempo inasumibles.

Los proyectos aquí recogidos muestran la contribución de la EMT para la mejora de la eficiencia del transporte urbano en Madrid, y por tanto para el desarrollo sostenible de la ciudad.

3.2. Proyectos con biocombustibles en la EMT de Madrid desde el año 2003

3.2.1. Descripción de los proyectos

3.2.1.1 Proyecto Biodiesel BD5

Desde noviembre de 2003 hasta marzo de 2005 se ha estado utilizando biodiesel con cuatro autobuses dotados con un motor que cumple con las especifica-

ciones Euro III en cuanto a su nivel de emisiones, dos de la marca MAN y otros dos de IVECO, recorriendo con estos autobuses más de 260.000 kilómetros.

El biodiesel utilizado era un BD5 suministrado por Repsol YPF, con un porcentaje de éster metílico derivado del aceite de girasol de un 5%. En este proyecto no ha habido problemática en el sistema de inyección de los autobuses, teniendo unos valores correctos del análisis de filtros y de aceites utilizados. No se ha observado en la prueba un aumento de consumo significativo con respecto a los autobuses que utilizan diésel como combustible.

3.2.1.2. Proyecto Biodiesel EHN 100%

Este combustible, que suministra EHN, cumple con las especificaciones de la euro norma 14214 y el RD 1700/2003. Se utiliza puro, sin mezclar con gasóleo. Procede de aceites vegetales de primera utilización, y mezcla distintos tipos de aceites para el mismo, principalmente soja, girasol, colza y palma.

El ensayo transcurrió entre el día 6 de junio de 2005 y el 4 de octubre de 2006 sobre 6 vehículos, dos Mercedes O/405 Euro II, del año 1998, dos IVECO CityClass Euro II, del año 1998 y dos IVECO CityClass Cursor Euro III, del año 2002.

En el ensayo, los vehículos equipados con biocombustible realizaron más de 300.000 kilómetros, no observándose incremento de averías en los sistemas de inyección y alimentación respecto al resto de autobuses del mismo modelo y año. Se observó un ligero aumento en averías de fuga de combustible en el modelo de Mercedes (7 años de antigüedad).

3.2.1.3. Proyecto Biodiesel CLM 20%

Este combustible, suministrado por Biodiesel Castilla la Mancha, se obtiene mezclando un 20% de ésteres metílicos de aceites vegetales procedentes del reciclado de aceites usados, con un 80% de gasóleo convencional.



Figura 3.1. Depósito de Biodiesel para recarga de autobuses. Fuente: EMT, 2013.

La prueba se realizó entre el 1 de agosto de 2005 y el 19 de septiembre de 2006, en 6 autobuses, tres del modelo MAN NL-263F, matriculados en el año 2003 y 3 del modelo IVECO CityClass Cursor, matriculados en el año 2004.

En el transcurso del ensayo los vehículos equipados con biocombustible realizaron más de 300.000 kilómetros, no observándose averías en los sistemas de inyección y alimentación de los mismos.

3.2.1.4. Ensayo de biodiesel en proporción variable

Se llevó a cabo una tercera prueba sobre un autobús que cumple con la normativa de emisiones Euro III, concretamente un MAN NL-263F del año 2003. El biodiesel utilizado en esta prueba procede de aceites de girasol de primera utilización.

En esta prueba, se ensayan las prestaciones y el consumo con biodiesel y la influencia en estos parámetros de la proporción de biodiesel utilizado. Para ello, se varía la proporción de biodiesel y gasóleo normal entre el 20% y el 100%. Con este estudio se pretende hallar las proporciones más convenientes en un motor moderno sin penalizar la vida del vehículo ni su calidad en el servicio.

Este autobús recorrió más de 40.000 km entre enero y diciembre de 2005, sin problemas específicos derivados de la utilización de este combustible. En el transcurso de la prueba no se observaron averías en el sistema de alimentación, aunque sí un aumento de consumo y disminución de potencia, que aumentaba con la proporción de biocombustible empleada (no linealmente).

3.2.1.5. Proyecto de uso de biocombustible en una flota completa

A partir de octubre de 2006, se inicia el uso de biocombustible a gran escala, utilizando biocombustible en la totalidad de los coches diésel de un depósito de la EMT. El combustible usado es biodiesel al 20%, comprando por separado el biocombustible y el gasoil convencional, y realizando la mezcla directamente en los tanques de almacenamiento de combustible del depósito. Este combustible se reposta en toda la flota de autobuses de gasóleo del depósito de Fuencarral A de la EMT, que comenzó con 150 IVECO CityClass Euro II, 30 IVECO CityClass Cursor Euro III y 30 Mercedes O/405N (Euro II), y actualmente tiene 140, 25 y 30 autobuses, respectivamente, de los modelos señalados, debido a que se están sustituyendo esos autobuses por otros nuevos de gas natural.



Figura 3.2. Cocheras EMT Sanchinarro, Madrid. Fuente: EMT-AVIA, 2013.

3.2.2. Determinación de los consumos de combustible de cada proyecto

La metodología para los casos de BD5, BD100 (EHN) y CLM (20%) es común. Se elige una serie de autobuses que van a utilizar el biocombustible y se comparan, uno a uno, con otro autobús del mismo modelo y semejante edad y kilometraje, que utiliza gasoil (llamado autobús control). En el caso del BD5, se realizó la prueba con cuatro autobuses que utilizaban BD5 y otros cuatro con gasoil, y en los casos BD100 y BD20, seis autobuses repostados con biocombustible que se comparaban uno a uno con otros seis autobuses de gasoil.

No se realizó ninguna modificación técnica en ninguno de los coches, ni ninguna otra acción que pueda tener relación con la eficacia o el consumo de los mismos. El autobús con biodiesel y su control prestan servicio en la misma línea, y en turnos similares. Los datos de consumo aportan los siguientes resultados:

Tabla 4.1. Tipo de biodiesel e incremento de consumos en la flota.

Tipo de Biodiesel	Incremento de consumo medio
BD5	1,54 %
CLM 20%	4,50 %
EHN 100%	7,50 %

Tipo de Biodiesel		Incremento de consumo medio
Variable	100% Bio	9,90%
	50% Bio 50% Diésel	6,50%
	30% Bio 70% Diésel	6,30%
	20% Bio 80% Diésel	4,40%
	B20 (Flota completa)	3,54%

Tabla 4.2. Tipologías de vías en trama urbana.

3.3. Transformación de autobuses diésel a autobuses dual-fuel (gasóleo-gnc) en EMT de Madrid

3.3.1. Introducción

Con el objetivo de disminuir la dependencia de combustibles poco respetuosos con el medioambiente, la utilización de combustibles alternativos a los derivados del petróleo ha estado siempre presente en EMT de Madrid.

Como consecuencia de esto, desde el año 2011 EMT no adquiere autobuses de gasóleo, apostando por el GNC como combustible principal de su flota, disponiendo a día de hoy de 790 autobuses de GNC, el 39% de su flota y la mayor de Europa con este combustible.

La posibilidad de incrementar el porcentaje de utilización del gas natural con respecto al gasóleo como combustible en EMT es atractiva por razones medioambientales, por razones estratégicas de dependencia/abastecimiento y, a día de hoy, por razones económicas, por lo que además de potenciar este incremento con la renovación del parque de autobuses con vehículos mayoritariamente de GNC, se ha interesado por la tecnología dual-fuel, que permite utilizar en autobuses diésel el gas natural simultáneamente con el gasóleo como combustible, en porcentajes que pueden llegar a ser del 10% de gasóleo y 90% de gas natural.

En este sentido está realizado pruebas con dos autobuses diésel a los que se les han instalado sendos equipos para convertirlos en autobuses dual-fuel de gasóleo-gas natural.

3.3.2. Tecnología dual-fuel

La tecnología dual-fuel se puede definir como la combustión simultánea de dos combustibles, en este caso el gas natural se utiliza en combinación con el gasóleo para hacer funcionar el motor diésel. El gas natural se mezcla con el aire de admisión del motor entrando en la cámara de combustión donde se utiliza una inyección piloto de gasóleo, actuando a modo de bujía, para provocar el encendido de la mezcla, en este caso aire, gas natural y gasóleo. En el mejor de los casos pueden llegarse a porcentajes del 10% de gasóleo y 90% de gas natural, si bien en pruebas reales se utilizan porcentajes entre el 50% y 80% de gas natural. Una vez realizada la modificación, el motor puede seguir funcionando exclusivamente con gasóleo; en ningún caso será capaz de funcionar con gas natural exclusivamente.

En este tipo de motores diésel con combustión compartida, la inyección de gasóleo proporciona la combustión inicial necesaria para quemar el gas natural. En el colector de admisión del motor se instalan los inyectores de gas natural, de forma que éste es introducido en las cámaras de combustión a la vez que el aire, de forma similar a los motores tradicionales de ciclo Otto. Una pequeña inyección de diésel con el sistema original del motor, es introducida en la cámara tras la compresión y la combustión de éste inicia la del gas y el aire.

La tecnología más innovadora está en el correcto control de la nueva combustión que tiene lugar dentro de la cámara del motor. Debido a la presencia de dos combustibles de distintas características, presenta diferencias y similitudes con la combustión de los motores gasolina y con los motores Diesel.

La combustión en un motor compartido se puede describir en cinco fases:

- Retraso en el inicio de la combustión de la inyección piloto.
- Combustión de pre-mezcla.
- Retraso en el inicio de la combustión del gas natural.
- Combustión de pre-mezcla del gas natural.
- Combustión por difusión del gas natural.

Los estudios realizados demuestran que esta variación en el proceso de combustión modifica las características respecto a la combustión original del motor diésel. Está demostrado que la presión máxima en el cilindro es menor operando con combustión compartida que la original. Por otro lado los tiempos de combustión bajo condiciones compartidas son más largos a bajas velocidades y baja carga, pero a altas vueltas y mayores grados de carga los tiempos son más cortos que los tiempos empleados en la combustión diésel original.

Estas diferencias afectan a las emisiones y al consumo específico en la operación de estos tipos de motores:

- El humo emitido por el motor se reduce en todas las condiciones de operación con combustión compartida, frente a la situación original operando solo con Diésel.
- Se produce una importante reducción en las emisiones de gases contaminantes, que dependen de las condiciones de operación del motor y de los niveles de sustitución del diésel que se alcancen. Asimismo realizando un control sobre el avance de la inyección y la cantidad de diésel empleado en la inyección piloto se pueden obtener reducciones mayores que simplemente sustituyendo parte del combustible. Asumiendo niveles típicos de sustitución del 50%, las reducciones del CO₂ se sitúan entre el 10% y el 15%, las partículas pueden alcanzar reducciones del 50% y los NOx se sitúan entre un 35% y un 65% menores. (Fuente: NGVA *Europe Position Paper Dual Fuel*; Dr. Jürgen Brachetti, May 2010).
- Operando a bajas carga, cuando las mezclas de combustión son muy pobres, los niveles de sustitución del combustible diésel por CNG son bajos, dado que la combustión de este es lenta e inestable. En estas condiciones la admisión es prácticamente solo aire y la combustión es similar a la de un motor diésel convencional. Así la sustitución del combustible diésel puede estar entorno al 10%. A medida que aumenta el régimen de operación del motor y los niveles de par son medios y altos, mayor cantidad de CNG es inyectado en los conductos de admisión y proporcionalmente mayor es la cantidad de combustible diésel reducido respecto a la operación original del motor, pudiendo alcanzar valores del 40%. Cuando se alcanzan condiciones de operación más estables, conduciendo largas distancias a velocidades constantes, mayor es la sustitución del diésel, llegando a niveles del 80%.

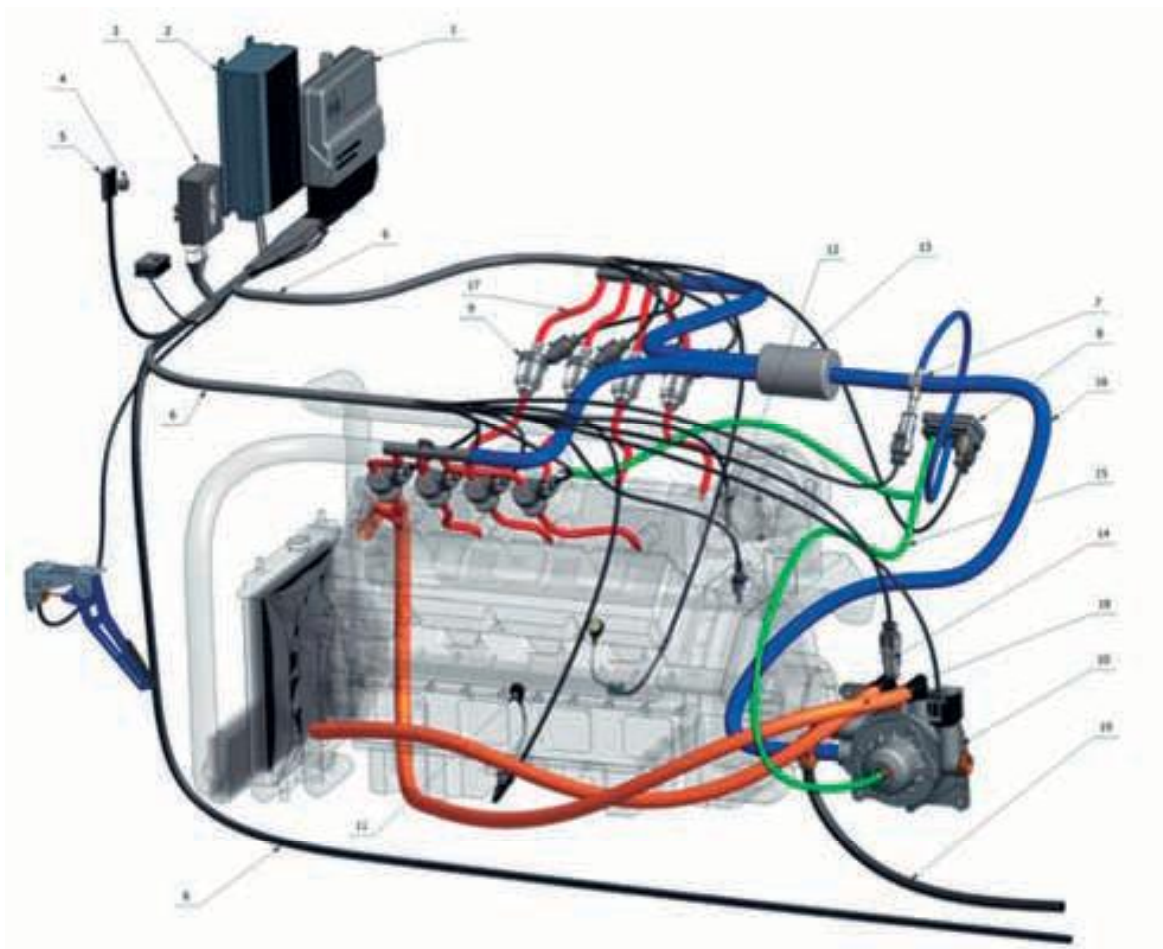


Figura 3.3. Esquema instalación dual-fuel. Fuente: EMT-AVIA, 2013.

3.3.3. Sistemas instalados en los autobuses de EMT

En EMT de Madrid se están probando dos autobuses con dos instalaciones distintas. La primera de ella, realizada en Noviembre de 2012, se ha instalado en una unidad Iveco Cityclass Cursor Euro IV, con las siguientes características:

- Para el almacenamiento del GNC a 200 bar de presión, se han instalado cuatro depósitos, tipo 1 de acero en el techo del autobús, dos de 97 litros y dos de 80 litros, con una capacidad total de 354 litros; con sus válvulas de suministro de gas y de seguridad correspondientes.
- El gas es conducido por una tubería de acero inoxidable de 6 mm de diámetro hasta el reductor de presión ubicado en el vano motor, por detrás del tubo de admisión de aire, donde se reduce la presión a 1,9 bares antes de inyectarla en la admisión del motor.



Figura 3.4. Depósito de GNC en el techo del autobús. Fuente: EMT, 2013.

- El aporte de gas al motor se realiza por medio de 2 inyectores pilotados situados en el colector de admisión del motor, en la aspiración del turbocompresor, donde existe una presión ligeramente inferior a la atmosférica. De esta forma el turbocompresor comprime una mezcla de aire y gas que circula por el enfriador (intercooler) para alcanzar luego el colector de admisión y los cilindros del motor.
- Para la regulación del aporte de gas se toman señales de la posición del pedal del acelerador, presión de soplado del turbocompresor y de temperatura de gases de escape y, adicionalmente, de presión y temperatura del gas aguas abajo del reductor de presión, nivel de gas y conmutador del sistema y, por medio de la centralita electrónica situada en la parte trasera derecha de la canalización interior del autobús, se regulan las electroválvulas de los tanques, el reductor de presión y las electroválvulas de los inyectores para el aporte de gas.

La segunda de ellas, realizada en junio de 2013, se ha instalado en otra unidad del mismo modelo que la anterior, Iveco Cityclass Cursor Euro IV, y tiene las siguientes características:



Figura 3.5. Reductor e inyectores de gas natural en el colector de admisión del motor diésel. Fuente: EMT-INMOTIA, 2013.

- Depósitos de combustible GNC: se instalan 4 depósitos de combustible tipo GNC-1 con de 70 l de capacidad cada uno, consiguiendo una capacidad total de 280 l.
- Válvula reguladora de presión: encargada de adecuar la presión de almacenaje en los depósitos, variable desde la máxima de 200 bar hasta la mínima de operación de 50 bar, a la presión de trabajo de los inyectores situada entre 1.1 bar y 2.5 bar. La válvula fabricada en aleación de aluminio admite una presión de entrada de 26 MPa.
- Inyectores de gas: se encuentran situados junto al bloque motor, en este vehículo se instalan 6 inyectores, uno por cilindro. Su presión de trabajo es de 120 kPa y la presión máxima es de 400 kPa.
- Tubos rígidos de combustible y uniones: toda la instalación de combustible de alta presión, desde los depósitos a la unidad de llenado y la válvula reguladora de presión se realiza con tubo de acero inoxidable compatible con el GNC, así como las uniones que están realizadas con racores de compresión de doble anillo en acero inoxidable compatibles con CNG.



Figura 3.6. Depósitos de GNC en el techo del autobús. Fuente: EMT, 2013.



Figura 3.7. Inyectores de gas natural en la culata del motor diésel.
Fuente: EMT, 2013.

- Tubos flexibles de combustible y uniones: toda la instalación de combustible de baja presión, clase 2, desde la válvula reguladora de presión y los inyectores se realiza con tubo flexible compatible con el GNC.
- Filtro de combustible GNC: situado aguas abajo del regulador de presión está diseñado para impedir el paso de partículas que pudieran entrar con el combustible y obstruir los inyectores. El filtro está fabricado es del tipo FL 01 clase 2.
- Sensores de presión: Sensores de presión CNG de clase 2.

- Unidad de control de alimentación GNC: controla la cantidad de combustible diésel y CNG inyectado en función de las condiciones de trabajo del motor, como revoluciones, grado de carga, temperatura del motor y del combustible, presión de admisión y del combustible.

3.3.4. Beneficios del sistema

Disminución de emisiones:

El combustible GNC prácticamente elimina la emisión de partículas en los gases de escape y permite un nivel de emisiones de NOx inferior a la norma EEV, lo que representa una disminución de este contaminante, el más importante en la contaminación en las ciudades, de más de un 42%. Dado el porcentaje de sustitución de gasóleo por GNC, en la práctica, se reducen las emisiones de NOx en un 20%.

Ahorro de combustible:

Además de la disminución en emisiones contaminantes que se producirá por la sustitución de un porcentaje de gasóleo por gas natural, lo atractivo del proyecto es el beneficio económico producido por el cambio de combustible.

A falta de terminar de realizar los ensayos en los vehículos, estimando una mezcla del 60% de gasóleo y un 40% de gas, el coste de tracción sería 0,468 €/km, es decir, un ahorro de 0,092 €/km. (A fecha actual el coste de combustible gasóleo es 0,56 €/km mientras que el GNC cuesta 0,33 €/km).

3.4. Minibuses eléctricos en las líneas M1 y M2 de la EMT de Madrid

3.4.1. Descripción

Desde comienzos de 2008 se han puesto en servicio en Madrid unos minibuses eléctricos para dar servicio a zonas de la capital, dentro de su centro histórico, que,

que, por sus especiales características, nunca antes habían contado con transporte público. EMT de Madrid cuenta con una flota de 20 minibuses eléctricos, marca Tecnobus modelo Gulliver, que dan servicio a dos líneas que circulan por la almendra central de la capital. Estas dos líneas, de nueva creación, son las denominadas M1 y M2.

Con la línea M1 (Sevilla - Glorieta de Embajadores) se unen mediante autobús plazas emblemáticas de la ciudad de Madrid como son la Plaza de Canalejas, Jacinto Benavente, Tirso de Molina, Lavapiés, Embajadores y Cascorro. La línea M2 (Sevilla - Argüelles) une la calle Alcalá a la altura de Sevilla con la calle Alberto Aguilera esquina con Princesa a través de calles casi peatonales como son la Calle del Pez, de los Reyes y Amanuel, en su recorrido de ida, y de las calles Conde Duque, Noviciado, Espíritu Santo y del Barco, en su recorrido de vuelta.

Las calles por las que circulan estos autobuses no habían tenido cobertura hasta la creación de estas líneas. Además, hay que indicar que en su recorrido no se ven alteradas las condiciones de los vecinos, al no emitir ningún gas contaminante y producirse únicamente el sordo ruido de rodadura que producen los neumáticos sobre el asfalto. Ello es debido a la tecnología eléctrica empleada en este tipo de minibuses, con cero emisiones acústicas y de gases.

Las características técnicas de los vehículos son las siguientes:

- Longitud total: 5,32 m.
- Anchura total: 2,035 m.
- Altura: 2,850 m.
- Distancia entre ejes: 3,08 m.
- Tara: 3.800 kg (aprox.).
- Masa máxima autorizada: 6.280 kg.

Esta carga es suficiente para llevar 7 clientes sentados y 18 de pie, más un cliente de movilidad reducida en silla de ruedas.



Figura 3.8. Interior minibús eléctrico. Fuente: EMT, 2013.

Todos los pulsadores de solicitud de parada son accionables por cualquier persona con discapacidad física, así como fácilmente visibles por su contraste con los elementos de la carrocería donde van colocados. Además del espacio para silla de ruedas, existen dos butacas reservadas para personas de movilidad reducida, con pulsadores de solicitud de parada en sus proximidades.

El motor eléctrico que mueve el autobús tiene una potencia máxima en su tracción delantera de 27,2 kW (37 C.V.), con un par máximo de 137,3 Nm, alcanzando una velocidad máxima de 32 km/h, suficiente para las calles por las que circula.

Para hacer funcionar este motor eléctrico el autobús cuenta con dos módulos de acumuladores de Ni/NaCl de alto rendimiento denominados "Zebra", con una capacidad unitaria de 418 Ah, que suministran una energía total almacenada de 71 kWh a 85 V de tensión. El peso de cada módulo es de casi 300 kg y van situados en la parte trasera del vehículo.

Las baterías deben funcionar en un rango de temperaturas entre 240 y 330 °C. A 270 °C, temperatura nominal de trabajo, tienen una pérdida energética por calor de tan sólo 128 W.

Para cargar las baterías “Zebra”, el vehículo dispone de dos conectores (uno por batería) y un tercer conector para transmisión de datos.



Figura 3.9. Punto de recarga de un minibús eléctrico. Fuente: EMT, 2013.

El sistema es totalmente automático. El “software” embarcado se encarga de evaluar el nivel de carga de cada batería en todo momento y de suministrar la energía necesaria.

Para la recarga diaria de los acumuladores de estos minibuses se ha construido una estación de carga en el moderno Centro de Operaciones de Carabanchel. La energía eléctrica utilizada se obtiene de la planta de placas de células fotovoltaicas de 100 kVA existente en las azoteas del edificio del Centro de Carabanchel, con lo que el funcionamiento de los autobuses Gulliver es totalmente limpio para la ciudad de Madrid, sin emitir ningún contaminante, ni por los autobuses ni por la generación de la energía que los mueve.

Los autobuses están dotados de suspensión neumática regulable en altura para facilitar el acceso de personas de movilidad reducida, así como de aire acondicionado y calefacción.



Figura 3.10. Recarga de un minibús eléctrico. Fuente: EMT, 2013.

El puesto de conducción es totalmente ergonómico, con los pulsadores situados en el cuadro de instrumentos al alcance de la mano, así como la bandeja portamonedas eléctrica para el pago de billetes sencillos y la instalación de una mampara de protección del conductor contra las agresiones.

Todos los autobuses Gulliver, al igual que el resto de la flota de la EMT tienen Sistema de Ayuda a la Explotación, así como localización por GPS y radio. Además, tienen un panel informativo de paradas para los viajeros y dos validadoras de billetes, una para tarjetas sin contacto y otra para billetes magnéticos.

La inversión realizada en el material móvil, en la estación de carga y en la parte correspondiente de las placas fotovoltaicas ha sido superior a los 6 millones de euros.

3.4.2. Beneficios e impactos positivos

Desde los inicios de la prestación del servicio en las mencionadas líneas M1 (febrero - 08) y M2 (octubre - 08), se han recorrido más de 117.000 km, transportándose más de 320.000 personas y todo ello con una velocidad comercial de

6 km/h, que es una cifra muy satisfactoria dadas las características de las calles por las que se circula y el tipo de transporte que se ha logrado implantar. Ello ha permitido ahorrar unos 35.000 l de gasóleo que se habrían consumido en caso de realizar este transporte con autobuses convencionales, con la consiguiente reducción también de contaminantes reglados y gases de efecto invernadero.

3.5. Transformación de autobuses diésel en autobuses híbridos diésel-eléctricos en EMT de Madrid

3.5.1. Introducción

EMT de Madrid viene participando desde el año 2009, junto con TMB de Barcelona y EMT de Valencia, en el denominado PROYECTO ELECTROBUS, consistente principalmente en la realización de transformaciones de vehículos convencionales a híbridos, además de en la adquisición de vehículos nuevos híbridos. La finalidad del proyecto es aumentar la eficiencia energética de los vehículos, posibilitando la recuperación y aprovechamiento de la energía de frenada, disminuyendo así el consumo de combustible y, en consecuencia, la reducción de emisiones, incrementando la presencia en el parque de vehículos de autobuses híbridos.

En este sentido, el año 2011 se concluyó con la transformación de 4 autobuses diésel Iveco Cityclass Euro III, en autobuses híbridos diésel eléctricos, configuración serie.

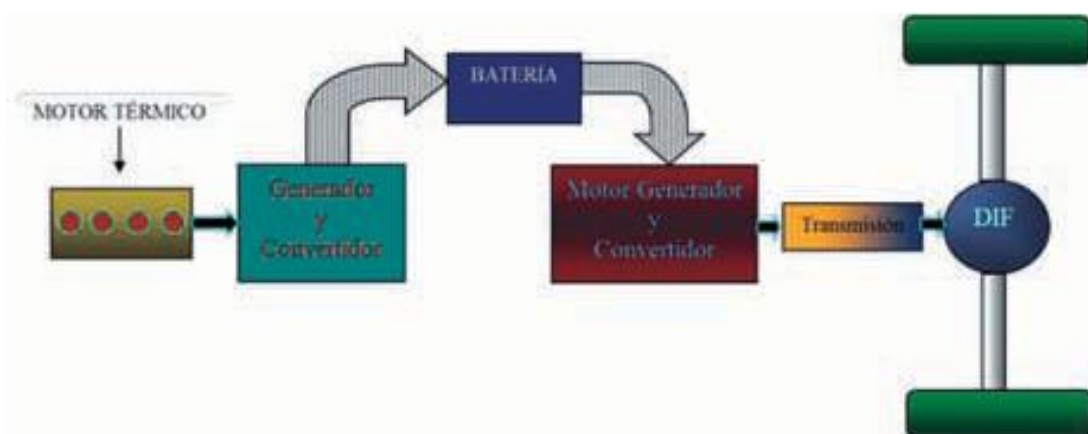


Figura 3.11. Esquema vehículo híbrido con configuración SERIE.

Fuente: EMT-INSIA, 2013.

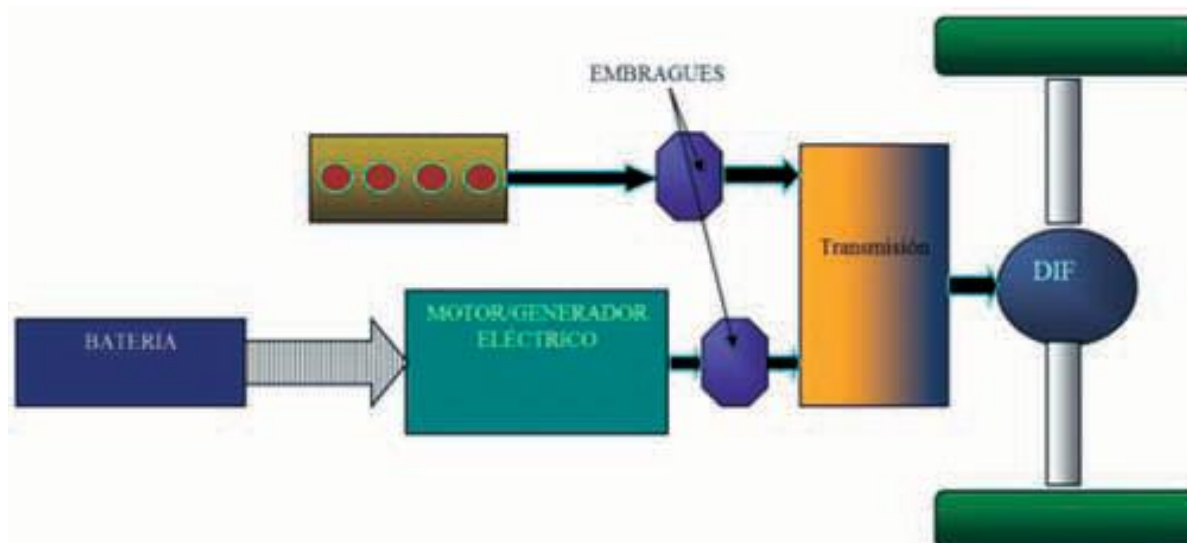


Figura 3.12. Esquema vehículo híbrido con configuración PARALELO.
Fuente: EMT-INSIA, 2013.

3.5.2. Sistema instalado en autobuses de EMT

Los vehículos transformados a híbridos fueron de la marca IVECO, modelo Cityclass Euro III. Se trata de unos vehículos estándar de 12 metros de longitud que han sufrido unos cambios respecto al original en su cadena cinemática con la sustitución de elementos de origen y la incorporación de nuevos equipamientos para transformarlos en autobuses híbridos tipo serie diésel-eléctricos.

Los cambios que ha sufrido este vehículo han sido la sustitución de la caja de cambios por un generador eléctrico de 180 kW, que es arrastrado por el motor térmico original que gira en todo momento a las revoluciones óptimas de funcionamiento para obtener unos consumos optimizados y una reducción considerable en las emisiones en los gases de escape.

La tracción se efectúa mediante la incorporación de dos motores eléctricos de tracción de 67,5 kW de potencia cada uno, unidos a una caja sumadora, SUMATION GEAR BOX, que ataca directamente al eje de transmisión cardán, que ha sufrido una modificación en su longitud, pasando a ser ésta de 1.780 mm.

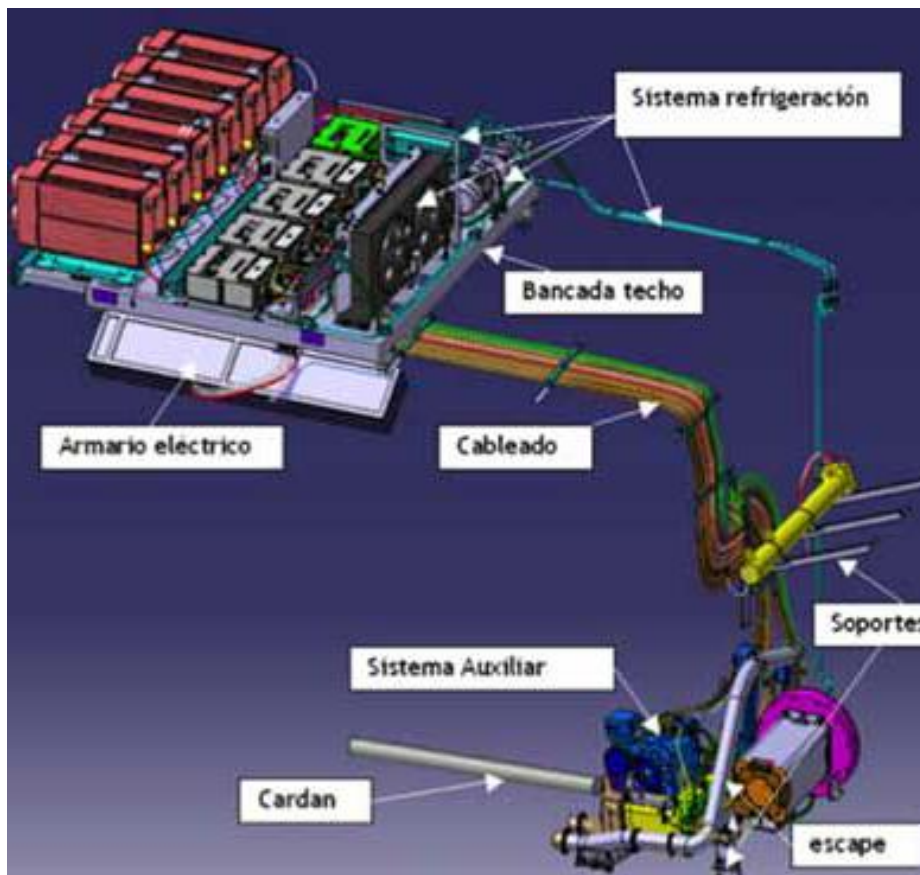


Figura 3.13. Equipos instalados en el vehículo. Fuente: EMT-TMB, 2013.

Como elementos almacenadores de energía se instalan 6 unidades de supercondensadores, UCAP's, de 125 V y 63 faradios, dando como resultado de la conexión en serie de todos ellos una tensión de 750 voltios y una capacidad de 10 faradios con una energía de 150 kW aproximadamente. Estos acumuladores se ubican en la zona del techo.

Para obtener las tensiones de servicio de los elementos de potencia como son los motores de tracción, generador y motores auxiliares (dirección y bomba refrigeración), se instalan unos inversores de potencia gestionados por una unidad de control. Estos dispositivos se encargan de direccionar el flujo de energía hacia un lado u otro, según si estamos en fase de aceleración o fase de frenado.

Para poder alojar los equipamientos en el vehículo se ha reforzado la suspensión dotándolo de amortiguadores y cojines neumáticos análogos a los que equipan los vehículos de GNC. A su vez también se ha reforzado la estructura del bastidor y chasis con la incorporación de cuatro tirantes o cartelas entre las vigas principales del techo para poder soportar la bancada de equipamientos alojados en el techo.

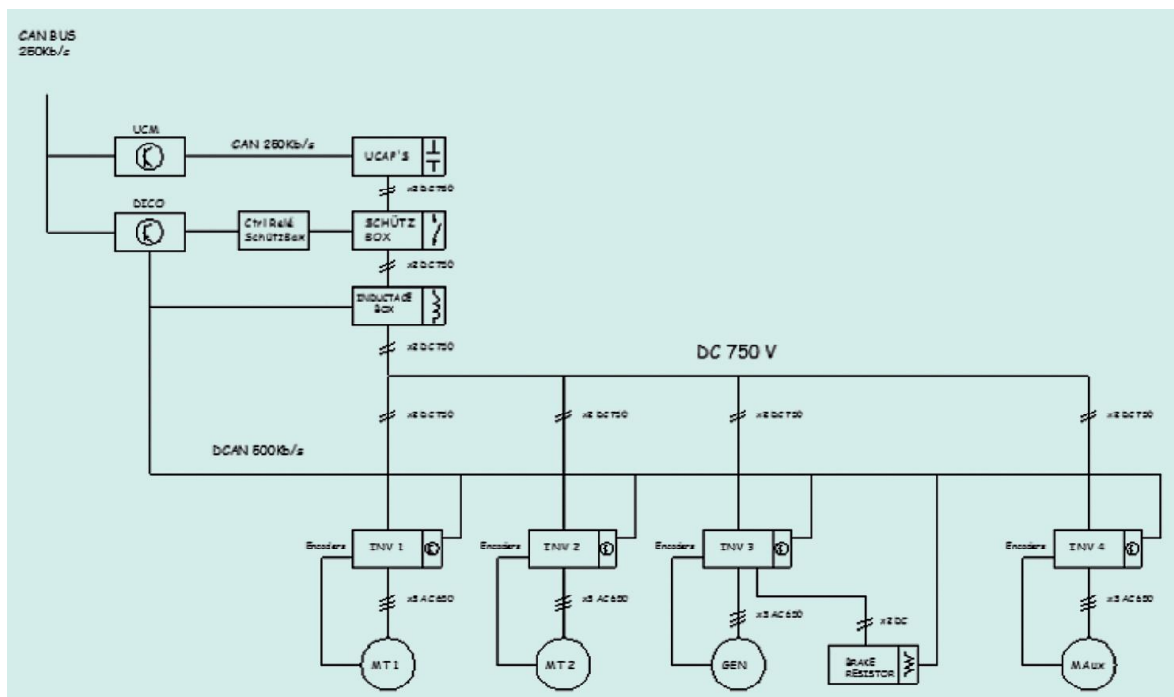


Figura 3.14. Esquema general de la instalación. Fuente: EMT-TMB, 2013.

El sistema de dirección sufre una serie de modificaciones, pasando a tener una bomba de presión por accionamiento eléctrico y gestionado por el propio sistema híbrido. La antigua bomba de presión ubicada en la zona del compresor neumático desaparece y en su lugar se instala un acoplamiento entre compresor neumático y bomba de gasoil.

El sistema de frenado se modifica en el aspecto de los microinterruptores del pedal de freno y en la incorporación de un sensor analógico que informa de la posición del pedal de freno en porcentaje.

Así mismo se añade una resistencia de frenado eléctrico, ubicada en la zona trasera del vehículo para disipar la energía sobrante en fases de frenado prolongados a largas pendientes. Dicha resistencia se refrigera por el mismo circuito de refrigeración que el motor térmico.

Para la refrigeración de los dispositivos de potencia se incorpora un circuito adicional de agua con refrigerante al 50% con una bomba de presión de 30 l/min, un radiador con dos ventiladores gestionados por la electrónica de control del híbrido y de una serie de llaves de paso, válvulas y canalizaciones que aseguran la correcta temperatura de trabajo del conjunto. Todos estos elementos se distribuyen a los largo del techo y bajantes laterales posteriores izquierdos del autobús.

Para poder regular las revoluciones de motor a la demanda exigida se incorpora una electrónica de control basada en la simulación virtual de un pedal de acelerador, que informa mediante mensajes de CAN BUS a qué régimen debe de ponerse el motor térmico. De esta manera el conductor informa al sistema híbrido del requerimiento de potencia mediante la posición del pedal del acelerador original del vehículo, y éste reacciona mediante la electrónica del pedal virtual de acelerador para gestionar las revoluciones de motor.

Para que el sistema multiplexado del motor llegue a interpretar las nuevas órdenes enviadas se ha modificado el software original de IVECO, añadiendo nuevas funciones y eliminado aquellas que afectaban en el funcionamiento nominal del vehículo. Se han modificado todos los subsistemas asociados a la velocidad de giro del motor térmico. Se ha eliminado la señal de avería de carga de alternador y falta de presión de aceite para que no se vea afectada por el modo de apagado de motor en las detenciones del vehículo.

La interacción de señales y sensores en el sistema híbrido se efectúa mediante la interconexión de centralitas específicas con las líneas de datos de CAN BUS a velocidades de 125, 250 y 500 kb/s.

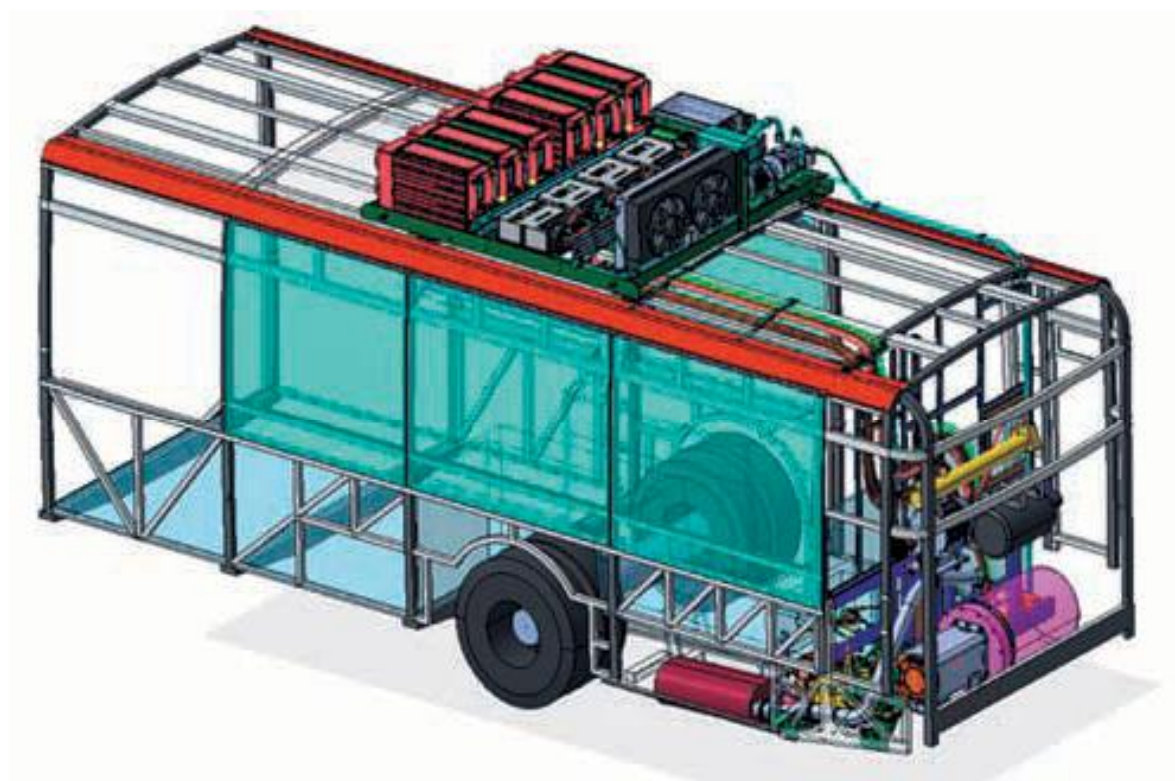


Figura 3.15. Vista general de la instalación. Fuente: EMT-TMB, 2013.

El conjunto instalado permite dos modos de conducción, función paro de motor térmico en las paradas del autobús y conducción normal. En la primera el motor térmico se para cuando el vehículo se detiene y tiene los elementos de acumulación de energía cargados al 100%, mientras que en el segundo caso el motor no se para nunca.

3.5.3. Resultados

El empleo de los autobuses híbridos aumenta la eficiencia energética de los vehículos, recuperando la energía de frenada y permitiendo su posterior aprovechamiento.

Una vez terminadas las transformaciones en los cuatro autobuses, se han realizado ensayos de consumo de combustible según el protocolo de ensayos de EMT realizado en su circuito de pruebas y se han puesto en servicio normal en línea, obteniendo unos datos medios de consumo entre un 16% y un 22% inferior a un autobús similar de EMT, IVECO Cityclass Euro III, original, disminuyéndose en un porcentaje similar las emisiones de gases contaminantes.

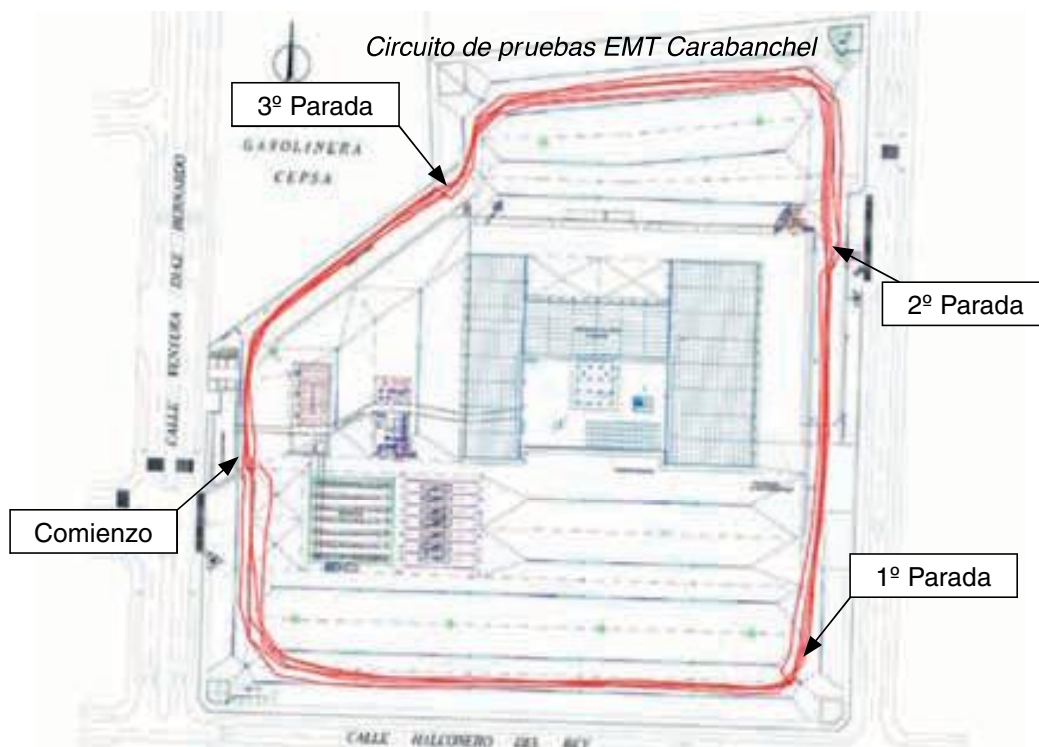


Figura 3.16. Circuito de pruebas EMT Carabanchel. Fuente: EMT, 2013.

3.6. Depósito de autobuses a gas natural de la EMT en Sanchinarro

3.6.1. Descripción

Lugar: Avda. Francisco Pi y Margall, 5

Municipio: Madrid

Fecha inauguración: noviembre 2010

Participantes:

- Propiedad: Empresa Municipal de Transportes de Madrid
- Constructora: UTE Acciona Velasco
- Ingeniería: Ingeniería Collado
- Instalador integrador: Imeyca



Figura 3.17. Acceso a las instalaciones de Sanchinarro. Fuente: EMT, 2013.

La estación de autobuses de Sanchinarro ocupa una parcela con una superficie total de 59.000 m². En esta superficie se encuentran ubicados varios edificios:

- Edificio principal: 11.500 m² de superficie construida, distribuida en plantas sótano, entreplanta, baja, primera y cubierta, alberga talleres para autobuses a gas, oficinas, vestuarios, garaje-aparcamiento y cuartos de instalaciones.
- Edificio de repostado: 5.500 m² de superficie, distribuida en plantas baja y primera, alberga los puntos de repostado de gas para autobuses, pudiendo repostar 150 autobuses a la hora. El tiempo de repostado de cada vehículo ronda los cuatro minutos, igualando así los tiempos de repostado habituales en vehículos diésel. Se incluye en este edificio el lavado rápido de los mismos.
- Edificio de instalaciones: 800 m² de superficie, distribuida en plantas sótano, baja y primera, alberga cuartos de instalaciones generales, grupos de presión de las instalaciones de protección contra incendios y agua fría.

Estos edificios están comunicados entre sí mediante una galería subterránea visitable de 100 m de longitud y por la que discurren todas las canalizaciones de las distintas instalaciones que los tres edificios comparten.



Figura 3.18. Galería de servicio en Sanchinarro. Fuente: EMT-TMB, 2013.

El depósito de autobuses a gas se hace necesario para posibilitar el incremento de la flota de autobuses que utilizan el gas natural como combustible, con el fin de reducir la contaminación ambiental en la ciudad de Madrid. Para completar

esta finalidad, los edificios y sus instalaciones se han diseñado teniendo siempre en cuenta las premisas de ahorro energético, confort, salubridad y respeto al medio ambiente.



Figura 3.19. Acceso a techo de autobuses. Fuente: EMT, 2013.

3.6.2. Ahorro energético

Este punto se realiza mediante el control exhaustivo del funcionamiento de las instalaciones, de forma que, sin reducir el confort de las personas que usan el edificio para desarrollar su trabajo, se consiga recortar el gasto en electricidad.

Para ello, se ha implantado un sistema de control y gestión instalado por IMEYCA y al que ha sido otorgado con el primer Premio a la Mejor Instalación Inmótica de la Comunidad de Madrid, que, entre otras, tiene las siguientes funciones:

- **Control general de alumbrado.** El 90% de las estancias incorporan detectores de presencia con el fin de reducir el funcionamiento del alumbrado.
- **Regulación constante del nivel de luz.** Todas las estancias que tienen luz natural están equipadas con detectores de presencia que incorporan la función de regulación constante.

- **Sistema de iluminación.** Los controles anteriores son posibles porque todo el alumbrado instalado es de tecnología DALI, con el fin de poder controlar el nivel de luminosidad aportado a cada zona.
- **Sistema de calefacción.** El sistema de calefacción instalado es mediante suelo radiante con agua a baja temperatura, en el cual el agua no supera 40 °C.



Figura 3.20. Equipos de climatización de alta eficiencia instalados en cubierta.
Fuente: EMT, 2013.

- **Sistema de climatización.** Solo se ha instalado en zonas de oficinas y despachos mediante un sistema VRF con tecnología Inverter. En talleres se han instalado sistemas evaporativos.
- **Control zonal de climatización.** Los circuitos del suelo, así como las unidades interiores de aire acondicionado y los sistemas evaporativos, están controlados individualmente por un termostato o sonda. En los sistemas evaporativos este control también vigila la humedad ambiente. En despachos y vestuarios con ventanas, la calefacción/climatización solo funciona si las ventanas están cerradas. Excepto en despachos, se han instalado sondas de temperatura sin mandos.

- **Paneles solares.** El calor generado por estos paneles se destina a reducir el aporte de calor de las calderas, tanto en el ACS como en calefacción.

3.6.3. Confort y salubridad

Con el fin de que las instalaciones anteriormente descritas proporcionen un nivel de calidad del aire que no altere la salud de las personas, los mecanismos de control se centran en las siguientes instalaciones:

- **Control de la temperatura del aire de ventilación.** Este aire se prepara mediante climatizadores para no crear pérdidas en calefacción/climatización en caso de ser necesario. También recuperan el calor o el frío del aire viciado mediante recuperadores.
- **Control de la humedad del aire de ventilación.** La humedad relativa del aire de las zonas climatizadas se vigila mediante un sistema de humectación por el que pasa el aire de ventilación.



Figura 3.21. Cubiertas ajardinadas. Fuente: EMT, 2013.

3.6.4. Respeto al medio ambiente

Este aspecto ha sido de máximo interés en el diseño de los edificios. Así, por ejemplo:

- El combustible de las máquinas de climatización es gas natural.
- El aire de ventilación se devuelve al exterior filtrado y tras extraer aproximadamente el 80% del calor o frío que se le aplicó de forma artificial.
- El agua de lavado de los autobuses se recoge para su posterior reciclado.
- Para suplir la falta de zonas verdes, se han diseñado partes de cubierta ajardinada y jardines verticales.

3.7. Transformación de autobuses estándar a autobuses con sistema de arranque y parada automático (start-stop) en EMT de Madrid

3.7.1. Introducción

EMT de Madrid siempre ha estado interesada en conseguir una disminución en el consumo de combustible de sus autobuses, habiendo realizado a lo largo de estos últimos años multitud de ensayos con aditivos y/o dispositivos, que le han presentado distintos proveedores, para conseguir un ahorro en el consumo.

Una de estas propuestas consiste en la instalación de sistemas de parada y arranque automático (start-stop) del motor de los vehículos en las distintas situaciones de parada del vehículo que se producen durante la prestación del servicio, como son las paradas señalizadas para los viajeros, los semáforos y las paradas prolongadas por las condiciones de tráfico.

Con el propósito de evaluar la viabilidad económica de la instalación de este sistema en autobuses en servicio de EMT, se ha instalado un sistema de parada y arranque automático en una unidad de su flota.

3.7.2. Sistemas start-stop

Los sistemas start-stop instalados en los vehículos pretenden conseguir un ahorro en el consumo de combustible y una reducción de emisiones contaminantes, parando el motor de combustión cuando se encuentra a ralentí debido a una parada del vehículo. El ahorro conseguido es variable dependiendo de las condiciones de utilización del vehículo, siendo máximo cuanto mayor sea la relación entre el tiempo de las paradas y el tiempo total de utilización del vehículo, siendo, por tanto, en el recorrido urbano en el que mayor ahorro se obtendrá con la utilización de estos sistemas.

Por medio de unos sensores y una lógica de funcionamiento, se producirá la parada del motor bajo unas condiciones establecidas como son, velocidad cero, temperatura de motor adecuada, carga de baterías adecuada, estado del aire acondicionado, consumos eléctricos de sistemas auxiliares, etc., permaneciendo apagado hasta que el sistema detecta la señal de encendido, como suele ser pisar el embrague en vehículos con cambio manual o el acelerador en vehículos con cambio automático.

3.7.3. Sistema instalado en autobús de EMT

En Octubre de 2012 se ha instalado un sistema start-stop en un autobús Iveco Cityclas Cursor Euro IV, con las siguientes características:

- Es un sistema basado en supercondensadores, lo que permite disponer en todo momento de la energía suficiente para realizar los arranques, reduciendo las intervenciones de mantenimiento durante la vida útil del sistema, dadas las características de estos equipos.
- Se activa tanto en los semáforos como en las paradas de viajeros, así como en otras condiciones de tráfico que impliquen detener el vehículo durante mas de un determinado tiempo.
- Está integrado en el BUS de comunicaciones del vehículo, conociendo en cada momento las condiciones de funcionamiento de todos los sistemas que lo integran, realizando una diagnosis completa del mismo.
- El sistema de control monitoriza las condiciones de operación en cada momento, para determinar el consumo eléctrico requerido por los sistemas

auxiliares (A/A, dirección...), las condiciones de operación (velocidad, freno...) y de funcionamiento (temperatura del motor, presión neumática...), para establecer así el momento oportuno para detener y arrancar el motor de combustión.

Dispone de los siguientes componentes:

- **Ultracondensador:** Es el encargado de suministrar la energía necesaria para arrancar el motor, en lugar de la batería del autobús, después de cada parada. Con una temperatura máxima de trabajo de 60 °C, debe estar ubicado apartado del motor en una zona correctamente ventilada. Se opta por su instalación bajo un de los asientos, en las últimas filas, para reducir las distancias de los cableados hasta el motor de arranque, y con ello las pérdidas de tensión favoreciendo las condiciones de arranque.



Figura 3.22. Ultracondensador ubicado bajo asientos. Fuente: EMT-AVIA, 2013.

- **Convertidor DC/DC:** Se encarga de realizar la recarga de energía hacia el ultracondensador entre paradas. Tiene un nivel de protección IP65.
- **Micro controlador ESSC (Electronic Start Stop Controller):** Monitoriza en cada instante todas las señales eléctricas y electrónicas del vehículo, ultracondensador y convertidor DC/DC, para activar la parada y el arranque del motor según las condiciones de funcionamiento y de operación. Tiene un índice de protección IP 65 y un rango de temperaturas de funcionamiento de -40 °C a 85 °C. Se instala en el canal del aire de climatización, en la parte trasera, junto a las centralitas de control del motor Diésel



Figura 3.23. Esquema sistema start-stop. Fuente: EMT-AVIA, 2013.

- **Cableado de potencia y control:** Sistema de conectores, relés y cableados que conectan el controlador ESSC al vehículo así como el ultracondensador al motor de arranque.

Además, para monitorizar la operación del vehículo se instalan contadores de tiempo y pulsos para conocer tiempo de parada y número de arranques realizados, y poder realizar el seguimiento de los tiempos de operación del vehículo. Esto permite realizar un análisis detallado de las pruebas.

Se instalan los siguientes contadores:

- *Contador total de arranques.* Cuenta las veces que se activa el motor de arranque, ya sea por arranque desde la batería o desde el condensador.
- *Contador de arranques por condición de puertas.* Cuenta las veces que la centralita del Start-Stop activa el motor de arranque debido a la condición de puertas abiertas.
- *Contador total del tiempo parado:* Cuenta el tiempo que el motor ha sido detenido mientras el sistema Start-Stop está conectado.
- *Contador de tiempo parado por condición de puertas.* Igual al anterior, pero solo cuenta el tiempo debido a paradas por puertas abiertas.
- *Contador de tiempo de motor Diesel en marcha.* Proporciona información del tiempo total de motor en marcha. No está condicionado al Start –Stop. Por lo que cuenta las horas totales de operación del motor.

Por otra parte, se define la lógica de funcionamiento del sistema, estableciéndose las condiciones en las que deben realizarse las paradas y arranques del motor térmico en función de diversos parámetros como son: temperatura del motor, presión de frenos, tensión de batería, posición del selector del cambio automático, velocidad del vehículo, condición de fuera de tráfico, posición freno de mano, posición freno de servicio, situación puertas, etc.

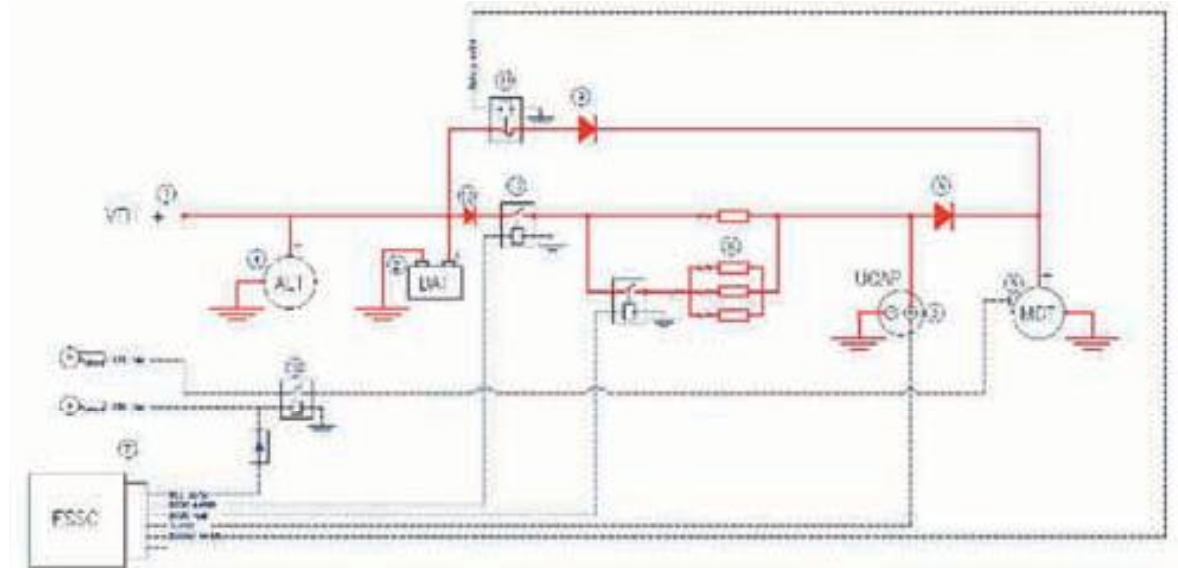


Figura 3.24. Esquema sistema start-stop. Fuente: EMT-AVIA, 2013.

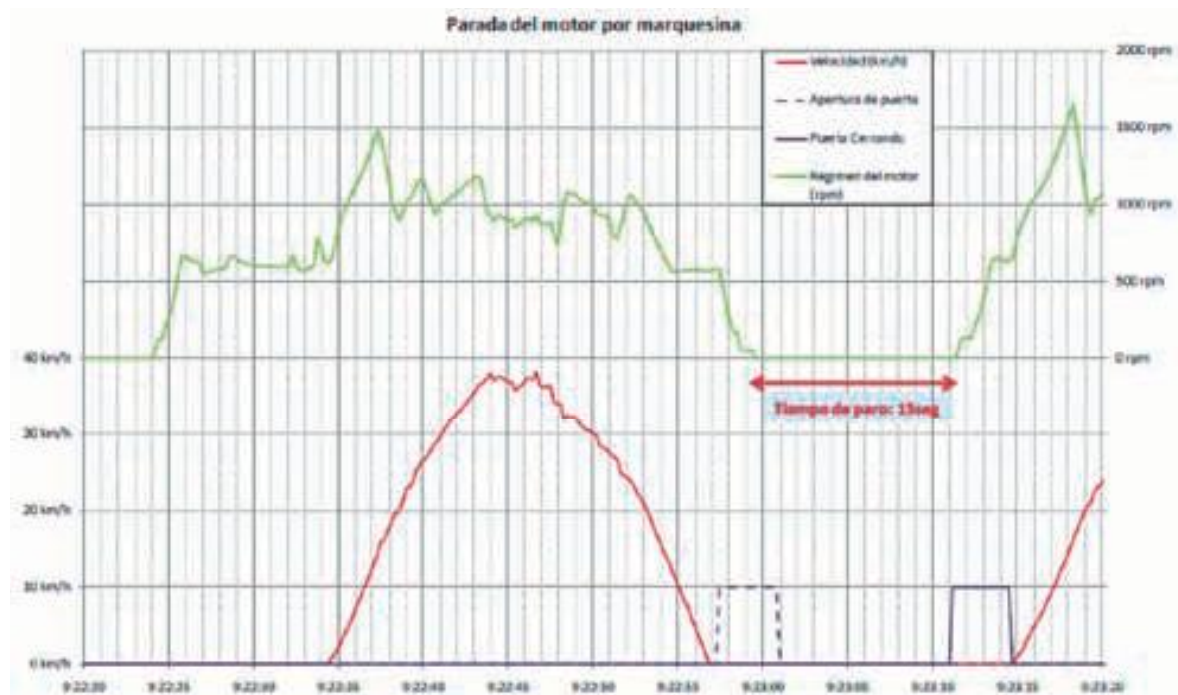


Figura 3.25. Grafica funcionamiento start-stop en parada viajeros. Fuente: EMT-AVIA, 2013.

3.7.4. Beneficios del sistema

El empleo del sistema instalado permite no gastar innecesariamente combustible mientras el motor térmico se encuentra al ralentí durante las detenciones del autobús, aumentando con ello la eficiencia energética del sistema y reduciendo emisiones de gases de escape.

A falta de terminar de realizar el ensayo del autobús y comprobar la vida de los componentes que intervienen en el sistema start-stop, se puede estimar el ahorro de combustible con una instalación de este tipo con las siguientes premisas, basadas en un recorrido estándar diario de un autobús de EMT:

- Recorrido diario: 200 km/día
- Paradas (> 6 s): 50 paradas/hora
- Tiempo de parada (> 6 s): 28 s/parada
- Tiempo de servicio diario: 15 h/día
- Consumo autobús al ralentí: 0,5 g/s

Con estos datos se obtiene un ahorro de combustible de 10,5 kg de combustible al día, 9 litros, lo que supone una disminución en el consumo de un 9%, disminuyéndose en una cantidad similar las emisiones de contaminantes.

Oriol Martínez. GAS NATURAL FENOSA.
Montserrat Beltrán. GAS NATURAL FENOSA.
José Ramón Freire. GAS NATURAL FENOSA.

4.1. Introducción

Desde los inicios del tráfico rodado, han sido la gasolina y el gasóleo los combustibles utilizados como carburantes que han proporcionado la energía necesaria para mover los vehículos. No obstante, debe remarcarse que no solamente la gasolina y el gasóleo pueden ser usados como combustibles.

Por su mayor importancia en el transporte y por el mayor consumo unitario que presentan, se resumen a continuación las ventajas e inconvenientes de la utilización de los distintos carburantes y propulsores alternativos.

- Combustibles sintéticos (XTL) como BTL (*Biomass To Liquid*), CTL (*Coal to Liquids*) ó GTL (*Gas To Liquid*). Aún no están disponibles en cantidades suficientes para su distribución masiva. Su utilización supondrá mejoras en las emisiones de contaminantes de los gases de escape. El GTL tendrá un papel importante en la próxima década. El BTL, cuya introducción será un poco más tarde, será importante por su balance neutro de CO₂.
- Combustible biodiesel. Se ha de considerar que la materia prima no se produce en cantidad suficiente para cumplir el objetivo de utilización definido por la Unión Europea, además de existir la posibilidad de crear un conflicto con la producción de alimentos. Por otro lado, no resuelve la contaminación local de gases de escape. La mejora de la emisión de CO₂ se produce a nivel planetario durante el ciclo vital de las plantas con las que se produce el biodiesel. Es un carburante de transición hasta que estén disponibles plenamente los combustibles sintéticos.
- Vehículos eléctricos (sin catenaria). No contaminan localmente. Aunque actualmente presentan problemas de autonomía y duración de las baterías.
- Combustible gas natural. Los niveles de emisiones de los gases de escape son ultra-bajos, por tanto resuelve el problema de la contaminación. La emisión de CO₂ es también menor que la de los vehículos con motorización Diesel, por lo que también mejora la emisión de gases de efecto invernadero.

- La tecnología tanto de vehículos como de estaciones de servicio está maduras y disponible, aunque son necesarias más infraestructuras y una mayor disponibilidad actual de gamas completas de vehículos.
- Biometano. Se denomina biometano al biogás purificado para su utilización doméstica, en automoción y otros usos. Se trata de un combustible renovable y en su uso como carburante además de mejorar las emisiones locales NOx y PM, es neutro en el balance de gases de efecto invernadero, CO₂.
- Combustible hidrógeno. Se sostiene que es el combustible del futuro. Se utiliza actualmente en algunos vehículos ligeros especiales bien en pilas de combustible o en motores térmicos de ciclo Otto.
 - Pilas de combustible. El estado de la tecnología, nos deja una duración y coste no asumibles comercialmente. Se prevé el horizonte de 15-30 años para tener una disponibilidad industrial.
 - Hidrógeno en motores convencionales. Resuelve la contaminación local y las emisiones de CO₂, aunque la potencia específica baja a un 55% respecto al motor equivalente de gasolina.
 - Tecnologías de vehículos y estaciones de llenado en desarrollo. Es necesario el desarrollo de la infraestructura de recarga. El coste de producción de H₂ es muy elevado y está en fase no resuelta.
- Vehículos híbridos. La tecnología está en la fase de introducción comercial. Aporta ventajas evidentes en vehículos urbanos o cuando están sometidos a grandes variaciones de régimen (arrancadas y frenadas) pero no tienen una adecuada relación coste beneficio cuando se trata de recorrer distancias. En el ámbito urbano la combinación de un motor de combustión de gas natural con los motores eléctricos tanto en transporte pesado como en turismos se perfila como la solución más ecológica en la actualidad y la de transición a los vehículos eléctricos puros

En conclusión podemos decir que entre los carburantes alternativos a los de origen petrolífero destaca el gas natural por los beneficios para el medioambiente. Entre otras características, remarcar:

- El gas natural es un combustible «limpio» ya que presenta mínimas emisiones como resultado de su combustión en motores térmicos de vehículos de transporte.

- El gas natural puede proporcionar actualmente niveles de emisiones de contaminantes en los gases de escape cercanos a cero.
- Tiene menores emisiones sonoras que las producidas por la combustión de gasóleo en motores Diesel análogos. Diferencias del orden de 10 dB.
- Las emisiones de CO₂ mucho menores que las producidas por los motores Otto equivalente de gasolina y ligeramente menores que los análogos Diesel.
- La combinación gas-electricidad, óptima para el uso urbano, aporta ventajas notables de consumo y reducción de emisiones cuando el motor trabaja en régimen (velocidad no constante).
- Las reservas del gas natural son muy superiores a las del petróleo, y su precio es más bajo y estable que el de los combustibles derivados del petróleo.
- En el caso de biogás, procedente de biomasa (de vertederos y otros procesos naturales) puede considerarse una fuente limpia de energía. La Unión Europea alcanzará en 2020 una producción de biogás de 40 TWh, que cubrirá el 8% de las necesidades del transporte comunitario.

4.2. Gas natural vehicular

El gas natural para su uso en vehículos terrestres, presenta importantes ventajas y puede suministrarse en estado gaseoso (GNC) o líquido (GNL).

4.2.1. Gas Natural Comprimido (GNC)

El gas natural se comprime y almacena a una presión superior a 200 bar. Los vehículos están equipados con depósitos reforzados para soportar estas presiones.

La autonomía conseguida depende del volumen de los depósitos considerados. Es inferior a la de los combustibles líquidos, y los vehículos deben soportar el incremento de peso de los depósitos (cilindros) donde se almacena el gas. Los cilindros convencionales son de acero y por lo tanto su peso es relativamente elevado; no obstante, una nueva generación de cilindros de menor espesor de acero con refuerzo exterior de fibra de vidrio impregnada de resinas de poliéster, se consiguen reducciones de peso del 40%.

La tecnología del GNC está totalmente resuelta, y actualmente es la forma más utilizada de aprovisionamiento de gas natural para vehículos.

4.2.2. Gas Natural Licuado (GNL)

El GNL es la forma de gas natural que consigue una mayor densidad y como consecuencia, ofrece una mayor autonomía al vehículo. No requiere depósitos preparados para resistir altas presiones, pero tienen que estar equipados con un importante aislamiento térmico para reducir la vaporización incontrolada del GNL.

GNL tiene una gran ventaja de almacenamiento sobre el GNC ya que mientras este último, en fase gas, tiene un contenido energético de alrededor de 200 veces el del gas no comprimido (o alrededor de 20% a 25% del combustible para diesel ocupando el mismo volumen), el GNL tiene un contenido energético por litro equivalente al 60% del combustible para diesel.

Por su alta densidad energética, un vehículo alimentado con GNL puede tener una autonomía similar a la de un vehículo Diesel, con solo un pequeño incremento en el peso y volumen del depósito de almacenamiento de combustible. 1 litro de GNL es equivalente a 0,605 litros de gasoil.

4.3. Vehículos y motores

La utilización del gas natural como combustible de motores introduce mejoras de tipo general, como son la mayor duración de los lubricantes, de las bujías de encendido y de la vida del motor en sí misma. El grado de reducción de las emisiones así como su potencia y par motor dependen de la forma de adaptación del motor para utilizar el gas natural, que puede ir desde una simple sustitución de combustible hasta el diseño completo del motor optimizado para el uso del gas natural.

Los vehículos que utilizan el gas natural como carburante lo transportan en forma de gas comprimido (GNC) o de líquido criogénico (GNL), como se ha indicado anteriormente. En cualquiera de los dos casos el motor se alimenta en fase gaseosa.

4.3.1. Tipo de motores

4.3.1.1. Dedicados, Mono-Fuel o Monovalentes

Los motores dedicados usan el gas natural como único combustible. Tienen la ventaja de que han sido «optimizados» para funcionar con gas natural, asegurando una eficiencia máxima y emisiones óptimas. Son de ciclo Otto (encendido por chispa).

Algunos de los vehículos con este tipo de motores cuentan con un depósito de reserva de gasolina, que puede ser usada si se agota el depósito de gas natural. Dado que el vehículo ha sido optimizado para funcionar con gas natural, la gasolina sólo debe ser usada de forma eventual y para viajes cortos donde no exista posibilidad de repostaje de gas natural.

4.3.1.2. Bi-Fuel o Bivalentes

Pueden operar con gas natural o con gasolina (o con otro combustible de encendido con chispa, como el etanol). Los vehículos existentes son normalmente conversiones de vehículos de gasolina. Este tipo de motores generalmente usan gasolina para la ignición en el momento del arranque, por lo que siempre se requiere una pequeña cantidad de gasolina para un funcionamiento satisfactorio.

4.3.1.3. Dual-Fuel de Inyección Indirecta

Los motores de *Dual-Fuel* usan una mezcla de gas natural y gasoil: la mezcla gas natural/aire se inflama con la inyección de gasoil directamente a la cámara de combustión mientras que el gas natural se introduce por la toma de aire premezclado con este, usando un carburador pre-mezclado o un inyector. Por lo tanto su principio de funcionamiento es similar al de los motores de ciclo Otto.

La proporción de gas natural/gasóleo que se usa en cada momento depende de la carga y del ciclo de trabajo, pudiendo funcionar con un porcentaje de sustitución de gas natural de hasta 80%. A regímenes de carga bajos es necesario realizar mayor consumo de gasóleo ya que la sustitución de gas natural es menor. Los vehículos de dual fuel normalmente son resultado de conversiones de vehículos diesel, aunque hay fabricantes como Volvo que fabrican camiones diesel nuevos con esta tecnología. Tienen la ventaja de no ser totalmente dependientes de la disponibilidad de estaciones de servicio de gas natural, pudiendo funcionar sin ningún problema solamente con gasoil.

4.3.1.4. Dual-Fuel de Inyección Directa o High Pressure Direct Injection (HPDI)

La tecnología HPDI inyecta simultáneamente gasoil y gas natural a alta presión directamente a la cámara de combustión al final de la carrera de compresión.

El modo de funcionamiento es el de un ciclo Diesel. Al igual que los motores de dual fuel, los de HPDI usan gasóleo para propiciar la combustión, pero alcanzan un porcentaje de sustitución superior al 90%, proporcionando las mismas prestaciones que un motor diesel convencional en potencia, par, eficiencia y respuesta a transitorios. Además no presentan problemas de «knocking» ya que la inyección de gas se hace cuando ha acabado la compresión del aire, y sus emisiones de hidrocarburos son bajas.

Paralelamente se están introduciendo nuevos tipos de vehículos y motores como son los híbridos de gas natural enchufables, que funcionan en modo eléctrico puro pero tienen la autonomía y capacidad de la combustión cuando van al extrarradio, o los vehículos pesados urbanos con tecnología híbrida.

4.3.2. Transformación de vehículos para su uso con gas natural

4.3.2.1. Transformación de motores ciclo Otto a motores bi-fuel

La adaptación de los motores de ciclo Otto a motor bi-fuel gasolina-gas es la más sencilla de todas las conversiones. Requiere únicamente una modificación en el avance del encendido. Esta regulación es mínima y puede ser temporal, por lo que el vehículo puede seguir funcionando correctamente a gasolina y en consecuencia su autonomía y flexibilidad es elevada.

Además del sistema de combustible, la conversión también precisa la instalación de un conmutador de funcionamiento en el salpicadero del vehículo, que permite seleccionar de forma manual o automática el combustible con el que trabajará el motor, y de un sistema de almacenamiento de GNC que se acostumbra a instalar en el emplazamiento de la rueda de recambio.

La libertad de circulación de vehículos de gas natural requiere una infraestructura de recarga de GNC, en forma de estaciones de servicio, que actualmente es reducida en nuestro país. Por ello se hace necesario, para la mayoría de los vehículos ligeros, mantener la opción de funcionar con gasolina.



Figura 4.1. Depósitos de GNC en vehículo transformado.
Fuente: Gas Natural, 2013.

4.3.2.2. Transformación de motores ciclo Diesel a motores dedicados

Para ser transformados a gas natural, los motores pesados de ciclo Diesel requieren generalmente una modificación de los pistones y su recorrido, el cambio de culata, la inclusión de bujías, el sistema de encendido y la relación de compresión.

- Pistones: a causa de los diferentes puntos de auto ignición del gasóleo y del gas natural, la relación de compresión debe ser disminuida. Para ello existen dos opciones: mecanizar la cabeza del cilindro o mecanizar el pistón (más simple). También se puede optar por la sustitución de este por uno especialmente fabricado para tal efecto.
- Válvulas: debido a las mayores temperaturas de trabajo, deben cambiarse los componentes del conjunto de válvulas.
- Culata o cabezas de cilindros: deben ser mecanizadas, principalmente para poder albergar la bujía que inflamará la mezcla. También, en caso de disponer de un sistema de inyección directa, será necesario mecanizar el alojamiento del inyector.
- Árbol de levas: dependiendo del tipo de motor, puede ser necesaria la sustitución del árbol de levas para la optimización del tiempo de apertura y cierre de válvulas.

4.3.2.3. Transformación de motores ciclo Diesel a motores Dual Fuel

Una alternativa para convertir un motor Diesel para operar en ciclo de ignición Otto consiste en modificar el motor para funcionar con funcionamiento mixto. Esta tecnología permite adaptar fácilmente motores Diesel con solo reducir su relación de compresión sin necesidad de añadirle un sistema de ignición. Presenta la característica de precisar el repostaje de dos tipos de carburantes.

Como se ha visto, el sistema de *dual-fuel* consiste en que una mezcla de aire-gas natural, que se comprime en un motor estándar de ciclo Diesel de cuatro tiempos; la mezcla no se auto inflamará bajo las condiciones normales de funcionamiento, pero la inyección de una pequeña cantidad «piloto» de combustible Diesel proporciona el control de ignición.

Son relativamente pocas las modificaciones que se precisan realizar en el motor para que funcione como *dual-fuel* y, por lo general, no es necesario desmontar el motor. En esencia se instala algún sistema de carburación o inyección y un sistema de control añadido para proporcionar relación adecuada de gas natural y combustible gasóleo para su ignición en función de la carga.

4.3.3. Estadísticas de vehículos. Modelos existentes en el mercado

En la actualidad existen más de 17 millones de vehículos que utilizan gas natural como combustible en todo el mundo, según datos de junio 2013 de la Natural & Bio Gas Vehicular Association (NGVA). El país con más vehículos es Irán (más de 3,3 millones), seguido de Pakistán (2,7 millones) y Argentina (2,2 millones). A nivel europeo, Italia es el país líder con más de 840.000 vehículos, seguido de Ucrania (388.000) y Armenia (244.000).

Siendo que a finales de 2011 había más de 15 millones de vehículos y a finales de 2010 12,6 millones, ello representa un crecimiento del 19% en 2010, un 33,7% desde 2009, y un 22,9% de crecimiento anual promedio a lo largo de la última década.

España cuenta con un mercado basado en el vehículo pesado, al contrario de la tendencia habitual europea y mundial donde se observa mayor proporción de vehículo ligero. A mediados de 2013, España contaba con 859 vehículos

ligeros, 1.547 autobuses, 1.238 camiones y 137 carretillas que funcionan con GNC o GNL.

Cabe decir que España es uno de los países líderes a nivel mundial en utilización de vehículos de GNL debido al gran número de estaciones de este combustible que se encuentra a lo largo de su geografía y que hacen posible su circulación a lo largo del país sin problemas de autonomía.

Tabla 1. Crecimiento del parque mundial de vehículos GNV.



Fuente: Gas Natural, 2013.

Entre los modelos disponibles en el mercado europeo de turismos a GNC encontramos:

- Fiat Panda 1.4 8V Natural Power (bi-fuel) [Nuevo 2012]
- Fiat Punto Evo 1.4 8V Natural Power (bi-fuel)
- Fiat Fiorino 1,4 8V Natural Power (bi-fuel)
- Mercedes-Benz B 180 NGT (bi-fuel) [Nuevo 2012]
- Mercedes-Benz E 200 NGT (bi-fuel)
- Opel Zafira Tourer 1,6 CNG Turbo ecoFLEX (mono fuel) [Nuevo 2012]
- Opel Zafira 1.6 CNG Turbo ecoFLEX (mono-fuel)
- Opel Combo 1,4 CNG Turbo ecoFLE (bi-fuel) [Nuevo 2012]

- Seat Mii CNG (bi-fuel) [Nuevo 2012]
- Scoda Citigo CNG (bi-fuel) [Nuevo 2012]
- VW Up! CNG (bi-fuel) [Nuevo 2012]
- VW Passat 1,4 TSI EcoFuel (bi-fuel)
- VW Touran 1,4 TSI EcoFuel (mono-fuel)
- VW Touran Cross 1,4 TSI EcoFuel (mono-fuel)
- VW Caddy 2,0 EcoFuel (mono-fuel)
- VW Caddy 2,0 Maxi EcoFuel (mono-fuel)
- VW Caddy Tramper 2,0 EcoFuel (mono-fuel)
- Audi A3 TCNG (bi-fuel) [Lanzamiento 2013]
- Volvo V70 CNG (Bi-Fuel) QVM versión
- Saab 9-3 Sport Combi (Flex-Fuel) QVM

La gama de vehículos industriales a gas natural consta de:

- IVECO Daily CNG (bi-fuel)
- Fiat Ducato Natural Power
- Mercedes-Benz Sprinter NGT (bi-fuel)
- Fiat Doblo 1.6 Natural Power (bi-fuel)
- Fiat Doblò Cargo Natural Power Turbo (bi-fuel)
- Fiat Fiorino Natural Power (bi-fuel)
- Fiat Qubo 1.4 8V Natural Power (bi-fuel)
- Opel Combo 1,4 CNG ecoFLEX (bi-fuel) [Nuevo 2012]
- Opel Combo 1.6 CNG ecoFLEX (bi-fuel)
- IVECO rígido Stralis AD190 S GNC
- IVECO Stralis GNC-GNL
- Daimler Eonic GNC
- Scania GNC-GNL
- VOLVO Dual Fuel

4.4. Estaciones de GNV

Existen dos tipologías de estación, en función del tipo de combustible que se quiera suministrar: estaciones de GNC y estaciones de GNC-GNL. Existen estaciones únicamente de GNL, aunque es habitual la instalación de un surtidor de GNC.

4.4.1. Estaciones de GNC

Para la carga de vehículos de flotas se instalan estaciones de carga lenta, con compresores de baja capacidad, con el objetivo de realizar la carga mientras el vehículo no está trabajando, por ejemplo durante la noche.

En el caso de las estaciones públicas se usa compresores de gran potencia que pueden actuar directamente sobre el vehículo o sobre unos depósitos de almacenamiento, los cuales se descargan sobre los vehículos que se conectan durante un corto periodo de tiempo, no superior a los 10 minutos, dependiendo del volumen a cargar en cada caso (un turismo carga entre 2 y 3 minutos).

Las ventajas principales del sistema de carga rápida son:

- Reducción del espacio de carga.
- Mayores posibilidades logísticas de los vehículos.

Por el contrario, las principales desventajas de este sistema son:

- La energía de compresión, así como las inversiones en la adquisición de compresores y de almacenamiento, son muy elevados.
- La carga rápida origina un aumento de temperatura dentro del depósito del vehículo, hecho que hace disminuir la cantidad de gas que se puede repostar. Para mitigar esta desventaja, los surtidores disponen de un algoritmo que permite compensar el incremento de temperatura con un incremento en la presión de carga.

El gas natural se obtiene generalmente desde la tubería de suministro de alta presión de 16 bar o superior.

4.4.2. Estaciones de GNC-GNL

Las estaciones de GNC-GNL suministran los dos tipos de combustible. El GNC se puede obtener como en las estaciones del apartado 4.1 o bien a partir del GNL, el cual se presuriza mediante bombas de pistones hasta unos 275 bar para después regasificarse mediante vaporizadores ambientales. Este sistema no requiere el uso de compresores, cuyos costes iniciales y de mantenimiento son muy superiores, así como su consumo energético. El GNL se almacena en depósitos criogénicos, generalmente de 20 a 60 m³.

La carga de GNL a un vehículo requiere de unas medidas de seguridad más severas que el GNC debido a la temperatura de suministro (-162 °C), lo que hace necesario el empleo de guantes y máscara especiales durante el repostaje. El tiempo de carga, aunque depende del tamaño del depósito, no es superior a 10 minutos.

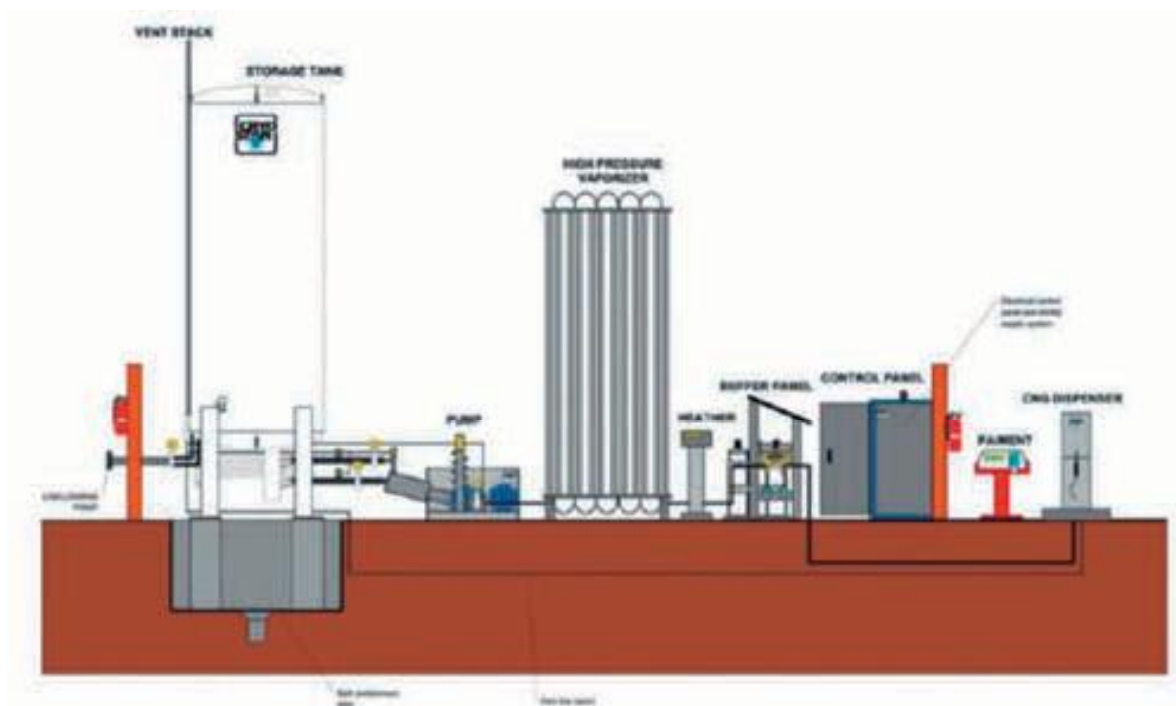


Figura 4.2. Esquema de una estación de carga GNC-GNL.
Fuente: Gas Natural, 2013.

4.4.3. Estadísticas de estaciones

Existen en la actualidad más de 24.000 estaciones (21.000 públicas) de gas natural vehicular repartidas por todo el mundo. De estas 24.000, solo 1.874 son de

GNL debido a su reciente introducción. El país con mayor número de estaciones de carga es China (5.000), seguido de Pakistán (3.000) y Argentina (1.900). En Europa, el país líder es Italia (966) seguida de Alemania (915). El líder en estaciones de GNL o GNC-GNL es China (1.700), seguido muy de lejos por EEUU (46), Reino Unido (22) y España (15).

En España existen a día de hoy 33 estaciones públicas (18 de GNC, 2 de GNL y 13 de GNC-GNL) y 48 privadas (todas de GNC). De las 33 públicas, Gas Natural Fenosa cuenta con 19 y tiene previstas la abertura de 10 más.

Aunque la infraestructura es aún escasa, se ha dotado al mapa de España de una red de carga mínima para poder circular a lo largo de la geografía española sin problemas de autonomía. Como se ha comentado anteriormente, España es uno de los países líderes a nivel mundial en cuanto al número de estaciones de suministro de GNL, teniendo prácticamente cubierto ya el corredor Mediterráneo, el corredor Barcelona-Madrid, y el corredor Madrid-Bilbao. Estos corredores, al estar formados por estaciones del tipo GNC-GNL, contribuirán también a hacer de los vehículos de GNC unos vehículos más interurbanos.



Figura 4.3. Mapa de estaciones de gas natural vehicular.

Fuente: Gas Natural, 2013.

4.5. Ventajas medioambientales

Las mayores contribuciones a las emisiones de contaminantes a la atmósfera provienen en la actualidad del sector transporte, fundamentalmente del tráfico rodado (31% de las emisiones a la atmósfera en España en 2004, según el «Inventario nacional de emisiones contaminantes a la atmósfera» elaborado por el Ministerio de Medioambiente).

A pesar de la disminución de las emisiones unitarias por vehículo debido a las mejoras tecnológicas y a la introducción de legislación de control de emisiones, el peso de este sector sobre el total de las emisiones sigue siendo importante, a causa fundamentalmente del aumento del parque de vehículos circulante.

Existe una necesidad e interés cada vez mayor en evaluar la influencia del tráfico en la contaminación atmosférica de las grandes ciudades y estudiar las posibles vías de mejora de calidad del aire, bien por cambio de los combustibles, por el uso de vehículos menos contaminantes, por la limitación del número de vehículos en circulación, etc..

El gas natural vehicular:

- Reduce las emisiones de CO₂.
- No contiene plomo ni trazas de metales pesados.
- No emite partículas sólidas.
- No emite dióxido de azufre.
- Genera menores niveles de emisión sonora y vibraciones que los motores a gasóleo.
- Garantizan menor nivel de otras emisiones contaminantes que cualquier otro combustible fósil.

La Unión Europea ha planteado una serie de objetivos para sustituir parte de los combustibles tradicionales. En el caso del gas natural, propone que para el año 2020 haya sustituido el 10% de los carburantes actuales, situándose así como una opción factible para todo tipo de vehículos.

La UE fija los límites de emisión que deben cumplir los vehículos (Normas Euro). Como dichos límites son cada vez más restrictivos, los vehículos impulsados a gas

natural podrán cumplirlos con mayor facilidad e irán por lo tanto ganando en competitividad.

El gas natural es también un combustible limpio en lo que respecta a las emisiones de otros contaminantes no contemplados en las Normas Euro:

- Los hidrocarburos emitidos por los vehículos de GNC, respecto a los Diesel:
 - No contienen hidrocarburos aromáticos
 - Tienen muy poco contenido de promotores de ozono.
 - Presentan una ligera reducción de formaldehído y una reducción significativa de otros aldehídos.
- En cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero, los vehículos de gas natural respecto a los Diesel:
 - Gracias al mayor contenido de hidrógeno en el gas natural, las emisiones de CO₂ son «naturalmente» reducidas significativamente.
 - La mezcla de gas natural con H₂ en baja concentración (15-20%), para tener una autonomía aceptable proporcionan emisiones de CO₂ aún más bajas.

4.6. Ventajas económicas

Una de las principales ventajas del gas natural vehicular es su precio. La volatilidad de los precios de los combustibles, indexados a la cotización del barril de Brent de petróleo, y las reservas probadas de gas natural de 250 años debido al descubrimiento del shale gas, hacen del gas natural vehicular una alternativa con unos precios en el tiempo más estables que las gasolinas, gasóleos y GLP, según diferentes estudios.

Debido a que la tecnología está todavía poco introducida comercialmente en el mercado, a día de hoy los vehículos con motores de gas natural son sensiblemente más caros que los vehículos con combustibles tradicionales. Así pues, un turismo es del orden de 2.000 € más caro que su versión equivalente en Diesel, mientras que una tractora puede tener un sobrecoste de 20.000 € si es dedicada a GNL o de 35.000 € si es Dual Fuel.

Estos sobrecostes a la hora de invertir en el vehículo son rápidamente amortizables debido al menor coste del gas natural vehicular. En los siguientes gráficos se

muestra la comparativa del precio de gas natural vehicular frente a la gasolina y gasóleo para distintos países europeos:

Tabla 2. Descuento del precio GNC en la UE sobre la gasolina.



Fuente: Gas Natural, 2013.

Tabla 3. Descuento del precio GNC en la UE sobre el gasóleo.



Fuente: Gas Natural, 2013.

(* En estos países el GNV se vende por kg. empleado factor de conversión para la densidad de 0,73 kg/Nm³)

En el momento de redacción del presente documento, el precio del GNC y GNL vehicular en las estaciones de gas natural de Gas Natural Fenosa estaba a 1,065 €/kg, mientras que el precio de la gasolina y gasóleo según el Ministerio de Industria era de 1,456 €/l y 1,365 €/l respectivamente.

Teniendo en cuenta que los precios están indexados por diferentes unidades (gas natural en kg y gasolina y gasóleo en litros), es necesario contemplar el consumo tipo de los vehículos. El siguiente gráfico muestra los km que puede recorrer un turismo con 20 € y una tractora con 100 € en función del combustible utilizado:



Figura 4.4. Esquema de kilómetros recorridos para el mismo gasto económico.
Fuente: Gas Natural, 2013.

4.7. Casos de éxito

4.7.1. *Transports Metropolitans de Barcelona (TMB)*

En la actualidad hay 411 autobuses circulando en Barcelona con GNC como combustible. Desde 1999, TMB ha ido sustituyendo paulatinamente sus autobuses Diesel por autobuses con gas natural, debido a los ahorros obtenidos y la reducción de emisiones contaminantes en la ciudad de Barcelona.

El convenio entre TMB y Gas Natural Fenosa, suscrito en 2010, prevé un crecimiento en el horizonte del 2015 de la flota de gas natural comprimido hasta las 500, casi la mitad del total, que es de 1.080.



Figura 4.5. Autobús híbrido a GNC de TMB.
Fuente: Gas Natural, 2013.

Recientemente se ha incorporado a la flota de TMB el prototipo de autobús de gas natural comprimido convertido en híbrido eléctrico. Este autobús híbrido se ha construido sobre la base de un vehículo Iveco estándar (de 12 metros de longitud) de la flota de TMB, al que se han añadido dos motores eléctricos para la tracción, ultracondensadores para almacenar la electricidad producida por un generador acoplado al motor térmico, un sistema para recuperar la energía de las frenadas y otros elementos. De esta manera, el bus circula sólo con la energía de los motores eléctricos y usa el motor de gas natural como generador de electricidad cuando los ultracondensadores se vacían. TMB llevará a cabo la transformación de diez unidades en los próximos meses.

4.7.2. Empresa Municipal de Transportes de Madrid (EMT)

La EMT de Madrid cuenta con 790 autobuses de GNC en su flota. El primer autobús de GNC en Madrid se introdujo en el año 1994 en la estación de Fuencarral. En 2010 se puso en marcha la estación de carga de Sanchinarro, una estación mixta que da suministro tanto a los autobuses de la EMT como a vehículos públicos que utilizan GNC. Esta estación es una de las más grandes del mundo tanto por capacidad de suministro como por flota. Puede atender un máximo de 180 autobuses por hora, igualando los tiempos de carga de los vehículos diesel.

La estación de la EMT de Madrid supone una reducción anual de emisiones de 54 toneladas de óxidos de nitrógeno y de casi 4 toneladas de partículas, lo que contribuye a atenuar el problema de la calidad del aire en la ciudad de la Madrid.



Figura 4.6. Autobús a GNC de EMT Sanchinarro.
Fuente: Gas Natural, 2013.

Los planes futuros de la compañía incluyen la ampliación de la flota a gas hasta las 1.000 unidades, que repostarán tanto en Fuencarral como en el nuevo Centro de Operaciones de Sanchinarro.

4.7.3. Taxis híbridos

Uno de los sectores donde el gas natural vehicular tiene mucho potencial es el sector del taxi. Aunque desde hace unos años ya circulan por las principales ciudades taxis a GNC, la aparición de taxis híbridos con bajos consumos y la estandarización de la transformación de los motores de gasolina para su uso con gas natural han representado un incremento de nuevos usuarios que han decidido apostar por el GNC.

Para los profesionales del taxi, debido al elevado número de kilómetros que realizan anualmente y el bajo coste de la transformación, el gas natural les permite obtener unos rápidos e importantes ahorros económicos en el coste de combustible.

Haciendo unos breves cálculos, un taxista que recorre 80.000 km al año con un vehículo híbrido a gasolina que consume 7 l/100km tiene unos gastos en combustible de 8.153 €/año. Si el taxista transforma su vehículo híbrido para el uso con GNC consumirá 4 kg/100km, lo que equivale a 3.414 €/año. Esto supone un ahorro anual de 4.739 €/año.



Figura 4.7. Taxi híbrido a GNC de Barcelona.

Fuente: Gas Natural, 2013.

Teniendo en cuenta que la transformación cuesta 2.400 € (IVA no incluido), en aproximadamente medio año está amortizada la inversión y todo lo demás es ahorro directo para el usuario.

4.7.4. Flotas de empresa

Otro de los casos de éxito del gas natural vehicular son las flotas de empresa. Empresas con una cuenta de resultados donde el ahorro económico es una de las razones principales para apostar por sustituir la totalidad o parte de su flota a GNC. Además, desde las diferentes Administraciones se está promoviendo la creación de Distintivos de Flota Ecológicas, un valor añadido que da a la empresa una imagen de compromiso con el medioambiente.



Figura 4.8. Furgoneta a GNC de la empresa HAM.
Fuente: Gas Natural, 2013.

Algunas de las empresas que ya cuentan con flotas con gas natural vehicular como combustible son Cepsa, HAM, Urbaser, Valoriza, Agricultores de la Vega, Madrid Movilidad, Madrileña de Gas, UTE Transportes de Murcia, Citelum Ibérica, Seur, Imesapi, Disfrimur, Transportes Vicuña, Monfort Logística, etc.. Algunas de estas empresas, vistos los ahorros obtenidos, han apostado por construir su propia estación de carga de gas natural en sus instalaciones.

4.8. Conclusiones

Debido al déficit previsto del petróleo, y su consiguiente encarecimiento, han surgido oportunidades para el empleo de combustibles alternativos. El uso del gas natural como combustible en el transporte se ha convertido en una alternativa viable e inmediata para reducir la dependencia del petróleo, máxime con la puesta en marcha en los últimos años de la explotación de nuevos yacimientos de gas natural (sobre todo en EEUU) Los ahorros que se pueden conseguir actualmente están entre un 25% y un 50%.

Adicionalmente, desde el punto de vista medioambiental, el empleo del gas natural en automoción aporta múltiples ventajas. Su composición exenta de azu-

fre, plomo u otros metales pesados, evita la emisión a la atmósfera de estos componentes y la de partículas sólidas en suspensión, uno de los principales problemas de la utilización actual del gasóleo, por su repercusión en la salud humana en cuanto a la posible agravación de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Sus propiedades químicas permiten el uso de catalizadores, especialmente de tres vías, que minimizan las emisiones de óxidos de nitrógeno, de monóxido de carbono y de hidrocarburos. Además los vehículos de gas natural son más silenciosos que los que funcionan con motores diesel, con una reducción del orden de 10 decibelios y con menores niveles de vibración.

Por todo ello el gas natural constituye una alternativa contrastada y viable actualmente, tanto técnica como económicamente, a los combustibles clásicos. Así lo demuestran los varios millones de vehículos ligeros y medios impulsados por gas natural comprimido (GNC).

5.1. El vehículo eléctrico

El aumento en el consumo energético asociado a la movilidad es un problema común en toda Europa y precisa en algunos casos de soluciones imaginativas que pueden requerir valentía política para tomar decisiones, a priori poco populares, y en muchos otros, cambios tecnológicos de gran envergadura. Son precisamente estos últimos los que deben considerarse no como una dificultad o una barrera, sino como una **oportunidad de progreso** y posible liderazgo de cambio. En este sentido, se puede afirmar que la apuesta en favor del vehículo eléctrico puede traer consigo una buena oportunidad de **avance y consolidación de empresas** relacionadas con el sector de automoción o con los sectores de equipamiento eléctrico y electrónico.

La entrada del vehículo eléctrico favorecerá muy probablemente un **cambio de mentalidad** en cuanto a la manera de percibir la movilidad. Será un elemento que incitará a la reflexión no sólo en el momento de la compra del vehículo particular sino incluso en el momento de su uso cuestionando la eficacia del vehículo privado frente a otros modos de transporte más grupales (transporte público).

5.2. Ventajas y retos futuros

Tras un rápido desarrollo el vehículo eléctrico es actualmente un producto más dentro de los concesionarios. La oferta de este tipo de vehículos se incrementa día a día y la apuesta de las marcas por esta tecnología es decidida. En 2010, la fábrica de Vitoria-Gasteiz de Mercedes-Benz iniciaba la producción de un vehículo eléctrico, la furgoneta Vito E-Cell, convirtiéndose en el primer vehículo de este tipo en fabricarse en serie en España. Desde entonces hasta hoy la industria de automoción ha realizado importantes inversiones en sus plantas para producir nuevos modelos. En 2013 se comenzarán a fabricar al menos dos modelos más de vehículos 100% eléctricos en España, que se unen a las inversiones realizadas por prácticamente todas las marcas para producir en Alemania,

Reino Unido, Estados Unidos o Japón. La oferta es variada y ya no sólo se habla de eléctricos puros, sino también de los híbridos enchufables. Este es un segmento en el que próximamente se asistirá a una creciente variedad de modelos disponibles.

Ese nuevo parque automovilístico precisa una mínima infraestructura de suministro de electricidad. Para ello, recientemente la Comisión Europea ha elaborado una Propuesta de Directiva de desarrollo de infraestructura para combustibles alternativos, que para el caso del vehículo eléctrico y para España, establece una obligación de tener 824.000 puntos de recarga instalados en el año 2020, siendo el 10% de los mismos de acceso público. Además, la Directiva cierra definitivamente el debate sobre el tipo de conector a estandarizar, al obligar a que todos estos puntos estén dotados del conector Tipo 2 (según EN62196-2:2012) para las recargas en AC, y el Combo 2 (según estándar a definir en 2014) para las recargas en DC.

El VE representa una oportunidad de optimización de la curva de demanda de electricidad y de aprovechamiento de la energía renovable excedentaria de la noche. El consumo de electricidad tiene una variación diaria muy marcada y bastante predecible. A partir de las doce de la noche, el consumo de electricidad cae rápidamente y llega a un mínimo por la madrugada (horas valle). Hacia las seis de la mañana comienza otra vez a crecer, llega a su máximo a media mañana (horas punta), se reduce ligeramente hacia el mediodía y tiene un pico secundario a última hora de la tarde (hora punta). Como la electricidad no se puede almacenar, es necesario mantener una generación eléctrica funcionando continuamente con una estrategia que permita tanto cubrir la demanda básica como los picos de demanda que puedan surgir. En ciertos momentos de las horas valle, la demanda de energía eléctrica es menor que la producción, por lo que se crea un excedente de energía.

Es por tanto deseable fomentar la carga nocturna pero permitiendo también las cargas diurnas ocasionales a fin de que el usuario no vea limitada la autonomía del vehículo.

Además de lo comentado anteriormente, el vehículo eléctrico cuenta con una serie de **ventajas tecnológicas** que se citan a continuación:

VENTAJAS TECNOLÓGICAS

- Ausencia de contaminación acústica.
- Ausencia de emisiones en el lugar de operación.
- Respuesta más inmediata que la de un vehículo convencional.
- Menores pérdidas mecánicas, mayor rendimiento energético.
- Menor coste de mantenimiento.
- Recuperación de la energía del frenado.
- Posibilidad de optimizar la curva de carga del sistema eléctrico.

Figura 5.1. Ventajas tecnológicas del vehículo eléctrico. Fuente: Repsol, 2013.

En los próximos años, es previsible que el sector de automoción dé respuesta a los retos tecnológicos actuales, entre los que cabe destacar los siguientes:

RETOS TECNOLÓGICOS

- Optimización de las baterías actuales:
 - Aumento de la densidad energética (kWh/kg) a fin de incrementar la autonomía del vehículo.
 - Disminución del precio.
 - Alargamiento de la vida útil.
 - Reducción de los tiempos de recarga.
- Incremento de la oferta de vehículos eléctricos.
- Construcción de la infraestructura de puntos de recarga.
- Regulación adecuada a fin de optimizar la red eléctrica existente.

Figura 5.2. Retos tecnológicos del vehículo eléctrico. Fuente: Repsol, 2013.

5.3. La recarga del vehículo eléctrico

Un nuevo tipo de vehículo con otro combustible, lleva asociada la necesidad de establecimiento de una nueva red de suministro y lo uno sin lo otro no funciona. Es labor de las administraciones cortar este círculo vicioso que hace que el potencial comprador del vehículo eléctrico no se decida a adquirirlo porque no tiene garantizada su recarga, y al mismo tiempo, el posible promotor de este tipo de instalaciones de recarga se retrae, pues no ve clientes potenciales.

La Propuesta de Directiva de desarrollo de infraestructura para combustibles alternativos, recientemente elaborada por la Comisión Europea fija objetivos míni-

mos de infraestructura a instalar en cada estado y establece los estándares de los conectores a utilizar en cada uno de los modos de recarga.

Se trata, sin duda, de una muy buena noticia. Por un lado, se elimina una de las barreras que actualmente existían, la del conector, y por otro, se obliga a los países a articular las medidas necesarias para garantizar una infraestructura que dé servicio a este nuevo modelo de movilidad.

Actualmente conviven en el mercado varios modos de recarga y varios tipos de conectores, que en poco tiempo convergerán hacia los estándares fijados para toda Europa.

5.3.1. Procedimientos de recarga

En función de las características del terminal de recarga y del vehículo a cargar, el proceso puede ser clasificado como:

Carga lenta

Recarga de baja potencia (2,3 kW máximo), realizada con una instalación de corriente alterna monofásica, normalmente en garajes privados y que permite recargas completas de batería en vehículos pequeñas. Es ideal para motos y cuatriciclos (2 ó 3 horas), y también es utilizada para situaciones de emergencia en coches.

Carga normal

Recarga de potencia estándar (3,7 kW) realizada con una instalación de corriente alterna monofásica. Es un tipo de recarga adecuado cuando el vehículo «duerme o descansa» como ocurre en la carga nocturna en garajes privados.

Carga semirrápida

Recarga de potencia media (11kW) realizada con una instalación de corriente alterna trifásica. Es un tipo de carga adecuado para uso público en lugares donde la permanencia del vehículo sea de horas, como son los centros comerciales, parkings de rotación,...

Carga rápida

Recarga de potencia elevada (50 kW). Es un tipo de recarga adecuado para uso público en establecimientos de alta rotación, como son las estaciones de servicio. Los tiempos de recarga en este tipo de instalaciones se reducen hasta los 20-30 minutos.

5.3.2. Modos de carga

La norma IEC 61851-1 define 4 modos de carga:

Modo 1

- Conexión a una toma de corriente doméstica convencional
- Sin comunicación entre el vehículo y dicha toma
- Limitado a la potencia permitida en tomas domésticas
- Orientado a la recarga de motocicletas y bicicletas eléctricas
- Carga lenta

Modo 2

- Conexión del VE a una toma de corriente convencional
- El cable de conexión dispone de un dispositivo con función de hilo piloto para el control de la conexión del vehículo eléctrico
- Potencia máxima hasta 3,6 kW, aunque la recomendada es 2,3 kW
- Recomendado para motocicletas y cuadriciclos
- Carga lenta

Modo 3

- Conexión a un terminal dedicado que permite la carga en monofásico o trifásico.
- El equipo de recarga dispone de protecciones eléctricas dedicadas y un conector específico con función de hilo piloto para la gestión del proceso de carga, que incluye las siguientes funcionalidades:

- Verificación de conexión correcta.
 - Comprobación continua de la toma de tierra.
 - Activación/ desactivación de la carga.
 - Selección de la potencia de carga en función de las necesidades del vehículo.
- Potencia máxima actual 43 kW.
 - Recomendado para todos los coches eléctricos.
 - Carga normal, semirrápida y rápida (en función de la potencia entregada).

Modo 4

- Conexión del VE a un punto de recarga con funciones de conversión de corriente alterna a corriente continua.
- Dispone de un hilo piloto para el control del proceso de carga.
- Rango de potencias actuales: 22 – 50 kW.
- Es necesario que el vehículo esté preparado para este tipo de carga.
- Carga rápida.

5.3.3. Tipos de infraestructura de recarga

Desde el punto de vista de instalación, gestión y operación, la Estrategia elaborada por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio distingue dos tipos de infraestructuras de puntos de recarga:

- **Infraestructura vinculada**, de carga normal, asociada a la adquisición del vehículo y situada en el aparcamiento del propietario del vehículo,
- y el **resto de infraestructuras que se asocia a la figura del Gestor de Carga**, que podrían prestarse conjunta o separadamente de los servicios relativos a la infraestructura vinculada, y que engloba las infraestructuras de carga normal o rápida situada en aparcamientos públicos; de empresas, de centros comerciales y en la vía pública, así como a los servicios de recarga rápida que se instalan ya en estaciones de servicio o electrolineras.

5.3.4. El gestor de carga

En abril de 2010 se incluyó la nueva figura del Gestor de Cargas del sistema dentro de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, dotando así de una solución adecuada para la prestación de los servicios de recarga de electricidad necesarios para un rápido desarrollo del vehículo eléctrico.

El Gestor de Carga es desde entonces, un agente del sector eléctrico que, siendo consumidor, está habilitado para la venta de energía eléctrica destinada a la recarga de vehículos eléctricos, así como para el almacenamiento de energía eléctrica para una mejor gestión del Sistema Eléctrico. El listado de gestores de carga autorizados para operar en el sistema puede ser consultado en el registro correspondiente de la Comisión Nacional de Energía.

Algunas de las obligaciones a cumplir por los Gestores de Carga ante sus clientes son:

- Informar acerca del origen de la energía suministrada
- Mantener sus instalaciones en las condiciones técnicas y de seguridad reglamentarias
- Estar vinculados a un centro de control que les permita interactuar con la Red para participar en la gestión activa de la demanda
- Informar a la Comisión Nacional de la Energía de los puntos de recarga puestos en servicio y la energía suministrada en los mismos

5.3.5. Gestión de la demanda inteligente

El vehículo eléctrico almacena la energía y la emplea cuando surge la necesidad de movilidad, por lo tanto no consume energía de la red en el momento que la utiliza.

El Gestor de Carga puede aprovechar este hecho para optimizar la gestión de la oferta y la demanda del sistema eléctrico:

- Gracias a su centro de control es capaz de agrupar consumos y realizar las recargas en los mejores momentos para el sistema.
- Está autorizado para almacenar electricidad en períodos nocturnos, cuando la oferta de energía supera la demanda y la componente de energías renovables es mayor, para suministrarla posteriormente en periodos diurnos.

En relación al impacto del VE en el sistema eléctrico, cabe destacar que está en consonancia con la optimización de la curva de demanda eléctrica. No cabe duda de que, realizando una buena gestión de la demanda, las recargas nocturnas de los vehículos eléctricos ayudarán a «rellenar» los valles, aprovechando los excedentes eléctricos generados por la noche (especialmente por los parques eólicos) y evitando la instalación de potencia adicional de generación.

Red de recarga eléctrica compartida para vehículos de flotas de empresa

Ricardo Olalla Guerra. ROBERT BOSCH ESPAÑA S.L.U.
 Fernando Moreno Moreno. ROBERT BOSCH ESPAÑA S.L.U.
 Alberto Machuca Sánchez. ROBERT BOSCH ESPAÑA S.L.U.

6.1. Introducción

En los últimos años ha habido un gran interés por el vehículo eléctrico, una alternativa tecnológica antigua, pero que en los 127 años de historia del automóvil, aún no ha conseguido despegar. Para que nos hagamos una idea, en el año 1900 se vendieron en EEUU 4.200 vehículos, de los cuales un 40% eran de vapor, un 38% eléctricos y el 22% de gasolina, circulando por ese país 7 vehículos eléctricos por cada 4 equipados con motor de combustión interna.

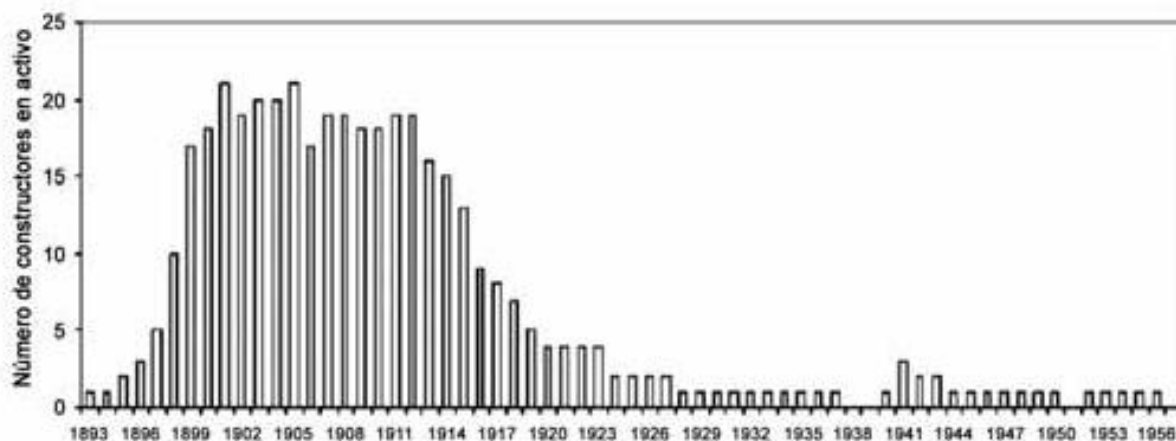


Figura 6.1. Gráfico de Fabricantes de Vehículos Eléctricos entre 1893 y 1957.
 Fuente: Schacket 1979.

Con el perfeccionamiento de los motores de combustión interna, y la invención del motor de arranque eléctrico que evitaba las molestas y peligrosas manivelas de arranque, en un tiempo de disponibilidad de gasolina barata, los vehículos eléctricos fueron perdiendo atractivo hasta prácticamente desaparecer del mercado.

Las evoluciones tecnológicas, especialmente en el campo de las baterías y en la integración de sistemas que permiten combinar tecnología eléctrica y de combustión en la propulsión de los automóviles son un factor importante en este renacer del vehículo eléctrico. Aún más importantes son las nuevas exigencias a la movilidad que han hecho de la propulsión eléctrica una opción necesaria:

- Reducción de gases contaminantes en las ciudades:

La Directiva 2008/50/EC de Calidad del Aire establece los límites de gases contaminantes como NOx y partículas. Si bien los últimos avances en los motores de combustión interna, impulsados por el marco de emisiones Euro VI de la UE, han reducido sustancialmente las emisiones contaminantes de los vehículos convencionales (100 vehículos actuales diésel contaminan menos que 1 vehículo de los años 70 y los filtros de partículas han reducido sus emisiones en un 99%), el vehículo eléctrico consigue emisiones locales cero, por lo que es sin duda la alternativa más atractiva para las grandes zonas urbanas. Los vehículos híbridos enchufables o de autonomía extendida con capacidad de propulsión puramente eléctrica durante decenas de kilómetros, pueden alcanzar las emisiones locales cero en los centros urbanos junto con una movilidad sin limitaciones de autonomía en recorridos interurbanos.

- Limitación de las emisiones de CO₂ del transporte:

El Reglamento CE 443/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de Abril de 2009, por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la comunidad para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros, fija en 130 g/km en 2015 y 95 g/km en 2020 los límites de emisiones de CO₂ y exigen a los fabricantes aplicar diferentes tecnologías dependiendo del peso y gama de cada vehículo. Si bien el objetivo para 2020 está siendo discutido actualmente y se espera una revisión, nadie duda que la tendencia a reducir los niveles admisibles de emisiones de CO₂ se mantenga. Un porcentaje de vehículos eléctricos o enchufables contribuyen de manera decisiva a compensar las emisiones de los vehículos más potentes y pesados. La normativa no tiene en cuenta las emisiones totales del pozo a la rueda. En España, con un importante porcentaje de generación eléctrica proveniente de renovables, la electrificación se confirma como una opción válida, algo más cuestionable en países donde el mix eléctrico se haga mayoritariamente con carbón.



Figura 6.2. Emisiones de CO₂ de pozo a rueda.
Fuente: Bosch, Carbon Monitoring for Action CARMA 2011.

- Reducción del nivel de ruido urbano:

El 40% de la población mundial está expuesta a niveles de ruido superiores a los 55 dB(A) como consecuencia del tráfico. Los vehículos eléctricos se caracterizan por unas emisiones sonoras muy inferiores a los dotados de motores de combustión interna, hasta el punto que se plantea la necesidad de incorporar generadores de ruido para evitar atropellos a peatones o ciclistas.

Por tanto, las evoluciones tecnológicas previstas en el campo del vehículo eléctrico y enchufable, ayudado por las exigencias medioambientales, hacen prever un cambio en la configuración tecnológica de los vehículos en los próximos años.

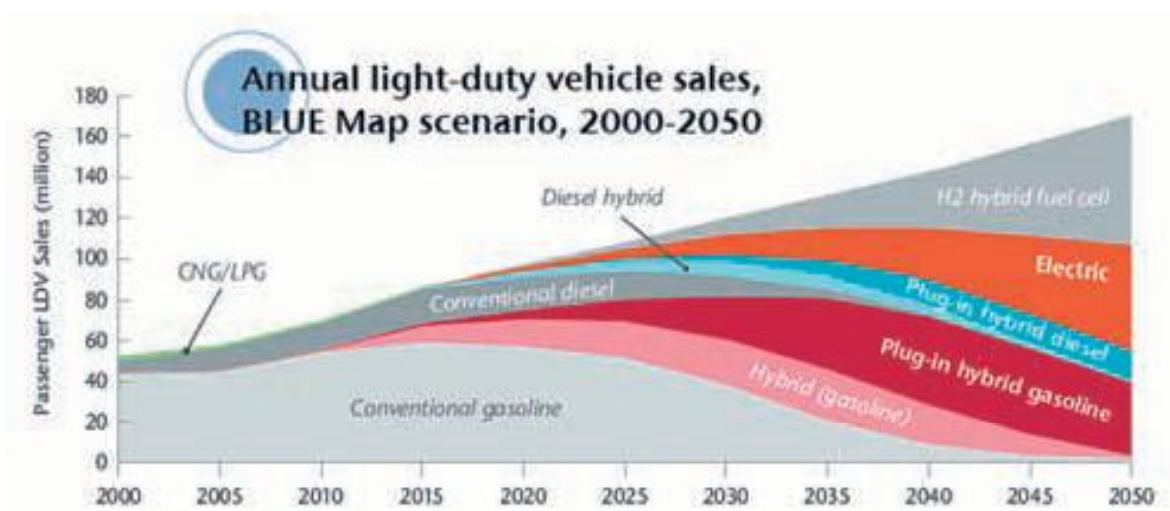


Figura 6.3. Previsión ventas vehículos ligeros por tecnología, 2000-2050. Fuente: International Energy Agency, 2010.

Sin embargo, la generalización del uso de vehículos eléctricos sólo será posible contando con una adecuada infraestructura de recarga. Cada usuario, particular o de empresa, debe contar con un punto de recarga vinculado en aquellos lugares donde el coche vaya a permanecer estacionado habitualmente. Asimismo es necesario contar con puntos de recarga de acceso público, o de oportunidad, para permitir un uso más flexible y extendido de los vehículos eléctricos.

Se estima que entre el 90% y 95% de las recargas se realizará en la infraestructura vinculada.

En España se han desarrollado en los últimos años numerosos proyectos, muchos con participación pública, para instalar infraestructura de recarga. Muchas empresas también se han dotado de puntos de recarga, normalmente para dar servicio a sus propios vehículos. La falta de estandarización hasta ahora en conectores y modos de recarga, así como la falta de comunicación entre los centros de gestión incorporados a algunas de las infraestructuras de recarga, han hecho que la percepción del potencial usuario de vehículo eléctrico haya sido la de que la falta de puntos de recarga es un problema para el uso de vehículos eléctricos.

6.2. Gestión inteligente de la infraestructura de recarga

Cuando se habla de gestión inteligente de la infraestructura de recarga se suele hacer hincapié en la gestión de la demanda, un punto muy importante para los suministradores de energía eléctrica. Aquí nos vamos a centrar en la gestión inteligente de cara al usuario del vehículo eléctrico. Es esencial ofrecerle información actualizada sobre la disponibilidad de los puntos de recarga, posibilidad de reserva y un método de acceso y facturación, si procede, sencillo y seguro. Asimismo es muy importante poder generar informes de uso, tanto para los usuarios como para los gestores de la red.

Esto se consigue dotando a los puntos de recarga de comunicaciones con un centro de control que disponga del *software* necesario para gestionar infraestructura y usuarios. El uso de tecnologías de acceso en tiempo real vía Internet y redes móviles es lo que el usuario espera para poder realizar la recarga de su vehículo eléctrico con confianza.

Una infraestructura de recarga con gestión inteligente requiere los elementos siguientes:

- Postes de recarga con capacidad de comunicación vía Internet:

Los postes deben estar dotados de un módem para conectarse a internet, bien con tecnología 3G, Ethernet, *wifi*, etc.. Al tratarse de comunicaciones directas entre máquinas, lo ideal sería usar protocolos de comunicaciones específicos «Machine to Machine» conocidos como M2M. El poste debe poder comunicar su estado al centro de control, recibir la información sobre los usuarios con acceso al sistema, suministrar la información sobre los procesos de carga que se realicen e incluso recibir actualizaciones de *software* desde el centro de control.

- Software de gestión:

Permite crear la red de infraestructura de recarga, administrar la base de datos de usuarios y gestionar todo el sistema en tiempo real. Este *software* debe ofrecer diferentes accesos o portales para que el operador del sistema y los usuarios puedan acceder a las distintas funcionalidades que ofrece el sistema. El acceso debe ser posible tanto desde ordenadores como desde dispositivos móviles.

- Usuarios de la red de recarga:

El acceso de los usuarios al poste de recarga puede realizarse de varias formas. La más habitual es mediante una tarjeta de identificación sin contacto, con tecnología RFID. La tarjeta contiene el código que identifica al usuario y permite al poste reconocerlo, darle acceso y posteriormente transmitir los datos del proceso de carga al centro de control. Otras alternativas pueden ser el uso de una aplicación móvil que se comunique directamente con el centro de control proporcionándole la identificación del usuario. Este proceso puede incluso realizarse mediante el uso de códigos QR en el propio poste, de forma que cualquier usuario dotado de un teléfono inteligente, aunque no tenga la aplicación específica, pueda acceder al servicio.

- Centro de control del sistema:

El centro de control gestiona y mantiene en remoto la infraestructura de recarga dando soporte a los usuarios de vehículo eléctrico en tiempo real. Accediendo a la base de datos de usuarios, almacena y gestiona su información, administra los permisos de acceso, conoce las acciones de recarga, las reservas y puede conocer cuánta energía ha

recargado cada usuario, en qué estación de recarga y durante cuánto tiempo.

La mayoría de los postes de recarga de acceso público están conectados a este tipo de sistemas de gestión. Pero no existe comunicación entre los diferentes sistemas, de forma que los usuarios de uno de ellos no pueden acceder a recargar en los postes gestionados por otro operador. Esta posibilidad de interoperabilidad entre los diferentes operadores de infraestructura de recarga es un elemento esencial para aumentar rápidamente la disponibilidad de puntos de recarga para los usuarios. El que seamos capaces de crear un sistema similar al de la telefonía móvil, donde el usuario puede acceder de forma automática y transparente a las redes de otros operadores, es clave para el despliegue del vehículo eléctrico. Debemos evitar que los sistemas de gestión de infraestructura de recarga se conviertan en islas incomunicadas, de forma parecida a lo que ocurre con los sistemas de telepeaje de las autopistas.

6.3. Sistema eMobility de Bosch

El Grupo Bosch dispone de un sistema de gestión de infraestructura de recarga desarrollado por su filial Bosch Software Innovations. El sistema, denominado «*eMobility Starter Package*», se basa en el uso de estándares de comunicación abiertos, tanto con los postes de recarga, como con otros operadores, y se ha instalado en numerosas ciudades entre otras, Stuttgart, Milán, Madrid y Singapur. En esta última el Grupo Bosch opera todo el sistema de movilidad eléctrica en un modelo de servicio completo propuesto por el propio gobierno de la ciudad, junto con varios socios locales.

El *software* se ofrece no sólo para su instalación en centros de control de los propios operadores, sino desde el concepto de «*software como servicio*». Bosch dispone del *software* en sus propios servidores y oferta a los operadores interesados su uso desde sus propios terminales. Así se evitan inversiones y se puede desarrollar el sistema de gestión ampliando sus prestaciones según aumentan el número de postes y usuarios.

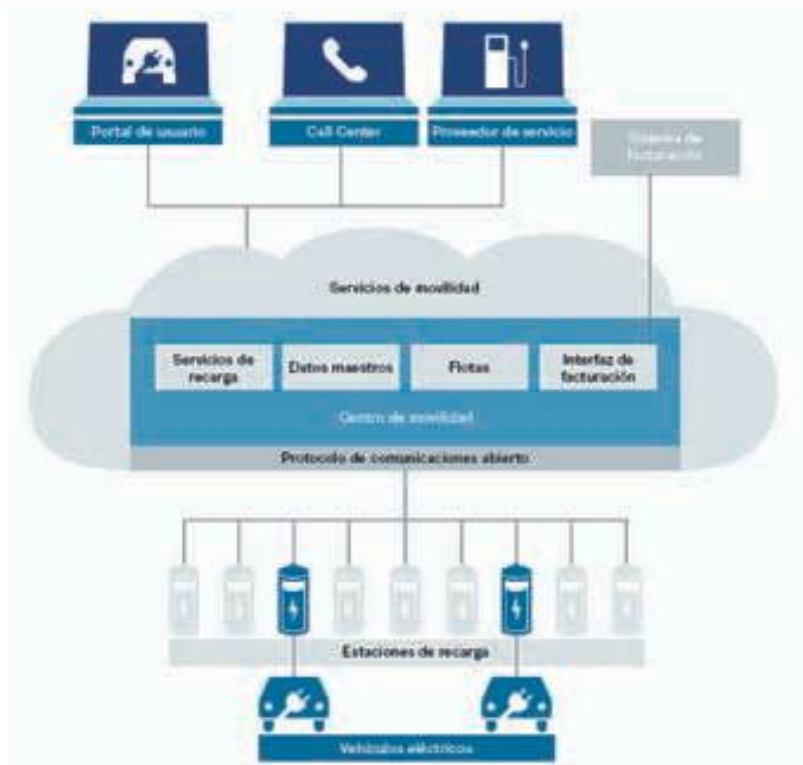


Figura 6.4. Concepto del software de gestión eMobility Starter Package de Bosch. Fuente: *Bosch Software Innovations, 2013.*

La ventaja de esta solución radica en que las compañías, instituciones públicas y empresas de servicio pueden operar su propia infraestructura de recarga para vehículos eléctricos al completo y en tiempo real, proporcionando los medios necesarios para el funcionamiento diario. Los puntos de recarga, los datos relativos a clientes y vehículos y las tarifas, se gestionan a través de un sistema integrado, de forma que las compañías puedan ofrecer a sus clientes un fácil acceso a los servicios relacionados con la recarga eléctrica de sus vehículos.



Figura 6.5. Ilustraciones del software de gestión eMobility Starter Package de Bosch. Fuente: *Bosch Software Innovations, 2013.*

El usuario del vehículo eléctrico también puede acceder al *software* tanto vía online, como a través de Apps para *smartphones*.

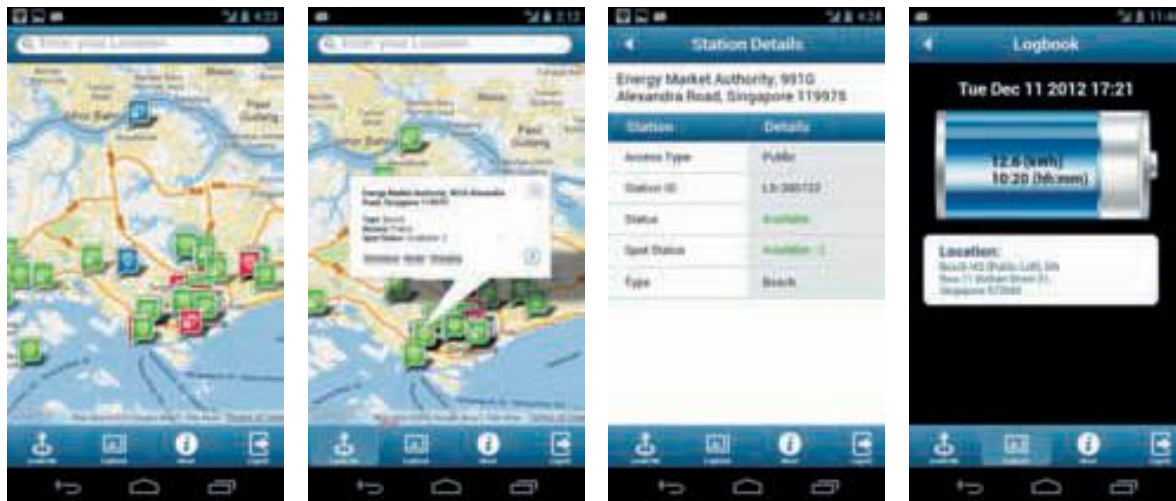


Figura 6.6. Ilustraciones de la aplicación móvil para usuarios del *eMobility Starter Package* de Bosch. Fuente: Bosch Software Innovations.

Las funcionalidades principales para el usuario son la búsqueda de estaciones de recarga en tiempo real y conociendo su estado (libres, reservada, ocupada, etc), la reserva de las mismas para evitar esperas innecesarias, la ayuda a la navegación desde la ubicación del usuario a la estación de recarga deseada y una serie de informes propios de uso y consumos para conocer dónde, cuándo y cuánto han recargado.

Bosch ha desarrollado también un *software* para permitir la interoperabilidad entre diferentes operadores de infraestructura de recarga. Esta plataforma de *roaming* no sólo permite la comunicación entre diferentes *software* de gestión de infraestructura, sino que lo hace de forma abierta mediante la realización de ofertas «on-line» entre los operadores.

Este *software* ha sido elegido por la empresa Hubeject, una sociedad conjunta entre BMW, Bosch, Daimler, EnBW, RWE y Siemens, para gestionar la primera plataforma privada que da servicio de *roaming* a los operadores de gestión de infraestructura de recarga. Hubeject ha iniciado sus operaciones en Alemania, con vocación de extender sus actividades a toda Europa.

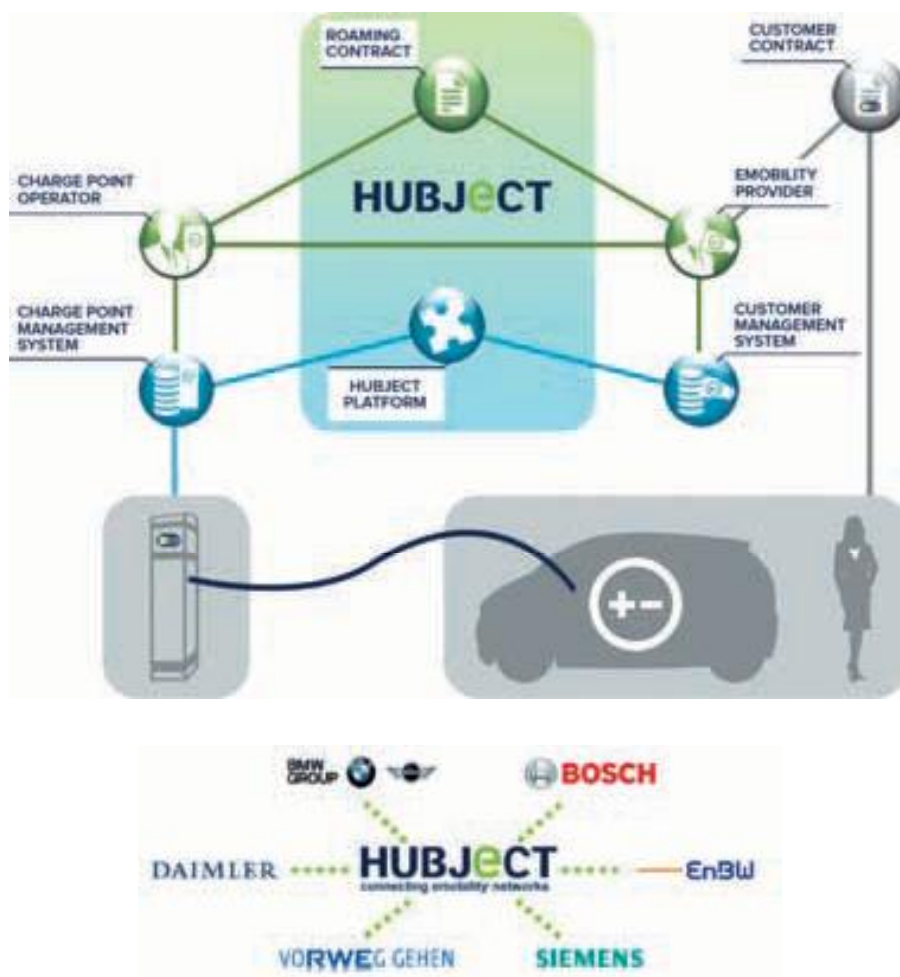


Figura 6.7. Estructura de la plataforma de *roaming* Hubject.
Fuente: Hubject GmbH, 2013.

6.4. Movilidad eléctrica para empresas

En Madrid, el Grupo Bosch ha creado una red propia de infraestructura de recarga de vehículo eléctrico conectada y monitorizada en remoto por su *software* de gestión. Dicha red se inició en 2012 con la instalación de 3 puntos de recarga, 1 de ellos conectado a paneles de generación fotovoltaica, con el objetivo de ampliar la red de recarga a medio plazo a todas las sedes del grupo en la Comunidad de Madrid, y a algunos socios comerciales.

Con el interés de compartir la experiencia en el campo de la electro-movilidad y poder ampliar la red de recarga privada disponible en la Comunidad de Madrid, Bosch se propone lanzar un proyecto para crear una red inteligente de infraestructura de recarga entre empresas interesadas en la movilidad eléctrica.

Los principales objetivos del proyecto son obtener experiencias reales en la implantación de un concepto de movilidad eléctrica, conocer las necesidades de los usuarios finales en un mundo conectado y potenciar imagen de marca de las empresas y entidades participantes.

Cada socio del proyecto dispondría de vehículos eléctricos o híbridos enchufables y puntos de recarga que compartiría con el resto de socios que integrasen la red de recarga. Bosch pone a disposición de los socios el *software* de gestión de infraestructura de recarga y el servicio de *call center* para realizar la asistencia al usuario de vehículo eléctrico y garantizar la operatividad del sistema en cada momento.

El proyecto está abierto a todas aquellas empresas o entidades que quieran conectar su infraestructura a esta red. Para ello es necesario que los postes de recarga dispongan de conectividad y adaptar los protocolos de comunicación. Esto permite que infraestructura ya instalada esté a disposición del resto de socios, con lo que se multiplica la disponibilidad de puntos de recarga para el uso de los vehículos eléctricos de todos los participantes.

La agrupación de varias empresas puede permitir generar una oferta completa de movilidad eléctrica a cualquier otra empresa, desde la adquisición o *renting* del vehículo eléctrico, la instalación y mantenimiento de los postes de recarga, las comunicaciones, y hasta los servicios de mantenimiento del vehículo.



Figura 6.8. Rueda de productos y servicios asociados a la movilidad eléctrica.

Fuente: Bosch, 2013.

En una primera fase, es esencial probar la conectividad entre un número reducido de empresas en la Comunidad de Madrid. Con la incorporación posterior de más empresas y confirmación de su funcionalidad, se pueden generar modelos de negocio que permitan a cualquier empresa acceder a la movilidad eléctrica o conectar su infraestructura ya existente a esta red multiempresas, construyendo así una red al servicio de todos los socios cada vez más densa y completa.

En el medio plazo se podría desarrollar la conexión de esta red a otras redes de recarga utilizando el *software* de interoperabilidad que ya usa Hubeject en Alemania.



Figura 6.9. Red de infraestructura de recarga con servicios asociados.
Fuente: Bosch, 2013.

La filosofía del proyecto es abierta, para que sea cada vez más fácil y cómodo el uso de la electro-movilidad en la Comunidad de Madrid, pensando no sólo en el usuario, sino también permitiendo que el modelo de colaboración en red facilite el retorno de la inversión en infraestructura y vehículos eléctricos. El papel de las empresas debe ser clave en el despegue de esta nueva forma de movilidad. La colaboración entre ellas, mediante el uso de las nuevas tecnologías de comunicación puede ser un factor multiplicador para conseguir una infraestructura de recarga lo suficientemente densa.

6.5. Referencias

- Agencia Internacional de la Energía <http://iea.org>

- Arval BNP Paribas Group Renting de Vehículos <http://www.arval.es>
- Bosch Communication Center <http://www.boschcommunicationcenter.com>
- Bosch Software Innovations GmbH <http://www.bosch-si.com>
- eMobility by Bosch en España
http://www.robert-bosch-espana.es/es/es/sustainability_innovation_11/sustainability.html
- Hubeject GmbH <http://www.hubeject.com>
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía) <http://www.idae.es>
- INE (Instituto Nacional de Estadística) <http://www.ine.es>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio <http://www.mityc.es>
- Proyecto Movele <http://www.movele.es>
- Red Eléctrica de España <http://www.ree.es>
- Unión Europea <http://europa.eu>

7.1. Introducción

La Comunidad de Madrid es solidaria con las políticas europeas de protección de la calidad del aire y de lucha contra el cambio climático, que se resumen en el denominado «Paquete 20-20-20»; con un compromiso de reducción de al menos un 20% de los gases de efecto invernadero para 2020 en comparación con los niveles de 1990.

Para el sector del transporte, la Unión Europea se ha propuesto alcanzar en el año 2020 una cuota de energías renovables del 10%; para lo que considera fundamental el desarrollo de mercados para vehículos nuevos menos contaminantes y más inteligentes y energéticamente eficientes.

Las principales opciones disponibles para sustituir el petróleo por combustibles alternativos en el sector del transporte son la electricidad, los biocarburantes, el gas natural comprimido (GNC), el gas natural licuado (GNL) y el gas licuado del petróleo (GLP).

De entre todos ellos, la electricidad es el combustible más limpio y reviste gran interés en aglomeraciones urbanas como la Comunidad de Madrid, en las que la utilización de vehículos eléctricos, además de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, puede contribuir a mejorar la calidad del aire y a reducir la contaminación acústica.

En la Comunidad de Madrid, el tráfico rodado es el principal sector emisor de gases de efecto invernadero, que contribuyen al cambio climático, pues los vehículos liberan aproximadamente el 47% de las emisiones de CO₂ totales emitidas a la atmósfera.

Su repercusión en la calidad del aire es aún más notable, ya que el tráfico libera el 68% de las emisiones totales de óxidos de nitrógeno (NOx) y el 52% de las emisiones de material particulado (PM10), emisiones que son generadas fundamentalmente por los vehículos diésel que circulan por la Comunidad de Madrid.

Tabla I. Síntesis de la contribución del tráfico rodado a las emisiones totales de la Comunidad de Madrid.

Contaminante	CO ₂ (kt/año)	NOx (t/año)	PM10 (t/año)	PM2,5 (t/año)
Total Comunidad de Madrid	17.019	57.123	4.951	3.189
Tráfico Rodado	7.949	38.929	2.594	2.108
% Tráfico frente al total	46,7	68,1	52,4	66,1

Fuente: Inventario de Emisiones de la Comunidad de Madrid, avance del año 2011.

7.2. Actuaciones de la Comunidad de Madrid

La Comunidad de Madrid ha puesto en marcha en los últimos años diferentes medidas para reducir las emisiones en el sector del transporte, enmarcadas en el denominado «Plan Azul» vigente desde el año 2006 hasta el 31 de diciembre de 2012. Estas medidas estaban enfocadas tanto a las infraestructuras del transporte, como a la movilidad urbana y a los combustibles y vehículos; pero sólo de forma tangencial afectaban a la movilidad eléctrica.

En el año 2012, la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio comenzó a trabajar en la definición e implementación de una nueva herramienta estratégica que diera continuidad al Plan Azul, denominada «Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid 2013-2020».

Uno de los pilares de esta nueva Estrategia va a ser la promoción de la movilidad eléctrica, habiéndose puesto en marcha o realizado varias iniciativas, entre las que pueden destacarse las siguientes:

- Impulso a la renovación de la flota de taxis con vehículos menos contaminantes.
- Proyecto Clima «Programa 2013-2016 para el incremento del número de vehículos eléctricos e híbridos e la Comunidad de Madrid».
- Convenio con IBIL (gestor de carga) para el fomento del uso del vehículo eléctrico.
- Proyectos demostrativos con fabricantes de vehículos (SEAT, RENAULT, TOYOTA).

7.3. Renovación de los vehículos autotaxi

Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) son el principal escollo, en la Comunidad de Madrid, para cumplir los objetivos de calidad del aire establecidos por la Unión Europea. Esta dificultad no es exclusiva de la Región sino que es propia de las concentraciones urbanas relevantes y se asocia principalmente al tráfico de vehículos.

Según los estudios más recientes realizados por la Comunidad de Madrid y por el Ayuntamiento de Madrid para caracterizar las emisiones reales del parque automovilístico circulante mediante el análisis detallado de sus recorridos y emisiones, ha permitido conocer que las emisiones de dióxido de nitrógeno (NO₂) se reparten de la siguiente manera:

- 56% Turismo privados
- 16% Autobuses
- 15% Taxis
- 13% Otras categorías (ligeros, motocicletas,...)

Pese a que los aproximadamente 16.500 vehículos autotaxi representan sólo un 0,5% del total de vehículos matriculados en la Comunidad de Madrid, las medidas de renovación tecnológica del sector del taxi son mucho más eficientes que las de renovación del conjunto del parque circulante, a la hora de disminuir las emisiones de NO₂.

Ello es debido, por un lado, a que los taxis recorren una media de unos 60.000 kilómetros al año, frente a los 15.000 a 20.000 kilómetros al año que realizan de media el conjunto de los vehículos privados. Y por otro lado, estos kilómetros se realizan su mayoría en pautas urbana y periurbana con gran número de arranques y paradas.

Dado que la calidad del aire en la Comunidad de Madrid, a pesar de cumplir holgadamente con las exigencias de la normativa europea para la mayoría de los contaminantes regulados, ha de seguir mejorando en relación con las concentraciones de NO₂ y de ozono, es prioritario actuar sobre las emisiones de dióxido de nitrógeno incidiendo especialmente en los sectores que, como el del taxi, presentan la mayor eficacia y eficiencia en la reducción de emisiones de NO₂.

Por ello, acelerar la renovación de la flota actual de autotaxi mediante la incorporación de vehículos con tecnologías menos contaminantes, se considera como una de las actuaciones clave para reducir las emisiones a la atmósfera y así se va a contemplar en la nueva «Estrategia de calidad del aire y cambio climático de la Comunidad de Madrid 2013-2020», que actualmente está elaborando la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

El pasado 30 de septiembre se han publicado las bases reguladoras para la concesión de las ayudas para incentivar la sustitución progresiva de los vehículos de Taxi de la Comunidad de Madrid por modelos bajos en emisiones de NOx y CO₂.

La línea de subvención se basa en una dotación de 1.000.000 de euros del Presupuesto General de la Comunidad de 2013 asignado a la Consejería de Medio Ambiente y se ha consultado con los principales actores involucrados, en particular con Entidades Locales, fabricantes, comercializadores, asociaciones representativas del sector del taxi, la Dirección General de Industria, Energía y Minas, etc.

En relación a las condiciones del vehículo a adquirir serán subvencionables los gastos de compra de las siguientes tipologías de vehículos:

- Vehículos eléctricos puros.
- Vehículos híbridos, híbridos enchufables y eléctricos de autonomía extendida (propulsados total o parcialmente mediante motores de combustión interna de gasolina o gasóleo y eléctricos).
- Vehículos propulsados por motores de combustión interna que puedan utilizar combustibles fósiles alternativos (autogás —GLP— y Gas Natural).
- Vehículos de combustión interna altamente eficientes (EURO VI).

Las ayudas se han modulado en cuatro tramos dependiendo de las emisiones de NOx y CO₂, de la siguiente manera:

- TRAMO I.—Vehículos con emisiones inferiores o iguales a 80 g de CO₂/km y 60 mg NOx/km: **6.000 euros/vehículo.**
- TRAMO II.—Vehículos con emisiones inferiores o iguales a 120 g de CO₂/km y 80 mg de NOx/km, no incluidos en el Tramo I: **2.000 euros/vehículo.**
- TRAMO III.—Vehículos con emisiones inferiores o iguales a 160 g de CO₂/km y 80 mg de NOx/km, no incluidos en los Tramos I y II: **1.000 euros/vehículo.**

- TRAMO IV.—Vehículos pertenecientes a la categoría Eurotaxi, adaptados para personas con movilidad reducida, con emisiones inferiores o iguales a 180 g CO₂/km y 120 mg de NOx/km: **2.000 euros/vehículo**, no incluidos en los tramos I, II y III.

En la figura siguiente se sintetizan los diferentes tramos de ayudas, en función de sus emisiones.

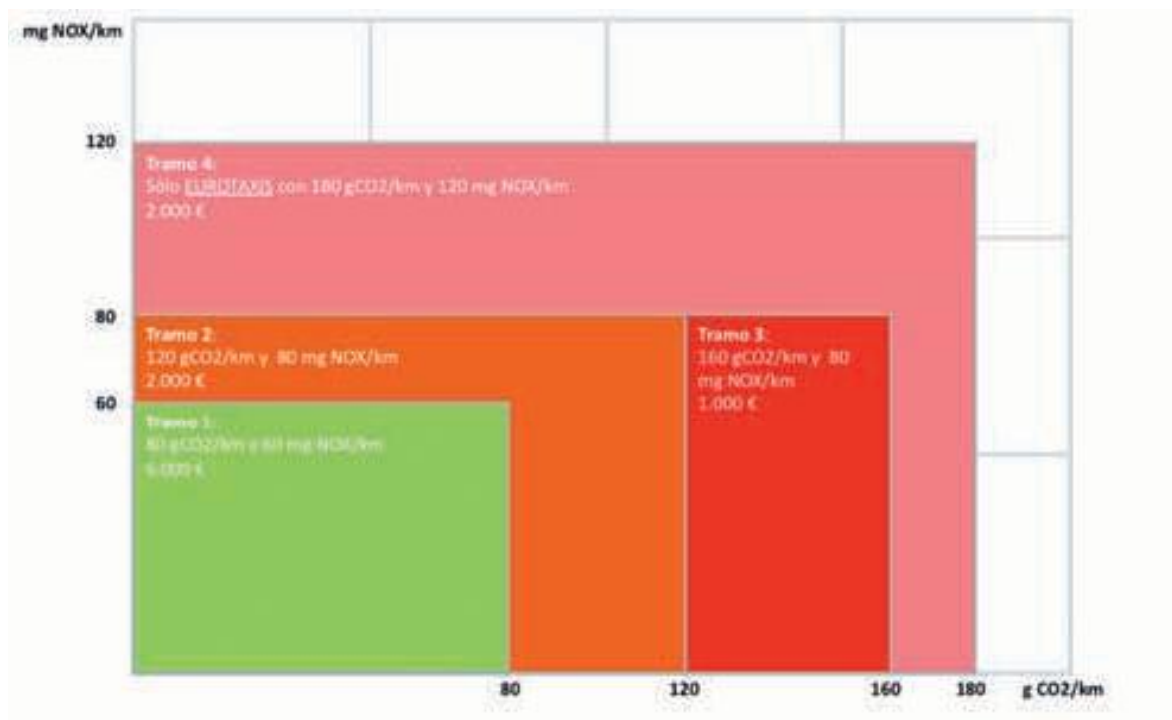


Figura 7.1. Tramos 1, 2, 3 y 4 para la creación de una ayuda a la adquisición de taxis de bajas emisiones (24 /10/2013). Tramos 1, 2 y 3: aplicables a todos los vehículos. Tramo 4: aplicable sólo a vehículos adaptados (Eurotaxi). Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid, 2013.

Estas ayudas son compatibles con aquellas previstas en otros instrumentos de otras Administraciones Públicas y, en particular, con los Planes MOVELE, PIVE3 o similares, ya sean presentes o futuras.

La gestión de las ayudas será realizada en sus aspectos materiales (recepción informática de las solicitudes, comprobación de requisitos, generación de documentos de pago y materialización de pagos) por una Entidad Colaboradora de las previstas en la Ley de Subvenciones.

A esta iniciativa de la Comunidad de Madrid de renovación del parque de autotaxis mediante vehículos de bajas emisiones, se han adherido las siguientes

empresas (fabricantes de vehículos, gestores de carga y suministradores de combustibles) complementando la actuación de la Comunidad de Madrid con aportaciones y descuentos adicionales para la adquisición de los nuevos vehículos: SEAT, TOYOTA, RENAULT, ENDESA, REPSOL, BOSCH e IBIL.

7.4. Proyecto Clima «Programa 2013-2016 para el incremento del número de vehículos eléctricos e híbridos en la Comunidad de Madrid»

Con el objetivo de impulsar el despliegue de la movilidad eléctrica en la Comunidad de Madrid, la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio ha planteado el desarrollo de un «Programa para el incremento del número de vehículos eléctricos e híbridos en la Comunidad de Madrid», que se desarrollará en el periodo 2013-2016, y lo ha presentado a la primera convocatoria de los «Proyectos Clima» realizada por la Oficina Española de Cambio Climático del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) el pasado mes de mayo de 2012.

Inicialmente se presentaron 190 proyectos de toda España, de los que fueron definitivamente aprobados a finales del año 2012 cuarenta proyectos, entre ellos el de la Comunidad de Madrid.

El planteamiento de este Proyecto Clima es favorecer la incorporación de vehículos eléctricos e híbridos en las flotas públicas, incorporando en los nuevos contratos públicos de *renting* de vehículos, criterios energéticos y medioambientales.

Hay varias razones que aconsejan favorecer la incorporación de vehículos eléctricos e híbridos en las flotas institucionales, como son:

- Ahorro económico y de consumo de combustibles,
- menor emisión de contaminantes atmosféricos, incluidos los óxidos de nitrógeno,
- menor emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂),
- menor contaminación acústica,
- promoción pública de la movilidad eléctrica y
- papel ejemplarizante de las administraciones.

El programa permitirá, pues, reducir los impactos asociados a la movilidad urbana, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire, a una menor contaminación acústica y a la generación de un modelo energético más sostenible.

En esta iniciativa han participado, además de la Comunidad de Madrid y la empresa pública Canal de Isabel II, los Ayuntamientos de Madrid, Alcalá de Henares, Leganés, Móstoles, Parla, Getafe y Alcorcón, lográndose la sustitución de un total de 337 vehículos convencionales de gasóleo o de gasolina por vehículos híbridos o eléctricos, según lo indicado en las dos tablas siguientes:

Tabla 2. Nº de vehículos convencionales sustituidos por vehículos híbridos.

	2013	2014	2015	2016	Total
Alcalá de Henares	0	0	0	0	0
Leganés	0	0	0	0	0
Móstoles	0	0	2	0	2
CYII	7	0	0	0	7
Parla	1	2	0	0	3
Madrid	25	25	50	50	150
Getafe	3	0	0	0	3
Comunidad Madrid	6	0	0	0	6
Alcorcón	0	0	0	0	0
Total	67	52	52	0	171

Tabla 3. Nº de vehículos convencionales sustituidos por vehículos eléctricos.

	2013	2014	2015	2016	Total
Alcalá de Henares	1	0	0	0	1
Leganés	4	0	0	0	4
Móstoles	2	0	0	0	2
CYII	5	0	0	0	5
Parla	0	0	0	0	0
Madrid	25	25	50	50	150
Getafe	0	0	0	0	0
Comunidad Madrid	0	0	0	0	0
Alcorcón	0	0	2	2	4
Total	62	50	52	2	166

Los Proyectos Clima se enmarcan en la política de compensación voluntaria de emisiones de gases de efecto invernadero que el Estado está desarrollando para los conocidos como «sectores difusos», es decir, aquellos que, como el transporte, no están sujetos al régimen europeo de comercio de derechos de emisión.

El MAGRAMA cofinancia estos proyectos mediante la compra de las toneladas de CO₂ reducidas a partir de las dotaciones presupuestarias del nuevo Fondo de Carbono estatal, creado en la Ley 2/2011 de Economía Sostenible y denominado «FES-CO₂».

A través de este Proyecto Clima se conseguirá la reducción de 1.018 toneladas de CO₂, que deberán ser verificadas anualmente por terceros independientes.

Por ello, el pasado 11 de febrero de 2013 el MAGRAMA suscribió un contrato de compraventa de las reducciones verificadas de gases de efecto invernadero conseguidas con este Proyecto Clima, a un precio unitario de 7,1 euros por tonelada reducida y verificada.

7.5. Convenio con el gestor de carga IBIL

Como ya se ha comentado, la Comunidad de Madrid tiene interés en contribuir a impulsar el crecimiento, el liderazgo y el futuro del vehículo eléctrico en el sector de la automoción, dentro de su ámbito competencial, para conseguir la mejora de la eficiencia energética, la reducción de emisiones de CO₂ y de contaminantes de las ciudades, así como la reducción de la dependencia del petróleo y la utilización de fuentes de energía autóctonas, que en el caso de España implica el aprovechamiento de las energías renovables.

Por ello, la Comunidad de Madrid está definiendo, en el marco de las Estrategias Europea y Nacional (Plan Movele), los objetivos y acciones prioritarias de promoción y fomento de la movilidad eléctrica, que se centran en acciones tendentes a favorecer la demanda, a implementar la infraestructura de puntos de recarga y a aprovechar la oportunidad económica del nuevo mercado potencial, con la colaboración de otras administraciones y del sector privado.

Por otro lado, a nivel nacional se ha regulado la figura del gestor de carga, mediante el *Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética*, como pieza fundamental para la instalación, puesta en marcha, explota-

ción y mantenimiento de una infraestructura de puntos de recarga de vehículos eléctricos.

IBIL, GESTOR DE CARGA DE VEHÍCULO ELÉCTRICO S.A., ha sido el primer gestor de carga inscrito en la Comisión Nacional de la Energía y ha desarrollado un Servicio Integral de Recarga, basado en el suministro de energía 100% renovable, apostando por terminales inteligentes y comunicados con un centro único de control.

Dado el interés común de la Comunidad de Madrid y de IBIL en impulsar la movilidad eléctrica en la Comunidad de Madrid, ambas partes formalizaron el pasado 24 de junio de 2013 un Convenio para el fomento del uso del vehículo eléctrico entre usuarios particulares y en flotas públicas y privadas de la Comunidad de Madrid, basado en la definición de las acciones prioritarias de promoción del vehículo eléctrico, centradas en acciones tendentes a favorecer la demanda y a implementar la infraestructura de puntos de recarga.

Al Convenio podrán adherirse en todo momento tanto Ayuntamientos del ámbito geográfico de la Comunidad de Madrid como entidades y empresas públicas y privadas, mediante la firma de las adendas incluidas en sus Anexos.

El objetivo fundamental de esta iniciativa es ampliar el mapa regional de puntos de recarga rápida y con ello dar cobertura en su autonomía al usuario particular y a flotas públicas y privadas, en rutas urbanas y periurbanas; impulsando y dinamizando de este modo el sector económico de la movilidad eléctrica, fomentando el uso del vehículo eléctrico y reduciendo las emisiones contaminantes.

Los emplazamientos para recarga rápida serán los elegidos entre las estaciones de servicio de REPSOL, dentro de las áreas urbana y metropolitana de la Comunidad de Madrid. En todo caso, el desarrollo de la Red Regional de Recarga Rápida estará sujeto a la evolución de la demanda presente y futura y a la conveniencia de su implementación en función de la evolución del mercado y de la demanda de recarga en lugares accesibles al público en general.

En el marco de la colaboración objeto de este Convenio, la Comunidad de Madrid e IBIL desarrollarán las siguientes actividades:

- a) Acciones de sensibilización e información.
- b) Implementación de puntos de recarga vinculados para flotas públicas y privadas y particulares.
- c) Instalaciones de recarga en emplazamientos públicos.

Por su parte, los Ayuntamientos de la Comunidad de Madrid que se adhieran al Convenio deberán:

- Identificar sectores de actividad potencialmente sensibles a la movilidad eléctrica presentes en el municipio,
- participar en eventos y campañas de sensibilización,
- analizar posibles emplazamientos idóneos para la instalación de puntos de recarga en terrenos de titularidad y/o acceso público donde sea posible el estacionamiento de vehículos eléctricos para la recarga de los mismos, prestando especial atención a los aparcamientos de rotación y estaciones de servicio,
- analizar las posibilidades ofrecidas por el uso del vehículo eléctrico dentro de sus flotas municipales como estrategia para la mejora de la calidad del aire, y
- analizar la viabilidad de medidas que favorezcan la utilización de los vehículos eléctricos en sus municipios, así como favorecer el trabajo de las flotas de reparto de la ciudad que utilicen este tipo de movilidad, centrándose principalmente en los siguientes ejes de actuación prioritaria:
 - 1) Utilización de las Infraestructuras de Recarga.
 - 2) Beneficios Sociales y Ayudas Fiscales.
 - 3) Campañas Informativas.
 - 4) Discriminación positiva respecto a elementos más contaminantes de la calidad del aire.
 - 5) Medidas de fomento de Vehículos Eléctricos de Limitadas Dimensiones.
 - 6) Medidas favorecedoras para flotas.

Asimismo, la Comunidad de Madrid se compromete a analizar, para aquellas entidades y empresas adheridas al Convenio, la viabilidad de la implementación de medidas adicionales que favorezcan la utilización de los vehículos eléctricos en su ámbito territorial, encuadradas dentro de alguno de estos seis ejes de actuación prioritaria.

Finalmente, las entidades y empresas, públicas y privadas, que deseen adherirse a este Convenio se comprometerán a:

- Desarrollar e implementar un plan de movilidad sostenible,
- incorporar vehículos eléctricos a sus flotas según un calendario establecido, y

- realizar la gestión de la recarga de los vehículos eléctricos que se incorporen a la flota y su suministro eléctrico vinculado/privado a través de un gestor de carga.

La vigencia del convenio es de dos años, pudiéndose prorrogar por periodos de un año.

7.6. Proyecto piloto con SEAT

Entre las distintas barreras que debe superar todavía el vehículo eléctrico, una de las más importantes es el desconocimiento por parte de sus potenciales usuarios sobre el funcionamiento y las ventajas asociadas al vehículo eléctrico.

Con el fin de conocer y divulgar el comportamiento de los vehículos eléctricos en condiciones reales de uso, la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid suscribió un convenio el pasado 18 de febrero de 2013 con la empresa automovilística SEAT para la realización de una prueba piloto en el ámbito geográfico de la Comunidad de Madrid, consistente en la cesión de un vehículo modelo **SEAT AlteaXL® Electric Ecomotive®** durante tres meses para realizar los trayectos urbanos y metropolitanos habituales que realizan los vehículos de la Consejería.

Los objetivos de la prueba piloto eran:

- Obtener conocimiento sobre la aceptación del vehículo eléctrico entre sus usuarios,
- adquirir información sobre el uso real de este tipo de vehículos,
- analizar la fiabilidad del vehículo y sus componentes,
- conocer las posibles limitaciones de la infraestructura de carga existente, y
- realizar acciones de comunicación que divulguen los beneficios de la electromovilidad.

El vehículo cedido es un prototipo correspondiente a un proyecto en estado de desarrollo, con un motor 100% eléctrico, que se alimenta mediante la energía de una batería de alta tensión. La energía de la batería puede ser recargada mediante su conexión a la red eléctrica. Tiene una autonomía de 135 Km, una potencia de 115 CV (85 kW) y consigue una velocidad máxima de 135 Km/h, siendo el primer vehículo eléctrico que se ha diseñado y construido íntegramente en

nuestro país. El vehículo cuenta con un sistema de regeneración de la energía a partir de la frenada.

Otra de las prestaciones que redundan en la disminución del consumo de energía consiste en que, cuando el vehículo está aparcado al sol, las células fotovoltaicas del techo cumplen la función de recircular con aire fresco el habitáculo del vehículo, reduciendo la necesidad de consumo de energía por el sistema de climatización del vehículo.

Previamente a la entrega del vehículo, SEAT impartió a los dos conductores de la Consejería encargados de conducir el vehículo, cursos de formación sobre el funcionamiento del vehículo, sobre el protocolo de mantenimiento e incidencias y sobre conducción en situaciones adversas.

Durante los tres meses del proyecto piloto, SEAT ha mantenido abierto un «Call Center» las 24 horas del día para resolver dudas de los conductores mediante vía telefónica y vía correo electrónico.

En el ámbito del proyecto, se han registrado y analizado múltiples datos referentes a los parámetros técnicos de funcionamiento del vehículo, así como datos de interés para la elaboración de modelos de movilidad. Estos datos han sido recogidos por el propio vehículo y transmitidos mediante GPS a través de una conexión UMTS a un servidor de datos.

Los resultados de esta experiencia piloto han sido muy satisfactorios, tanto en opinión de los conductores del vehículo como de SEAT. Se han realizado un total de 262 trayectos urbanos y periurbanos con una media de 40 kilómetros diarios, una velocidad media de 20 km/h y un consumo eléctrico medio de 18,8 kWh/100 km.

Las conclusiones más relevantes de este proyecto piloto han sido:

- La autonomía del vehículo ha permitido cubrir las necesidades diarias de movilidad para las tareas asignadas a los dos conductores,
- de los 2.274 km recorridos, un 55% se realizaron en ciudad y un 42% en autopistas y vías rápidas, mientras que el 3% restante corresponde a carreteras convencionales interurbanas,
- el ahorro económico total que ha supuesto el uso del vehículo eléctrico en lugar de un vehículo de combustión equivalente ha sido de 123 €, con una media de 5,43 € cada 100 kilómetros,
- se ha producido una reducción de emisiones de 138 kg de CO₂, con una media de 6 kg de CO₂ cada 100 kilómetros, y

- durante los tres meses de cesión no se registró ningún incidente en el vehículo que precisara de atención técnica.

7.7. Futuros acuerdos de colaboración

En el marco de la colaboración público-privada ya iniciada entre la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid y los diferentes agentes económicos y empresariales, se encuentran avanzadas las conversaciones para establecer sendos convenios de colaboración con dos empresas fabricantes de vehículos, RENAULT y TOYOTA.

En estos dos casos, a diferencia del vehículo de SEAT que era un prototipo, los Convenios con RENAULT y TOYOTA prevén la cesión de vehículos eléctricos ya fabricados en serie y comercializados: el modelo **RENAULT FLUENCE ZE**, eléctrico puro, y el **TOYOTA Prius Plug in Hybrid**, de tecnología híbrida enchufable.

7.8. Conclusiones

La Comunidad de Madrid, por su carácter netamente urbano y su alta densidad de población, presenta un alto potencial para el desarrollo de la movilidad eléctrica en su territorio. Para que ese potencial sea una realidad es preciso, no obstante, vencer determinadas barreras (escasa demanda, oferta incipiente, ausencia de redes de recarga energética,...) que todavía frenan la gradual incorporación del vehículo eléctrico en los segmentos de usuarios más idóneos, especialmente en las flotas públicas y privadas.

El papel de las administraciones públicas, en sus respectivos ámbitos competenciales, es fundamental de cara a promocionar la introducción del vehículo eléctrico, favoreciendo así el cumplimiento de los objetivos medioambientales de mejora de la calidad del aire y de lucha contra el cambio climático.

Por ello, la Comunidad de Madrid está adoptando, en el marco de la nueva *«Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid 2013-2020»*, diferentes medidas de promoción de la movilidad eléctrica, entre las que pueden destacarse: el impulso a la renovación de la flota de taxis con vehículos menos contaminantes, el Proyecto Clima «Programa 2013-2016 para el incremento del número de vehículos eléctricos e híbridos en la Comunidad de Madrid»,

el Convenio con el gestor de carga IBIL para el fomento de una red de recarga rápida y Convenios de colaboración con los fabricantes de vehículos SEAT, RENAULT y TOYOTA para la cesión del uso de sendos vehículos eléctricos por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

7.9. Referencias

COMISIÓN EUROPEA (2007). «Libro Verde: Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana» (sec (2007) 1209).

COMISIÓN EUROPEA (2013). «Comunicación *Estrategia europea en materia de combustibles alternativos*» (SWD (2013) 4 final).

COMISIÓN EUROPEA (2013). «Propuesta de Directiva sobre la creación de una infraestructura para los combustibles alternativos» (SWD (2013) 5 final).

COMUNIDAD DE MADRID (2013). «Orden 2157/2013, de 23 de septiembre, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio por la que se establecen las bases reguladoras para la concesión de las ayudas para la adquisición de vehículos eficientes para uso de autotaxi» (BOCM 30-12-2013).

FENERCOM (2010). «Guía del Vehículo Eléctrico».

IDAE (2011). «Guía para la promoción del vehículo eléctrico en las ciudades».

IDAE (2012). «Mapa tecnológico de la movilidad eléctrica».

El futuro de la movilidad empieza en Bosch



Cómo líder internacional en tecnología y servicios, Bosch aplica sus soluciones innovadoras en el automóvil a través de la producción en serie de sistemas como el Start/Stop, el híbrido Axle Split, la Sonda Lambda o la Inyección Directa diésel y gasolina, asegurando que los coches sean más **limpios** y más **económicos**.

www.grupo-bosch.es



BOSCH

Innovación para tu vida

El futuro de la movilidad empieza en Bosch



Con sus innovadoras soluciones para la electromovilidad, Bosch ofrece sistemas de propulsión para vehículos híbridos y eléctricos, así como el software necesario para la gestión de redes de recarga. Además, con nuestra tecnología solar y eólica ayudamos a una conducción libre de emisiones. Por nuestro compromiso con la ciencia y la industria trabajamos para asegurar que la movilidad futura esté impulsada por soluciones limpias, económicas y respetuosas con el medio ambiente. www.grupo-bosch.es



BOSCH

Innovación para tu vida

El ahorro es el combustible del futuro, el que más lejos nos llevará. Por eso canalizamos y promovemos el gas natural: para que desplazarnos signifique avanzar. Para que ir de un sitio a otro sea ir de un sitio a otro mejor, uno más sostenible. Hoy, ahora, luz verde a un transporte público y privado más eficaz, más económico, más natural.



llame al **902 330 150** o entre en **www.madrilena.es**

 **Madrileña**
RED DE GAS

ahorro por un tubo



**Luz verde
al gas natural
como carburante
de futuro**

Antes del calor viaja la libertad de escogerlo. Por eso, antes de que llegue la energía, lo hacemos nosotros. ¿Quiénes somos? La primera compañía de España exclusivamente dedicada a distribuir gas natural. El primer ejemplo de separación completa de redes y comercialización del mercado energético. Más libertad de elección. Perfectamente canalizada.



llame al **902 330 150** o entre en **www.madrilena.es**

 **Madrileña**
RED DE GAS

ahorro por un tubo





Financia
la transformación
hasta 3.000 €
y al 0% de interés*

Gas Natural Comprimido (GNC)

El combustible más económico
y ecológico para tu vehículo

Transforma tu vehículo y **ahorra**

50%

Respecto a la
gasolina

30%

Respecto al
gasóleo

20%

Respecto al
GLP

Más información

902 209 101

comercialgnc@gasnatural.com

gasNatural 
fenosa

*Promoción válida hasta el 30/06/2014



Gas natural vehicular.

La alternativa real más económica y ecológicamente responsable al combustible tradicional.

- **Ahorro** en combustible, entre el 25% y el 50% respecto a un vehículo convencional.
- **Reducción** de más del 90% de la contaminación de partículas.
- **85% menos** de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x).
- **Reducción** de las emisiones de CO y de CO₂.
- **Sin plomo** ni trazas de metales pesados.
- **No emite** dióxido de azufre (SO₂).
- Un **50% menos** de emisión sonora y vibraciones que los motores diesel.
- **19 estaciones públicas** operativas de Gas Natural Fenosa y **12 próximas aperturas**.



Contacta con nosotros e infórmate de nuestras ofertas y bonos de combustible.

902 209 101

comercialgnv@gasnatural.com

soluciones
movilidad

gasNatural
fenosa 



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid

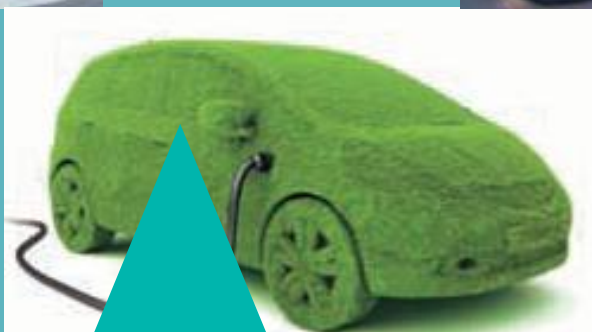


www.fenercom.com

ISBN: 978-84-616-5784-1



9



Autogás

la alternativa actual para el ahorro y la sostenibilidad



Guía de Eficiencia Energética en la Movilidad y el Transporte Urbano

AUTOGAS, LA ALTERNATIVA ACTUAL PARA EL AHORRO Y LA SOSTENIBILIDAD



© 2014 AOGLP, todos los derechos reservados

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta publicación, su almacenamiento en un sistema de recuperación o su transmisión por cualquier forma o medio, incluidos los electrónicos, mecánicos, fotocopiado, registro u otros, sin el consentimiento previo por escrito de la AOGLP (Asociación Española de Operadores de Gases Licuados del Petróleo).

Toda la información de este informe ha sido verificada en la medida de lo posible por el autor y el editor. No obstante, la AOGLP no acepta responsabilidad alguna sobre las consecuencias derivadas del uso de la información aquí contenida.

Esta publicación es distribuida por la AOGLP. Puede encargar copias directamente a:

AOGLP

Calle Alenza 1,
28003, Madrid.
secretarial@aoglp.com
www.aoglp.com

Índice

1 - Introducción	4
2 - ¿Qué es el autogas o GLP para automoción?	5
3 - Vehículos y motores. Modelos disponibles	7
4 - Transformación de vehículos de gasolina a GLP	8
4.1 KIT de sistema GLP para adaptación de vehículos de gasolina a GLP	8
5 - El sector del autogas en números	10
6 - Red de suministro. Estaciones de servicio y Skids	12
6.1 Mapa de Estaciones de servicio con autogas en España	13
7 - Ventajas medioambientales	13
8 - Ventajas económicas	14
9 - Ventajas mecánicas	16
10 - Flotas, Experiencia de éxito	16
11 - Ayudas Oficiales	17
11.1 Plan PIMA Aire	17
11.2 Plan PIVE	17
11.3 Subvenciones CCAA	17
Conclusiones	18

1. INTRODUCCIÓN

El autogas, término empleado comúnmente para referirse a los gases licuados de petróleo (GLP) empleados como carburantes en automoción, está destinado a desempeñar un papel importante en el mix de carburantes en los próximos años en España.

El autogas, que es el carburante alternativo más utilizado en el mundo, ofrece una serie de ventajas medioambientales (bajas emisiones de Partículas, NOx y CO2) y económicas, con respecto a los combustibles tradicionales. Como carburante ecológico y económico, puede ayudar a los ciudadanos a mantenerse en movimiento mientras reducen los efectos del transporte para la salud humana y el medio ambiente. Esta contribución de sus atributos lo convierte en una gran alternativa como parte de un mix energético diverso y sostenible.

Transformar este importante potencial en una realidad solo puede lograrse a través del compromiso inmediato y concertado de la industria del autogas y los responsables políticos a nivel europeo, nacional y local. Este proceso puede lanzarse con rapidez, ya que no requiere de grandes inversiones en infraestructuras o I+D. La tecnología y la red de estaciones de servicio ya están disponible. El autogas impulsa actualmente a más de 10 millones de vehículos en toda Europa, que representan en torno al 4% de la flota europea de turismos, y desempeña hoy en día un papel crucial en numerosos países de nuestro entorno como Italia, Alemania, Francia e incluso Portugal.

Como alternativa limpia, el autogas también puede tener un papel importante en la inmediata revitalización de la industria automovilística en España y en contribuir a los objetivos generales descritos por la Comisión Europea en el Plan CARS 2020 que propuso en noviembre de 2012.

En la búsqueda de un modelo energético más sostenible, el autogas puede y debe tener un papel destacado, garantizando que se optimiza su contribución potencial para alcanzar los objetivos energéticos y medioambientales en nuestro país.



2. ¿QUÉ ES EL AUTOGAS O GLP PARA AUTOMOCIÓN?

El autogas es el término comercial usado para referirse al GLP (gas licuado del petróleo) utilizado como carburante de automoción. El autogas es una mezcla de propano (C₃H₈) y butano (C₄H₁₀), que se almacena en estado líquido, a una presión moderada, en los depósitos de los vehículos.

Compuesto por una mezcla de butano (como máximo el 80%) y propano (un mínimo del 20%), procede de tres fuentes distintas:

- Procesado durante la extracción de gas natural (también llamado gas no asociado, incluido GLP).
- Procesado durante la extracción de petróleo (también llamado gas asociado).
- Como producto de origen natural que se obtiene durante el refinado del crudo.

Más del 66% del autogas proviene directamente de pozos de gas natural, un hecho de gran importancia porque, en virtud de su disponibilidad inmediata como opción de carburante alternativo, contribuye a diversificar el mix de carburantes y a reforzar la seguridad de abastecimiento energético.

En ese sentido, la Comisión Europea lo reconoce como un «carburante alternativo de diversificación» y considera que podría cubrir como combustible alternativo el 10% del mercado en 2020. Es por ello que el autogas desempeña un papel significativo para ayudar a Europa, en general, y a España, en particular, a alcanzar los retos energéticos y medioambientales, tanto ahora como en el futuro.

La diversidad de la base de suministro de autogas se refleja no solo en sus distintos orígenes, sino también en la diversidad geográfica de su producción. Esto es especialmente importante en el contexto de incertidumbre sobre la seguridad energética de Europa, como en ocasiones se ha puesto de manifiesto.

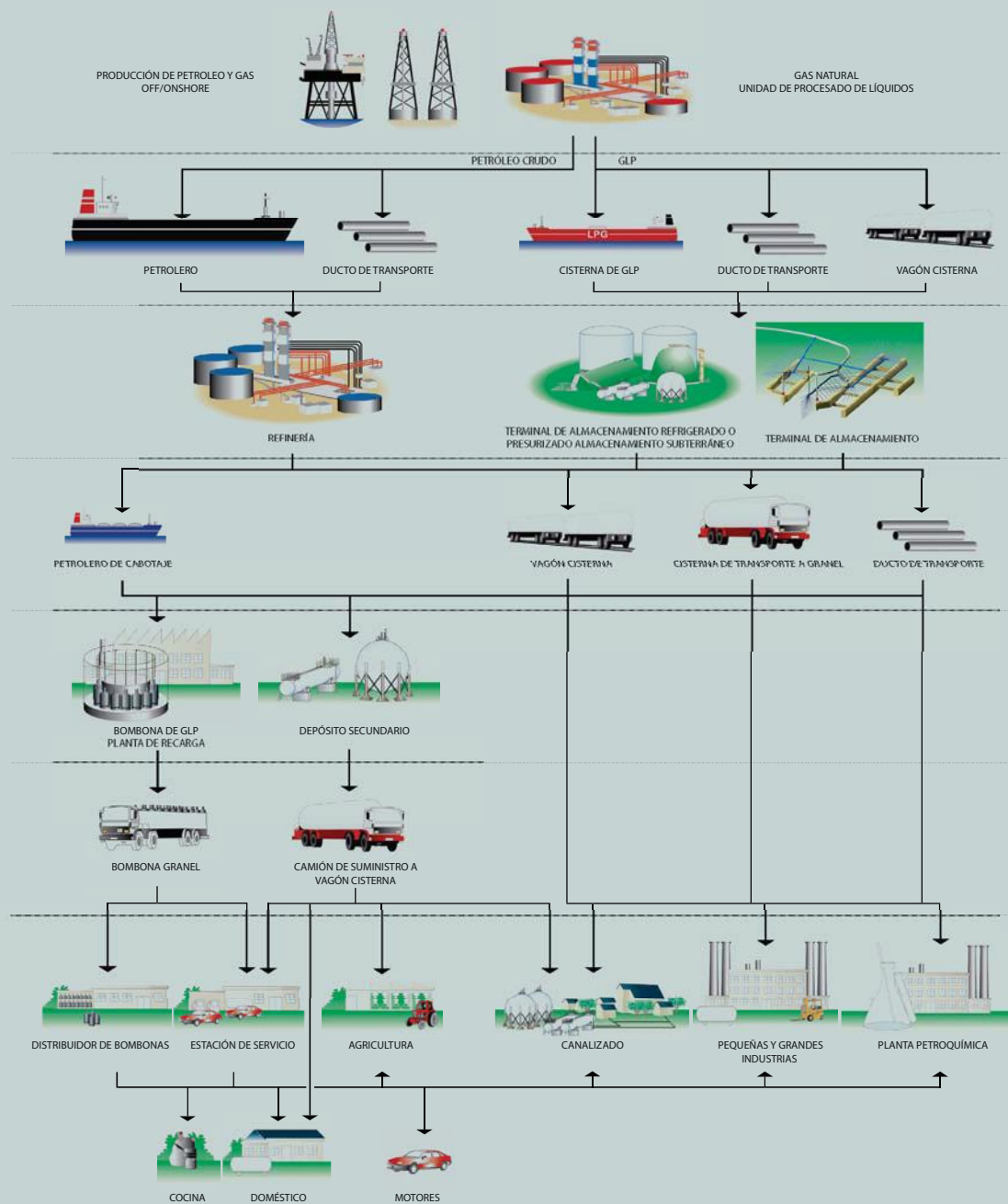
Las perspectivas de reservas y suministro de GLP son lo bastante sólidas para adaptarse a un aumento rápido y continuo de su uso y garantizando a la industria, en el futuro, seguridad de abastecimiento y estabilidad en los precios. Así, el sector ha



podido proyectar un avance en el consumo europeo de autogas desde 6,6 millones de toneladas en 2007 hasta 20,1 millones de toneladas en 2020. El GLP, por consiguiente, ayudará a España y a Europa a satisfacer la demanda para el transporte por carretera.

En un momento en que se necesitan soluciones de transporte alternativas, eficientes y económicas, el autogas es una gran oportunidad que debe ser aprovechada por todos los actores del sector.

FIGURA PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE GLP



• Fuente: Hoja de Ruta del Autogas 2013 (AEGPL).

3. VEHÍCULOS Y MOTORES

Los vehículos a autogas son bifuel. Es decir, pueden funcionar tanto a gasolina como a autogas y van dotados de un conmutador para cambiar el uso de un combustible a otro.



El autogas puede usarse en motores de explosión de turismos, furgonetas, autobuses, carretillas elevadoras, embarcaciones de pesca o de recreo y vehículos especiales 'off road' para todo tipo de aplicaciones y usos.



En la actualidad, las principales marcas de vehículos ofrecen modelos a GLP en su red de concesionarios por un coste similar al de uno impulsado por combustibles tradicionales:

ALFA ROMEO: Giulietta
CITROEN: C-Elysee y C3
DACIA: Duster, Sandero, Lodgy, Logan, Logan MCV, Dokker y Dokker Van
FIAT: Panda, 500, Bravo, Punto y Punto Van
FORD: C-Max, B-Max, Fiesta y Focus
LANCIA: Ypsilon y Delta
OPEL: Corsa, Astra, Astra Sports Tourer, Meriva, Insignia, Zafira Tourer, Mokka
RENAULT: Clio
SUZUKI: Splash, Swift, Kizashi, SX4 y S-Cross
SEAT: Altea XL
SUBARU: XV, Outback
SSANG YONG: Korando

Los vehículos propulsados con autogas tienen excelente autonomía, prácticamente el doble que uno convencional, al disponer de dos depósitos independientes, el de gasolina y el de GLP.

En la actualidad, el autogas es compatible y adaptable especialmente en vehículos de motor de explosión, pero nuevos desarrollos recientes ya permiten el uso del autogas en vehículos con motores de combustión, a través de la mezcla de los dos combustibles. Esta nueva aplicación, aún incipiente, puede abrir, en el caso de que se generalice, importantes perspectivas de crecimiento en el futuro.



• Modelo piloto sistema autogas en motor de combustión

4. TRANSFORMACIÓN DE VEHÍCULOS DE GASOLINA A GLP

Los vehículos de gasolina que cumplan con la normativa europea de emisiones EURO III o posteriores son susceptibles de adaptación a GLP o autogas



la tramitación administrativa. Esta red de talleres está disponible en la página Web de la AOGPL (www.aogpl.com).

Es importante destacar que en la conversión de un vehículo a GLP, el motor no sufre modificaciones que afecten a su funcionamiento natural, ya que el GLP y la gasolina son carburantes equivalentes en funcionamiento y prestaciones mecánicas.



• Esquema sistema GLP. Fuente AEGPL

Para la conversión de un vehículo a autogas se requiere un KIT especial, el cual se instala de forma sencilla y rápida sin afectar el funcionamiento del motor original. La instalación se tiene que realizar en un taller autorizado y con posterioridad debe pasar el control oficial por la ITV. Para ello, existe una amplia red de talleres autorizados, los cuales se encargan de llevar a cabo toda

4.1 KIT de sistema GLP para adaptación de vehículos de gasolina a GLP

Como hemos dicho anteriormente, para realizar la adaptación de un vehículo de gasolina al sistema bifuel es necesario instalar un KIT GLP especial. Este KIT del sistema GLP consta de los siguientes elementos:

Depósito: Sin necesidad de alterar ni manipular el depósito original de gasolina del vehículo, la instalación requiere de un depósito adicional de autogas. Para su montaje existen diversas opciones:

- Depósito toroidal interno. Se instala en el hueco de la rueda de repuesto bajo el piso del maletero, queda totalmente oculto y no resta espacio al maletero.
- Depósito toroidal externo. Se instala cuando el vehículo tiene la rueda de repuesto en el exterior del mismo, debajo del maletero.



• Depósito toroidal interior

AUTOGAS, LA ALTERNATIVA ACTUAL PARA EL AHORRO Y LA SOSTENIBILIDAD



• Depósito cilíndrico transversal

- Depósito cilíndrico. Se instala en casos en los que el vehículo no tiene hueco para rueda de repuesto, por ejemplo en el caso de los 4x4 que llevan la rueda en el portón trasero. También se puede instalar en casos en los que al usuario no le importe perder espacio en el maletero y necesite mantener la rueda de repuesto.

Boca de carga o toma de llenado: Se instala normalmente en el propio hueco junto a la boca de llenado de la gasolina oculta tras la tapa.



Electroválvula de corte: Consiste en una electroválvula ensamblada en el reductor que corta el caudal de autogas cuando se interrumpe el encendido, cuando el motor se para o cuando se selecciona el sistema de alimentación por otro combustible (gasolina).



Reductor-vaporizador: Es el encargado de bajar y estabilizar la presión del gas a los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento del sistema. En este proceso el autogas pasa de fase líquida a gaseosa.

Inyectores: Son los encargados de inyectar el autogas en la forma y medida precisa en el colector de admisión, el cual posteriormente entra directamente a la cámara de combustión (cilindros).



Centralita: Es la encargada de controlar el dosificado de autogas necesario y el momento de inyectarlo en el motor en base a los datos recibidos por el sensor de presión, temperatura del gas, revoluciones del motor, y del tiempo de inyección en gasolina.

Conmutador: Consiste en un mando de control que se instala próximo al salpicadero del vehículo mediante el cual se selecciona el modo en el que se quiere circular a autogas o gasolina. En el conmutador también podemos observar en todo momento con qué combustible estamos circulando así como el nivel de autogas que nos queda en nuestro depósito. También nos dará información de si existe algún problema en el sistema.



Tubería GLP: Conduce el autogas desde el depósito hacia la parte delantera del motor y se conecta a la electroválvula de corte.

LA TRANSFORMACIÓN DEBE REALIZARSE EXCLUSIVAMENTE EN TALLERES ESPECIALIZADOS Y DEBIDAMENTE AUTORIZADOS.

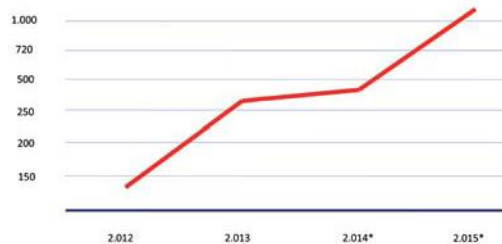


5. EL SECTOR DEL AUTOGAS EN NÚMEROS

El autogas está experimentando un importante crecimiento en los últimos años. Más de 28.000 vehículos circulan en España propulsados por autogas y existen más de 500 puntos de suministro en todo el país, de los cuales más de 300 están situados en estaciones de servicio

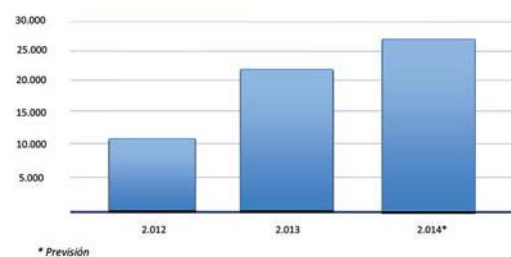
Las previsiones de futuro denotan que su implantación continuará incrementándose de forma progresiva en los próximos años. Para 2015 se prevé llegar a los 1.000 puntos de suministro. Se calcula que para el 2017 habrá 200.000 coches circulando con autogas.

Evolución del número de puntos de suministro de autogas en España (2.012-2.015)



Fuente AOGLP *previsiones AOGLP

Evolución del número de vehículos de autogas en España

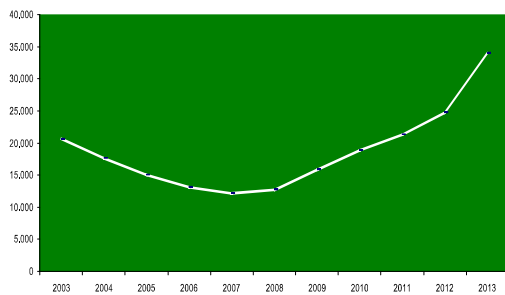


Fuente AOGLP

AUTOGAS, LA ALTERNATIVA ACTUAL PARA EL AHORRO Y LA SOSTENIBILIDAD

Una prueba más del crecimiento del mercado español de autogas, se evidencia en los datos de consumo. Durante el 2013 el consumo de GLP para automoción aumentó un 30%, mientras que en 2012 lo hizo en un 22%. Esta proyección sigue la tendencia que muestra el mercado mundial y europeo, que sitúa al autogas como el combustible alternativo más utilizado en la actualidad y con previsiones de continuar creciendo en los próximos años.

Consumo Autogás 2003 - 2013



Otros datos de interés:

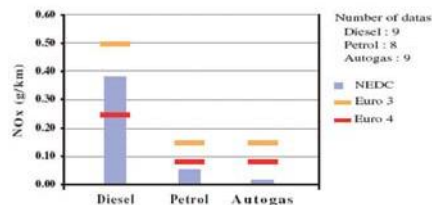
- Más de **300 flotas en España** cuentan con un skid propio para suministro
- **100 autobuses** de la flota vallisoletana ya circulan con Autogas
- Unos **8.000 taxis** del total del parque de España van con Autogas
- El **4% del parque de ambulancias públicas y privadas** en España circulan con Autogas
- **100 autoescuelas** ya cuentan con flotas de Autogas
- Se están firmando **convenios de operadores con más de 30 ciudades y Comunidades Autónomas** para la promoción del Autogas.

Resulta de gran importancia esta tendencia de crecimiento en nuestro país, porque en el futuro la utilización de GLP aportará grandes ventajas en términos medioambientales y económicos. En ese sentido, el uso de autogas en el 10% del parque automovilístico europeo hasta 2020 reduciría la emisión de 350 millones de toneladas de CO₂, lo que representaría un ahorro de 20.300 millones de euros en salud pública gracias al descenso de emisiones. Además, supondría un ahorro de 41.200 millones de euros para los usuarios finales.

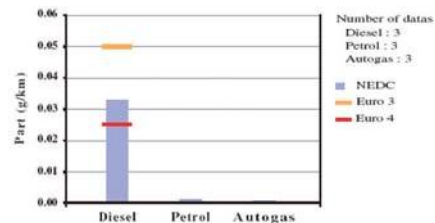
Conclusiones principales del estudio EETP

- Los vehículos impulsados por autogás generan un 96 % menos de NOx que los de gasóleo y un 68 % menos que los de gasolina
- Los vehículos impulsados por autogás en un ciclo urbano se encuentran por debajo del umbral de medición fiable

Emisiones de NOx



Emisiones de partículas



NEDC: Nuevo Ciclo de Conducción Europeo

6. RED DE SUMINISTRO. ESTACIONES DE SERVICIO Y SKIDS

La tecnología de almacenamiento, distribución y consumo de autogas está plenamente desarrollada y es de aplicación inmediata, ya que utiliza la misma red que los combustibles tradicionales. Pero, al mismo tiempo, tiene gran flexibilidad en cuanto a implantación de puntos de suministro. La no

dependencia de redes fijas, hace que el autogas tenga la capacidad de llegar a cualquier punto. Además, existe la posibilidad de suministro mediante skids, que son instalaciones portátiles para uso exclusivo en flotas.



6.1 Red de gasolineras con autogas en España

Actualmente los usuarios de autogas en España cuentan con una red de más de 300 gasolineras para repostar. Se prevé que para de 2015 esta red alcanzará los 1000 puntos de suministro.



Mapa de gasolineras con Autogas en España. Fuente Web AOGPL (www.aogpl.com)

7. VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES

De las numerosas ventajas del autogas, la más importante puede ser su contribución a mejorar la calidad del aire, en especial en zonas urbanas, donde la contaminación atmosférica entraña un grave riesgo para la salud humana y reduce la calidad de vida de todos los ciudadanos. El autogas es la opción más eficaz para lograr vehículos más ecológicos.

El autogas es una alternativa limpia que ya está disponible y

que tiene un importante papel que desempeñar en el mix de carburantes para el transporte actual y futuro. Está catalogado con la etiqueta de máxima eficiencia energética según el Plan de Aire 2013-2016 aprobado por el Gobierno español.

El autogas reduce la emisión de CO₂ hasta en un 15%, de óxido de nitrógeno (NO_x) en un 68% y las de partículas en un 99%, lo que permite una disminución importante de los efectos de

estas sustancias. Según estimaciones, los más de 10 millones de vehículos que ya utilizan autogas en Europa representan un ahorro anual en la emisión de al menos 3 millones de toneladas de CO₂.

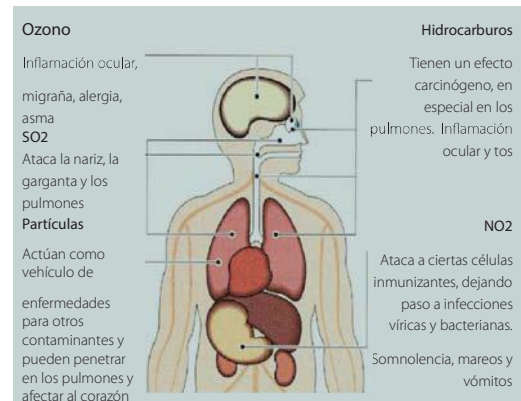
Principales datos acerca del autogas y las emisiones de CO₂:

- Emisiones del depósito a las ruedas (tubo de escape): 12% inferiores a las de un vehículo de gasolina
- Emisiones del pozo a las ruedas: 14% inferiores a las de un vehículo de gasolina, 10% inferiores a las de un vehículo diésel
- Emisiones del pozo al depósito: 37% y 44% inferiores a las de la gasolina y el gasóleo, respectivamente; las más bajas de cualquier energía fósil.

La Unión Europea en sus diferentes comunicaciones oficiales, considera el autogas como un combustible alternativo por sus cualidades medioambientales y su diversificado origen y disponibilidad.

La Directiva de Carburantes Alternativos aprobada de manera reciente incluye el autogas como un carburante alternativo de implantación inmediata para los conductores europeos, no requiriendo un esfuerzo de inversión para los Estados en relación a la red de distribución. Merece ser destacada la posición y visión tecnológica neutral que tiene la Unión Europea en relación a los carburantes y tecnologías alternativas, entre las que se encuentra el autogas.

Además, el Panel Internacional sobre el Cambio Climático (IPCC) no considera que el autogas (propano/butano) sea un gas de efecto invernadero. El Parlamento Europeo ha reconocido estas ventajas e "instado a la Comisión a considerar el papel y el potencial de carburantes gaseosos alternativos, como el gas licuado de petróleo (autogas), que pueden contribuir a la inmediata reducción de las emisiones de CO₂ y a la diversificación del suministro de energía".



Fuente Hoja de Ruta del autogas 2013 (AEGPL)

Por otro lado, el autogas reduce también la generación de ozono troposférico, los niveles de ruido a la mitad y no produce hollín, uno de los principales causantes del calentamiento global.



8. VENTAJAS ECONÓMICAS

Debido a sus aportes en materia medioambiental, el autogas goza de ventajas fiscales. En España, cuenta con Impuesto Especial de Hidrocarburos reducido, que hace que su precio sea mucho menor que el de los combustibles tradicionales. Este factor hace que el uso de autogas represente un ahorro de entre un 15% y un 40% con respecto a aquellos, y que en el caso de un vehículo transformado el coste de la inversión a realizar para convertirlo a autogas se pueda amortizar en plazos razonables. En el caso de los coches que ya vienen adaptados de fábrica, el coste es similar al de los vehículos diésel.

El bajo precio del autogas se debe a dos factores distintos:

Excedente de disponibilidad y sólidas expectativas de suministro a largo plazo.

Debido a la ausencia de tensiones de suministro, el autogas es un combustible muy asequible, más barato que los carburantes tradicionales, con independencia de la fiscalidad o de los costes relacionados con su transporte. El mercado del autogas es lo

bastante amplio para soportar un aumento rápido y continuo de la demanda en el futuro.

La aplicación de tasas fiscales favorables debido a sus ventajas medioambientales.

El marco para la aplicación de tasas fiscales a los productos energéticos en la UE se establece en la directiva CE/2003/96. La integración de las reducciones de costes externos –en especial en términos de atención sanitaria pública– relacionada con el uso del autogas se refleja en las tasas fiscales relativamente bajas que se le aplican.

El desarrollo del autogas en España puede contribuir a la generación de nuevas oportunidades de negocio, tanto para fabricantes de vehículos, como para fabricantes de equipos, para talleres de transformación y finalmente para inversores y propietarios de gasolineras. Este mercado, se presenta como una alternativa con fuertes ventajas y de gran proyección.



9. VENTAJAS MECÁNICAS

En los vehículos propulsados por autogas, el funcionamiento del motor es más silencioso, suave y sin vibraciones. Dado que el autogas no tiene azufre, su combustión no deja residuos, por lo que se producen menos averías y se alarga la vida útil del motor.

El coste de mantenimiento es bajo ya que los periodos de cambio de aceite son más largos por la ausencia de residuos y depósitos carbonosos, que ensucian el aceite. Además, el autogas produce un menor desgaste de los cilindros y segmentos del motor por ser una mezcla homogénea, controlada y bien distribuida en los cilindros con el aire, lo que también origina una combustión más limpia y completa.



10. LAS FLOTAS, EXPERIENCIA DE ÉXITO

Si bien el segmento de particulares está adquiriendo una gran importancia en los elevados índices de crecimiento del uso del autogas en nuestro país, la penetración del GLP para automoción ha tenido y continúa teniendo como máximo exponente el segmento de flotas, en donde se están produciendo notables experiencias de éxito.

En la actualidad, más de 300 flotas en España cuentan con un skid propio para suministro de GLP. La flexibilidad del GLP, facilita la distribución e instalación de Skids o puntos suministro portátiles individuales que permiten el autoabastecimiento de las flotas en áreas próximas a los centros de estacionamiento y/o mantenimiento de los vehículos.



En los vehículos de autogas de carácter profesional, y por lo tanto de uso intensivo, adquieren especial relevancia aspectos como el menor coste del combustible y los beneficios medioambientales pero también una mayor autonomía, facilidad de encontrar puntos de suministro, y las ventajas mecánicas o de mantenimiento. En ese sentido, el autogas representa la gran alternativa de hoy para cubrir todas esas necesidades, ya que se trata de un combustible limpio y económico que ya puede satisfacerlas.

El transporte público es uno de los ámbitos en los que el autogas tiene una mayor presencia. En la ciudad de Valladolid, por citar algunos de los ejemplos más importantes, lo utilizan 100 unidades del parque de autobuses urbanos. Pero quizá sea en el sector del taxi, en el que existe una vinculación histórica con el GLP, donde se está produciendo un mayor crecimiento. En la actualidad, más de 8.000 taxis de autogas circulan por nuestras ciudades.

También constituye un éxito los avances mostrados en el uso del GLP por parte de otros dos sectores profesionales de gran relevancia: las ambulancias y las autoescuelas.

Con relación a las primeras, 11.100 vehículos están autorizados por el Ministerio de Fomento para el transporte sanitario en 2014, de los cuales se estima que el 4% son de autogas.



11. AYUDAS OFICIALES

11.1 Plan PIMA Aire

Tiene como objetivos la renovación del parque de vehículos comerciales ligeros, la reducción de emisiones de gases contaminantes (reducción del 70% de emisiones NOx y del 94% de partículas) y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (reducción de entre el 15%-20% de emisiones de CO2).

Se han realizado tres ediciones de este Plan, que incentiva la sustitución de vehículos comerciales ligeros por modelos más eficientes. La cuantía de las ayudas ha sido de 1.000 € por vehículo inferior a los 2.500 kg y 2.000 € por vehículo igual o superior a los 2.500 kg.

11.2 Plan PIVE

El Plan PIVE o Programa de Incentivos al Vehículo Eficiente, es una subvención del Gobierno que oferta ayudas con una cuantía mínima de 2.000 euros y máxima de 3.000 euros a todas las personas que den de baja su coche "viejo" entregándolo al desguace y compren un vehículo menos contaminante. En estos momentos está en su quinta edición, bajo el nombre de Pive 5.

Los potenciales beneficiarios de esta subvención son particulares, autónomos, microempresas o pymes con menos de 250 trabajadores y un importe neto de volumen de negocios que no supere los 50 millones de euros.

11.3 Subvenciones Locales y Regionales

Los vehículos a autogas tienen distintas ayudas oficiales, tanto en el momento de la adquisición como durante su uso. Las subvenciones son concedidas por las distintas Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, difiriendo en cada una de ellas los motivos que originan la posibilidad de acceder a las ayudas así como sus modalidades y cuantías económicas. El detalle las subvenciones existentes en la actualidad puede consultarse en www.aoglp.es.

Recientemente la comunidad de Madrid pone en marcha la **Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid 2013-2020, Plan Azul +**, a través de la cual propone medidas en distintos ámbitos, entre ellos el uso de combustibles menos contaminantes como el GLP, con el objetivo de mejorar de la calidad del aire dentro de la ciudad y en las zonas de mayor tráfico.

12. CONCLUSIONES

Nunca antes las características del autogas estuvieron tan en consonancia con las necesidades de los ciudadanos y responsables políticos. Para alcanzar los diversos retos asociados con la estabilidad, la seguridad y la competitividad del abastecimiento, Europa en general y España en particular necesitará emplear una extensa variedad de soluciones energéticas y hacer un uso inteligente de los recursos aplicando cada energía disponible allí donde sea más eficaz.

El autogas, extraído automáticamente durante la producción del gas natural y el petróleo, es un recurso ya disponible que puede y debe utilizarse para ayudar a satisfacer las necesidades energéticas.

El autogas, que es el principal carburante alternativo del mundo, de Europa y de España, está preparado para aumentar su contribución. Las previsiones de futuro son optimistas y su mayor consumo traerá consigo considerables ventajas sociales y económicas.

La industria española del autogas está más comprometida que nunca a colaborar con los responsables políticos y los ciudadanos para asegurar de que se desarrolle lo máximo posible el considerable potencial del autogas, contribuyendo a los objetivos sociales, económicos y medioambientales. La disponibilidad inmediata del autogas como parte de la solución a los retos energéticos de nuestro país es, sencillamente, una oportunidad demasiado "buena" para pasarla por alto.

AUTOGAS, LA ALTERNATIVA ACTUAL PARA EL AHORRO Y LA SOSTENIBILIDAD



*Asociación Española de Operadores
de Gases Licuados del Petróleo*

AOGLP

Calle Alenza 1,
28003, Madrid.

secretarial@aoglp.com

www.aoglp.com