

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

SOSTENIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE FLOTAS COMERCIALES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor: Silvia Cestau Cubero

Director: Roberto Villafáfila Robles

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

19 de septiembre de 2014

TESIS DOCTORAL

1.	Introducción	8
1.1.	Motivación	8
1.2.	Estructura	8
2.	Motivación: Condiciones de Contorno.....	10
2.1.	Justificación: Sistemas de apoyo, financiación y regulación a nivel europeo y español.....	12
2.1.1.	Transporte.....	12
2.1.2.	Medio Ambiente: Cambio climático, reducción de la dependencia energética, emisiones sonoras y sostenibilidad	19
2.1.3.	Planes y estrategias en España	20
3.	Estado del Arte.....	24
3.1.	Historia.....	24
3.2.	Electrificación de los vehículos.....	26
3.3.	Elementos principales de un VE	31
3.3.1.	Motores eléctricos	31
3.3.2.	Controlador.....	33
3.3.3.	Baterías.....	33
3.3.4.	Transmisión.....	38
3.4.	Parque automovilístico de vehículos eléctricos.....	38
3.5.	Puntos de Recarga	39
3.6.	Carsharing: un nuevo modelo de movilidad.....	42
3.6.1.	Historia del Carsharing en Europa	42
3.6.2.	¿Qué es y cómo funciona el carsharing?.....	44
3.6.3.	Arquitectura general de funcionamiento	45
3.6.4.	Experiencias de carsharing eléctrico en la actualidad en Europa.....	46
3.6.5.	Experiencias de carsharing eléctrico en la actualidad en España.....	47
3.6.6.	Experiencias de Carsharing Eléctricos Corporativos en España.....	50
3.7.	Normativa técnica sobre movilidad eléctrica	51
4.	Análisis de los Datos de las Baterías.....	54

4.1.	Origen de los datos de los vehículos	54
4.2.	Matriz de desplazamiento (2012-2013).....	55
4.3.	Matriz de carga (2012-2013).....	56
4.4.	Curva de carga real de la baterías.....	57
4.5.	Energía necesaria para la carga de las baterías.....	60
4.5.1.	Matriz de energía.....	62
4.6.	Descarga de la batería	64
4.7.	Comportamiento de la batería	65
4.7.1.	Consumo y autonomía.....	66
4.7.2.	Consumo y velocidades (máxima y media)	68
4.7.3.	Consumo y temperatura	70
4.7.4.	Envejecimiento.....	72
4.8.	Estudio del modelo de carsharing: uso de los vehículos eléctricos.....	73
5.	Sostenibilidad y ciclo de vida.....	79
5.1.	Eficiencia energética	81
5.1.1.	Del pozo al tanque (depósito o batería).....	81
5.1.2.	Del tanque (depósito o batería) a la rueda.....	83
5.2.	Sostenibilidad económica.....	84
5.2.1.	Combustible: Electricidad	85
5.2.2.	Combustibles fósiles: gasolina / diésel.....	94
5.2.3.	Ahorros en combustible	100
5.2.4.	Otras variables: costes y uso del vehículo.....	103
5.3.	Impacto ambiental: emisiones de CO ₂ y ruido	107
5.3.1.	Matriz de emisiones (2012-2013).....	107
5.3.2.	Del pozo a la batería (tanque).....	108
5.3.3.	Del tanque (depósito o batería) a la rueda.....	109
5.4.	Emisiones de CO ₂ para los combustibles fósiles.....	109
5.4.1.	Del pozo al tanque (depósito o batería).....	109
5.4.2.	Del tanque (depósito o batería) a la rueda.....	111

5.4.3.	Comparativa emisiones CO ₂ combustibles fósiles versus electricidad	112
5.5.	Ruido	112
5.6.	Otras ventajas: Responsabilidad Social Corporativa.....	113
6.	Conclusiones	114
6.1.	Sostenibilidad Técnica	114
6.2.	Sostenibilidad Económica	115
6.3.	Sostenibilidad ambiental	117
6.4.	Trabajos futuros.....	117
7.	Glosario	119
8.	Bibliografía	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico 1.	Previsiones de suministro mundial según las últimas fuentes reconvertibles de combustible convencional [2]	10
Gráfico 2.	Emisiones de gases de efecto invernadero por regiones [3].....	11
Gráfico 3.	Población mundial por tipo de área y región 1950-2050 [4].....	11
Gráfico 4.	Motor Diésel. Límites de emisiones (Euro-turismos). Elaboración propia.....	15
Gráfico 5.	Motor Gasolina. Límite de emisiones (Euro-turismos). Elaboración propia	16
Gráfico 6.	Esquema de vehículos eléctricos con 1 y 2 motores.	26
Gráfico 7.	Tipología de los vehículos según su transmisión.	27
Gráfico 8.	Configuración paralelo [15]	28
Gráfico 9.	Configuración serie [15].....	28
Gráfico 10.	Configuración Combinada (Serie-Paralelo) [15].....	29
Gráfico 11.	Tipos de motores eléctricos.....	31
Gráfico 12.	Gráfico de Ragone (Celdas Baterías) [28]	38
Gráfico 13.	Perspectivas de venta de vehículos 2000-2050 [31].....	39
Gráfico 14.	Modalidades de carga (IEC/EN 61851)	40
Gráfico 15.	Modos de carga y autonomía.....	41
Gráfico 16.	Modos de carga según la Norma SAE International	42
Gráfico 17.	Posición del Carsharing respecto a los de medios de transporte público	44
Gráfico 18.	Elementos de la organización de un carsharing	46
Gráfico 19.	Baterías en el Think City.....	54
Gráfico 20.	Evolución del estado de carga SOC (%) y de la potencia consumida en la red	58
Gráfico 21.	Linealización de la potencia (W) en función del SOC (%).....	60
Gráfico 22.	Modelización de la carga en el tramo C en función del tiempo	61
Gráfico 23.	Modelización de la carga en el tramo D en función del tiempo.....	61
Gráfico 24.	Porcentajes (%) de tramos de energía empleados en la carga de la batería en 2012....	63
Gráfico 25.	Porcentajes (%) de tramos de energía empleados en la carga de la batería en 2013....	63
Gráfico 26.	Curva de descarga de la batería versus tiempo.....	64
Gráfico 27.	Autodescarga de las baterías 2012-2013 durante las paradas de los vehículos.....	65
Gráfico 28.	Consumo de la batería durante los desplazamientos realizados en 2012-2013.....	66
Gráfico 29.	Consumo de la batería durante los desplazamientos realizados en 2012.	67
Gráfico 30.	Consumo de la batería durante los desplazamientos realizados en 2013.	68
Gráfico 31.	Descarga de la batería en 2012-2013 en función de la velocidad de los recorridos.....	68
Gráfico 32.	Relación del consumo por kilómetro con la velocidad	70
Gráfico 33.	Descarga de batería por km durante los inviernos (2012-2013).....	71
Gráfico 34.	Descarga de batería por km durante los veranos (2012-2013)	71

Gráfico 35.	Degradación del consumo de la batería del 2012 frente al 2013.....	73
Gráfico 36.	Histograma de uso mensual del carsharing en 2012.	73
Gráfico 37.	Histograma de uso mensual del carsharing en 2013	74
Gráfico 38.	Histograma del número de recorridos por desplazamiento realizado.....	74
Gráfico 39.	Número de recorridos en función de la velocidad por VE y ciudad.....	75
Gráfico 40.	Curva de carga de los vehículos eléctricos de la flota.....	76
Gráfico 41.	Nivel de batería en las recargas.....	76
Gráfico 42.	Histograma de horas de inicio de la carga de los vehículos	76
Gráfico 43.	Número de recorridos por vehículo y ciudad	77
Gráfico 44.	Eficiencia y Pérdidas de un vehículo de combustión interna (MCI) frente a un vehículo eléctrico (VE). Elaboración propia.....	80
Gráfico 45.	Mix Energético Español 20123 y 2012 [47]	82
Gráfico 46.	Porcentajes (%) de energía empleados en un vehículo de combustión interna [49]	83
Gráfico 47.	Par motor: eléctrico y combustión.....	84
Gráfico 48.	Tensión e Intensidad durante la carga de los VE	86
Gráfico 49.	Períodos de Discriminación Horaria en las tarifas de último recurso.	87
Gráfico 50.	Energía Consumida (kWh) para la carga de los VE (2012-2013).....	90
Gráfico 51.	Curvas características del motor de gasolina	94
Gráfico 52.	Medidas del VE Think City.....	94
Gráfico 53.	Ciclo de Conducción Urbano (ECE-15) [53].	97
Gráfico 54.	Ciclo de Conducción Extraurbano (EUDC) (Velocidad máxima 120 km/h) [53].	97
Gráfico 55.	Ciclo de Conducción Extraurbano (Velocidad máxima 90 km/h) [53].....	98
Gráfico 56.	Influencia de los costes de la electricidad y los combustibles fósiles	103
Gráfico 57.	Emisiones Específicas de tonelada de CO ₂ por tonelada de crudo.....	110

INDÍCE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación vehículos según grado de electrificación [16]	31
Tabla 2.	Comparativa de tecnologías de baterías de litio con diferentes cátodos.	37
Tabla 3.	Comparativa tecnologías baterías eléctricas.....	37
Tabla 4.	Venta y flota de vehículos eléctricos e híbridos en España en 2012 [30]	39
Tabla 5.	Taifas del E:Sharing (Carsharing en Valencia).....	48
Tabla 6.	Tarifas de Bluemove (Carsharing en Madrid).....	49
Tabla 7.	Tarifas de Respiro (Carsharing en Madrid).....	49
Tabla 8.	Extracto de datos de la matriz de desplazamiento.....	56
Tabla 9.	Extracto de datos de la matriz de carga.....	57
Tabla 10.	Tramos de carga de capacidad (SOC%) de la batería ZEBRA	59
Tabla 11.	Potencia y energía para cargar la batería en función del SOC (%)	62
Tabla 12.	Extracto de la matriz de energía por tramos de carga	62
Tabla 13.	Porcentajes de energía necesarios para los diferentes tramos de carga (2012-2013).....	64
Tabla 14.	Autodescarga de la batería ZEBRA.	65
Tabla 15.	Evolución del consumo y autonomía en 2012 y 2013.....	67
Tabla 16.	Autonomía y consumo en función de las velocidades máximas (período 2012-2013)	69
Tabla 17.	Autonomía y consumo anuales (2012-2013) en función de las velocidades máximas	69
Tabla 18.	Consumo y autonomía de las baterías en función de la estación del año.....	72
Tabla 19.	Variación del consumo y autonomía del 2012 al 2013.	73
Tabla 20.	Nº recorridos y distancia recorrida en 2012 y 2013 por zona	78
Tabla 21.	Eficiencia energética del ciclo de vida de un vehículo.....	84
Tabla 22.	Extracto de las potencias eléctricas normalizadas (kW) [50].....	86
Tabla 23.	Tarifa TUR del 2012.	89
Tabla 24.	Tarifa TUR del 2013.	89
Tabla 25.	Costes de la potencia y energía (sin impuestos, ni IVA) de carga de los VE en 2012.....	91
Tabla 26.	Costes de la potencia y energía (con impuestos e IVA) de carga de los VE en 2012.....	91
Tabla 27.	Costes de la potencia y energía (sin impuestos, ni IVA) de carga de los VE en 2013.....	92
Tabla 28.	Costes de la potencia y energía (con impuestos e IVA) de carga de los VE en 2013	92
Tabla 29.	Tarifa de energía 2.0.A en función de los tramos de energía de la batería.....	93
Tabla 30.	Consumos y emisiones de motores de combustión interna.....	96
Tabla 31.	Parámetros del ciclo NEDC [53]. (EUDC (90 km/h))	98
Tabla 32.	Costes de gasolina y gasóleo en 2012.	99
Tabla 33.	Costes de gasolina y gasóleo en 2013.	100
Tabla 34.	Costes comparativos combustibles (con/sin impuestos) de la flota de VE versus MCI.	100
Tabla 35.	Comparación del coste €/100 km del VE versus MCI.....	101

Tabla 36.	Ahorro del VE versus MCI	102
Tabla 37.	Precios orientativos de la ITV en las Comunidades Autónomas de la flota de VE.	105
Tabla 38.	Bonificaciones aplicadas al ITM en las ciudades de la flota de VE.....	105
Tabla 39.	Tarifas del estacionamiento regulado en las ciudades de la flota de VE. Elaboración propia	106
Tabla 40.	Cálculo del factor de emisiones de CO ₂ de tecnologías de generación eléctricas.....	108
Tabla 41.	Extracto de la matriz de emisiones de CO ₂ del mix eléctrico 2012-2013.	108
Tabla 42.	Emisiones de CO ₂ debidos a la carga de la flota de VE (2012-2013).....	109
Tabla 43.	Factores Conversión Energía Final-Energía Primaria y Factores Emisión CO ₂	111
Tabla 44.	Tabla de Emisiones de CO ₂ de combustibles. Elaboración propia.....	111
Tabla 45.	Comparativa del ciclo de vida de emisiones de CO ₂ de la flota de VE versus MCI.....	112
Tabla 46.	Niveles sonoros registrados en la ubicación de un peatón de un paso de cebra a diferentes velocidades de circulación de los vehículos dB(A). [68]	113

1. Introducción

1.1. Motivación

En el año 2010, tuve la oportunidad de empezar a trabajar con los vehículos eléctricos, cuando en España se empezaba a apostar por ellos (planes MOVELE). Poco después, en marzo de 2011 se lanzaba Green eMotion, un proyecto europeo muy ambicioso, con una duración de 4 años en el que se trata de demostrar la interoperabilidad de la electromovilidad en Europa y en el que también he tenido la suerte de participar. Considerando este entorno, y que IBERDROLA, empresa en la que trabajo, fue una de las pioneras en apostar por la movilidad verde y disponer de un servicio de carsharing corporativo con vehículos eléctricos, es fácil enmarcar esta tesis.

El objeto de esta tesis es determinar si el vehículo eléctrico es sostenible y puede sustituir a un vehículo de combustible convencional en un escenario determinado, a través del estudio de los recorridos y cargas de las baterías de una flota de vehículos eléctricos de IBERDROLA para el desplazamiento de sus comerciales. Pero, ¿es la movilidad eléctrica una solución viable técnica, económica, ambiental y sostenible actualmente para sustituir a los tradicionales vehículos de combustión interna? Y lo que es más importante, ¿por qué ahora tenemos la necesidad de buscar vehículos con combustibles que no sean derivados del petróleo?

Para dar respuesta a las preguntas planteadas, se han analizado los trayectos de 8 vehículos eléctricos en distintas ciudades españolas a través de los datos obtenidos de su can bus mediante el UCV (equipo embarcado) durante los años 2012 y 2013. Además, se han realizado medidas de la carga de la batería, para conocer su comportamiento (autonomía, autodescargas, envejecimientos) y los consumos energéticos. Asimismo, estudiaremos su ciclo de vida, en términos de eficiencia e impacto medioambiental (emisiones de CO₂ y ruido), cuantificando su impacto económico (combustibles y coste total de la propiedad) y otras posibles ventajas asociada al VE (responsabilidad social corporativa, exención de impuestos, etc).

1.2. Estructura

La tesis se ha estructurado con el siguiente esquema:

- Este primer (1) capítulo, es la introducción y estructura de la tesis.
- En el capítulo 2 se introduce y justifica la elección del estudio.
- En el capítulo 3, se describe el estado del arte en relación a los tres aspectos fundamentales: técnica (vehículos eléctricos, puntos de recarga, baterías, motores, mantenimiento), económica (carsharing: nuevos modelos de movilidad, impacto de los combustibles tradicionales frente a la energía convencional y/o cero emisiones, y ambiental (emisiones CO₂ según el mix energético, ruido y sostenibilidad). Se cita el listado de fuentes consultadas.

- El capítulo 4, presenta los datos recopilados y tratados de los equipos embarcados, además de las matrices calculadas: desplazamiento, carga y energía, obtenidas para realizar el análisis de las baterías y el comportamiento en el carsharing.
- El capítulo 5, compara la movilidad eléctrica con la convencional de combustión, no sólo analizando su viabilidad económica y la sostenibilidad, sino estudiando su ciclo de vida, en la eficiencia y el impacto medioambiental del CO₂ y el ruido.
- En el capítulo 6, se exponen las conclusiones y se indican posibles trabajos futuros de investigación que podrían realizarse a partir de los resultados obtenidos.
- El capítulo 7 es un glosario y en el 8 se citan las fuentes bibliográficas consultadas.

2. Motivación: Condiciones de Contorno.

Existen una serie de retos, escasez de recursos y energía, desafíos sociales de cambio climático, mejora de la competitividad, y la necesidad de alcanzar una seguridad energética a través de un uso más eficiente de los recursos y energía, que requiere medios de transportes sostenibles, que están actuando a favor de que el Vehículo Eléctrico (VE) se esté convirtiendo en una realidad en esta ocasión, y que no existían en otros momentos:

- La clave: la energía. Se espera que el mundo consuma un 35% más de energía en el año 2040. Además, se espera que la demanda mundial de energía para el transporte comercial se incremente en un 70% desde el 2010 hasta el 2040, impulsada por el aumento previsto de la actividad económica y por tanto, la mayor circulación de bienes y mercancías [1]. El sector transporte consume el 35% de la energía primaria de Europa (en España supera el 33%), y de ella el 90% es de origen fósil. El rendimiento medio está por debajo del 18%, lo que significa una baja eficiencia.

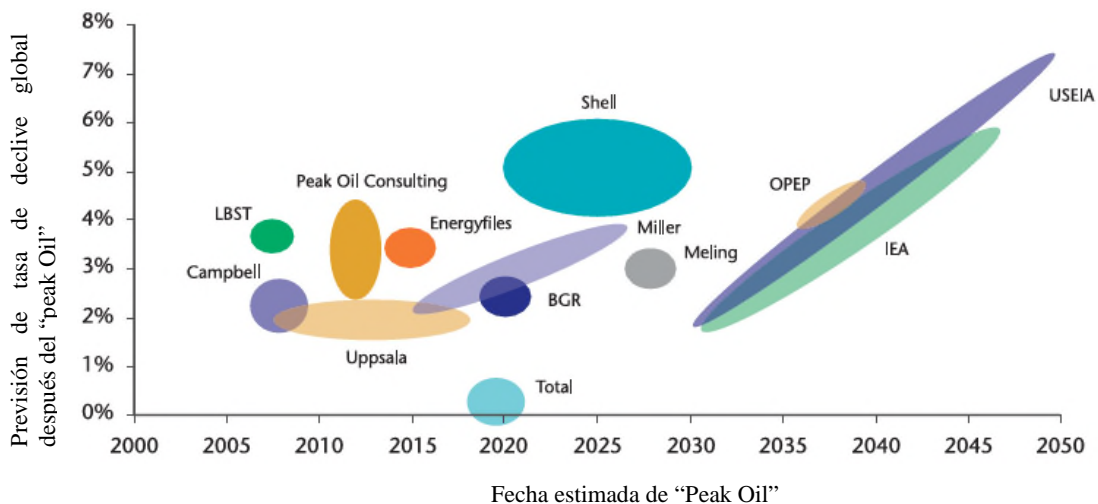


Gráfico 1. Previsiones de suministro mundial según las últimas fuentes reconvertibles de combustible convencional [2]

- El transporte y el cambio climático: supone el 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades. En Europa es el responsable del 20% de la contaminación atmosférica (las emisiones de CO₂ representan el 14%).

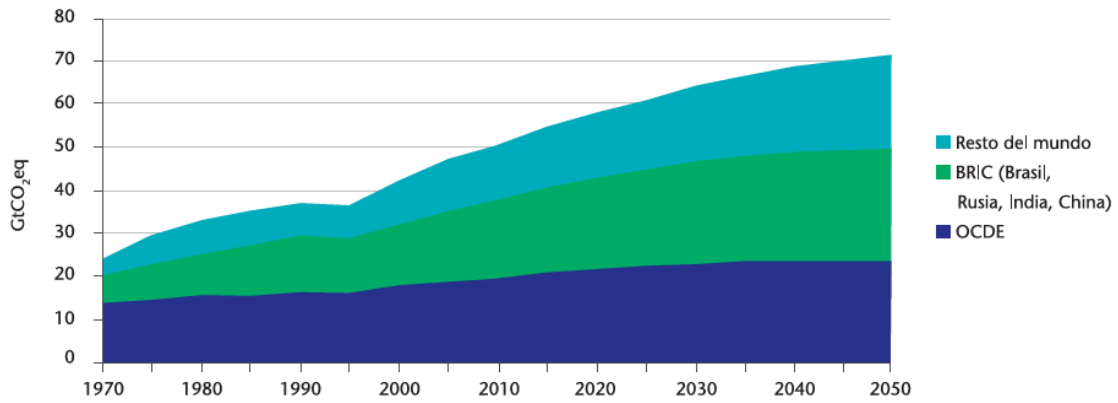


Gráfico 2. Emisiones de gases de efecto invernadero por regiones [3]

- Urbanización, una tendencia mundial y un desafío: población y consumo. Las ciudades, más que los países, se convertirán en los epicentros de la actividad política y económica. Concentran la mayoría de problemas medioambientales, pero también son el motor económico (en la UE casi el 85% del PIB se genera en ellas), atraen inversión y empleo y son fundamentales para el desarrollo de la economía. El 50% de la población mundial vive en ciudades, y las estimaciones indican que en el año 2025 será el 60%, y en el 2050, más del 70%. Las ciudades suponen un 75% de todo el consumo mundial de energía y un 80% del conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero. En la Unión Europea, más del 60% de la población vive en medio urbano.

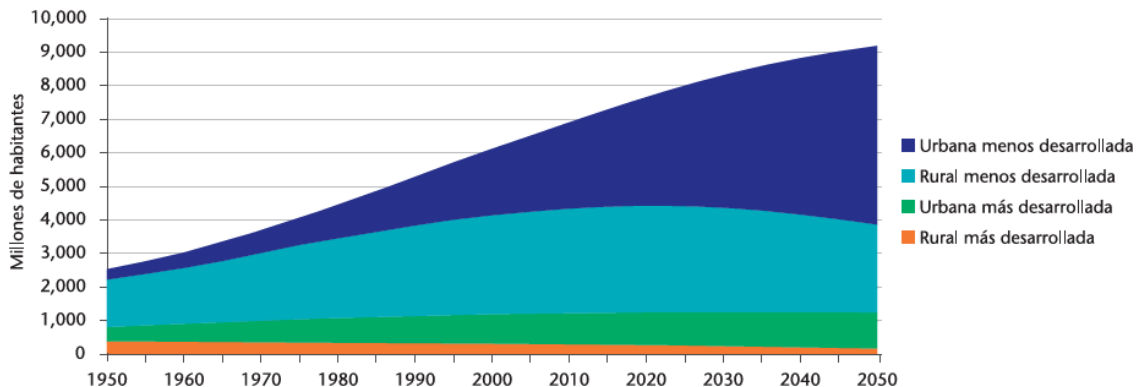


Gráfico 3. Población mundial por tipo de área y región 1950-2050 [4]

- Hábitos de conducción: más del 80% de los europeos conducen menos de 100 km en un día laborable. Cerca de la mitad de los recorridos en coche en la Unión Europea son de 6 km o menos: el uso del coche está centrado principalmente en recorridos cortos.
- Evolución de la tecnología de las baterías (apoyada por desarrollos en otros sectores, como la telefonía o la informática) con incrementos de densidad y disminución de precio y nuevos

materiales más ligeros. Actualmente, las autonomías son mayores, y ya alcanzan los 160-200 km.

Los factores anteriormente descritos, indican que el modelo de transporte actual no es sostenible, definiéndose en este contexto la sostenibilidad, como la “satisfacción de las necesidades de movilidad sin dañar la salud de la población, ni el medio ambiente y sin un consumo de recursos que comprometa las necesidades de movilidad futuras” [5]. Asimismo, y dado que la automoción es un sector crucial en los países industrializados, tanto por su contribución a la economía y el empleo, como por su impacto en el medio ambiente, la dependencia energética y la salud de los ciudadanos, dicho sector está cada vez más sometido a exigencias más estrictas de los gobiernos (regulaciones) y los propios usuarios, que penalizan el uso de vehículos de combustión e incentivan los vehículos de bajas emisiones.

Gracias al Vehículo Eléctrico podemos incrementar la penetración de las energías verdes, y reducir la dependencia del petróleo, al mismo tiempo que ayudamos al cumplimiento de los objetivos medioambientales fijados por la Unión Europea. Además, de incorporar a los mercados, la innovación y el despliegue de soluciones y productos sostenibles, que proporcionan un mayor valor, y contribuyen al nacimiento de nuevos conceptos de movilidad asociados el VE, junto a un conjunto de servicios y modelos de negocio que conllevarán la creación de nuevos puestos de trabajo y desarrollarán el transporte del siglo XXI.

2.1. Justificación: Sistemas de apoyo, financiación y regulación a nivel europeo y español

2.1.1. Transporte

2.1.1.1. Libro Blanco del Transporte

La Comisión Europea publicó en marzo de 2011 el nuevo Libro Blanco del Transporte bajo el epígrafe “Estrategia Transporte 2050” [6].

Se trata de un documento que incluye diversas propuestas encaminadas a reducir la dependencia que tiene el sector respecto del petróleo, así como a disminuir las emisiones de carbono en el transporte en un 60% de aquí a 2050.

Con todo, el análisis realizado por la Comisión determina que nuestro sistema de transporte se enfrenta a una serie de dificultades que precisan solución:

- El petróleo escaseará en las próximas décadas y se pronostica que su precio se incrementará en más del doble entre 2005 y 2050 (59 dólares/barril en 2005).

- El transporte es ahora más eficiente desde el punto de vista energético, pero todavía depende del petróleo en un 96% de los casos para cubrir sus necesidades de energía.
- La congestión cuesta a Europa alrededor del 1% del producto interior bruto (PIB) cada año.
- La Unión Europea tiene que reducir las emisiones entre un 80% y un 95% por debajo de los niveles de 1990 para alcanzar el objetivo de limitar el cambio climático a 2° C para 2050.
- La congestión suscita una gran preocupación. Se prevé que las actividades de transporte de mercancías aumenten, en relación a 2005, en torno al 40% con vistas al año 2030 y en algo más del 80% para 2050. El transporte de pasajeros se incrementaría algo menos que el de mercancías: el 34% para 2030 y el 51% para 2050.
- La infraestructura no tiene el mismo nivel en las regiones orientales y occidentales de la UE.
- El sector del transporte de la UE se enfrenta a una competencia creciente de los mercados mundiales de transporte, que se están desarrollando con rapidez.

Según la Comisión Europea, el objetivo es la creación de un espacio único europeo de transporte más competitivo y con una red de transporte plenamente integrada que enlace los diferentes modos y permita al mismo tiempo un cambio profundo en las pautas de transporte tanto de pasajeros como de mercancías.

Para el Comisario de Transportes, “La estrategia Transporte 2050” es una hoja de ruta, con cuatro objetivos “i” (Integración, Innovación, Infraestructura e Internacional).

- Integración: Crear un auténtico Espacio Único Europeo de transportes eliminando todas las barreras aún existentes entre modos y entre sistemas nacionales.
- Innovación: La investigación europea debe comprender el ciclo entero de investigación, innovación y despliegue de manera integrada (hoja de ruta tecnológica). Son numerosos los proyectos de I+d+i, que se están subvencionando desde la Unión Europea; uno de los más importantes en socios (43) y en presupuesto (42 M de euros, de los que 24,2 M de € son subvencionados por la UE), es el Green eMotion [7] y que trata de impulsar el despliegue masivo de la movilidad eléctrica y demostrar su interoperabilidad en Europa, y las iniciativas CIVITAS [8], con las que se pretende apoyar y evaluar la implementación de estrategias integradas de transporte urbano sostenible.
- Infraestructura: La infraestructura de transportes de la Unión necesita una visión común y suficientes recursos. Los costes del transporte deben reflejarse en sus precios.
- Internacional: La apertura de los mercados de países terceros a los servicios y productos de transportes de la UE y a las inversiones en el sector sigue siendo una prioridad básica.

Dentro de estos objetivos se proponen 40 iniciativas concretas para la próxima década y que fija entre otras las siguientes metas:

- Avanzar hacia la aplicación plena de los principios del «usuario pagador» y «quien contamina paga» (euroviñeta), y del compromiso del sector privado para asegurar la financiación para futuras inversiones en transportes. Permite aplicar tasas a la contaminación convencional (no al CO₂) y al ruido así como una mayor diferenciación de los peajes según la congestión durante las horas punta.
- Implantar sistemas inteligentes de gestión del transporte (ERTMS, ITS, RIS, SafeSeaNet y LRIT).
- De aquí a 2030, lograr que el transporte de mercancías en los principales centros urbanos esté fundamentalmente libre de emisiones de CO₂ y crear un espacio único europeo competitivo con bajas emisiones de CO₂ (-60% en 2050).

2.1.1.2. Reglamento (CE) 715/2007

Las normas Euro 5 y Euro 6 sobre límites de emisiones contaminantes para los motores de gasolina y diésel de los turismos y de los vehículos comerciales ligeros, se encuentran incluidas en el Reglamento (CE) 715/2007 [9] sobre homologación que establece las disposiciones fundamentales sobre las emisiones de los vehículos de las categorías M1, M2, N1 y N2¹ cuya masa de referencia² no supere los 2610 kg. Estas normas se establecen para mejorar la calidad del aire y reducir los valores de contaminación atmosférica que provoca el sector del transporte, junto con los sectores energético, agrícola e industrial, ya que, buscan la reducción de monóxido de carbono (CO), emisiones de partículas (PM) y de los precursores de ozono (óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos). Además, se incluyen no sólo las emisiones de escape y evaporación, sino las de combustible y el aceite de cárter del motor.

Respecto a la vigencia, la norma Euro 5 empezó el 1 de septiembre de 2009 para la homologación y estará en vigor hasta el 1 de septiembre de 2014. En la matriculación y venta de las nuevas clases de vehículos se aplica a partir del 1 de enero de 2011 hasta el 1 de septiembre de 2015, en la que empezará la Euro 6.

Los valores límite de emisiones que establece la norma Euro 5 para los vehículos diésel de la categoría M y N1 (masa de referencia inferior a 1.305 kg), son los siguientes:

- Monóxido de carbono (CO): 500 mg/km (no hay variación con respecto a la norma Euro 4),
- Partículas materiales (PM): 5 mg/km,

¹ Clasificación según la Directiva 70/156/CEE Vehículos de motor destinados al transporte de personas y que tengan por lo menos cuatro ruedas.

² Masa de referencia: es la masa del vehículo en orden de marcha, es decir incluidos: fluidos de refrigeración, lubricantes, el depósito de combustible con su capacidad al 90%, con conductor, sin pasajeros, el juego de herramientas y la rueda de repuesto si la incorpora; y restándole la masa uniforme del conductor de 75 kg y sumándole una masa uniforme de 100 kg.

- Óxidos de nitrógeno (NO_x): 180 mg/km,
- Masa combinada total de hidrocarburos (HCT) y óxidos de nitrógeno (NO_x): 230 mg/km.

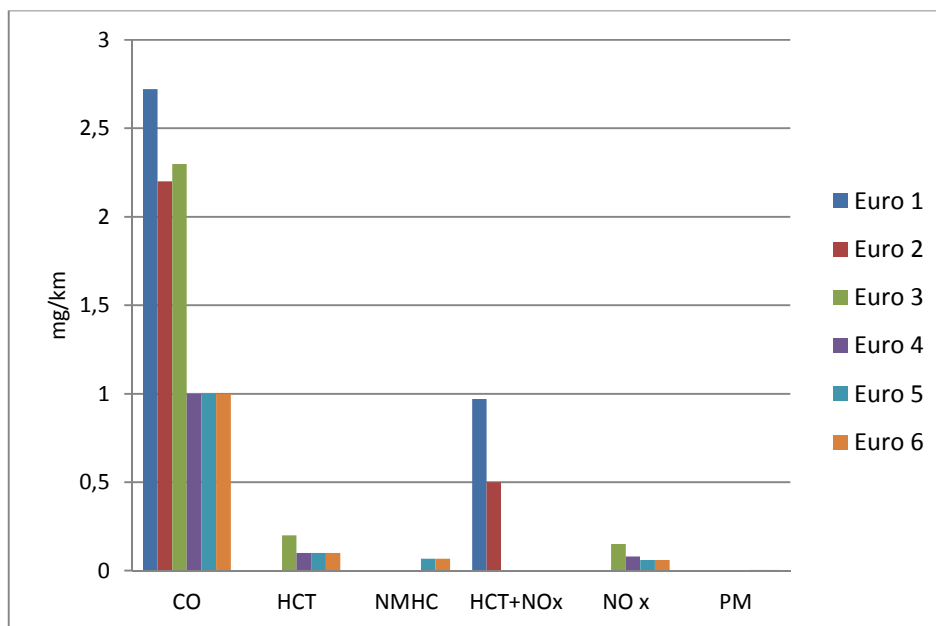


Gráfico 4. Motor Diésel. Límites de emisiones (Euro-turismos). Elaboración propia

En gasolina, y para las mismas categorías de vehículos, M y N1, los límites de la Euro 5 son los siguientes:

- Monóxido de carbono (CO): 1000 mg/km (igual a la Euro 4),
- Partículas materiales (PM): 5 mg/km (sólo en los motores de inyección directa),
- Óxidos de nitrógeno (NO_x): 60 mg/km,
- Masa total de hidrocarburos (HCT): 100 mg/km,
- Hidrocarburos no metanos (HCNM): 68 mg/km.

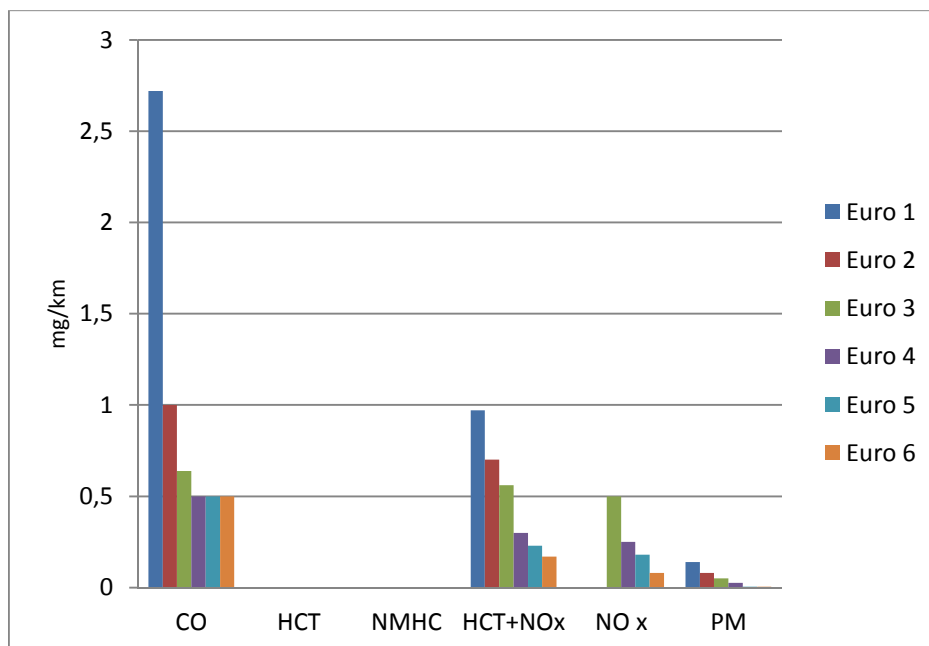


Gráfico 5. Motor Gasolina. Límite de emisiones (Euro-turismos). Elaboración propia

“Los únicos cambios que impone la norma Euro 6 con respecto a la Euro 5, en cuanto a estos límites de emisiones de los vehículos de la categoría M y N1, cuya masa de referencia sea inferior a 1.305 kg y corresponden a los vehículos diésel en la masa de óxidos de nitrógeno (NOx), que pasa de 180 mg/km a 80 mg/km, y en la masa combinada de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno totales (HCT+NOx) en los que se rebaja el límite de 230 mg/km a 170 mg/km. El resto de valores límite de emisiones contaminantes se mantiene sin variación, introduciéndose la variación sólo en el método de ensayo. Estos límites han impuesto a los fabricantes de vehículos una actualización y mejora de sus tecnologías existentes, y entre ellas, los sistemas start-stop que permiten apagar el motor térmico de combustión durante las frecuentes paradas que tienen lugar en conducciones urbanas” (encargadas de marcar la clasificación de los híbridos). [10]

2.1.1.3. Normativa europea (CE) No 443/2009

La normativa europea (CE) No 443/2009 [11] de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos para reducir las emisiones de CO₂ que estipula que la flota de vehículos ligeros de cada fabricante:

- No puede superar (de media) los 130 gr/km de CO₂ en 2015³, 95 gr/Km en 2020 y 70 gr/Km en 2025; debiendo alcanzar este objetivo a través de mejoras en planta motriz. Este límite está en función del peso de los vehículos.
- Fuertes penalizaciones económicas por cada gramo que sobrepase el límite hasta 2018: 5 €/gr para el primer gramo, 15 €/gr para el segundo, 25 €/gr para el tercero y 95 €/gr a partir del cuarto. A partir de 2019, cada gramo costará directamente 95 €/gr desde el primero.

³ En octubre de 2013, Alemania bloqueó la norma para reducir las emisiones de CO₂.

- Los vehículos que emitan menos de 50 gr/Km contribuyen con un peso de 3,5, en 2012 y 2013 a la ponderación, como 2,5 vehículos en 2014, como 1,5 vehículos en 2015 y como 1 vehículo (desaparición del incentivo) hasta 2016.

Con las tecnologías actuales, alcanzar los límites que se fijan en la normativa (CE) No 443/2009, sólo se puede alcanzar con vehículos eléctricos. Bien podría ser este uno de los principales motivos por los que todos los grupos empresariales de fabricación de vehículos tienen o van a tener modelos de VE en mercado. Ya hay fabricación en serie de BMW, Renault, Toyota, Nissan, BYD, Mitsubishi (compartido con PSA) y Chevrolet (compartido con Opel). En los próximos meses se empiezan a comercializar nuevos modelos de VE de VW, Audi, Smart, Honda, Ford, Volvo, BMW y Chevrolet. También se están lanzando VE en el sector de transporte de mercancías y pasajeros, pero todavía sin fabricación en serie.

2.1.1.4. Propuesta de Directiva: despliegue de infraestructuras de combustibles alternativos al petróleo

La propuesta de una Directiva del Parlamento Europeo⁴ y del Consejo establece un marco común de medidas para la creación de una infraestructura para los combustibles alternativos en la Unión a fin de romper la dependencia del sector del transporte respecto del petróleo y alcanzar el objetivo de reducir en un 60 % las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el transporte de aquí a 2050, contribuyendo así a la política de la Unión de descarbonización a largo plazo.

El objetivo es asegurar el desarrollo de la infraestructura necesaria para dichos combustibles, que en el caso de la electricidad se materializa en puntos de recarga para los VE e implementar las especificaciones técnicas para garantizar la estandarización europea de dichas infraestructuras (puntos de recarga actuales, futuros inalámbricos e intercambios de baterías) para la conexión de PR-VE.

La Unión Europea ha reconocido que uno de los factores clave para que el uso de VE se extienda, además de su elevado precio, es la falta de infraestructura de recarga. Según cálculos de la Comisión, el uso de combustibles alternativos podría suponer unos 2.300 millones de euros de ahorro en 2030 respecto lo que suponen hoy los convencionales, y adicionalmente 1.000 millones en la mejora de seguridad del suministro al disminuir las fluctuaciones de precio.

Esta propuesta establece un mínimo de PR por Estado con un 10% de ellos de acceso público (en 2020, un PR por cada 10 coches eléctricos). Este mínimo se establece en base a los objetivos VE fijados en cada estado, con una extrapolación para toda la Unión. Este número podrá ser revisado al evaluarse los objetivos de cada estado para garantizar una masa crítica.

⁴ El 15 de abril de 2014, el pleno del Parlamento Europeo aprobó formalmente la Directiva de Combustibles Alternativos al Petróleo. Está pendiente la aprobación formal del Consejo, antes de su publicación en el Diario Oficial de la Unión Europea. Por tanto, algún punto de los aquí descritos puede sufrir modificaciones, ya que, esta descripción corresponde a la versión publicada en febrero de 2013.

También, estable que se proporcione información clara al consumidor para facilitar el uso de la infraestructura, así como la comparación de precios de los diferentes combustibles limpios y convencionales basados en una metodología que será desarrollado por la Comisión.

Los contenidos de la propuesta relacionados con el vehículo eléctrico son:

- Se establece la necesidad de que el desarrollo de la infraestructura de recarga tenga en cuenta el sistema eléctrico y las políticas sobre electricidad de la UE. Expresa en particular que **su desarrollo y operación deben realizarse en el mercado liberalizado y en libre competencia entre los operadores interesados.**
- Para contribuir a la estabilidad del sistema eléctrico se deben recargar las baterías principalmente por las noches y estas pueden ceder energía al sistema en momentos de alta demanda pero en cualquier caso se deben usar sistemas de recarga inteligentes y precios de electricidad de libre mercado.
- Para puntos de recarga de uso privado se han de asegurar las sinergias y coordinación con el despliegue de contadores inteligentes. Los puntos de recarga de uso público no forman parte de las actividades reguladas.

Se definen los puntos de recarga (PR):

- PR Lenta: PR con potencia menor o igual a 22 kW.
- PR Rápida: PR con potencia mayor a 22 kW.

Se requiere a los Estado Miembros que establezcan políticas nacionales para el desarrollo de una infraestructura para combustibles alternativos, y contiene disposiciones para los Estados y sus obligaciones de informes a la Comisión para la evaluación de las políticas nacionales (descritos en el Anexo I):

- Un marco regulatorio consistente en medidas de apoyo a la construcción de una infraestructura para combustibles alternativos.
- Medidas que incluirán, al menos, incentivos directos a la compra, incentivos fiscales, uso de la compra pública e incentivos no financieros (p.e. políticas de aparcamiento o acceso a áreas restringidas).
- Apoyo al despliegue y fabricación a través de un presupuesto anual tanto para infraestructuras como para plantas de producción.
- Apoyo a la investigación y desarrollo a través de un presupuesto anual.
- Y todo esto con los objetivos anuales y finales (2020) de desarrollo de infraestructuras para combustibles alternativos.

Se fijan requisitos del número mínimo de PR por Estado, y especificaciones técnicas comunes a adoptar (en el Anexo II):

- Para España se fija un objetivo de 824.000 PR (con un 10% de estos para recarga pública) antes de finalizar el 2020.
- Los PR lentos deben cumplir con la especificación técnica antes de finalizar el 2015.
- Los PR rápidos deben cumplir con la especificación técnica antes de finalizar 2017.
- Se fija el conector Tipo 2 (Mennekes) para la recarga en AC (desde 3,6 kW hasta 22 kW), y el Tipo 2-Combo junto al CHAdeMO para la recarga en DC.
- Todos los PR de uso público tendrán medida normalizada.
- Los Estados asegurarán que los usuarios pueden comprar la electricidad al comercializador que quieran para la recarga de los VE, e incluso que podrán tener diferentes contratos si así lo desean.
- Los Estados asegurarán que cualquier persona puede establecer u operar PR de uso público.
- Los Estados asegurarán que los precios de la recarga pública son razonables y no incluyen penalizaciones o cuotas prohibitivas para los usuarios que no tienen relación contractual con el operador del PR.

El plazo para la trasposición de la Directiva será de 18 meses tras la aprobación de dicha Directiva) y en ella se indicará el procedimiento de notificación de las medidas nacionales de trasposición.

2.1.2. Medio Ambiente: Cambio climático, reducción de la dependencia energética, emisiones sonoras y sostenibilidad

2.1.2.1. Protocolo de Kyoto y Estrategia UE 20/20/20

En el año 2006, el peso del sector transporte en el conjunto de emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) fue de más del 25%, con un crecimiento del 88% desde 1990. Es fácil entender que el transporte está considerado como un sector clave para el cumplimiento de los compromisos de reducción adquiridos por España en el Protocolo de Kioto y las obligaciones derivadas del régimen climático a partir de 2012. Esto implica que las emisiones totales procedentes del transporte deben ser reducidas.

El Protocolo de Kyoto y junto a la Estrategia UE 20/20/20, tienen los siguientes objetivos para el año 2020 son a) reducir el 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a los niveles de 1990 (30% si se alcanza un acuerdo internacional), b) ahorrar el 20% del consumo de energía mediante una mayor eficiencia energética y c) promover las energías renovables para que un 20% de la energía generada sea originada por fuentes renovables.

2.1.2.2. Propuesta Europea para reducir el ruido de los Vehículos

El ruido del tráfico es la principal causa de contaminación acústica urbana (entre un 70 y un 80% del total). Mediante la aplicación NOISE (Noise Observation and Information Service for Europe) de la

Agencia Europea de Medio Ambiente, se ha observado que cerca del 50% de población de las zonas urbanas europeas con más de 250.000 habitantes está expuesta a niveles de ruido, en gran parte debidos al tráfico, superiores a 55 decibelios (límite de exposición indicado por la Organización Mundial de la Salud), lo que significa alrededor de 41 millones de europeos.

El 15 de noviembre de 2013, se publicó una nota del Consejo de la Unión Europea en la que se anunciaba el apoyo del Comité de representantes permanentes al acuerdo alcanzado entre la Presidencia Lituana del Consejo y el Parlamento Europeo, para reducir el ruido de los vehículos. La propuesta incluye:

- La disminución de ruido en los vehículos de combustión interna señalando unos valores límites que deberán indicar los fabricantes y distribuidores de vehículos, al igual que sucede con las emisiones de CO₂.
- La incorporación de un cierto nivel sonoro en los vehículos eléctricos, para proteger a ciegos y transeúntes, denominado AVAS (Acoustic Vehicle Alerting Systems).
- Actuaciones sobre las calzadas para disminuir el impacto sonoro debido a la rodadura.

2.1.3. Planes y estrategias en España

2.1.3.1. Regulación

En junio de 2013, el ministerio de fomento, publico un trabajo [12] donde se recopilan los principales planes y estrategias para el transporte. Se recogen a continuación aquellas, que están directamente relacionadas con la mejora de las condiciones ambientales, y tienen al transporte como un campo de acción prioritario.

- El Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT), aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 15 de julio de 2005.

Se propone recuperar un marco de intervención integrada de la AGE Administración General del Estado (AGE) en la ciudad, en concertación con las demás Administraciones para mejorar las condiciones ambientales en las ciudades europeas, y señala el transporte como uno de los campos de acción prioritaria.

- Comunicación sobre una Estrategia Temática para el Medio Ambiente Urbano (2006). Comisión Europea.

Con Este Plan de Acción, COM(2005) 718 final de 11 de enero de 2006, la Comisión exhorta vivamente a las administraciones locales a desarrollar y poner en práctica planes de transporte urbano sostenible, que incluya medidas específicas para promover el uso de vehículos de bajo índice de

emisiones de CO₂ y de bajo consumo energético, contribuirá a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel local.

- Libro Verde: hacia una Nueva Cultura de la Movilidad Urbana (2007). Comisión Europea.

El Libro Verde de la Comisión de las Comunidades Europeas, COM(2007) 551 final de 25 de septiembre de 2007, se titula “Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana” y plantea algunas actuaciones para la mitigación de los problemas medioambientales crecientes de las ciudades por las emisiones a la atmósfera y por la generación de ruido. Entre las que plantea, están la aplicación de nuevas tecnologías de vehículos limpios y eficientes, el fomento de la conducción ecológica, la utilización de combustibles alternativos y, en algunos casos, la restricción del tráfico y los peajes urbanos.

- Estrategia Española de Desarrollo Sostenible (2007). Gobierno de España.

El Consejo de Ministros, con fecha de 23 de noviembre de 2007, aprobó la Estrategia Española de Desarrollo Sostenible (EEDS), por la que incorpora los criterios ambientales en los impuestos de matriculación, de manera que los vehículos resulten gravados en función de la contaminación que produzcan.

- Estrategia Española de Movilidad Sostenible (2009). Gobierno de España.

El Consejo de Ministros, con fecha de 30 de abril de 2009, aprobó la Estrategia Española de Movilidad Sostenible (EEMS), donde de las 5 áreas desarrolladas, tres están relacionadas con el transporte: Territorio, planificación del transporte y sus infraestructuras, lucha contra el cambio climático y reducción de la dependencia energética y mejora de calidad del aire y reducción del ruido.

- Cambio climático y reducción de la dependencia energética.

Su objetivo es actuar sobre los medios de transporte favoreciendo los más eficientes y menos contaminantes (potenciando la etiqueta energética de los turismos, de acuerdo con la Directiva comunitaria), apoyo a los vehículos híbridos y eléctricos, especialmente en las ciudades.

- Plan de Acción de Movilidad Urbana (2010). Comisión Europea.

Este Plan de Acción, COM(2009) 490 final de 8 de enero de 2010, propone en una de sus seis áreas temáticas y medidas propuestas, fomentar el VE mediante proyectos de investigación de vehículos con niveles de emisión reducidos o nulos y con una guía en Internet sobre vehículos limpios y eficientes energéticamente.

- Plan Nacional de Mejora de Calidad del Aire (PNMCA 2011). Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

El Plan, aprobado por el Consejo de Ministros el 4 de noviembre de 2011, contempla como medida la renovación del parque automovilístico favoreciendo la adquisición de coches eléctricos o híbridos.

- Plan Nacional de Mejora de Calidad del Aire (PNMCA 2011). Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino

El Plan, aprobado por el Consejo de Ministros el 4 de noviembre de 2011, busca reducir las emisiones del tráfico rodado, favoreciendo el uso de vehículos más limpios y seleccionando vehículos ecoeficientes en calidad del aire.

- Libro Blanco. Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una Política de Transportes Competitiva y Sostenible (2011). Comisión Europea.

Este Libro Blanco, COM(2011) 144 final de 28 de marzo de 2011, ya se ha tratado en apartados anteriores, y cómo hemos destacado busca un sistema de transporte competitivo y sostenible. Reducir a la mitad el uso de automóviles de “propulsión convencional” en el transporte urbano para 2030; eliminarlos progresivamente en las ciudades para 2050; y Elelograr que la logística urbana de los principales centros urbanos en 2030 esté fundamentalmente libre de emisiones de CO₂.

2.1.3.2. Apoyo y Financiación

En cuanto a normativa específica es destacable:

- El desarrollo de la figura del gestor de cargas (Real Decreto 647/2011) [13], que define que las sociedades mercantiles que siendo consumidores, están habilitados para la reventa de energía eléctrica para servicios de recarga energética para vehículos eléctricos.
- La creación de la tarifa super-valle (Real Decreto 647/2011), que introduce un tercer período en la discriminación horaria, entre las 1 y 7 de la mañana, para suministros en baja tensión con potencias contratadas no superiores a 15 kW (no es exclusiva para el VE).
- Desarrollo de un borrador de una nueva instrucción técnica complementaria (ITC-52) para el reglamento de baja tensión, con el objetivo de regular las instalaciones eléctricas necesarias para la recarga de vehículos eléctricos.

Respecto a la financiación, se han lanzado desde el 2012, varias convocatorias del Programa de Incentivos al Vehículo Eficiente (PIVE), que este año 2014 se regirán por el Real Decreto 35/2014, de 24 de enero, publicado en el BOE (nº 24 del 28 de enero de 2014), que prevé subvenciones de concesión directa por valor de 10 Millones de Euros.

Estas subvenciones se han publicado finalmente en el BOE y concretamente en el Real Decreto 525/2014, de 20 de junio (Programa MOVELE 2014) por el cual:

Se regula el procedimiento para la concesión directa de ayudas a la adquisición de vehículos nuevos eléctricos en 2014.

Estas ayudas se otorgarán por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), hasta agotarse el presupuesto disponible (10 M€) y con finalización el 31 de diciembre de 2014.

Los solicitantes deberán presentar una declaración responsable relativa a todas las ayudas concedidas, haciendo especial mención a las ayudas recibidas durante los dos ejercicios fiscales anteriores y durante el ejercicio fiscal en curso.

Los vehículos susceptibles de ayudas, deberán figurar en el Catálogo de Vehículos (Catálogo MOVELE) publicado en la página web: www.movele.es

La cuantía de la subvención para los turismos o furgonetas que se propulsen con baterías, cargadas total o parcialmente con electricidad de la red, varía entre 3.000 y 6.500 euros, según la autonomía eléctrica del vehículo, y entre 3.500-7.700 euros para colectivos especiales (familias numerosas y discapacitados con movilidad reducida).

3. Estado del Arte

3.1. Historia

El vehículo eléctrico no es nuevo en nuestra sociedad: en realidad es algo del pasado que ahora se está “moviendo” de nuevo, con mirada hacia el futuro.

Fue Faraday en 1821 quién convierte energía eléctrica en energía magnética a través de medios electromecánicos, y descubre el motor eléctrico en Londres. Poco después, en 1832 será un inventor húngaro, Ányos Jedlik, el que desarrolle el primer motor eléctrico usando electroimanes, con potencia suficiente para ser capaz de propulsar un vehículo. Thomas Davenport, incorpora una batería para alimentar un motor eléctrico en 1834 desarrollando el primer motor eléctrico de corriente continua.

En 1835 sería en la ciudad alemana de Groninberg, cuando el profesor Stratingh junto con Becker,



construye un pequeño modelo de carruaje eléctrico. Aunque será al empresario escoces, Robert Anderson, al que se considera el inventor del primer vehículo eléctrico



entre 1832 y 1839, usando el motor de Faraday y cargando una pila química voluminosa de Volta. Serán, sin embargo, Robert Davison en edimburgo

y Thomas Davenport en EEUU en 1842, los que construyen los primeros utilitarios. Las baterías empleadas eran de un sólo uso, ya que, hay que esperar las mejoras del diseño de las pilas, convertidas en acumuladores recargables de plomo, inventada por Gaston Planté, en 1859, y desarrollada por Camille Faure, ya en 1880-1881, ambos franceses.

Los motores eléctricos, también se iban perfeccionando, en 1866 el alemán Werner Siemens diseñaba la dinamo y en 1887, será el famoso físico serbio, Nikola Tesla, quién patente el primer motor de corriente alterna.

El 31 de agosto de 1894 se patenta el primer vehículo eléctrico funcional, denominado Electrobat. Fue diseñado y construido por Henry Morris y Pedro Salom en Phyladelphia, quienes además fundan la primera compañía de coches eléctricos en EEUU.

Los coches eléctricos serán los protagonistas en los últimos años del siglo XIX y primeros del XX dominando en ventas a los a los ya declinantes de vapor y los todavía incipientes vehículos con motor de gasolina o gasóleo (se vendían diez veces más coches eléctricos que de vapor y combustión juntos).

En abril de 1899 el belga Camille Jenatzy, alcanza casi 106 km/h en su bólido eléctrico “la Jamais Contente”, convirtiéndole en el primer coche que superaba los 100 km por hora.

Las ventajas de los vehículos eléctricos eran numerosas: facilidad de arranque frente a la incómoda manivela de los primeros coches de motor térmico; funcionamiento silencioso, fáciles de manejar y muy limpios, y triunfaban a pesar de su escasa autonomía y una velocidad máxima reducida, que apenas superaba los 30 km/h.

En 1911, Thomas Edison mejora las baterías, incorporando los modelos recargables de níquel-hierro. Sin embargo, será Ford en 1912, el que relance con éxito el motor de explosión debido a la invención del motor de arranque eléctrico y empiece con su fabricación en serie hasta el punto de acabar eliminando, después de la Primera Guerra Mundial, al vehículo eléctrico, unido al auge de la industria del petróleo, que era un combustible barato, más abundante y con infraestructuras más sencillas que la electricidad.

En 1925, y buscando disminuir la dependencia del petróleo surge en Francia, la Sociedad de Vehículos Eléctricos, y posteriormente de 1939 a 1945, serán fabricantes franceses como Peugeot o Renault, los que intentan investigar, pero su desarrollo se ve frenado por las dificultades para conseguir ambos materiales.

Volverá a surgir el interés por los vehículos eléctricos, durante la Segunda Guerra Mundial, debido a la escasez del petróleo; y que propiciará el lanzamiento en EEUU en 1959 del primer vehículo eléctrico producido en masa, pero que sin embargo tendrá una vida muy corta, porque dejará de fabricarse 2 años después, en 1961.

En 1973 llega la famosa crisis del petróleo, generada por la OPEP; dónde la gasolina multiplica por 10 su precio en pocos días, poniéndose de manifiesto la dependencia de occidente de unas decisiones tomadas por los países productores, a los que son ajenos. Vuelve a aparecer el automóvil eléctrico, que sigue teniendo el inconveniente de tener acumuladores eléctricos de gran capacidad.

En los años noventa vuelven a atacar los movimientos defensores del automóvil “limpio” debido a la elevada contaminación del aire urbano en ciertas grandes capitales. En California es la época de la histórica ley *Zero Emission Mandate*, que preveía un plazo breve para exigir en las grandes ciudades unas emisiones nulas por los tubos de escape de los vehículos, pero que no consigue relanzarlo. Surgen los primeros vehículos experimentales de General Motors (1996). Poco después aparecerá, el coche híbrido, y concretamente el Prius, con el que el fabricante japonés TOTOTA alcanza ventas superiores al millón de unidades y en 2011, los eléctricos empiezan a ser una realidad, intensificándose el mercado en Europa, Asia y Estados Unidos.

3.2. Electrificación de los vehículos

Existen varios grados de electrificación en los vehículos, en función de su sistema de propulsión: eléctricos e híbridos. Cuando nos referimos a vehículos eléctricos (Electric Vehicles (EVs)), nos estamos refiriendo a vehículos que disponen de conducción parcial o totalmente eléctrica a través de motores eléctricos alimentados por dispositivos de almacenamiento de energía a bordo. El modelo más extendido de los vehículos eléctricos son los movidos por baterías (Battery Electric Vehicles (EVs)), que utilizan la energía química almacenada en celdas de baterías recargables, aunque en la actualidad se empiezan a estudiar los supercondensadores o los volantes de inercia.

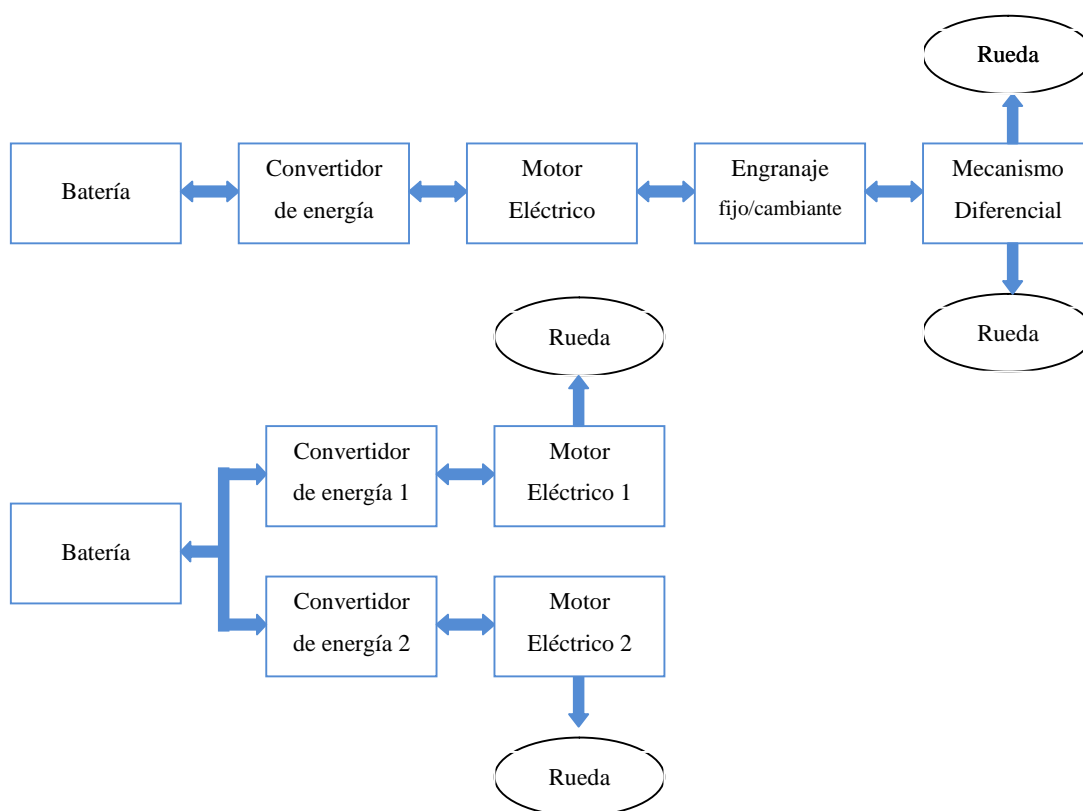


Gráfico 6. Esquema de vehículos eléctricos con 1 y 2 motores.

Los vehículos híbridos (Hybrid Electric Vehicles (HEVs)), son aquellos que comparten dos motores: uno de combustión interna gasolina (más recientemente, también de gasóleo, sobre todo en Europa) y otro eléctrico (que se alternan según las necesidades de conducción), y son el primer paso hacia la electrificación (transmisión eléctrica). Y también están los Vehículos Híbridos Enchufables (Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs)), que son una evolución de los anteriores, y se sitúan a medio camino de los BEVs. La mayor ventaja de los vehículos híbridos es su mejora de eficiencia energética en régimen urbano, con la consiguiente reducción de consumo de combustibles fósiles y en la emisión de gases contaminantes, y la garantía simultánea de autonomía y rendimiento.

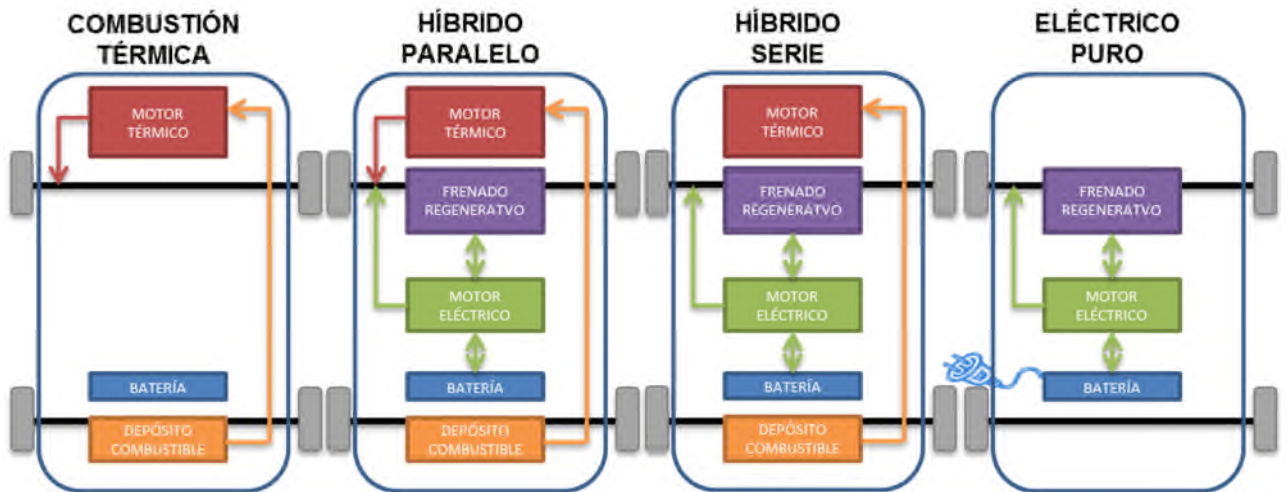


Gráfico 7. Tipología de los vehículos según su transmisión.

La clasificación de los vehículos híbridos, se puede realizar según varios criterios: configuración de sus componentes y/o grado de electrificación (relación entre la potencia eléctrica y la potencia total de tracción). Según su configuración, los vehículos híbridos se clasifican en:

- Sistema start/stop (Integrated Starter Generator (ISG)) [14]. El sistema Start-Stop funciona para un motor de arranque específico y mejorado, diseñado para alargar su vida útil; un alternador específico que ofrece un 77% más de eficiencia y que produce unas mayores cargas de la batería a bajas velocidades del vehículo; una centralita electrónica que gestiona el sistema; una batería de mayor capacidad que la batería convencional; y una serie de sensores (en la batería, que controla el estado de carga de la misma; otro en el cigüeñal, para saber la velocidad del vehículo; y otros en los pedales que informa sobre lo que quiere hacer el conductor). Este sistema permite reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO₂.

Ejemplos de esta configuración son el Serie 1 de BMW o Citroën C. Este sistema se encuentra ya en muchos modelos de vehículos, debido a la sencillez de su implantación.

- Configuración híbrido paralelo, ambos motores se encuentran acoplados al eje motriz. Está configuración cuenta con un depósito de combustible, que alimenta al motor de combustión, que es la principal fuente de energía, y unas baterías que suministran energía al motor eléctrico. El tanque de combustible y el motor de combustión están conectados a la transmisión. Además, las baterías y el motor están conectados también a la transmisión de forma independiente. Por tanto, ambos motores proveen de propulsión al automóvil.

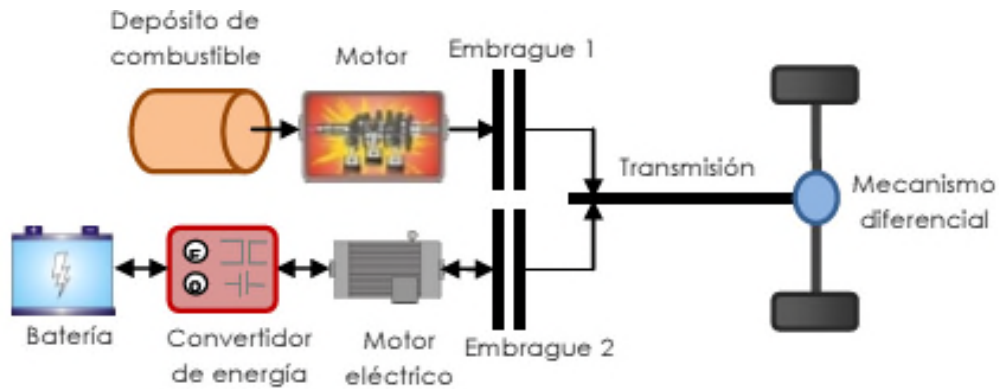


Gráfico 8. Configuración paralelo [15]

En la configuración paralelo, la conducción a bajas velocidades se realiza en modo eléctrico puro, sus beneficios se potencian en conducción urbana, dónde el consumo de combustible y las emisiones se pueden reducir hasta un 30%. Al mismo tiempo, se puede mejorar la conducción en comparación con un sistema de propulsión convencional (térmica). En velocidades medias y altas, el sistema de propulsión eléctrica híbrida completa contribuye a la mejora de la eficiencia energética mediante la operación del motor térmico en el rango de la eficiencia más alta y la recarga de la batería, con el excedente de la potencia que produce el motor térmico para la tracción.

Ejemplos de esta configuración y enchufables son el TOYOTA Prius (autonomía 25 km) y los VOLVO V60 (50 km) y XC60 (4x4 con 45 km).

- Configuración híbrido serie, en la que el motor térmico se encuentra desacoplado del eje motriz permitiendo al generador trabajar con carga constante, con lo que se optimiza la eficiencia global del vehículo y se simplifica su construcción. En esta configuración el motor de combustible mueve al generador, el cual carga las baterías o alimenta al motor eléctrico que es el que está conectado a la transmisión del vehículo.

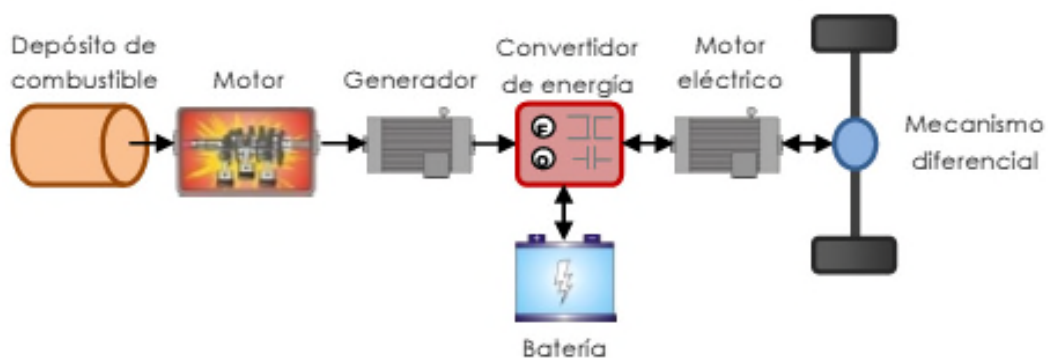


Gráfico 9. Configuración serie [15]

En la configuración serie, el motor de combustión interna es más pequeño que cualquier motor térmico convencional, además de que opera en su rango más eficiente y con una velocidad constante. Asimismo, el motor térmico podría ser sustituido por una pila de combustible (por ejemplo, de hidrógeno). Está es la configuración que presenta la ventaja de tener la mejor eficiencia energética a través de la propulsión eléctrica, además de un rango adecuado. En algunos foros, se considera este tipo de vehículos como vehículos eléctricos de rango extendido (Extended Range Electric Vehicle (EREV)). Además, ofrecen la posibilidad de poder recargar las baterías por medio de una fuente externa de energía (punto de recarga).

Este sistema es empleado, por ejemplo, en el Chevrolet Volt u Opel Ampera (autonomía 83 km; enchufable y/o auto-recarga de las baterías a través del generador).

- Configuración híbrido combinada, el motor térmico puede transferir mecánicamente la potencia a las ruedas, así como eléctricamente a través de un generador y del motor eléctrico, por lo que ofrece más flexibilidad en la distribución de la energía. El motor eléctrico funciona en solitario a bajas velocidades, mientras que a altas velocidades trabajan los dos motores. A través de un engranaje planetario, se conecta el motor térmico, el motor eléctrico y el generador.

Este sistema es empleado por el Mitsubishi Outlander 4x4 (autonomía 52 km; enchufable y/o auto-recarga de las baterías a través del generador).

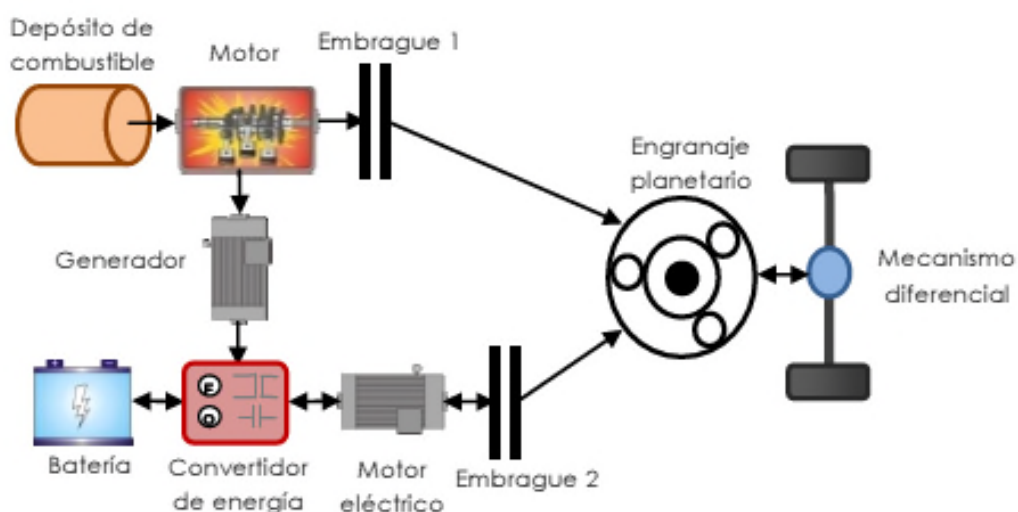


Gráfico 10. Configuración Combinada (Serie-Paralelo) [15]

En función del grado de hibridación eléctrica o funcional (relación entre la potencia eléctrica y la potencia total de tracción), se pueden clasificar en: [16] [17]

- Los Micro Híbridos (mycro o low hybrid) son el primer paso hacia la electrificación del sector transporte; son los vehículos convencionales que integran la nueva técnica, conocida como el sistema de arranque/parada (“Start/Stop” o “Stop/Go”). Este sistema apaga automáticamente el motor cuando el vehículo se detiene y vuelve a arrancar cuando se presiona el acelerador. Estos vehículos no ofrecen la opción de conducción o aceleración eléctrica. Su principal ventaja es que pueden ser materializadas con un incremento de costes pequeños. Además, contribuyen de manera limitada a la disminución de las emisiones de CO₂ (entre un 4-5%) y de combustible (hasta un 7%).
- Los Híbridos Medios (Mild Hybrid) integran un motor eléctrico (10-15kW) que proporciona par de asistencia en la aceleración, que permite que los motores de combustión sean más pequeños y eficientes y una batería. Además, el motor eléctrico actúa a la inversa como un generador cuando el coche está frenando (recuperación de la energía cinética y cargando la batería). Estos vehículos tampoco permiten la conducción eléctrica, pero permite mejoras en el consumo de combustible en comparación con los motores térmicos convencionales (del 15% al 20%) y las emisiones alrededor del 10%. Además, permiten reducir dichos motores de combustión sin renunciar al rendimiento o la comodidad, y con un extra coste aceptable. (Ejemplo, HONDA Insight).
- Los híbridos (Full Hybrid) no enchufables, están previstos de un motor eléctrico más potente (hasta 30 kW) y una batería más grande (hasta 2 kWh), que permite una autonomía de aproximadamente 1 km únicamente con energía eléctrica y se clasifican según su configuración (serie, paralelo y combinada) y si son enchufables. El consumo de combustible, y por tanto, las emisiones se pueden reducir hasta en un 25%. (Ejemplos, Toyota Prius, Peugeot 3008 Hybrid4, y LEXUS Hybrid.)

En la Tabla 1, se reflejan las configuraciones anteriores analizadas, en función de sus características eléctricas:

	Micro HEV	Mild HEV	Full HEV	PHEV	BEV
Función Start/Stop	Si	Si	Si	-	-
Modo eléctrico	No	No	< km	> km	Si
Carga	No	No	Sólo freno regenerativo	Externa y freno regenerativo	Externa y freno regenerativo
Potencia/Energía	> 60	30 – 80	20	7 – 12	2 – 3
Energía (kWh)	< 0,6	< 1	< 4	5 – 20	> 15
Potencia (kW)	<6	< 13	20 – 100	< 80	20 – 60
Tensión (V)	12	12 - 42	> 150	> 200	* sin determinar

Tabla 1. Clasificación vehículos según grado de electrificación [16]

3.3. Elementos principales de un VE

Los principales elementos de un vehículo eléctrico son:

- Motor eléctrico.
- Controlador.
- Fuente de energía (batería).
- Transmisión.

3.3.1. Motores eléctricos

La mayoría de los vehículos eléctricos se han basado en motores de corriente continua, en motores de inducción, en motores de imanes permanentes y motores de reluctancia conmutada (variable). [18] Las

desventajas de los motores de corriente continua han determinado que los fabricantes se hayan centrado en los motores de corriente alterna. [19]

Las características que deben poseer los motores empleados para la propulsión de VE pueden resumirse de la siguiente manera:

- Alta densidad de potencia con el fin de minimizar el volumen ocupado por los motores y reducir el peso adicional que debe transportar el VE.
- Alto par motor a bajas velocidades con el fin de lograr una rápida aceleración y disponer de alta capacidad para superar pendientes.
- Amplio rango de variación de velocidad.

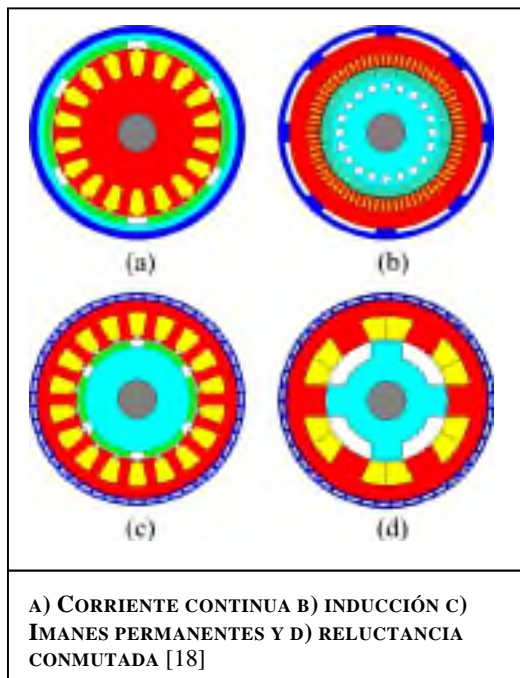


Gráfico 11. Tipos de motores eléctricos

- Baja inercia para lograr respuestas rápidas ante cambios en la velocidad.
- Alto rendimiento en todo el rango de velocidades con el fin de poder superar requerimientos adicionales durante breves períodos.
- Coste razonable.

El bajo coste y escaso mantenimiento de los *motores de inducción* los han posicionado como preferentes por los fabricantes de vehículo eléctrico. Sin embargo, para alcanzar altos regímenes de giro con estos motores es necesario incrementar su peso y tamaño. Estos motores se diferencian fundamentalmente por la arquitectura del rotor. En los motores de inducción, el rotor está formado por barras conductoras que cortan el campo del estator y desarrollan una tensión que produce una corriente, que a su vez genera un campo secundario.

El rotor en los *motores de imanes permanentes* usa imanes para generar los campos magnéticos de rotor, sin necesidad de corrientes de excitación y de las pérdidas asociada a dichas corrientes. Su excelente comportamiento, eficiencia más alta, par motor y su capacidad de disipación de calor mejor que los motores de inducción, les sitúa como una solución atractiva para las aplicaciones de vehículo eléctrico. Estos motores se emplean actualmente en el Ford Focus, Toyota Prius, Chevrolet Volt (Opel Ampera) y Nissan Leaf debido a su mayor rendimiento comparado con los motores de inducción. Remy es uno de los fabricantes de motores eléctricos de imanes permanentes cuyos motores son utilizados por General Motors, BMW y Mercedes, así como una creciente lista de vehículos comerciales. Las áreas activas de investigación en las máquinas imanes permanentes incluyen el estudio de las configuraciones del rotor y el estator, y su efecto en los armónicos así como las causas y atenuación de la desmagnetización.

Aunque la desventaja mayor de estos motores es su elevado coste y los problemas en la continuidad de suministro de los imanes debido a asuntos geopolíticos. Este desafío ha inspirado a compañías como Tesla y Remy a desarrollar máquinas de inducción de última generación para los vehículos que sean más ligeros y más eficientes que los motores de imanes. Los motores de inducción convencionales utilizan rotores de aluminio. Sin embargo, la conductividad eléctrica del cobre es un 60% mayor que la del aluminio, por lo que es un sustituto atractivo. Además, utilizar cobre también puede reducir las temperaturas de funcionamiento del motor en el rango 5-32 ° C. Estos datos sugieren que la vida útil de los motores que utilizan rotores de cobre puede ser alargada un 50% o más [20].

Los motores de reluctancia conmutada, por su simplicidad, estructura robusta con capacidad de tolerancia a los fallos, capacidad de operar a altas velocidades, elevada densidad de potencia y potencialmente un bajo coste, también se presentan como un candidato para los vehículos eléctricos. Hasta la fecha, estos motores se han aplicado en vehículos pesados, y en la actualidad se está investigando para usarlos en los vehículos ligeros. Sin embargo, su control por ondulación del par y el

problema acústico de estos motores ha sido hasta el momento un argumento disuasorio para dicha aplicación.

3.3.2. Controlador

El motor eléctrico está bajo el control de la electrónica de potencia basada en un convertidor de potencia bidireccional que convierte la tensión continua constante disponible en la batería en tensión variable con frecuencia controlada para mantener cualquier punto operativo del vehículo.

3.3.3. Baterías

La evolución tecnológica de los vehículos eléctricos va ligada a una mayor dependencia de las baterías. La batería ideal es aquella que pesando y ocupando el menor espacio posible pueda almacenar la mayor cantidad de energía, la pueda entregar y recibir en grandes flujos (alta potencia), soporte la mayor cantidad de ciclos de carga y descarga, y finalmente, tenga un precio económico. Además, y tratándose de una batería para VE debe soportar condiciones de trabajo extremas (rangos de temperaturas (-30 a +65° C) y golpes y vibraciones), necesitar un mantenimiento escaso, poseer tasas de autodescarga bajas (< 5% al mes) y ser capaces de soportar descargas y cargas completas diariamente. [21] [22] [23] [24] [25]

Las principales características que se utilizan para describir una batería son:

- La energía específica, que corresponde a la cantidad de energía que la batería puede almacenar por unidad de masa (Wh/kg).
- La densidad de energía, que corresponde a la cantidad de energía que la batería puede almacenar por unidad de volumen (Wh/l).
- La potencia específica, que indica la potencia que se le puede pedir a la batería por unidad de masa (W/kg). Cuanto mayor es la potencia específica de una batería, mayor corriente entrega con menor caída de tensión en sus bornes.
- El número de ciclos de vida de la batería, que son la cantidad de cargas y descargas que soporta la batería manteniendo ciertas características originales. Este valor está condicionado con el uso que se le da la batería.

Otras variables que definen la batería en su operación son:

- El estado de carga (SOC- State Of Charge), que es el porcentaje de energía que le queda a la batería en relación a la carga total.
- La profundidad de carga (DOD – Deep Of Discharge), que es el porcentaje de la energía que se ha utilizado de la batería ($DOD = 100 - SOC$ (%)).
- Voltaje en circuito abierto (OCV – Open Circuit Voltage), que es la tensión en bornas de la batería eléctrica en ausencia de carga eléctrica.

La tecnología usada por las baterías ha ido avanzando con el tiempo. Desde las antiguas de plomo y ácido se pasó a las de níquel-cadmio, luego a las de níquel-metal y, ahora, litio-ion. Se describen a continuación los diferentes tipos de baterías recargables.

3.3.3.1. *Ácido de plomo (Pb)*

Las baterías de plomo se componen de un cátodo de dióxido de plomo, una placa de plomo como ánodo y un electrolito de ácido sulfúrico diluido.

Entre sus ventajas destaca que son la batería recargable con menor coste, disponible en variedad de diseños y tamaños, con una tecnología muy contrastada, con altos rendimientos, buen comportamiento en todos los rangos de temperaturas, sencillez en la indicación del estado de carga y buen comportamiento en aplicaciones de carga intermitente. Además sus celdas se pueden reciclar de forma fácil al final de su vida útil, y son las que proporcionan la energía para el arranque y encendido de los motores de combustión interna (ICE) en los vehículos de combustible, y alimentar usos secundarios (luces, etc).

Sus inconvenientes son que son baterías muy pesadas con una energía específica baja, relativa baja densidad de energía, largos tiempos de carga y un moderado número de ciclos de vida para descargas profundas elevadas debido a los fallos irreversibles que se producen en los electrodos. Son tóxicas debido a que el plomo es un metal pesado y pueden ser peligrosas para el medio ambiente sino se eliminan de forma correcta.

Se emplea en el vehículo eléctrico REVA i (8 baterías x 6 V de plomo ácido, en serie: 48V – 195Ah).

3.3.3.2. *Níquel-cadmio (NiCd)*

Estas baterías utilizan hidróxido de níquel Ni(OH)_2 para el cátodo, cadmio en el ánodo y un electrolito de hidróxido de potasio alcalino KOH.

Sus ventajas son que los ciclos de vida son largos, buen rendimiento a baja temperatura y alto rendimiento, larga vida útil en cualquier estado de carga y capacidad para recarga rápida.

Su mayor inconveniente es el efecto memoria, cuya consecuencia es la disminución de la capacidad de la batería si no se realizan correctamente los ciclos de carga y descarga, presenta auto-descargas a alta temperatura, y tiene una eficiencia energética baja, lo que significa que no entrega toda la energía con la que fue cargada. Al ser el cadmio muy tóxico, su uso en baterías para vehículos está prohibido a excepción de aplicaciones médicas y militares.

3.3.3.3. Hidruro metálico de níquel (NiMH)

Son muy similares a las anteriores, ya que el cátodo es el mismo, hidróxido de níquel Ni(OH)₂, pero el ánodo suele ser de aleaciones de lantano y tierras raras, que oxidan el hidrogeno formando protones; el electrolito es alcalino, generalmente hidróxido de potasio.

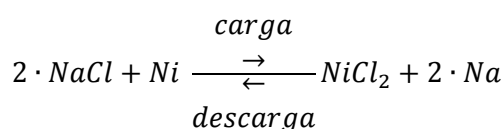
Sus ventajas son que al no requerir cadmio no presenta problemas medioambientales, posee mayor energía específica, numerosos ciclos de vida, capacidad de carga rápida y un coste muy económico.

Sus inconvenientes son que su rendimiento es menor, son sensibles a la temperatura, tiene menor efecto memoria, pero presentan elevada autodescarga y son muy sensibles al nivel de descarga (pobre retención de carga).

Se emplea en el vehículo híbrido TOYOTA PRIUS 3.

3.3.3.4. Zebra - Sodio (Na - NiCl₂)

Las baterías Zebra (Zero Emission Battery Research Activity) son las que se emplean en los vehículos eléctricos de la flota comercial que vamos a estudiar. Se caracterizan por su alta temperatura de operación, lo que significa que la temperatura ambiente tiene poca influencia en las prestaciones de la batería (cómo se ha podido demostrar con las medidas realizadas). Tienen un cátodo que es de níquel cuando se está descargando y de cloruro de níquel en el estado de carga, el ánodo es de sodio, y forma cloruro de sodio (sal común) cuando está descargada y sodio cuando están cargadas. [26]



El electrolito es de β-alúmina y debe estar en estado líquido, lo que implica que este en un rango de temperaturas entre 260 °C - 350 °C (punto de fusión aproximadamente a 157 °C, y congelación a 160 °C), para que pueda proporcionar energía; es muy estable tanto como en su forma de metal sodio como en cloroaluminato de sodio.

Estas baterías trabajan a una temperatura promedio de 300 °C, que utilizan elementos ligeros con alta afinidad química, de forma que con bajo peso pueden almacenar alta energía. Las características que les confiere son [27]:

- Almacenamiento de baterías cargadas a temperatura ambiente.
- Funcionamiento de la batería a altas temperaturas, lo que implica que van montadas en una caja aislada térmicamente, y por tanto la temperatura ambiente no influye en las prestaciones de la batería; funcionan en zonas con grandes diferencias de temperaturas, -40⁰ a 70⁰C.

- La refrigeración está garantizada debido al diferencial térmico existente: el enfriamiento se produce al pasar aire frío entre las células.
- Al funcionar, la batería genera calor, que se puede aprovechar para la calefacción del vehículo.

Las desventajas son:

- Es necesario usar la energía de la batería para mantener la temperatura adecuada. Por tanto, y en los casos en que el vehículo no esté funcionando y no se encuentre conectado a la red, se consume energía propia (100 W) para mantenerse caliente. (Una batería completamente cargada, podrá mantenerse cargada durante más de una semana con su propia energía.)
- En caso de que el electrolito se enfríe por debajo de los 260°C, el sistema de control iniciará automáticamente el calentamiento de la batería, ya que es necesario este calentamiento previo antes de poder cargarla. La batería tolera esos ciclos térmicos, pero es conveniente reducir las veces que se enfría por debajo de la temperatura de funcionamiento. Con temperatura de los electrolitos de 20°C, la duración del calentamiento hasta la temperatura de funcionamiento es de unas 30 horas.
- También es necesaria energía para que el ventilador de refrigeración funcione (porque pueden llegar a alcanzar los 330°C).

3.3.3.5. Litio -ion

Surgen a principios de los ochenta, y a día de hoy todavía su tecnología está en desarrollo, presentando un gran potencial de mejora que se verá favorecido por las economías de escala (Coste a largo plazo: 150€/kWh). Su ánodo es a base de carbono, aunque últimamente también se están usando metatitanato de litio (Li_2TiO_3). El electrolito suele ser una sal de litio disuelta en un disolvente orgánico no acuoso. En cuanto a los cátodos (son los que limitan la capacidad específica de los electrodos), se emplean varios compuestos que marcan las líneas de investigación, cada uno de los cuales tiene diferentes características y rendimientos electroquímicos, y son:

- Litio-Fosfato de hierro (LiFePO_4).
- Litio-Oxido de cobalto (LiCoO_2).
- Litio-Ión (Aluminato) Manganeseo (LiMn_2O_4).
- Litio (NCM) – Níquel Cobalto Manganeseo ($\text{LiNi}_x\text{CO}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$).
- Litio (NCM) – Níquel Cobalto Manganeseo ($\text{LiNi}_x\text{CO}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$).

Cátodos derivados de Litio	Energía Específica (Wh/kg)	Densidad energética (Wh/l)	Nº Ciclos	Inicio Temperatura Riesgo (°C)	Tensión (V)	Rango Temperatura Trabajo (°C)	Precio estimado (€/kWh)
LiFePO ₄ (EV-PHEV)	90-125	130-300	2000	270	3,2	-20 a 60	219- 440
LiFePO ₄ (HEV)	80-108	200-240	>1000	270	3,2	-20 a 60	293-733
LiCoO ₂	170-185	450-490	500	170	3,6	-20 a 60	227-337
LiMn ₂ O ₄ (EV-PHEV)	90-110	280	>1000	255	3,8	-20 a 50	330-403
NCM (HEV)	150	270-290	1500	215	3,7	-20 a 60	366-660
NCM (EV-PHEV)	155-190	330-365	1500	215	3,7	-20 a 60	366-660
Titanato versus NCM/LMO	65-100	118-200	12000	No aplica	2,5	-50 a 75	733-1.246

Tabla 2.Comparativa de tecnologías de baterías de litio con diferentes cátodos.

El litio se caracteriza porque su densidad de energía es tres veces superior a las baterías recargables convencionales, sin efecto memoria, baja descarga, alto número de ciclos, buen rango de temperaturas. También permiten cargas rápidas sin afectar la vida de la batería gracias a la gestión de la temperatura.

Los problemas de seguridad (riesgo de incendio) se han superado, se ha reducido su coste usando materias primas económicas, procesos de síntesis y materiales de baja toxicidad y escaso riesgo medioambiental.

Se emplean en la mayoría de vehículos eléctricos puros que se están lanzando al mercado (BMWi3, Nissan Leaf, Peugeot Ion, Citroën Zero, Mitsubishi i-Miev, etc).

Tecnología Baterías	Energía Específica (Wh/kg)	Nº Ciclos	Rango Temperatura Trabajo (°C)	Eficiencia (%)	Autodescarga	Mantenimiento
Pb	30-40	600-900	-40 a +60	80-85	Baja	No
NiCd	40-60	1350	0 a +40	70-75	Baja	Si
NiMH	30-80	>1000	-30 a +60	70	Alta	No
Na - NiCl ₂	125	1000	+260 a +350	90-95	Alta	No
Litio - Ión	100-380	>2000	-40 a +60	90	Baja	No

Tabla 3.Comparativa tecnologías baterías eléctricas

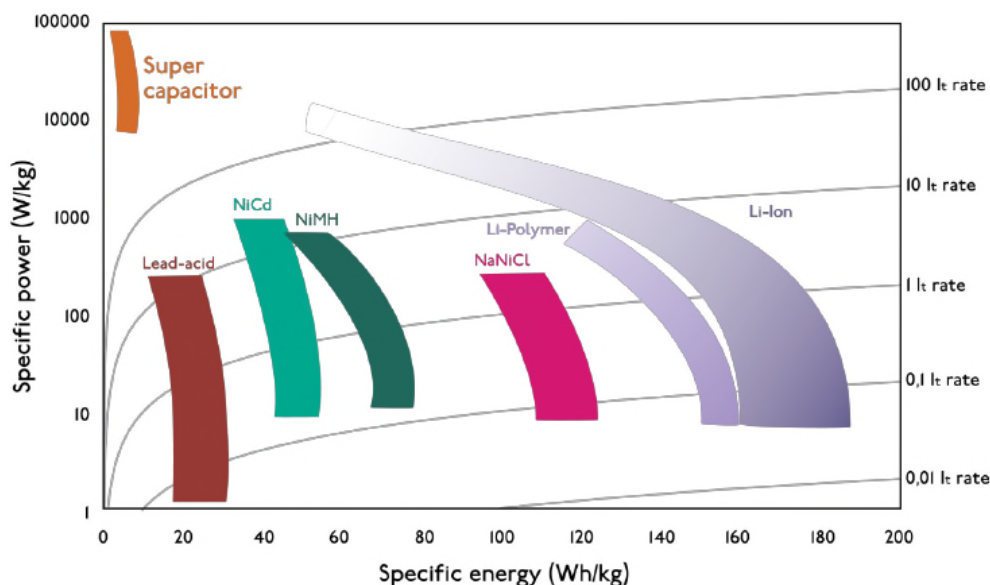


Gráfico 12. Gráfico de Ragone (Celdas Baterías) [28]

3.3.4. Transmisión

Dadas las características de las curvas de par y potencia para los motores eléctricos y su rendimiento, no se hace necesario incluir una caja de cambios. Tampoco es necesario embrague o volante de inercia, por lo que la transmisión se reduce a una reductora con diferencial. Esto influye en una reducción de partes móviles en los vehículos, y la eliminación de la lubricación y refrigeración. Además, reduce las labores de mantenimiento y las averías.

Sin embargo, uno de los grandes inconvenientes de los vehículos eléctricos es el consumo de batería en velocidades altas (carreteras) donde la recuperación de energía no es posible. La inclusión de un sistema de transmisión específico para estos motores podría elevar hasta un 15% la autonomía. [29]

3.4. Parque automovilístico de vehículos eléctricos

A pesar, de todas las ventajas de los vehículos eléctricos (emisiones nulas, funcionamiento sin ruido, consumo cero de combustibles fósiles, duración y fiabilidad superiores) sólo se alcanzó la cifra de los 200.000 vehículos vendidos en todo el mundo en 2012, lo que representa un 0,02% del total. Por países, destaca Estados unidos (33%), Japón (24%), Francia (11%) y China (6%). En España sólo representaron el 0,4% del total.

Flota a 31/12/2012	Flota VE	Flota VEH	Flota VEH enchufable	Flota Total*
Ventas en 2012				
Motocicletas	670	0	0	2.165.883
	311	0	0	-
Motos	1.988	30	419	2.852.297
	1.035	8	209	-
Cuadriciclos	1.638	0	0	69.142
	1.211	0	0	-
Turismos	874	44.596	61	22.247.528
	437	10.060	49	699.589
Comerciales	798	0	0	4.757.961
	262	0	0	5.831
Autobuses	4	23	40	61.127
	1	22	21	1.872
Camiones	31	0	0	221.469
	2	0	0	12.827
TOTAL	6.003	44.649	520	32.375.407
	3.259	10.090	279	720.119

*Incluye todos los combustibles y sistemas de propulsión del parque automovilístico de España.

Tabla 4. Venta y flota de vehículos eléctricos e híbridos en España en 2012 [30]⁵

A pesar de estos números tan limitados para España, los vehículos con combustibles alternativos van a tener un espacio representativo en los próximos años.

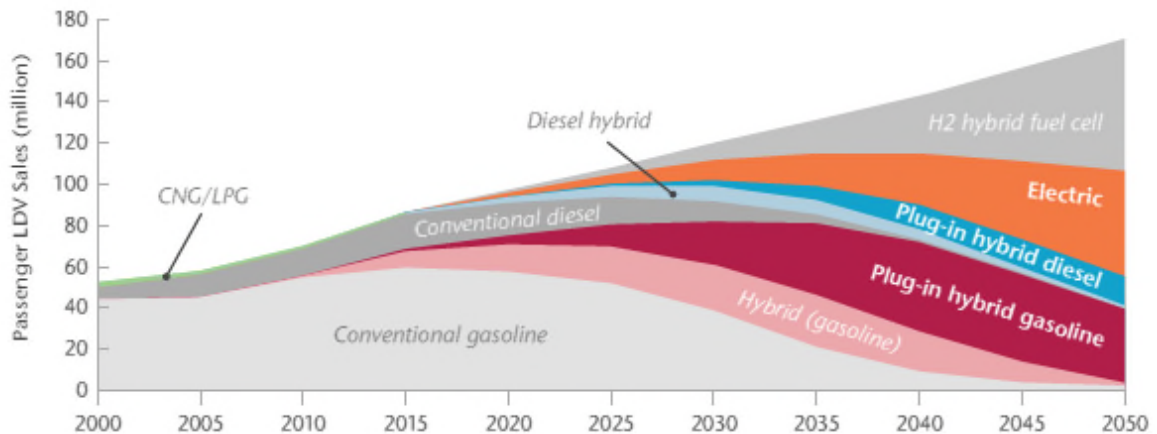


Gráfico 13. Perspectivas de venta de vehículos 2000-2050 [31]

3.5. Puntos de Recarga

La norma de referencia para las estaciones de carga de los vehículos eléctricos es la IEC/EN 61851, en la que se indican cuatro modalidades de carga (Gráfico 14):

⁵ En mayo de 2014, la IEA todavía no había publicado los datos del 2013.

- Modo 1 (CA): Conexión del VE a la red de alimentación en corriente alterna con conectores domésticos de hasta 16 A por fase (3,7 – 11 kW). Es necesario que exista en la instalación una protección diferencial 30 mA clase A.⁶
- Modo 2 (CA): Conexión del VE a la red de alimentación en corriente alterna con conectores domésticos o industriales de hasta 32 A por fase (7,4 – 22 kW). La carga se realiza a través de un cable con un dispositivo electrónico intermedio, con función de piloto de control y una protección diferencial de 30 mA de clase A.
- Modo 3 (CA): Estación de recarga exclusiva para uso exclusivo del VE, conectada a la red de alimentación en corriente alterna con conectores dedicados de hasta 64 A por fase (14,8 kW – 43 kW), que incluye una protección diferencial 30 mA clase A y un dispositivo de control, ambos en el PR.
- Modo 4 (CC): Conexión del VE a la red de alimentación en corriente alterna con cargador de baterías externo al VE, con suministro en corriente continua. Conectores dedicados de hasta 400 A (aproximadamente 50 – 150 kW).

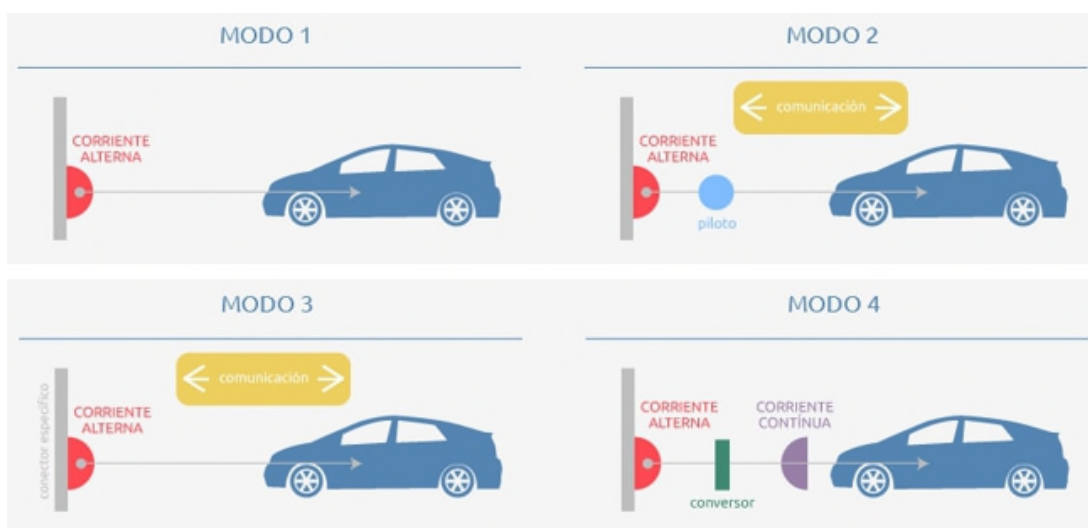


Gráfico 14. Modalidades de carga (IEC/EN 61851)

Los modos de carga (intensidades máximas) anteriormente expuestos determinan el tiempo de carga de los vehículos (Gráfico 15), y definen lo que comúnmente se denomina como:

- Carga lenta.
- Carga semi-rápida.
- Carga rápida.

⁶ En algunos países está prohibido el modo 1 por ley (EEUU).

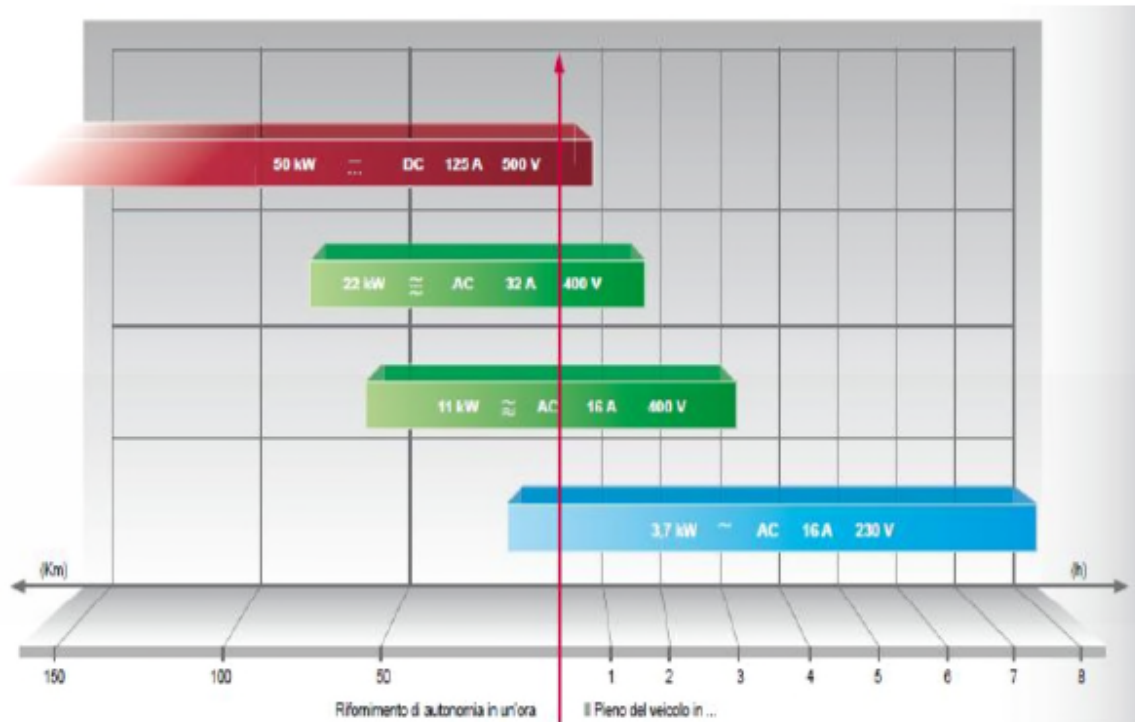


Gráfico 15. Modos de carga y autonomía

Además, según el tipo de conexión del cable, están previstos 3 casos:

- Caso A: Conexión del VE a la red de alimentación con cable y toma móvil fijados permanentemente al VE. (Ej. Renault Twizy).
- Caso B: Conexión del VE a la red de alimentación con cable desconectable dotado de conector y toma doble (Ej. Think City; es el más usado por los modelos de VE actuales).
- Caso C: Conexión del VE a la red de alimentación con cable y toma móvil fijados permanentemente en la estación.

Para dar respuesta a los conectores dedicados al modo 3, están la norma IEC-62196-1 y 2 (FDIS), dónde se prevén tres tipos de sistemas:

- Tipo 1 (SAE J1772, desarrollado en EE.UU. por la Sociedad de Ingenieros de la Automoción): Monofásico (fase, neutro y tierra), 2 contactos pilotos (para comunicación con el coche y detectar la conectividad), 32 A, 250 Vac, IPXXB, accesorios para sólo el lado vehículo. Diseñado con una forma de seguridad que impide cualquier acceso al mismo por parte de terceros.



- Tipo 2 (“mennekes” desarrollado por la empresa del mismo nombre de conectores alemanes):



Monofásico/trifásico, 2 contactos piloto, 63 A, 500 V, IPXXB; obligatorio un dispositivo de interbloqueo para evitar la desconexión bajo carga.



- Tipo 3A (sólo para vehículos ligeros). Monofásico, 1 contacto piloto, 16 A, 250 Vac, IPXXB, que es desconectable bajo carga.
- Tipo 3B (para todos los vehículos “scome”). Monofásico/trifásico, 2 contactos piloto, 63 A, 500 V, IPXXB; desconectable bajo carga hasta 32 A.

Además, de las normas anteriormente citadas, y que son de aplicación en Europa, en Estados Unidos y Japón, son de aplicación las normas SAE International, según se describen en el Gráfico 16:



SAE Charging Configurations and Ratings Terminology			
SAE International			
	AC level 1 (SAE J1772™) PEV includes on-board charger 120V, 1.4 kW @ 12 amp 120V, 1.9 kW @ 16 amp Est. charge time: PHEV: 7hrs (SOC* - 0% to full) BEV: 17hrs (SOC - 20% to full)		DC Level 1 (SAE J1772™) EVSE includes an off-board charger 200-500 V DC, up to 40 kW (80 A) Est. charge time (20 kW off-board charger): PHEV: 22 min. (SOC* - 0% to 80%) BEV: 1.2 hrs. (SOC - 20% to 100%)
	AC level 2 (SAE J1772™) PEV includes on-board charger (see below for different types) 240 V, up to 19.2 kW (80 A) Est. charge time for 3.3 kW on-board charger PEV: 3 hrs (SOC* - 0% to full) BEV: 7 hrs (SOC - 20% to full) Est. charge time for 7 kW on-board charger PEV: 1.5 hrs (SOC* - 0% to full) BEV: 3.5 hrs (SOC - 20% to full) Est. charge time for 20 kW on-board charger PEV: 22 min. (SOC* - 0% to full) BEV: 1.2 hrs (SOC - 20% to full)		DC Level 2 (SAE J1772™) EVSE includes an off-board charger 200-500 V DC, up to 100 kW (200 A) Est. charge time (45 kW off-board charger): PHEV: 10 min. (SOC - 0% to 80%) BEV: 20 min. (SOC - 20% to 80%)
Voltages are nominal configuration voltages, not coupler ratings Rated Power is at nominal configuration operating voltage and coupler rated current Ideal charge times assume 90% efficient chargers, 150W to 12V loads and no balancing of Traction Battery Pack			
Notes: 1) BEV (25 kWh usable pack size) charging always starts at 20% SOC, faster than a 1C rate (total capacity charged in one hour) will also stop at 80% SOC instead of 100% 2) PHEV can start from 0% SOC since the hybrid mode is available.			
ver. 1.003.12			

Gráfico 16. Modos de carga según la Norma SAE International

3.6. Carsharing: un nuevo modelo de movilidad

3.6.1. Historia del Carsharing en Europa

Uno de las primeras experiencias europeas con carsharing de vehículos de combustible, se puede remontar a una cooperativa, conocida como "Sefage" (Setbsffahrgemeinschaft), que inicio el servicio en Zurich (Suiza) en 1948 y funciono hasta 1998. La iniciativa surgió debido al alto precio de

un vehículo, que era más económico si se compartía entre varios usuarios, que si tenía que adquirirse por uno de ellos.

En paralelo, se trató de llevar a cabo proyectos de “aparcamiento público”, pero que lamentablemente fallaron; “Procotip” en Montpellier (Francia) en 1971, cooperativa con 35 vehículos en 17 plazas de aparcamiento disponibles y unos 300 usuarios. Disponía de sistema de identificación de usuarios para acceder a las llaves y se controlaban los kilómetros recorridos. Fracaso a los 18 meses debido, entre otros, a la poca área cubierta, la falta de usuarios y las dificultades para calcular los kilómetros recorridos.

No es hasta 1973, cuando en Amsterdam (Holanda) y utilizando vehículos eléctricos, comienza “Witkar”. Sin embargo, no tuvo éxito debido a un número insuficiente de vehículos y de usuarios, así como a las deficiencias de la tecnología. [32]

Posteriormente, y en Gran Bretaña surgió “cars Green” que se desarrolló entre 1977 y 1984, y que contaba con 17 proyectos piloto que fallaron a los pocos meses debido a que los vehículos no estaban disponibles dónde y cuando era necesario.

A partir de entonces se han desarrollado una serie de proyectos en Europa con éxito y a gran escala, pero con vehículos de combustión térmica: [33]

- En 1987, Zurich y Lucerna, iniciativas de ciudadanos sensibles con el ahorro energético y temas ecológicos.
- En 2008, se fundó en Berlín, Stattauto, la primera empresa alemana de carsharing.
- Años 90, Austria y los Países Bajos, aunque a menor escala. Años después se extendió a otros 13 países europeos, incluyendo Gran Bretaña, Escandinavia, Italia, Bélgica, Francia y España.
- En 1991, nació European Car Sharing (ECS) que en 2001, contaba con 40 socios.
- En 1998, la asociación alemana de carsharing (BOA- Bundesverband für organisierte Autoteile), se fusionó con ECS para formar: BCS (Bundesverband Car Sharing), que se extendía por 250 ciudades del país y contaba con más de 70 operadores participantes. Actualmente ECS ha desaparecido y se ha integrado en la asociación internacional de transporte público (International Association of Public Transport).
- En el año 2000, en Gran Bretaña, nace Car Plus, para fomentar, coordinar e integrar a nivel nacional los diferentes carsharing ingleses, y sin ánimo de lucro.

En América del Norte y Canadá (años 80) también se han desarrollado estas experiencias, teniendo un desarrollo muy rápido desde 1998, con altas tasas de crecimiento anual, en clientes, vehículos y un número de organizaciones que ofrecen los servicios. A finales de 2005 existían carsharing en 60 ciudades de Estados Unidos, y casi 100.000 usuarios.

En la actualidad, Suiza y Alemania, seguidas por los Países Bajos y Austria, cuentan con los carsharing más avanzados del mundo. Canadá y estados Unidos, tienen empresas que compiten a nivel internacional, por su alto grado de desarrollo.

Ejemplos de estas organizaciones líderes e internacionales son:

- Zipcar en los EE.UU., Canadá y Londres,
- Greenwheels en Holanda y Alemania,
- Cambio en Alemania y
- Bégican o CityCarClub en Suecia y Finlandia.

3.6.2.¿Qué es y cómo funciona el carsharing?

El carsharing se define como un modelo de uso compartido de un vehículo de una flota gestionada por una empresa, por parte de distintas personas, y cuyas tarifas se basan en las horas de uso y kilómetros recorridos.

El carsharing nace para satisfacer las necesidades de movilidad con carácter ocasional o con poca frecuencia, con una duración de préstamos de entre 2 y 8 horas y una distancia recorrida de entre 20 y 100 kilómetros, resultando más económico que un vehículo privado si se recorren menos de 15.000 kilómetros al año. De media, el coste por kilómetro en carsharing está en torno a los 0.40€, frente a los 0.60€ de un coche en propiedad y 0.86€ de los vehículos de alquiler de larga duración.

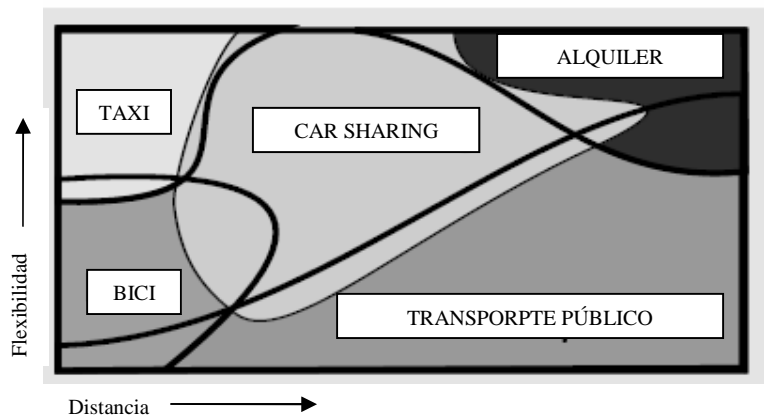


Gráfico 17. Posición del Carsharing respecto a los de medios de transporte público

Ya se han realizado experiencias reales de carsharing con vehículos de combustión térmica, que han demostrado sus ventajas. Algunas de ellas son:

Quebec [Tecsult/Communauto 2007]:

- “Cada vehículo de carsharing sustituye a 8 vehículos”
- “Disminución de los kilómetros en coche de 2900 km por año por persona”

- “Reducción de emisiones de CO₂ de 60% por cliente por año”

Suiza [Bundesamt für Energie, 2006]:

- “Reducción de 2.100 MJ y 290 kg CO₂ por cliente activo por año”
- “Reducción potencial de 140 TJ y 19.000 kg CO₂ ”

EE.UU. [Federal Transit Agency/National Academies 2005]

- “Carsharing es el elemento que faltaba en la oferta de alternativas al coche privado”
- “Cada coche de carsharing sustituye a al menos 5 coches privados”

3.6.3.Arquitectura general de funcionamiento

Los vehículos eléctricos usados en estos servicios disponen de un sistema embarcado que permitirá obtener todo tipo de información acerca del uso del vehículo, así como una localización permanente y estado del vehículo en todo momento y en tiempo real (estado de capacidad de la batería, SOC%). Además, es necesario un centro de control, que optimiza el uso mediante un sistema de gestión de reservas de los vehículos. El usuario debe indicar el número de kilómetros que tiene previsto recorrer, de forma que el sistema realiza una distribución de vehículos entre los usuarios asignando a cada usuario el vehículo que mejor se adecúa al uso previsto, considerando el parámetro de la carga de la batería.

Los pasos a realizar son los siguientes:

- Reserva. Se realiza a través de una página web o llamada telefónica, en el que el usuario se identifica con su usuario y contraseña. El conductor debe seleccionar fecha, horario de utilización, kilómetros del recorrido a realizar y base dónde va a recoger el coche. Una vez realizada, y si existe disponibilidad, la reserva queda realizada confirmándose mediante un correo electrónico. Para todas estas operaciones, no es necesaria la intervención de un gestor de flotas.
- Apertura y arranque. El día del servicio, y unos minutos antes de la reserva realizada, el usuario recibirá un aviso por correo o vía sms, indicándole que vehículo puede recoger. El usuario sólo tiene que pasar su tarjeta RFID por el lector que se encuentra en el vehículo, y éste se abrirá. Para poner en marcha el vehículo, se puede emplear la llave convencional que se encuentra en su interior, o en modelos más avanzados, introducir los datos en la pantalla de control del coche, y presionar el botón de arranque. Durante todo el tiempo de uso, el usuario podrá realizar tantos desplazamientos como necesite, siempre que la capacidad y autonomía de la batería se lo permitan e incluso podrá aumentar su autonomía, si durante su uso, recarga el vehículo.

- Devolución del vehículo. Una vez finalizado el servicio, el usuario tiene que volver a depositar el vehículo en la *misma base dónde lo recibió*, debidamente cerrado y enchufado al punto de recarga correspondiente para que la batería se recargue. El equipo embarcado detecta la carga de la batería, y en el caso de que está aumente y además coincida con las coordenadas GPS de la base dónde se recogió, se asocia que ha finalizado el servicio. Por medio de un correo o vía sms, se le comunicará que el vehículo se ha devuelto correctamente, quedando preparado para que pueda ser utilizado por otro empleado. (El objetivo de devolverlo en el mismo punto dónde se recoge, es no incentivar el uso, por ejemplo, para ir a trabajar, sino para desplazamientos puntuales).

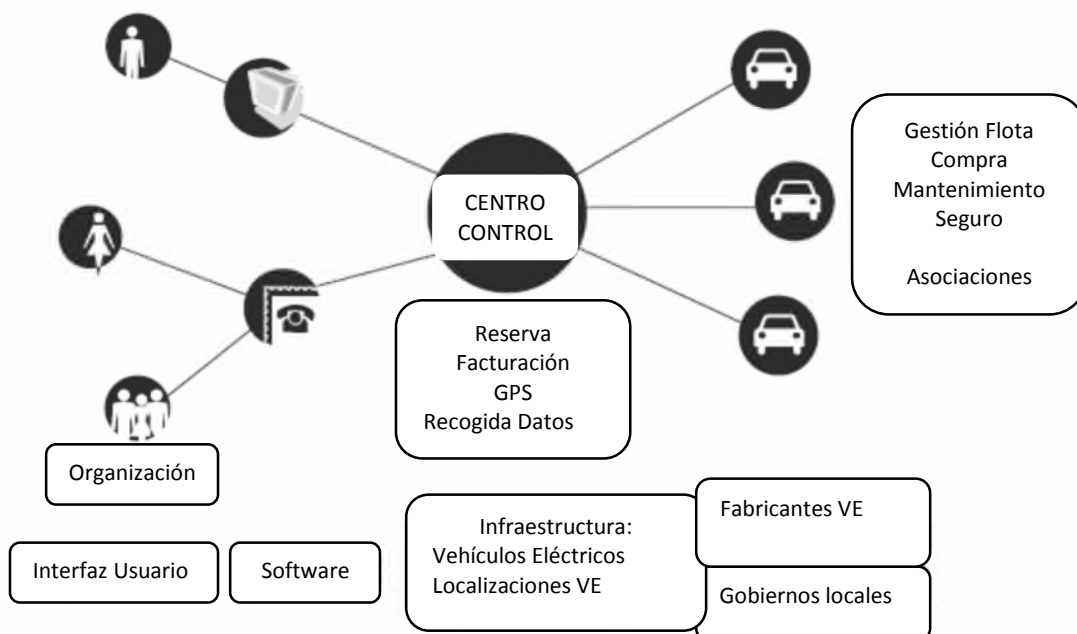


Gráfico 18. Elementos de la organización de un carsharing

3.6.4. Experiencias de carsharing eléctrico en la actualidad en Europa

3.6.4.1. La Rochelle: Liselec/Yelomobile

Este carsharing eléctrico comenzó su andadura el 22 de septiembre de 1999, con 50 vehículos eléctricos (25 Citroën Saxo y 25 Peugeot 106 de baterías de Ni-Cd) y 6 puntos de recarga. Al año de empezar, la iniciativa contaba con más de 250 clientes, que habían recorrido unos 100.000 km (15.000 viajes), con viajes medios de 8 km y 10 minutos de duración media y 38 minutos de tiempos medios de uso del VE.

Actualmente, lo gestiona una empresa privada, Yelomobile, que cuenta con 44 Vehículos eléctricos (Citroën C-Zero y Mia) distribuidos en 13 estaciones de recarga. [34]

3.6.4.2. Paris: Autolib

En diciembre de 2011 se inauguró un carsharing en Paris y su zona metropolitana, que contaba en junio de 2012 [35] con una flota de 1740 vehículos Bluecars y 5.000 puntos de recarga. Prevén un crecimiento para alcanzar los 3.300 vehículos y 6.600 puntos de recarga. Suele recibir unas 10.000 reservas diarias y desde que comenzó se han recorrido más de 26 millones de km.

La empresa Bolloré va a ser la responsable de la instalación y operación del sistema. Las marcas Pininfarina y Bolloré se han unido para desarrollar el nuevo coche eléctrico. El Bluecar incluye una batería de 300 kilogramos, de la variedad Litio-Metal-Polímero. Con este sistema, el nuevo coche eléctrico alcanza una autonomía de 250 kilómetros. El rodado tendrá una longitud de 3,65 metros, y contará con sonido artificial para evitar accidentes con los peatones, teniendo en cuenta el carácter silencioso de estos vehículos. Se trata de un rodado pensado para la ciudad, y puede desarrollar una velocidad máxima de 130 kilómetros por hora. Pininfarina fue la encargada del diseño del nuevo coche eléctrico, mientras que el sistema de propulsión y mecánica ha sido desarrollado por Bolloré. Esto incluye un supercondensador para recuperar energía en las frenadas. Esa energía que recupera el Bluecar en las frenadas se devuelve en forma automática hacia las aceleraciones posteriores, un detalle que disminuye el trabajo que debe realizar la batería.

3.6.4.3. Londres: Autolib

El consorcio de transporte de Londres (Tfl) ha anunciado en marzo de 2014 que pondrá en marcha un proyecto de carsharing eléctrico durante el año 2014, gestionado por la misma empresa francesa Bluecar, que ya gestiona el proyecto de Paris, y con un coste de 100 millones de libras (119 millones de euros).

3.6.5. Experiencias de carsharing eléctrico en la actualidad en España

Actualmente en España ya se pueden encontrar algunos proyectos de carsharing con fines comerciales, que cuentan con vehículos eléctricos en su flota, tanto para particulares [36] como para empresas. A continuación, se citan algunos ejemplos en las principales ciudades de España (buscando las zonas que coincidan con las que van a estudiar en esta tesis):

3.6.5.1. Valencia

E:Sharing [37]: Proyecto financiado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio que se presentó en enero de 2010. Desarrollado en varias fases, cuenta con una flota exclusiva eléctrica de 8 Vehículos Think City (6 a disposición de los clientes y 2 en reserva) y 2 bases en Sagunto (Valencia) con capacidad de estacionamiento y recarga eléctrica de 6 VE (cada una de ellas está dotada con Puntos de Recarga). Ofrecen los servicios tanto a particulares como empresas. También dispone de híbridos, pero al ser modelos de vehículos Sus tarifas son las que aparecen en la Tabla 5:

Empresas								
Cuota mensual	15€ (primera tarjeta de cliente) 2€ por tarjeta asociado al contrato (hasta 5 tarjetas)							
Tarifa de Uso	Vehículo Eléctrico				Vehículo híbrido			
	Tarifa horaria		Tarifa por km		Tarifa horaria		Tarifa por km	
	15 min	Día	Por km	Desde km 21	Hora	Día	Por km	Desde km 21
	0,65 €	45,00 €(1)	Gratis	0,25 €/km	0,55 €	45,00 €(2)	0,15 €/km	0,15 €/km
Notas	(1) En el caso de coches eléctricos, superadas las 8 horas de reserva y/o el importe de tarifa superior a 45€, se facturará la tarifa diaria de 45€ que incluye kilómetros ilimitados durante 24 h desde la recogida del coche. (2) En el caso de coches híbridos, superadas las 8 horas de reserva y/o el importe de tarifa superior a 45€, se facturará la tarifa diaria de 45€ que incluye 100 kilómetros durante 24 h desde la recogida del coche. El exceso de kilómetros se facturarán en función del tipo de contrato							
Particular								
Cuota Mensual	5€ (primera tarjeta de cliente) 1€ por tarjeta asociado al contrato (hasta 5 tarjetas)							
Tarifa de Uso	Vehículo Eléctrico				Vehículo híbrido			
	Tarifa horaria		Tarifa por km		Tarifa horaria		Tarifa por km	
	15 min	Día	Por km	Desde km 21	Hora	Día	Por km	Desde km 21
	1,25 €	45,00 € (1)	Gratis	0,40 €/km	1,10 €	45,00 €(2)	0,25 €/km	0,25 €/km
Notas	(1) En el caso de coches eléctricos, superadas las 8 horas de reserva y/o el importe de tarifa superior a 45€, se facturará la tarifa diaria de 45€ que incluye kilómetros ilimitados durante 24 h desde la recogida del coche. (2) En el caso de coches híbridos, superadas las 8 horas de reserva y/o el importe de tarifa superior a 45€, se facturará la tarifa diaria de 45€ que incluye 100 kilómetros durante 24 h desde la recogida del coche.							

Tabla 5. Taifas del E:Sharing (Carsharing en Valencia)

Aunque proporcionan tarifas para vehículos híbridos, en su propia web se indica que estos vehículos se ofrecerán en breve, pero no están disponibles todavía.

3.6.5.2. Sevilla

Cochele: Servicio que nació en 2010, localizado en Sevilla y que también contaba sólo con vehículos eléctricos, concretamente 10 de los modelos de Think City y Peugeot Ion. Desde 2013, está integrada en Bluemove, que es una empresa de carsharing ubicada en Madrid, que ofrece tanto vehículos térmicos como eléctricos. En esta nueva etapa los VE disponibles en Sevilla se han reducido a los Peugeot Ion, y se pueden encontrar en 4 de sus 7 bases disponibles en la ciudad.

3.6.5.3. Madrid

Bluemove [38]: Carsharing que cuenta con 32 bases distribuidas en Madrid dentro del cinturón de la m-30, de las cuales sólo 5 ofrecen vehículos eléctricos (4 Peugeot Ion y 1 Think City). Existen tarifas diferenciadas para particulares como empresas. A continuación, en la Tabla 6 sólo se muestran las tarifas para los vehículos eléctricos y la categoría de vehículo de combustión más comparable con el vehículo eléctrico (Economy Cool que ofrece Toyota Yaris/Opel Corsa).

Tarifa de Uso	Vehículos combustión ICE				Vehículos Eléctricos				Cuota Socio
	Tarifa horaria		Tarifa por km		Tarifa horaria		Tarifa por km		
	Hora	Día	Primeros 100 km	Desde km 100	Hora	Día	Primeros 100 km	Desde km 100	
Empresas (1)	1,65 €	20,66 €	0,21 €/km	0,13 €/km	3,72 €	37,19 €	Gratis	Gratis	1 año gratis (2)
Particular Blue Bienvenida	2,50 €	30,00 €	0,25 €/km	0,16 €/km	4,00 €	45,00 €	Gratis	Gratis	Sin cuota anual
Particular Blue 3	2,90 €	34,00 €	0,25 €/km	0,16 €/km	4,00 €	45,00 €	Gratis	Gratis	3 €/mes
Particular Blue 9	2,50 €	30,00 €	0,25 €/km	0,16 €/km	4,00 €	45,00 €	Gratis	Gratis	9 €/mes
Particular Blue 18	2,10 €	25,00 €	0,25 €/km	0,16 €/km	4,00 €	45,00 €	Gratis	Gratis	18 €/mes
Particular Blue Zero	4,00 €	40,00 €	0,20€/km	0,16 €/km	4,50 €	45,00 €	Gratis	Gratis	19 €/mes
Notas	(1) Soluciones a medida. Como complemento, a los empleados se les ofrece el servicio con los precios indicados. (2) Gratuita (alta y costes fijos 0 € durante los 12 primeros meses. Acabado el plazo se pasa automáticamente a la tarifa Blue Zero o la escogida por el cliente).								

Tabla 6. Tarifas de Bluemove (Carsharing en Madrid)

Respiro [39]: Carsharing que cuenta con 51 bases distribuidas en Madrid dentro del cinturón de la m-30, de las cuales sólo 1 ofrece vehículos eléctricos (Nissan Leaf, y no se especifica número). Las tarifas no distinguen entre particulares o empresas, aunque se da la opción de asociar a varios conductores bajo la misma cuenta de una empresa y con bonos descuento en función del uso. El vehículo eléctrico disponible convive en la categoría Flex, junto con otros modelos de combustión, y sus tarifas son las que se indican en la Tabla 7:

Tarifas de uso	Tarifa horaria		Tarifa por km		Tarifa horaria		Cuota socio
	Hora	Día	0 a 20 km	21 a 50 km	51 a 120 km	>121 km	
Start	4,65 €	46,50 €	Gratis	0,26 €/km	0,16 €/km	0,13 €/km	1 año gratis 35 €/semestre
Basic	3,50 €	39,00 €	0,25 €/km	0,25 €/km	0,25 €/km	0,20 €/km	1 año gratis 9 €/semestre
Plus (Autónomos)	4,15 €	41,00 €	Gratis	0,23 €/km	0,16 €/km	0,13 €/km	12 €/mes
Uni (estudiantes)	4,15 €	44,10 €	Gratis	0,26 €/km	0,16 €/km	0,13 €/km	1 año gratis 25 €/semestre

Tabla 7. Tarifas de Respiro (Carsharing en Madrid)

3.6.5.4. Barcelona

Avancar [40]: Barcelona cuenta desde 2004 con un servicio de carsharing, que es una filial de una de las grandes compañías mundiales que ofrecen estos servicios, ZIPcar. Sin embargo, no cuenta con

vehículos eléctricos disponibles; tiene híbridos, pero al no ser enchufables, no se consideran en este apartado.

3.6.5.5. Valladolid

Aunque el Ayuntamiento de Valladolid es uno de los más dinámicos y activos en fomentar medidas para la implantación de la movilidad eléctrica, actualmente esta ciudad no dispone todavía de ningún car sharing.

3.6.5.6. Bilbao y San Sebastián

Ibilek [41]: Es un servicio de carsharing que presta IBIL, uno de los 10 gestores de carga homologados por el Ministerio de Medio Ambiente y que pueden realizar la reventa de energía para los vehículos. IBIL está participada al 50% entre el Ente Vasco de la Energía (EVE) y REPSOL. Cuenta con 4 estacionamientos en Bilbao, 1 en Barakaldo y 3 en San Sebastián con sus respectivos puntos de recarga para los vehículos. Dispone de modelos eléctricos puros (Peugeot ION) e híbridos enchufables (BYD F3DM).

3.6.6. Experiencias de Carsharing Eléctricos Corporativos en España

Un carsharing eléctrico corporativo consiste en que los empleados de una empresa puedan tener una flota de vehículos eléctricos disponibles en su parking para realizar sus gestiones laborales. Esto supone que un mismo vehículo puede ser empleado por varios usuarios a lo largo de un día, debido al sistema de reservas vía web con el que cuentan y la tarjeta RFID de acceso al vehículo de la que disponen. Tiene la ventaja de que para una empresa supone un gasto fijo que simplifica y economiza la gestión administrativa de los desplazamientos (integra transporte público y privado), e incluye todos los gastos asociados al uso del vehículo (seguro, mantenimiento, limpieza, asistencia 24h, depreciaciones del vehículo e incluso la energía y el aparcamiento, debido a que en muchas ciudades están exentos de pagar en los estacionamientos regulados).

Como ejemplos más destacables, encontramos:

- **IBERDROLA.** Fue la primera empresa española en lanzar un servicio de coche eléctrico compartido en junio de 2011, por la cual los empleados de la compañía podían disponer de 8 vehículos Think City para llevar a cabo gestiones comerciales en Madrid, Bilbao, Sevilla, Valencia, Valladolid y Barcelona.
- **REPSOL.** Puesto en funcionamiento en diciembre de 2013, permite a sus empleados desplazarse entre sus tres centros de trabajo de Madrid (Campus Repsol de Madrid, y centros de Móstoles y Tres Cantos). Cada ubicación cuenta con 2 Peugeot Ion, contando con 6 en total.

3.7. Normativa técnica sobre movilidad eléctrica

A continuación se muestra una relación de la normativa de mayor interés relacionada con la movilidad eléctrica y otros aspectos asociados (instalaciones eléctricas, movilidad y tráfico, impuestos, etc.).

- UNE-EN 61982-3:2002: Acumuladores para la propulsión de vehículos de carretera eléctricos. Parte 3: Ensayos de rendimiento y duración (vehículos de uso urbano compatibles con la circulación). CTN: AEN/CTN 203/SC 21. “Acumuladores (baterías y elementos secundarios)”. Vigente desde 30/09/2002.
- UNE-EN 61982-3:2002: Acumuladores para la propulsión de vehículos de carretera eléctricos Parte 3: Ensayos de rendimiento y duración (vehículos de uso urbano compatibles con la circulación). CTN: AEN/CTN 203/SC 21. “Acumuladores (baterías y elementos secundarios)”. Vigente desde 04/12/2002.
- UNE-EN 62196-1:2004: Bases, clavijas, acopladores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 1: Carga de vehículos eléctricos hasta 250 A en corriente alterna y 400 A en corriente continua. CTN: AEN/CTN 201/SC 23H. “Clavijas y bases para usos industriales”. Vigente desde 11/06/2004.
- UNE-EN 62196-1:2004 Erratum: Bases, clavijas, acopladores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 1: Carga de vehículos eléctricos hasta 250 A en corriente alterna y 400 A en corriente continua. CTN: AEN/CTN 201/SC 23H. “Clavijas y bases para usos industriales”. Vigente desde 30/07/2004.
- UNE-EN 50374:2005: Carros de salida a conductores. CTN: AEN/CTN 204. “Seguridad eléctrica”. Vigente desde 11/05/2005.
- UNE-EN 15194:2009: Ciclos. Ciclos con asistencia eléctrica. Bicicletas EPAC. CTN: AEN/CTN 121. “Ciclos”. Vigente desde 25/11/2009.
- EN 62576:2010: Electric double-layer capacitors for use in hybrid electric vehicles - Test methods for electrical characteristics CTN: AEN/CTN 203/SC 69. “Vehículos eléctricos destinados a circular por la vía pública y camiones eléctricos industriales”. Vigente desde 01/02/2011.
- IEC 62660-1:2010: Elementos secundarios de ión-litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera. Parte 1: Ensayo de funcionamiento. CTN: AEN/CTN 203/SC 21. “Acumuladores (baterías y elementos secundarios)”. Vigente desde 01/02/2011.
- IEC 62660-2:2010: Elementos secundarios de ión-litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera. Parte 2: Ensayo de fiabilidad y de mal uso. CTN: AEN/CTN 203/SC 21. “Acumuladores (baterías y elementos secundarios)”. Vigente desde 04/01/2012.
- UNE-CR 1955:1997: Propuestas para el frenado de los vehículos eléctricos. CTN: AEN/CTN 26. “Vehículos de carretera”. Vigente desde 19/09/1997.

- UNE-EN 61851-1:2002: Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 1: Requisitos generales. CTN: AEN/CTN 203/SC 69. “Vehículos eléctricos destinados a circular por la vía pública y camiones eléctricos industriales”. Vigente desde 20/12/2002.
- UNE-EN 61851-21:2002: Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 21: Requisitos del vehículo eléctrico para conexión conductora a red en CA/CC. CTN: AEN/CTN 203/SC 69. “Vehículos eléctricos destinados a circular por la vía pública y camiones eléctricos industriales”. Vigente desde 06/02/2003.
- CEI 61851-21:2001: Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 21: Requisitos del vehículo eléctrico para conexión conductora a red en CA/CC CTN: AEN/CTN 203/SC 69. “Vehículos eléctricos destinados a circular por la vía pública y camiones eléctricos industriales”. Vigente desde 20/12/2002.
- UNE-EN 61851-22:2002: Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 22: Estación de carga en CA para vehículos eléctricos. CTN: AEN/CTN 203/SC 69. “Vehículos eléctricos destinados a circular por la vía pública y camiones eléctricos industriales”. Vigente desde 20/12/2002.
- CEI 61851-22:2001: Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 22: Estación de carga en CA para vehículos eléctricos. CTN: AEN/CTN 203/SC 69. “Vehículos eléctricos destinados a circular por la vía pública y camiones eléctricos industriales”. Vigente desde 06/02/2003.
- UNE-EN 13444-1:2002: Vehículos de carretera propulsados eléctricamente. Medición de las emisiones de vehículos híbridos. Parte 1: Vehículos híbridos eléctrico-térmicos. CTN: AEN/CTN 26. “Vehículos de carretera”. Vigente desde 28/02/2002. UNE-EN 1986-1:1998: Vehículos de carretera propulsados eléctricamente. Medición de los rendimientos energéticos. Parte 1: Vehículos eléctricos puros. CTN: AEN/CTN 26. “Vehículos de carretera”. Vigente desde 11/03/1998.
- UNE-EN 1986-2:2002: Vehículos de carretera propulsados eléctricamente. Medición de los rendimientos energéticos. Parte 2: Vehículos híbridos eléctrico-térmicos. CTN: AEN/CTN 26. “Vehículos de carretera”. Vigente desde 28/02/2002.
- UNE-EN 1821-1:1997: Vehículos de carretera propulsados eléctricamente. Medición del funcionamiento en carretera. Parte 1: Vehículos totalmente eléctricos. CTN: AEN/CTN 26. “Vehículos de carretera”. Vigente desde 24/04/1997.
- UNE-EN 1821-2:1999: Vehículos de carretera propulsados eléctricamente. Medición del funcionamiento en carretera. Parte 2: Vehículos híbridos eléctricos térmicos. CTN: AEN/CTN 26. – “Vehículos de carretera”. Vigente desde 18/11/1999.

- UNE-EN 1987-1:1997: Vehículos de carretera propulsados eléctricamente. Requisitos específicos de seguridad. Parte 1: Almacenamiento de energía en el propio vehículo. CTN: AEN/CTN 26. “Vehículos de carretera”. Vigente desde 30/10/1997.
- UNE-EN 1987-2:1997: Vehículos de carretera propulsados eléctricamente. Requisitos específicos de seguridad. Parte 2: Medidas de seguridad funcional y protección contra los fallos. CTN: AEN/CTN 26. “Vehículos de carretera”. Vigente desde 21/10/1997.
- UNE-EN 1987-3:1998: Vehículos de carretera propulsados eléctricamente. Requisitos específicos de seguridad. Parte 3: Protección de los usuarios contra los peligros eléctricos. CTN: AEN/CTN 26. “Vehículos de carretera”. Vigente desde 02/10/1998.
- UNE-EN 13447:2002: Vehículos de carretera propulsados eléctricamente. Terminología. CTN: AEN/CTN 26. “Vehículos de carretera”. Vigente desde 26/03/2002.
- UNE-EN 12736:2002: Vehículos eléctricos de carretera. Emisión de ruido aéreo del vehículo durante la carga con cargadores a bordo. Determinación del nivel de potencia acústica. CTN: AEN/CTN 26. “Vehículos de carretera”. Vigente desde 29/07/2002.

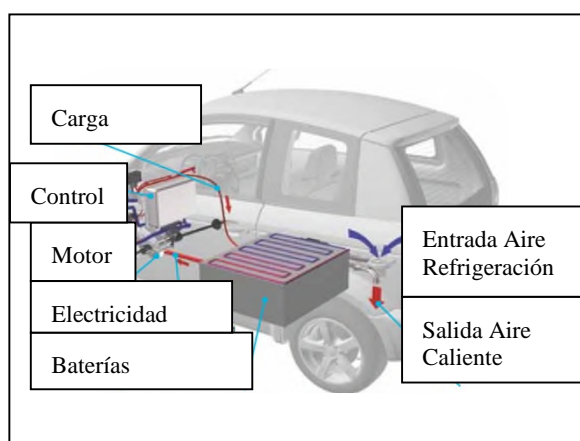
4. Análisis de los Datos de las Baterías

El objetivo que perseguimos en este capítulo es comprobar si el vehículo eléctrico puede sustituir a un vehículo de combustión térmica de similares características, y ver sus ventajas e inconvenientes (técnicos, económicos y medioambientales), para flotas comerciales con desplazamientos urbanos y de extra-radio, con una autonomía aproximada de 120 km, sin “repostaje”, analizando primero el comportamiento de la batería (consumos, envejecimientos, autodescargas). En el capítulo posterior lo compararemos con el vehículo de combustión, estudiando su ciclo de vida, y su impacto medioambiental (emisiones de CO₂ y ruido), cuantificando su ahorro económico (combustibles, mantenimiento) y otras posibles ventajas asociada al VE (responsabilidad social corporativa, exención de impuestos, etc).

4.1. Origen de los datos de los vehículos

El estudio está basado en los datos obtenidos del can bus de 8 vehículos eléctricos localizados en distintas ciudades españolas (2 VE en Bilbao y Madrid, y 1 VE en Barcelona, Valencia, Valladolid y Sevilla) mediante el UCV (equipo embarcado) durante los años 2012 y 2013. Los registros de los datos se han realizado para cada usuario registrado (asociado a una tarjeta RFID, cómo se describía en el apartado 3.6.3 Arquitectura del Carsharing) y por vehículo. Los registros se realiza cada 1,6 minutos de forma mensual: 192 registros, 24 de cada vehículo; de forma que cada registro es una matriz de 40.000 x 22, alcanzando aproximadamente los 170 millones de datos. Para obtener la información del estudio se han analizado 22 variables, entre las que se pueden destacar:

- Indicadores: Para vehículos y usuarios.
- Temporales: Fecha y hora en la que se van obteniendo los datos y sus registros.



- Actuadores: Encendido (Motor en marcha (1) y Apagado (0)), apertura puertas, inmovilización del contacto.

- Batería cargando: El nivel de la batería alcanza los 99,90-100%.

- Batería nivel (SOC %): La UCV transmite el valor real de la carga de la batería cuando el coche está encendido (motor en marcha 1) o enchufado. Cuando no está ni encendido ni enchufado, se transmite el último valor válido.

Gráfico 19. Baterías en el Think City

- Batería temperatura: Temperatura exterior en las inmediaciones de la batería. (Debido a la situación del sensor, y a que la batería funciona a altas temperaturas (hasta 350°C), es necesaria una ventilación, y esta salida de aire caliente ha falseado algún dato de las temperaturas recogidas.)
- Gps long: Longitud gps.
- Gps lat: Latitud gps.
- Gps vel: Es la velocidad del GPS expresada en km/h.
- Gps sat: Número de satélites localizados por el GPS en cada momento.
- Km: Es un valor acumulado de los km realizados por el vehículo desde que se ha encendido hasta que se apaga en ese momento del tiempo.

Debido a las características de los equipos embarcados, no se ha podido disponer de información sobre la calefacción/refrigeración del vehículo. Lo mismo ha sucedido con las luces, instrumentos, radio/CD, etc., que se alimentan a través de la batería convencional del vehículo de 12 V (que es igual a la que se puede encontrar en los vehículos de combustión), y que se carga a través de las baterías ZEBRA, lo mismo que los sistemas de control del motor que también reciben su energía.

A partir de las pautas de funcionamiento del servicio de carsharing se han tratado los datos, buscando las matrices de estudio necesarias, para poder cuantificar las ventajas/desventajas de la flota de vehículos eléctricos.

4.2. Matriz de desplazamiento (2012-2013)

En ella se recogen, una vez tratados los datos de los data logger de los vehículos, los desplazamientos realizados por cada uno de los usuarios de los vehículos eléctricos durante 2012 y 2013, habiéndose agrupado por los siguientes criterios:

- Desplazamiento: Un usuario asociado a su número de tarjeta RFID, coge un coche de la base y lo devuelve después de su uso, en la misma base. En un desplazamiento, lo habitual es que existan varios recorridos (al menos dos, ida y vuelta a la base).
- Recorrido: Cada vez que el usuario apaga y enciende el motor para realizar un trayecto hasta su destino. Se recogen los datos por vehículo y usuario del tiempo empleado, tipo de recorrido realizado, temperatura, velocidades y autodescargas.

Las matrices anuales obtenidas tienen el formato que se puede ver en la Tabla 8:

MATRIZ DESPLAZAMIENTO							
Desplazamiento	Recorrido	Zona	Fecha	Matrícula*	Usuario*	Mes	Ciudad
2	1	Urbana	03/04/2012	BA		Abril	Barcelona
1	3	Interurbana	06/08/2012	VD		Agosto	Valladolid
7	1	Urbana Lenta	16/08/2012	M2		Agosto	Madrid2
Temp.i (°C)	Temp.f (°C)	Δ Temp. (°C)	Fila.i	Fila.f	Distancia (km)	SOCi (%)	SOCf (%)
21	18,5	-2,5	2050	2055	2	99,9	98,2
0	18,5	18,5	4721	4724	1	81	79,6
0	0	0	22265	22275	13	99,9	88,2
ΔSOC (%)	Tiempo.i	Tiempo.f	Tiempo (min)	Auto-Descarga (%)	Tiempo Auto-Descarga (min)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad media (km/h)
1,7	15:42:00	15:50:00	8	0,0	0,0	35,3	1,7
1,4	11:06:00	11:11:00	5	0,10	11,00	52,7	1,4
11,7	12:21:00	12:31:00	10	0,00	0,00	111,1	11,7

* Estos valores se omiten debido a la protección de datos y confidencialidad.

Tabla 8.Extracto de datos de la matriz de desplazamiento

Se han calculado las velocidades medias y máximas alcanzadas y se han clasificado los trayectos en función de las velocidades máximas que se pueden encontrar en las ciudades españolas, cómo se resume en la columna Ciudad de la Tabla 8:

- Urbano lento: Velocidad máxima ≤ 30 km/h
- Urbano: $30 \text{ km/h} < \text{Velocidad máxima} \leq 50$ km/h
- Interurbano: $50 \text{ km/h} < \text{Velocidad máxima} \leq 90$ km/h
- Extra-urbano: Velocidad máxima > 90 km/h

Esto nos va a poder permitir comparar consumos eléctricos con consumos de carburante, ya que, para los vehículos de combustión, los fabricantes estiman los consumos en función de los ciclos de conducción NEDC (urbano, extra-urbano y mixto).

En cuanto a los datos proporcionados por la batería, se ha calculado la descarga en función de los km realizados así como su auto-descarga en el tiempo, que se produce cuando el vehículo se encuentra con el motor apagado y sin recibir energía para la carga de la batería. El objetivo es estudiar los consumos, el comportamiento de la batería y su envejecimiento, si lo hubiese.

4.3. Matriz de carga (2012-2013)

Se han construido para estudiar los procesos de carga de las baterías de cada uno de los vehículos durante el año 2012 y 2013, incluyéndose el estado inicial y final de carga de la batería que se definen

desde el momento que la batería se conecta a la red hasta que es desconectada, el tiempo invertido y las temperaturas a las que ocurre el proceso.

La matriz de carga presenta el formato que se puede ver en la Tabla 9:

MATRIZ CARGA							
Fecha.i	Fecha.f	Mes	Matrícula	Ciudad	Fila.i	Fila.f	Hora.i
21/02/2013	21/02/2013	febrero	VA	Valencia	16156	16378	13:15:36
03/04/2013	03/04/2013	abril	SE	Sevilla	2240	2305	15:01:27
26/11/2013	26/11/2013	noviembre	M2	Madrid2	36725	36885	12:52:46
Hora.f	Tiempo	SOC.i	SOC.f	Carga.SOC	Temp.i	Temp.f	Dif.Temp.
16:57:01	222	75,5	99,9	24,4	23	24	1
16:48:24	107	86,4	99,9	13,5	16	21,5	5,5
15:32:48	160	75,4	99,9	24,5	0	0	0

Tabla 9.Extracto de datos de la matriz de carga

Está matriz, junto con los datos obtenidos de carga de la batería (que desarrollaremos en los apartados posteriores), nos va a permitir obtener la energía consumida por la carga de los VE en cada hora del año, y construir la matriz de carga horaria en base anual y la matriz de carga por tramos de energía anual. Finalmente, a partir del indicador de emisiones de CO₂ por unidad de tecnología eléctrica asociada, obtendremos la matriz de emisiones para cada carga asociada al mix eléctrico (2012-2013).

4.4. Curva de carga real de la baterías

Para conocer el comportamiento de carga de las baterías, y dado que los fabricantes no facilitan dicha curva, se ha procedido a estudiar el proceso de carga mediante un equipo de medida Fluke (multímetro digital) para los dos vehículos de Madrid, vehículos que son los que más km han realizado, y como consecuencia han sido los más recargados del conjunto de la flota. El equipo ha recogido la intensidad (A) y tensión de la red (V), mínima, media y máxima usada en la recarga en intervalos de 256 segundos durante 17 horas.

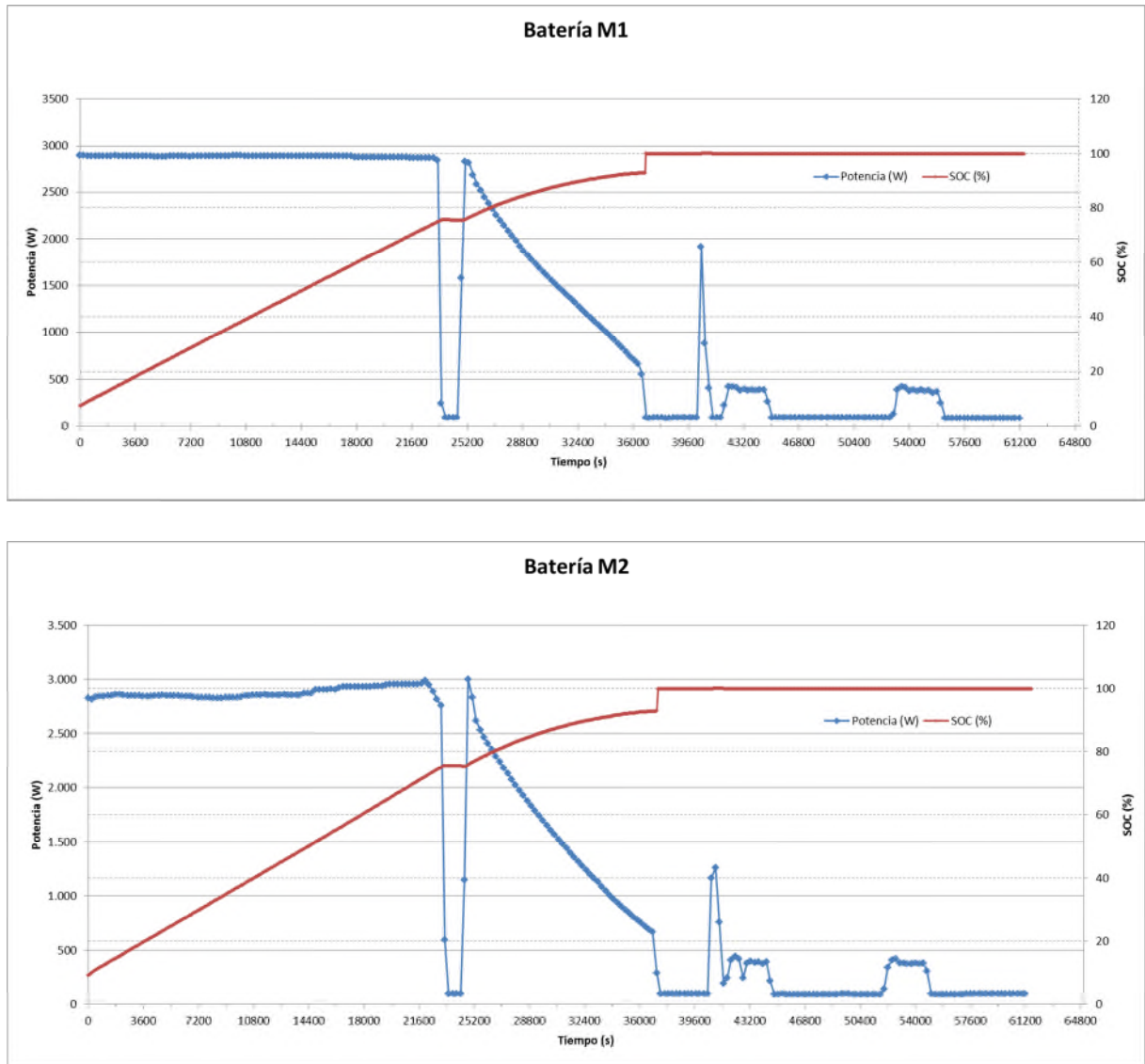


Gráfico 20. Evolución del estado de carga SOC (%) y de la potencia consumida en la red

Como se puede observar en las gráficas (Gráfico 20), el proceso de carga para ambas baterías sigue el mismo comportamiento, pudiendo distinguirse cuatro tramos diferenciados:

- Tramo A: La batería carga de forma lineal durante aproximadamente unas 7,5 horas (± 26.500 segundos⁷) hasta alcanzar la batería una capacidad de 75,5% pudiendo describirse este proceso por la ecuación de una recta ($SOC (\%) = 0,003 * t (\text{seg})$, $R^2=1$), a potencia media constante (2,90 kW; 13 A y 222 V).
- Tramo B: Se produce una caída en la demanda de la potencia hasta los 96,90 W, cuando las baterías alcanzan el 75,5 % de su carga, que dura aproximadamente unos 25 minutos (1.500

⁷ Nótese que las curvas de carga medidas no han podido realizarse descargando completamente la batería (M1 desde 7,5% y M2 desde 9,1%).

segundos). Durante este período, la carga de la batería no se produce y la demanda de potencia sólo es para mantener las baterías calientes.

- Tramo C: Transcurrido este intervalo, el 25% restante de capacidad hasta alcanzar el 100%, se carga en un mayor tiempo (3,5 h) con una potencia decreciente (potencia media de 1.542 W; el comportamiento de la carga se puede modelizar con una regresión polinómica de orden 2, para que la correlación sea $R^2=0,99$, $SOC(\%) = -9E-0,8t^2+0,007t+40,55$; pero usaremos, una regresión lineal $R^2=0,95$, para poder comparar por las pendientes el tiempo de carga).
- Tramo D: Debido a las características de las baterías ZEBRA, siempre es necesaria una energía para mantenerlas calientes, que o bien se extrae de las propias baterías (lo que puede originar que si el vehículo está mucho tiempo sin conectarse a la red, su batería pueda llegar a descargarse completamente) o de una fuente externa, como es este caso (95,18 W). Además, en este período cada ciertos intervalos de tiempo (2 horas aproximadamente) la batería demanda 386 W durante 3456 segundos (1 hora aproximadamente). (Esta potencia adicional no se requiere cuando se produce la autodescarga propia de la batería).

	SOC(%) batería	Potencia	Tiempo (horas)	Modelo matemático SOC (%)
Tramo A	0 – 75,5 %	Constante	7,5	$SOC(\%) = 0,003*t(\text{seg})$ $R2=1$
Tramo B	75,5%	Mantenimiento	0,5	-
Tramo C	75,5 % - 100%	Decreciente	3,5	$SOC(\%) = 0,001*t(\text{seg})$ $R2=0,96$
Tramo D	99,9 % - 100%	Mantenimiento	-	-

Tabla 10. Tramos de carga de capacidad (SOC%) de la batería ZEBRA

Los datos obtenidos corroboran las especificaciones y datos técnicos suministrados por el concesionario de los vehículos: [42]

- “Tiempo de carga: 0 – 80% aproximadamente 7 horas y 80 – 100% aproximadamente 4 horas (esto se aplica en carga desde instalación de 16 A. Al cargar en instalación de 10 A, hay que calcular aproximadamente un 30% más de tiempo de carga).”
- Pérdida de energía: Menos de 100 W cuando la batería está caliente.

Los tramos A y B coinciden con los porcentajes de carga que se recargan con los puntos de recarga rápidos (aunque estos vehículos no la admiten), que consiguen que se carguen las baterías al 75-80% en unos 30 minutos, intentando de esta forma optimizar el tiempo de recarga sin perjudicar la vida de la batería. (El tiempo de carga para el 25-20% restante de capacidad de la batería, al igual que sucede con la carga lenta, se ralentiza).

4.5. Energía necesaria para la carga de las baterías

En función de los tramos anteriormente descritos necesarios de la carga de la batería (SOC%) y su demanda de potencia, calcularemos la energía necesaria mediante la integración de la potencia en el tiempo por áreas.

- Tramo A: La potencia demandada para la carga de la batería desde el 0% al 75,5 % es constante, por lo el consumo energético se calculará multiplicando por el tiempo.

$$E_1 = 2.900 \text{ W} * \text{ tiempo}$$

- Tramo B: La caída de potencia experimentada y la potencia de mantenimiento consumida, no se tendrá en cuenta en los cálculos de la energía al no poder correlacionarse con un incremento/decremento de la capacidad de la batería (75,5%). (Se incluirá en el tramo C).
- Tramo C: Dado que la potencia es decreciente, y su comportamiento respecto al SOC(%) se puede linealizar mediante una recta, calcularemos la energía considerando el SOC inicial y final en función del tiempo (Gráfico 21).

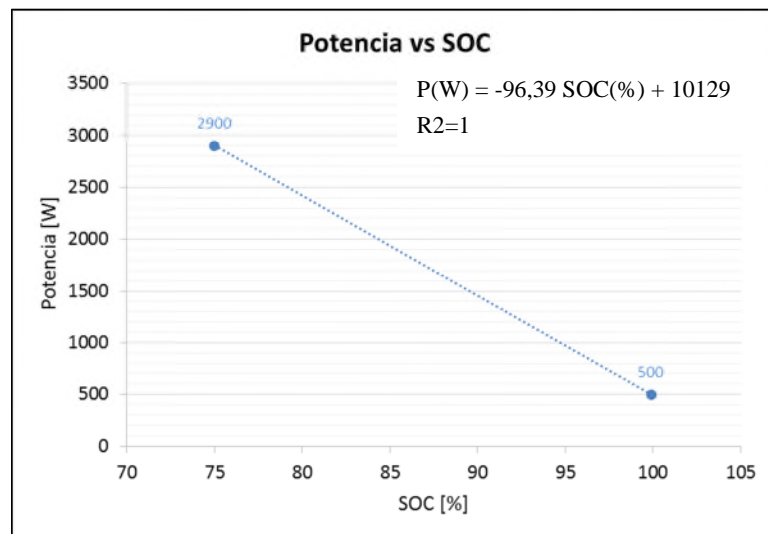


Gráfico 21. Linealización de la potencia (W) en función del SOC (%)

La energía asociada a la carga en el tramo C será calculada por el área bajo la curva (linealizada), que estará compuesta por una forma triangular y otra rectangular (Gráfico 22). El primer caso se refiere a la potencia inicial y potencia final por el tiempo y en el segundo, al no ser 0 la potencia final, existe una energía a tener en cuenta. Así pues, la energía a calcular se puede definir como:

$$A_{\Delta} = ((-96,39 * SOC_i + 10.129) W - (-96,39 * SOC_f + 10.129) W) * \text{ tiempo} / 2$$

$$A_{\square} = (-96,39 * SOC_f + 10.129) W * \text{ tiempo}$$

$$E_3 = A_{\Delta} + A_{\square}$$

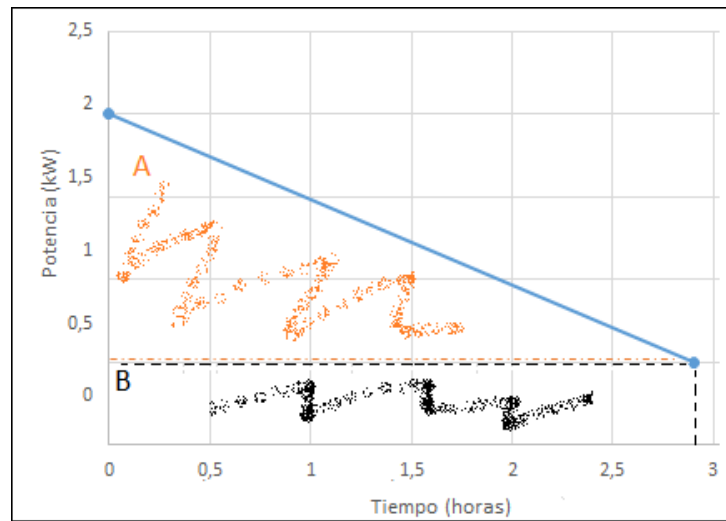


Gráfico 22. Modelización de la carga en el tramo C en función del tiempo

- Tramo D: Se produce una demanda constante de 95,16 W para mantener calientes los electrolitos de las baterías, y cada 2 horas aproximadamente (± 7.296 seg) un incremento adicional de potencia que alcanza los 380 W y se mantiene menos de 1 hora (± 3.456 seg) para mantenimiento (Gráfico 23). Para los cálculos de energía en apartados posteriores, no vamos a considerar el pico inicial potencia que se da al principio de este tramo de carga (1024 seg con una potencia media de 688,38 W).

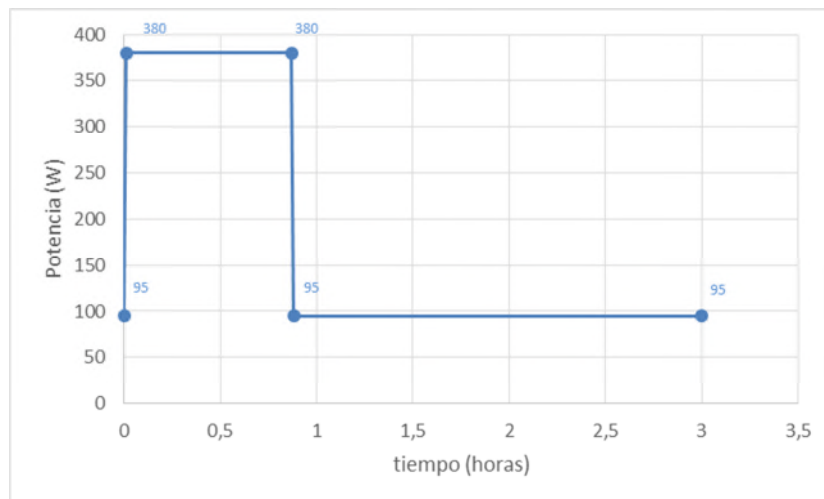


Gráfico 23. Modelización de la carga en el tramo D en función del tiempo

$$A_{Temp} = (380 \text{ W} - 95,18 \text{ W}) * \text{tiempo}$$

$$A_{Mant} = 95,18 \text{ W} * \text{tiempo}$$

$$E_4 = A_{Temp} + A_{Mant}$$

A modo de resumen, en la Tabla 11 se exponen la energía y potencia por cada tramo definido para las cargas de las baterías en función del SOC (%):

	Límites (% SOC)	Potencia media (W)	Energía horaria (Wh)
Tramo A	0% - 75,5%	2.900	2.880 W * tiempo
Tramo B	75,5 %	-	Incluida en tramo C
Tramo C	75% - 99,9%	$-96,39 \cdot \text{SOC} (\%) + 10.129 \text{ W}$	$((-96,4 \cdot (\text{SOC}_i - \text{SOC}_f) + 10.129) \cdot \text{tiempo}) / 2 + (-96,4 \cdot \text{SOC}_f + 10.129) \cdot \text{tiempo}$
Tramo D	99,9 - 100%	380 W // 95,18 W	285 * tiempo + 95 * tiempo

Tabla 11. Potencia y energía para cargar la batería en función del SOC (%)

4.5.1. Matriz de energía

A partir de los tramos de energía antes descritos y su correspondencia con el porcentaje de carga de la batería, hemos construido la matriz de energía por tramos de carga de la batería, para discriminar la energía empleada para desplazamientos del vehículo y el mantenimiento de la carga de la batería.

La matriz de energía por tramos presenta el aspecto de la Tabla 12:

MATRIZ DE ENERGÍA POR TRAMOS DE CARGA							
Horaanual.i	Horaanual.f	Minutoanual.i	Minutoanual.f	Energía.kWh	Tramo	Fecha.i	Fecha.f
252	256	41	40	11,55	A	11/01/2012	11/01/2012
256	260	40	22	6,27	B – C	11/01/2012	11/01/2012
260	360	23	42	17,86	D	11/01/2012	16/01/2012
Mes	Matrícula	Ciudad	Fila.i	Fila.f	Hora.i	Hora.f	
enero	3702HBT	Bilbao1	2354	2499	12:41:00	16:40:00	
enero	3702HBT	Bilbao1	2499	2629	16:40:00	20:22:00	
enero	3702HBT	Bilbao1	2630	6192	20:23:00	0:42:00	
Tiempo	SOC.i	SOC.f	Carga.SOC	Temp.i	Temp.f	Dif.Temp.	
239	47,7	75	27,3	8,5	13,5	5	
222	75	100	25	13,5	11,5	-2	
6019	99,9	99,9	0	11,5	8	-3,5	

Tabla 12. Extracto de la matriz de energía por tramos de carga

De acuerdo a los resultados obtenidos, las gráficas (Gráfico 24 y Gráfico 25) representan el porcentaje que representa cada tramo de energía mensual respecto a la energía total consumida.

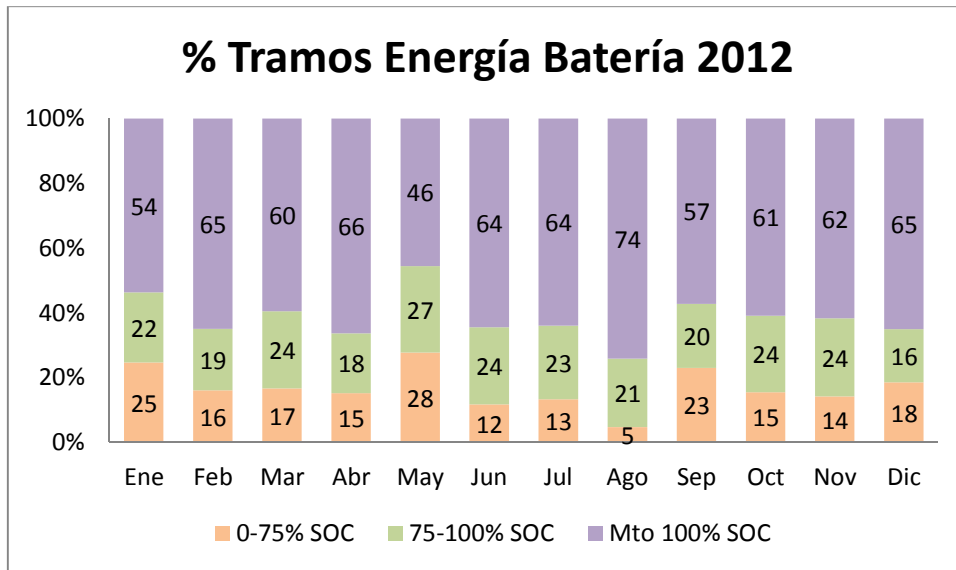


Gráfico 24. Porcentajes (%) de tramos de energía empleados en la carga de la batería en 2012.

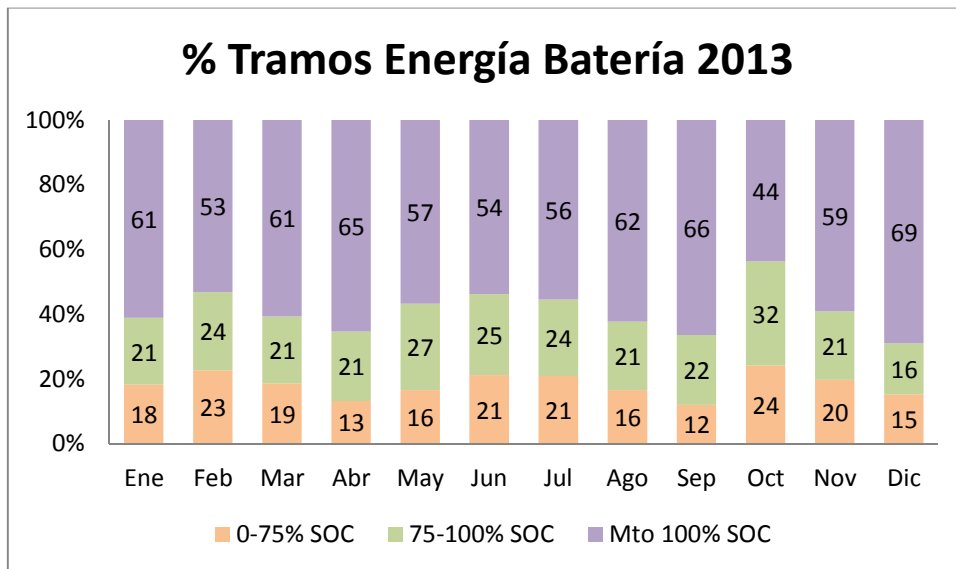


Gráfico 25. Porcentajes (%) de tramos de energía empleados en la carga de la batería en 2013.

Esto supone que el uso de los vehículos respecto a la energía no es eficiente. La energía empleada para el mantenimiento de la batería ha supuesto un porcentaje mayor que la destinada para la carga (a pesar de la diferencia de potencias necesarias en cada uno de los tramos), lo que indica que los vehículos han realizado muy pocos desplazamientos y éstos, además han sido cortos (la energía destinada para la carga en intervalos superior al 75% ha sido mayor):

Período	Energía Carga (%)		Energía Mto. (%)
	Tramo A (0-75% SOC)	Tramo B – C (75%-100%)	Tramo D (Mto 99,9 -100%)
2012	16,73	21,77	61,49
2013	18,22	22,83	58,94
Media 12-13	17,48 %	22,30 %	60,22 %

Tabla 13. Porcentajes de energía necesarios para los diferentes tramos de carga (2012-2013).

Estos resultados repercutirán en el consumo de la energía, y en su comparación con los vehículos de combustión térmica, como demostraremos en el capítulo siguiente.

4.6. Descarga de la batería

Debido a un fallo en un punto de recarga que alimentaba uno de los vehículos, se ha podido comprobar la descarga total de la batería (Gráfico 26). Dado que cómo hemos verificado siempre se demanda una potencia para el calentamiento de las baterías (95,18 W), termina por descargar la propia batería sino tiene una aportación de energía externa de la red. El proceso dura 15.240 minutos (10 días y medio), y su comportamiento se modeliza por la ecuación de una recta.

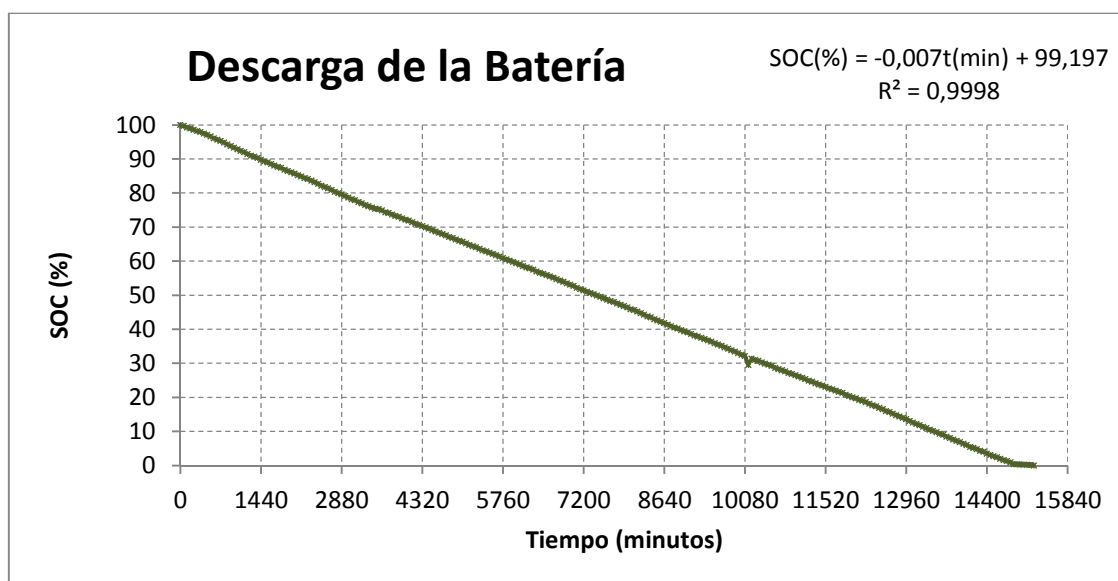


Gráfico 26. Curva de descarga de la batería versus tiempo

Este proceso de autodescarga se produce siempre en la batería, pudiéndose comprobar en la matriz de desplazamiento siempre que los coches se detienen y las baterías no se alimentan de una red externa. En este caso, la autodescarga está condicionada por las paradas que se producen en los recorridos del carsharing, y el límite de la mayoría de las paradas está en 2 horas, lo que supone menos de 1% de pérdida de capacidad de la batería.

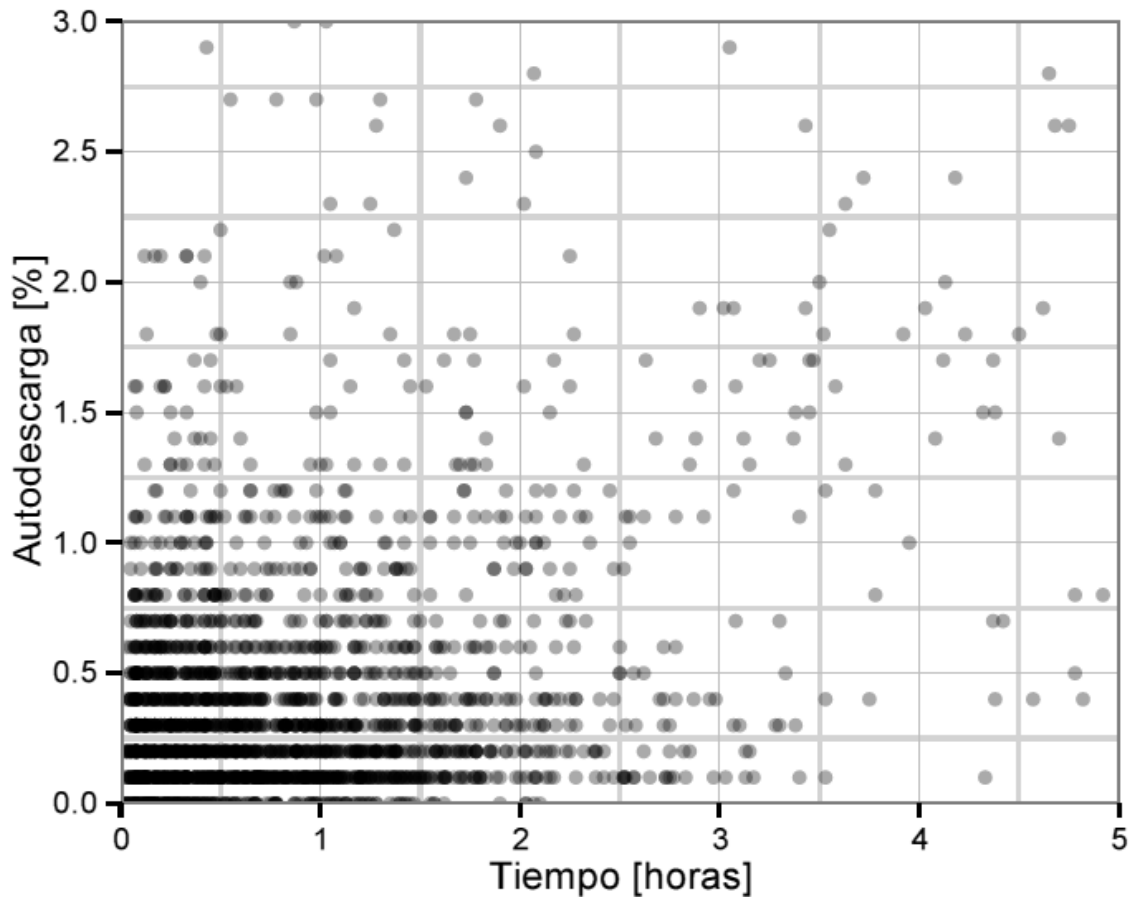


Gráfico 27. Autodescarga de las baterías 2012-2013 durante las paradas de los vehículos.

Autodescarga/tiempo autodescarga	Primeros 60 minutos	Primeros 120 minutos	1440 minutos (24 horas)
2012	0,031	0,025	0,021
2013	0,031	0,026	0,023

Tabla 14. Autodescarga de la batería ZEBRA.

Se aprecia que con el paso del tiempo, la autodescarga puede ser mayor, aunque los números no son muy significativos, lo que también indicaría que la autodescarga está relacionada con la degradación de la batería con el tiempo (Tabla 14).

Asimismo, estos datos confirman la energía aprovechable de la batería, que el fabricante estima en 23 kWh, y que para esta batería en concreto es 24,18 kWh (254 h * 95,18 W).

4.7. Comportamiento de la batería

Considerando los datos de los que se dispone, nuestro estudio busca hallar alguna dependencia o relación entre el decremento de capacidad de la batería y el consumo por kilómetro, en función de

diferentes parámetros (velocidad, temperatura y capacidad inicial de la batería) e incluso la posible degradación o envejecimiento de la batería con el paso del tiempo.

4.7.1. Consumo y autonomía

Analicemos el comportamiento de la batería ZEBRA durante los dos años dónde se han recogido los datos (2012-2013), estudiando la relación entre el consumo de la batería (decremento de SOC (%)) y la distancia recorrida (km) mediante una regresión lineal en el que cada punto representa un trayecto en función de la velocidad (Gráfico 28). La autonomía de los vehículos es aproximadamente 126,67 km, muy parecida a la media (125 km) de la prevista por el fabricante, que es de 160 km en verano, en conducción mixta según el IEC⁸ y 90 km en invierno (con ruedas de invierno y uso constante de la calefacción). El cociente de cada uno de estos puntos, representa el consumo por kilómetro, y es de 0,81% de SOC/ km recorrido.

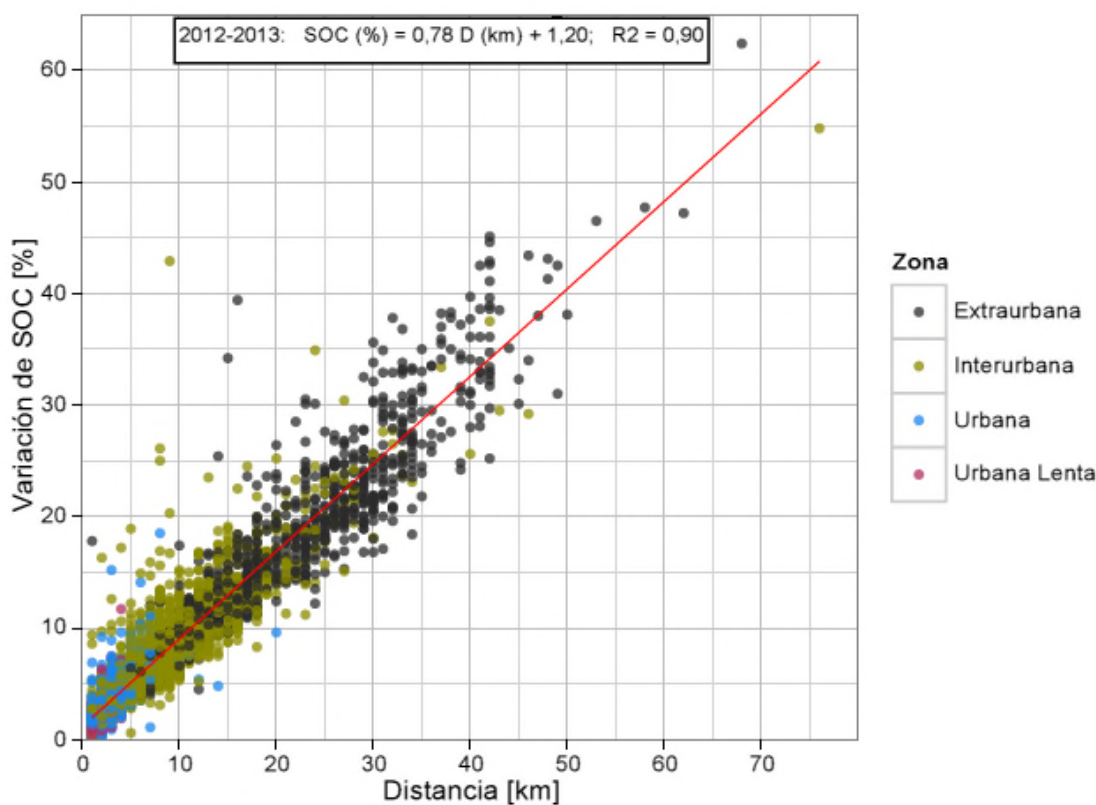


Gráfico 28. Consumo de la batería durante los desplazamientos realizados en 2012-2013.

Como se puede analizar al estudiar las gráficas anuales, tanto el consumo (SOC(%) / km recorrido) como la autonomía se han reducido en el 2013 frente al 2012; en ambos casos, supone un decremento de aproximadamente un 3,8%, lo que indica que hay una degradación de la batería con el tiempo.

⁸ IEC es un estándar europeo para el cálculo de la autonomía de los coches eléctricos.

Año	SOC(%) / km recorrido	Autonomía (km)
2012	0,78 % / km	128,17
2013	0,81 % / km	123,36

Tabla 15. Evolución del consumo y autonomía en 2012 y 2013.

La pendiente de la recta que representa cada anualidad es ligeramente mayor en 2013 (Gráfico 29 y Gráfico 30).

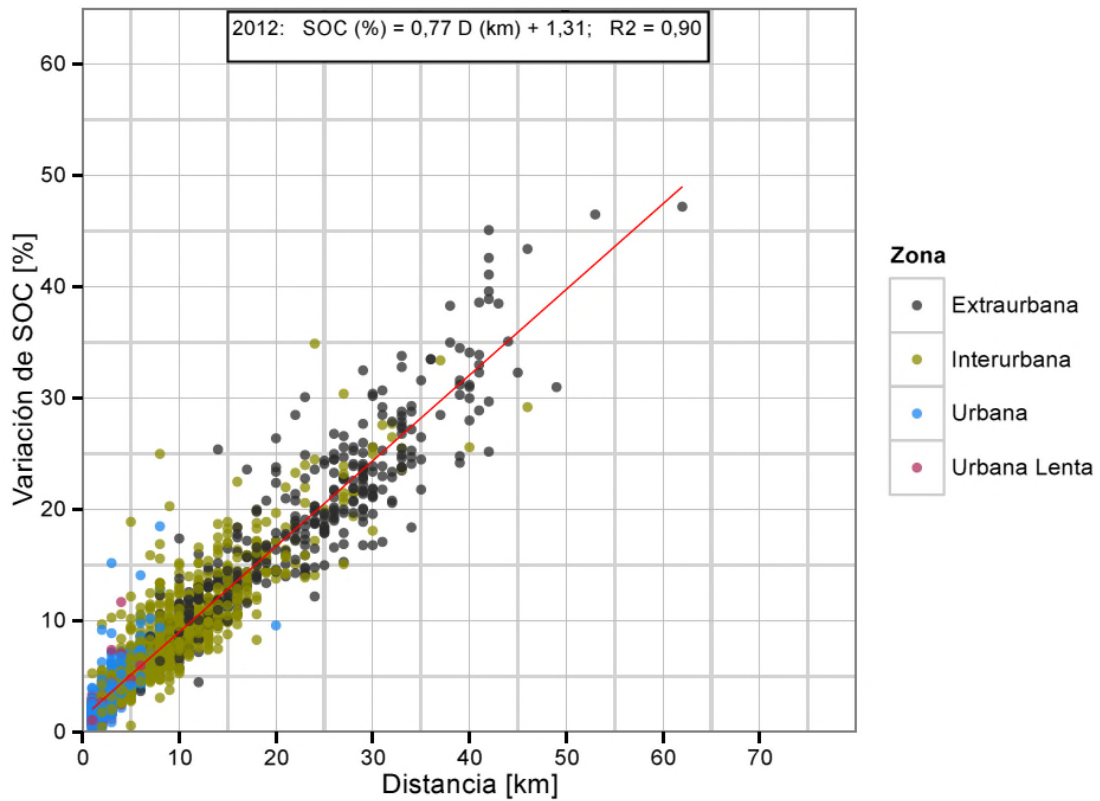


Gráfico 29. Consumo de la batería durante los desplazamientos realizados en 2012.

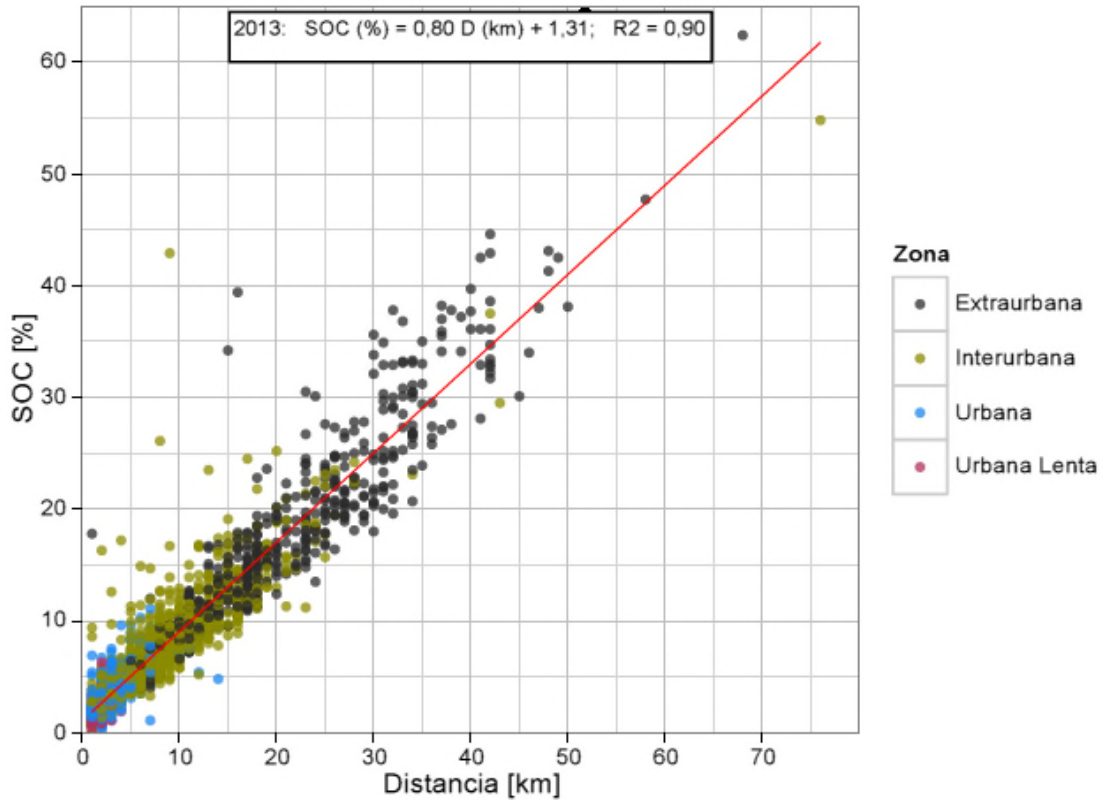


Gráfico 30. Consumo de la batería durante los desplazamientos realizados en 2013.

4.7.2. Consumo y velocidades (máxima y media)

4.7.2.1. Consumo y velocidad máxima

Cómo ya se ha descrito en el apartado de la matriz de desplazamientos, los recorridos se han clasificado en función de la velocidad máxima alcanzada. Como era de esperar estas velocidades están directamente relacionadas con las distancias que se recorren (Gráfico 31).

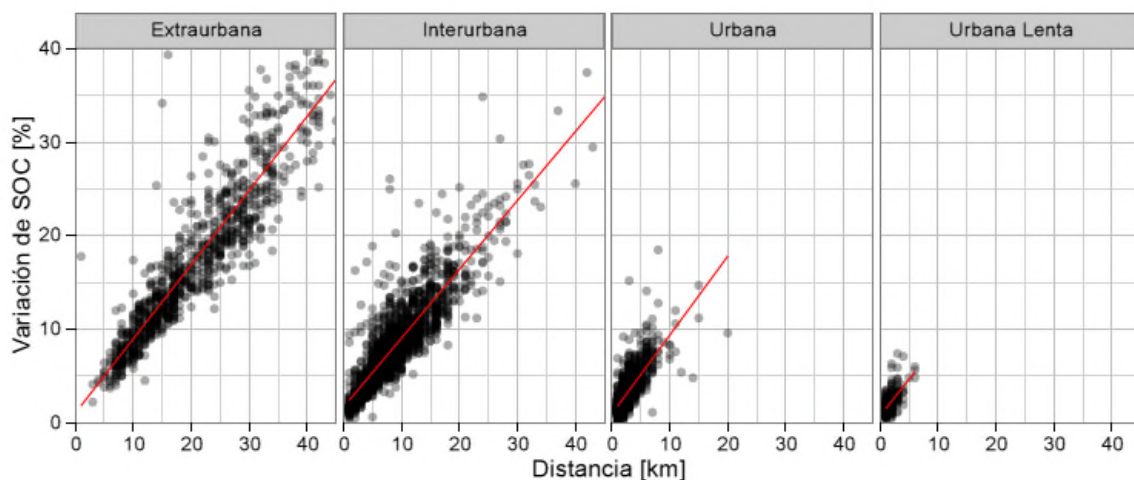


Gráfico 31. Descarga de la batería en 2012-2013 en función de la velocidad de los recorridos

Extraurbana $V_{\max} > 90 \text{ km/h}$	Interurbana $50 \text{ km/h} < V_{\max} \leq 90 \text{ km/h}$	Urbana $30 \text{ km/h} < V_{\max} \leq 50 \text{ km/h}$	Urbana Lenta $V_{\max} \leq 30 \text{ km/h}$
$\Delta\text{SoC} (\%) =$			
$0,79 * D(\text{km}) + 1,07$ $R2=0,85$	$0,74 * D(\text{km}) + 1,66$ $R2=0,76$	$0,81 * D(\text{km}) + 1,01$ $R2=0,53$	$0,74 * D(\text{km}) + 0,95$ $R2=0,77$
Autonomía			
125 km	133 km	122 km	134 km
$V_{\max} > 90 \text{ km/h}$		$V_{\max} \leq 50 \text{ km/h}$	
$\Delta\text{SoC}(\%) = 0,77 * D(\text{km}) + 1,38$ $R2=0,87$		$\Delta\text{SoC}(\%) = 0,76 * D(\text{km}) + 1,09$ $R2=0,65$	
Autonomía			
128 km		130 km	

Tabla 16. Autonomía y consumo en función de las velocidades máximas (período 2012-2013)

A partir de los resultados obtenidos, podemos afirmar que el consumo de batería es mayor a velocidades altas (mayores de 90 km/h) que con velocidades bajas (menores o iguales de 30 km/h); esto supone que el comportamiento de un vehículo eléctrico en cuanto a su consumo es opuesto a un vehículo de combustión, cuyo comportamiento en recorridos extraurbanos (litros de combustibles fósiles) siempre es menor que en ciudad.

	Extraurbana $V_{\max} > 90 \text{ km/h}$	Interurbana $50 \text{ km/h} < V_{\max} \leq 90 \text{ km/h}$	Urbana $30 \text{ km/h} < V_{\max} \leq 50 \text{ km/h}$	Urbana Lenta $V_{\max} \leq 30 \text{ km/h}$
	$\Delta\text{SoC} (\%) =$			
Año 2012	$1,12 * D(\text{km}) + 1,41$ $R2=0,85$	$1,04 * D(\text{km}) + 0,28$ $R2=0,78$	$0,65 * D(\text{km}) + 0,61$ $R2=0,60$	$0,93 * D(\text{km}) + 0,67$ $R2=0,68$
	Autonomía			
	88 km	96 km	153 km	106 km
	$\Delta\text{SoC} (\%) =$			
Año 2013	$0,82 * D(\text{km}) + 0,72$ $R2=0,85$	$0,73 * D(\text{km}) + 1,71$ $R2=0,74$	$0,67 * D(\text{km}) + 1,32$ $R2=0,46$	$0,73 * D(\text{km}) + 1,03$ $R2=0,78$
	Autonomía			
	121 km	135 km	147 km	136 km

Tabla 17. Autonomía y consumo anuales (2012-2013) en función de las velocidades máximas

El estudio de los datos anuales expuestos en la Tabla 17 confirma los resultados anteriores (aunque el tramo urbano es el que peor se comporta según una dependencia lineal).

4.7.2.2. Consumo y velocidad media

Si estudiamos la Gráfico 32 que relaciona el consumo por kilómetro con la velocidad media observamos que para velocidades bajas los puntos se encuentran más dispersos que para las velocidades altas, donde el consumo se mantiene más bajo.

La nube de puntos dónde el consumo es más alto de lo normal se corresponde con trayectos cortos, a poca velocidad.

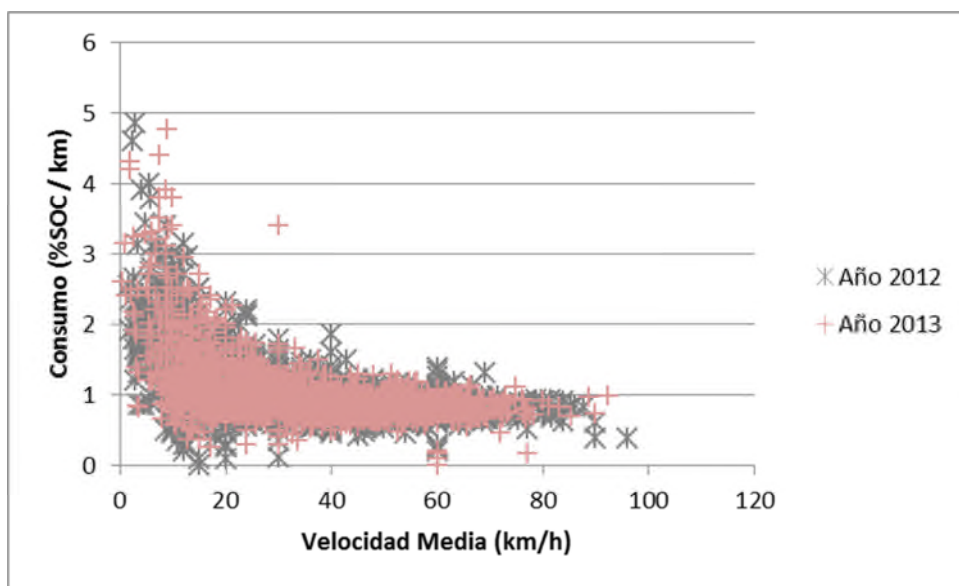


Gráfico 32. Relación del consumo por kilómetro con la velocidad

4.7.3. Consumo y temperatura

¿Existe alguna relación entre la autonomía y las temperaturas? Para comprobarlo, y dado que los datos de la temperatura extraídos de los data loggers no son fiables, vamos a estudiar el comportamiento de la batería en función de la estación del año, distinguiendo entre invierno y verano (Gráfico 33 y Gráfico 34). Para ello, usaremos el calendario que rige el cambio de horario en España, y que también es el que se utiliza para las tarifas con discriminación horaria de los contratos de energía eléctrica.

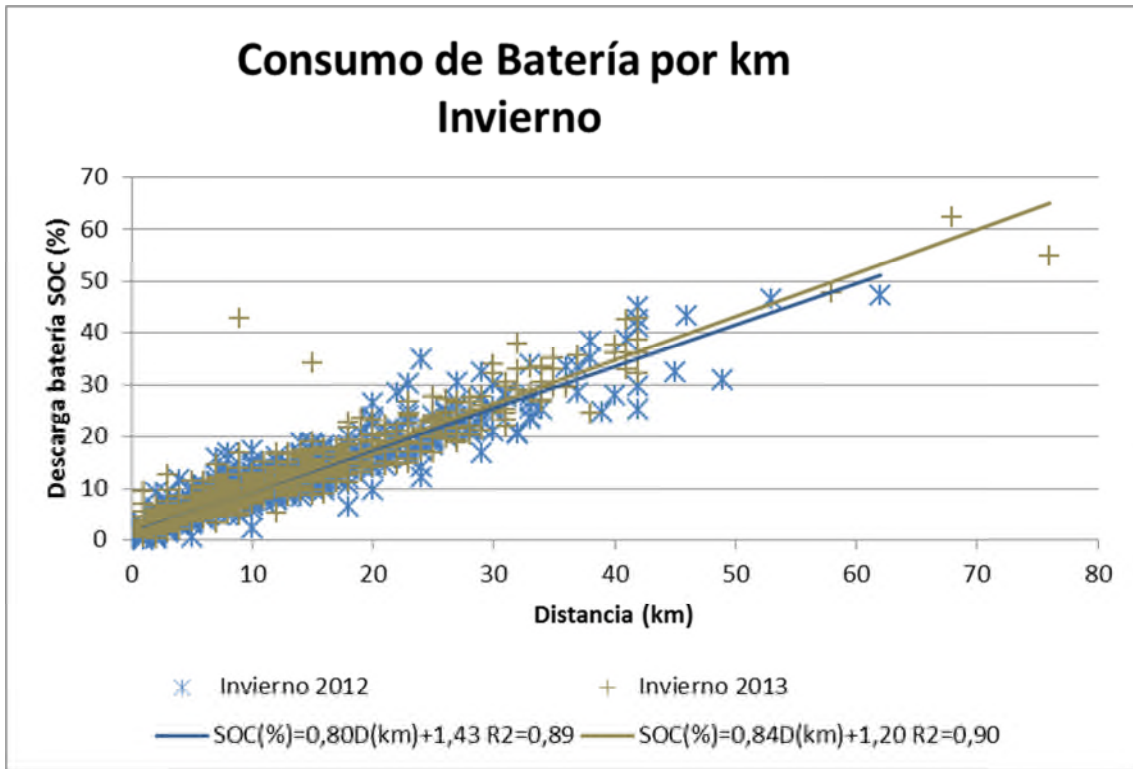


Gráfico 33. Descarga de batería por km durante los inviernos (2012-2013)

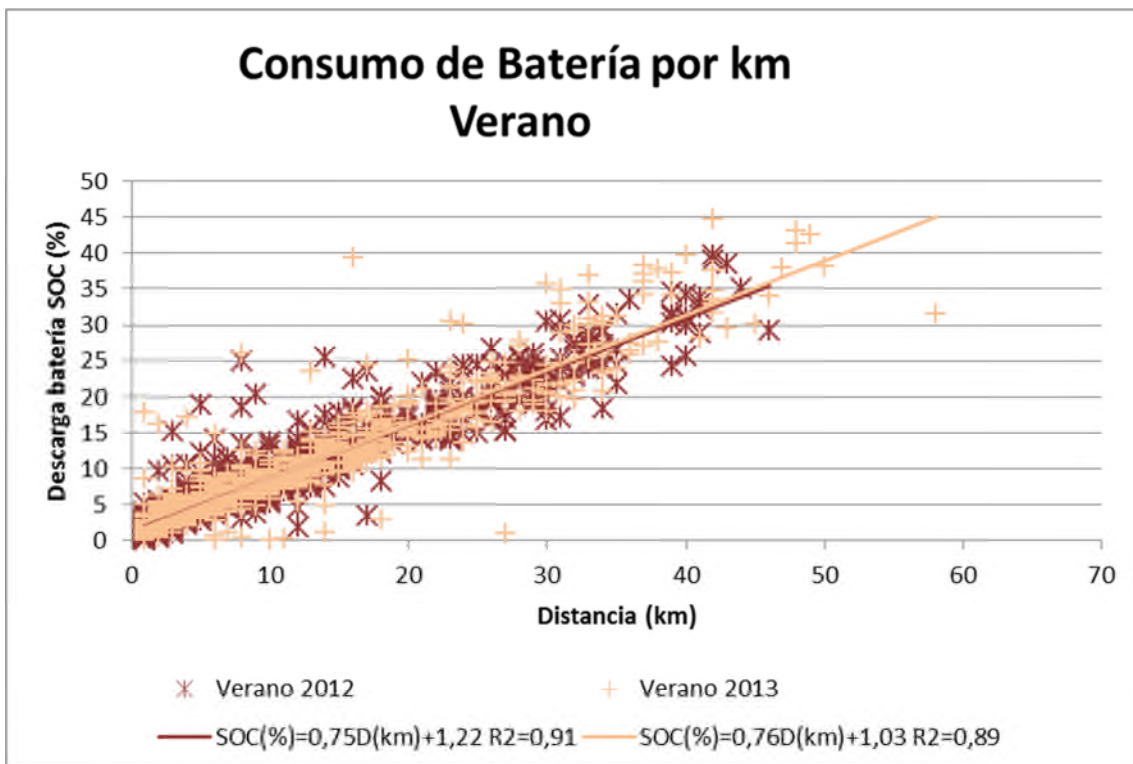


Gráfico 34. Descarga de batería por km durante los veranos (2012-2013)

Año	SOC(%) / km recorrido		Autonomía (km)	
	Invierno	Verano	Invierno	Verano
2012	0,81 % / km	0,76 % / km	123,21	131,71
2013	0,85 % / km	0,77 % / km	117,62	130,22

Tabla 18. Consumo y autonomía de las baterías en función de la estación del año.

Existe una diferencia significativa entre el consumo y la autonomía dependiendo de la estación del año (Tabla 18), que está justificada por la climatización del vehículo: el aire acondicionado se compone de un compresor eléctrico, cuyo gasto de energía es inferior al calentador eléctrico necesario para hacer circular agua caliente (3,5 kW, según datos del fabricante) que se emplea para la calefacción. Este consumo de energía para la calefacción debería ser incluso mayor, pero se reduce debido a que se aprovecha el propio calor que generan estas baterías durante su funcionamiento.

Esta característica diferencia a los vehículos eléctricos frente a los vehículos de combustión, porque en éstos se aprovecha para la calefacción la temperatura que desprende el motor térmico, por lo que no influye en el consumo de combustible.

4.7.4. Envejecimiento

Estudios realizados para las baterías ZEBRA indican que después de realizar aproximadamente unos 1.000 ciclos de cargas, lo que podría ser equivalente a 110.000 / 120.000 km, podría reducir la carga máxima de la batería a un 80%, aunque no la dejaría inutilizable.

4.7.4.1. Autonomía y consumo

Cómo ya hemos corroborado con resultados de apartados anteriores, las baterías se degradan con el tiempo; en el año 2013, tanto el consumo como la autonomía se han visto reducidos respecto al 2012. Se puede comprobar (Gráfico 35) estudiando los 2 primeros meses del año 2012 frente a los 2 últimos del 2013 (ambos períodos además pertenecientes al invierno, para que no influyan las temperaturas), donde se puede apreciar que hay una reducción de autonomía o un incremento de consumo del 6,39% (Tabla 19).

Este porcentaje representa un valor significativo, que indica que las baterías ZEBRAS deberían ser estudiadas durante más tiempo para definir su envejecimiento.

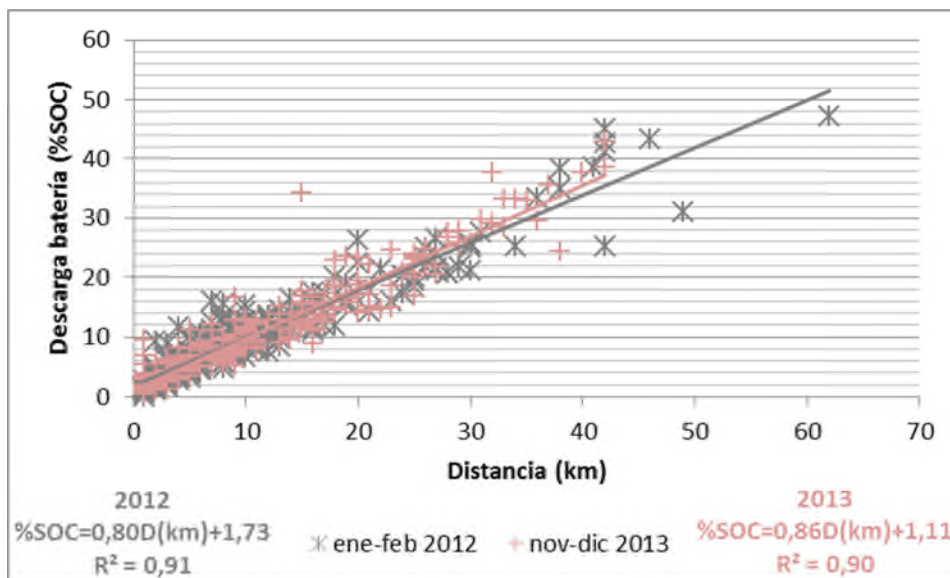


Gráfico 35. Degradación del consumo de la batería del 2012 frente al 2013.

Período	SOC(%) / km recorrido	Autonomía (km)
Enero – Febrero 2012	0,81 % / km	122,84
Noviembre – Diciembre 2013	0,87 % / km	114,99
Evolución en el período	+7,41%	-6,39%

Tabla 19. Variación del consumo y autonomía del 2012 al 2013.

4.8. Estudio del modelo de carsharing: uso de los vehículos eléctricos

Cómo se podrá comprobar con las gráficas y tablas que vamos a aportar en este apartado, el comportamiento de los usuarios del carsharing está muy condicionado por el tipo de servicio al que estaba destinado:

- El horario de funcionamiento habitual era de lunes a viernes laborales y de 7.30 de la mañana a 15.30 de la tarde, durante todo el año.

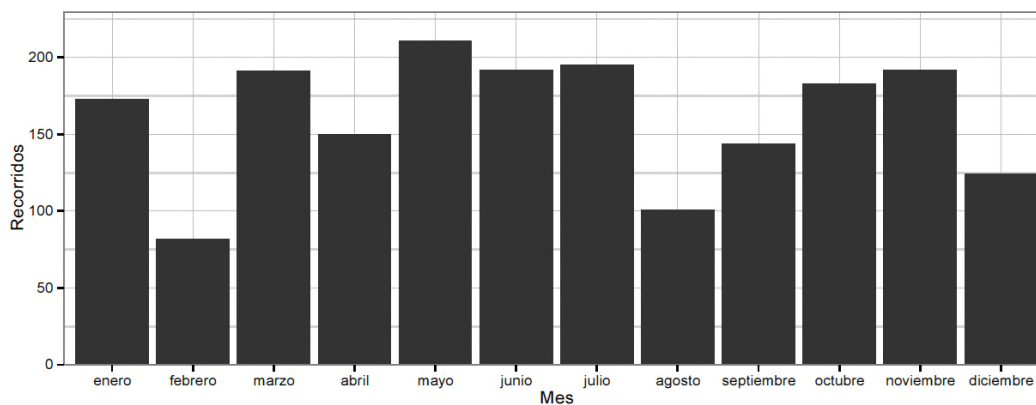


Gráfico 36. Histograma de uso mensual del carsharing en 2012.

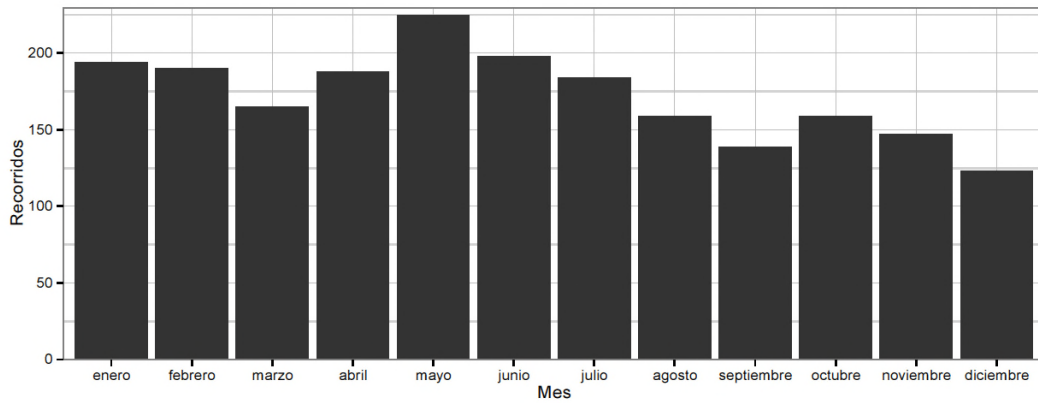


Gráfico 37. Histograma de uso mensual del carsharing en 2013

En el año 2013 que el servicio llevaba más meses implantado (Gráfico 37), y los usuarios ya conocían los coches, el número de recorridos mensuales es más estable que en 2012 (Gráfico 36), apreciándose a partir de agosto un descenso (período que coincide con las fechas en las que la flota sólo contaba con 7 vehículos, ya que el coche de Barcelona se encontraba indisponible debido a un percance). En los meses de agosto y diciembre también se justifica el descenso del número de recorridos, debido a las vacaciones.

- Los kilómetros, número de recorridos a realizar en cada desplazamiento o rutas de los usuarios eran totalmente arbitrarias, por lo que no disponemos de datos de recorridos iguales que podamos comparar.

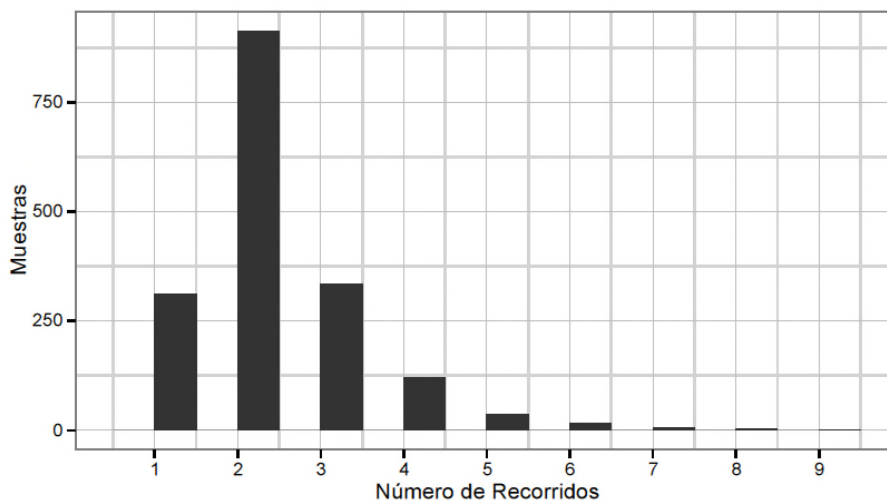


Gráfico 38. Histograma del número de recorridos por desplazamiento realizado

En la Gráfico 38 se aprecia que los desplazamientos más numerosos son los que corresponden a 2 recorridos (ida y vuelta), aunque hay usuarios que realizan más recorridos, alcanzando el número de 9.

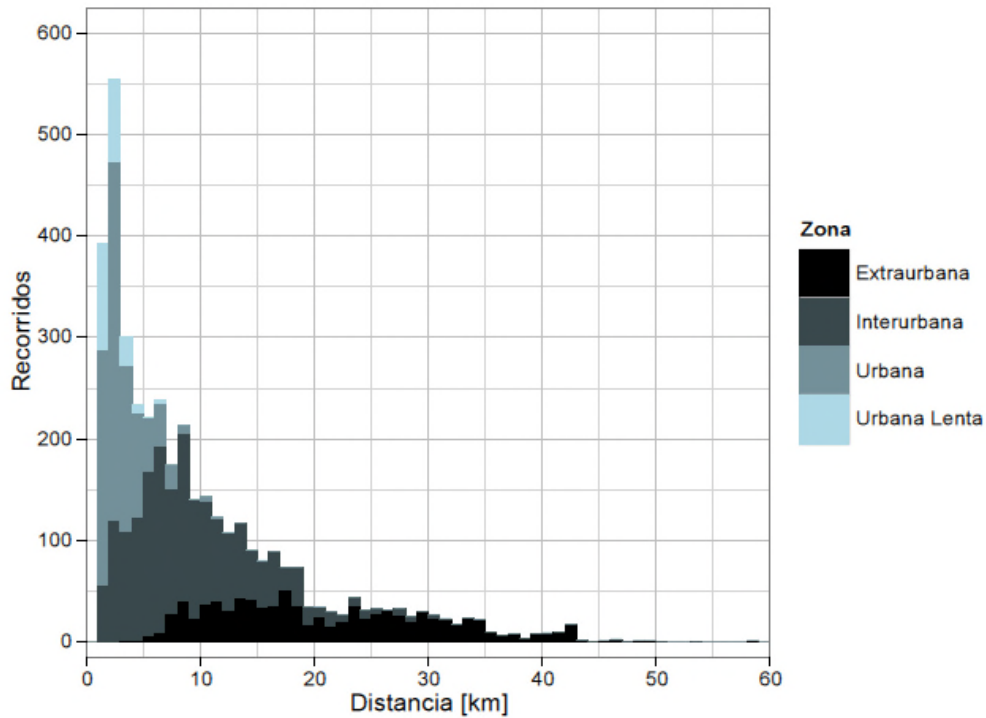


Gráfico 39. Número de recorridos en función de la velocidad por VE y ciudad.

El Gráfico 39 muestra las distancias más habituales de los desplazamientos que están concentrados entre los 0 y 20 km, y en zonas interurbanas ($50 \text{ km/h} < \text{Velocidad máxima} \leq 90 \text{ km/h}$). Las distancias recorridas no superan los 45 km, que es menos de la mitad de la autonomía de los vehículos.

- En la web de reservas, el usuario lo único que tenía que definir era: ciudad dónde se encontraba el VE que necesitaba, día, hora de inicio y fin del servicio, y definición de su desplazamiento en función de los kilómetros previstos: de 0 – 50 km, 50 -100 km y 100 – 150 km.

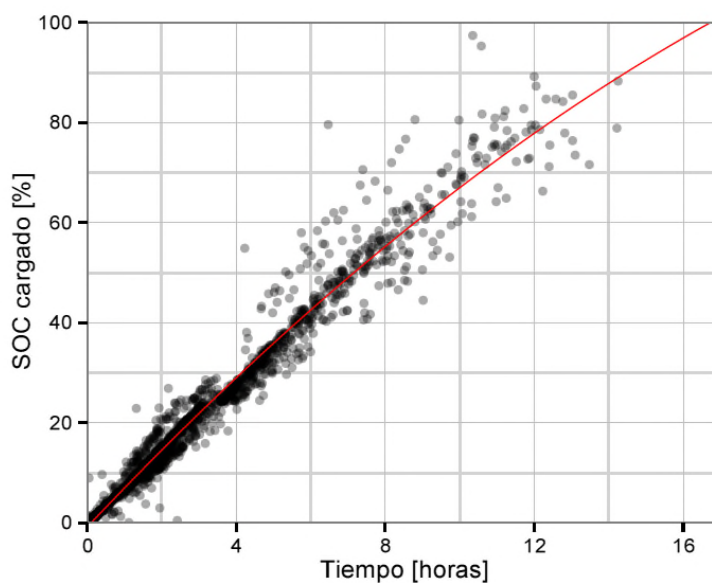


Gráfico 40. Curva de carga de los vehículos eléctricos de la flota

Cómo se puede ver en el Gráfico 40, la mayoría de los trayectos realizados con los vehículos no han excedido los 45 km. Los puntos se encuentran concentrados en la zona dónde los trayectos no exceden los 20 km, y que por lo tanto no suponen una descarga superior al 40% de batería.

Dado que la mayoría de los desplazamientos no son superiores a los 45 km, la descarga de la batería no suele ser inferior al 60% (SOC), y es difícil encontrar cargas del 90 % como se muestra en el Gráfico 41).

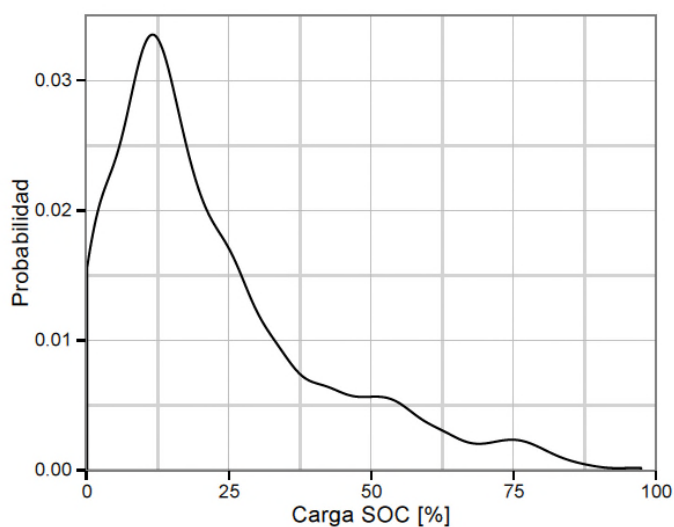


Gráfico 41. Nivel de batería en las recargas

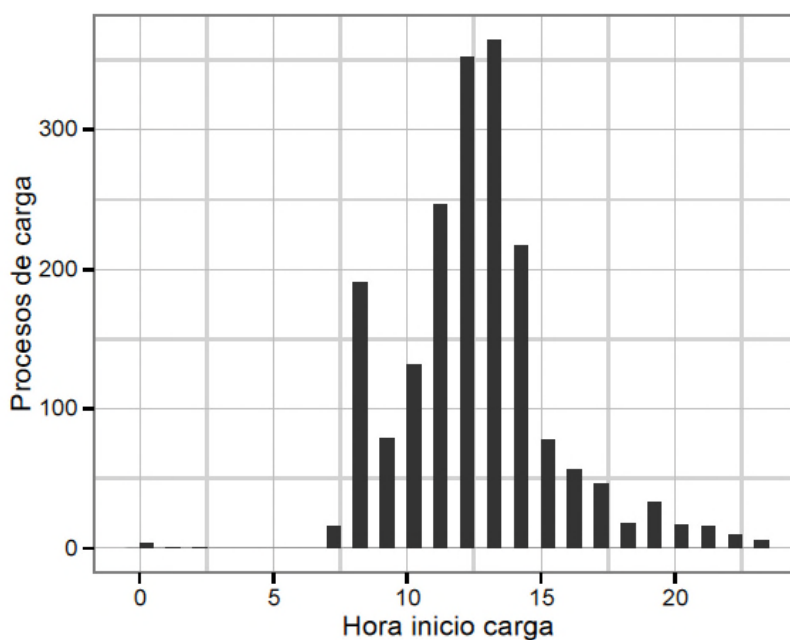


Gráfico 42. Histograma de horas de inicio de la carga de los vehículos

En el Gráfico 42 se pueden ver las horas de inicio de las cargas de los vehículos (en el servicio de carsharing una vez usado el coche debe ser devuelto a la base y conectado a la red para su carga). Se aprecia que la mayoría de las cargas son entre las 11.00 y las 14.00 horas, siendo mayor en el intervalo 12.00 – 13.00, que además coincide con las horas en las que las tarifas de discriminación horaria (DH 2 períodos o DH 3 períodos) cambian el precio del termino de energía de punta a llano (ver Gráfico 49, DH 2p invierno (12.00) y verano (13.00) y DH 3p (13.00 h). Este comportamiento va a influir en el coste de la electricidad para la carga de los vehículos.

En cuanto al uso de los vehículos en el Gráfico 43, se comprueba que los 2 vehículos de Madrid son los que más recorridos han realizado, llegando incluso a ser el doble que en otras ciudades. En cuanto, al tipo de trayecto en función de la velocidad destaca que en Madrid y Sevilla, los trayectos más numerosos son en zonas interurbanas (dónde la velocidad máxima está en el intervalo de 50 a 90 km/h). En el resto de ciudades se circula entre los 30 y 90 km/h (urbana e interurbana), excepto en Barcelona dónde más de la mitad de los desplazamientos realizados han sido urbanos ($30 \text{ km/h} < \text{Velocidad máxima} \leq 50 \text{ km/h}$).

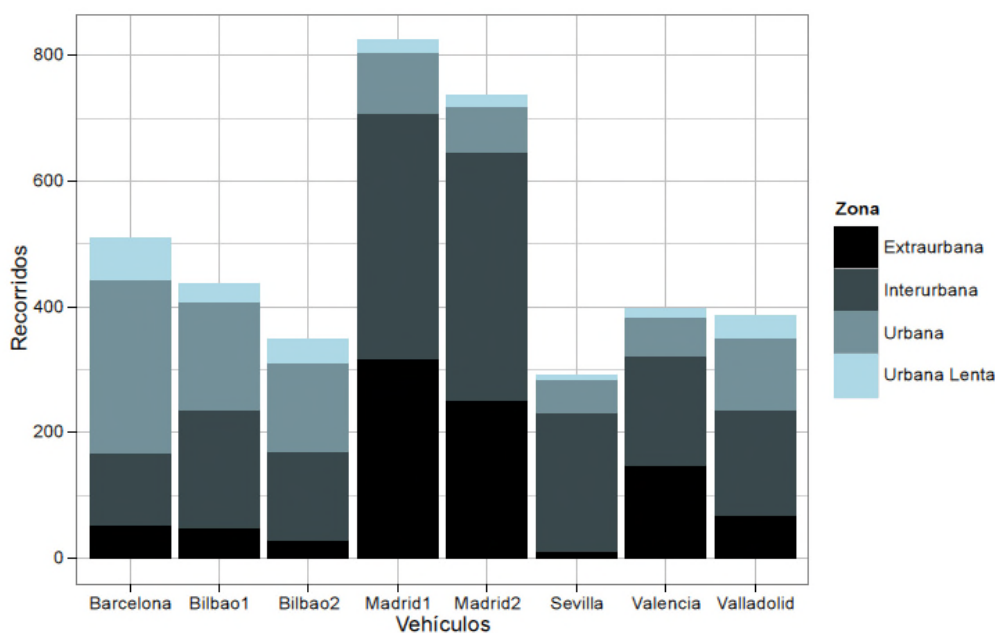


Gráfico 43. Número de recorridos por vehículo y ciudad

Como se puede comprobar en la Tabla 20, durante el año 2013 la flota de vehículos eléctricos se ha usado más por los usuarios, de forma que los recorridos se han incrementado en un 7,80% y los kilómetros realizados en un 111,69%. Estos datos confirman la importancia que tiene el uso de los vehículos eléctricos para que los conductores pierdan su ansiedad generada por la autonomía y su recarga (en inglés, esta situación ha generado el concepto “range anxiety”).

	Nº Recorridos		Distancia Recorrido (km)	
	2012	2013	2012	2013
Urbano Lento	141	153	321	671
Urbano	481	493	1.368	1.392
Interurbana	884	911	7.867	7.810
Extraurbana	415	514	8.733	10.554
Total	1.921	2.071	18.289	20.427

Tabla 20. Nº recorridos y distancia recorrida en 2012 y 2013 por zona

5. Sostenibilidad y ciclo de vida

Una vez analizado el comportamiento de la batería y el servicio de carsharing, vamos a comparar y evaluar la sostenibilidad de la flota de vehículos eléctricos con una simulada de vehículos de combustibles fósiles de características similares.

Dentro de los parámetros estratégicos para la elección de una flota en función de sus carburantes (gasolina/gasóleo y electricidad) está tanto su viabilidad económica como su eficiencia energética y sus impactos medioambientales (emisiones del protocolo de Kyoto, principalmente, y contaminación acústica).

La evaluación económica, la realizaremos no sólo estudiando los precios de los combustibles y el coste total de la propiedad, sino el resto de variables que intervienen en la elección de un vehículo. Además, analizaremos el ciclo de vida de la energía transformada en un vehículo, realizando un análisis del pozo a la rueda (Well-to-Wheel (WtW)), es decir, su rendimiento energético global, comparando en términos de eficiencia y emisiones la energía desde su origen hasta su consumo:

- Del pozo (de petróleo o central de generación) al tanque (del automóvil) (Well-to-Tank),
- Del tanque (depósito o batería) a la rueda (Tank-to-Wheel).

No vamos a considerar en el estudio la energía o emisiones asociadas con la construcción y el desmantelamiento al final de su vida útil de las instalaciones y los vehículos.

Se expone en la siguiente página, en el Gráfico 44, las eficiencias y pérdidas de los diferentes procesos que tienen lugar en cada uno de los procesos que forman parte de la cadena de los combustibles y vehículos, tanto de combustión como eléctricos.



Gráfico 44. Eficiencia y Pérdidas de un vehículo de combustión interna (MCI) frente a un vehículo eléctrico (VE). Elaboración propia.

5.1. Eficiencia energética

Definamos en primer lugar, que es la eficiencia energética: relación entre la energía útil (o energía obtenida) y la energía consumida (o energía suministrada).

5.1.1. Del pozo al tanque (depósito o batería)

Se puede comprobar que la eficiencia energética del pozo al depósito en la producción del combustible (gasóleo/gasolina) para los vehículos de combustión térmica es más eficiente que la producción de energía eléctrica en las centrales de generación. Esto se debe a que los procesos de extracción, transformación, transporte y distribución del petróleo hasta los puntos de suministro se han optimizado, alcanzándose en el proceso un respetable 85% de eficiencia, en la situación más desfavorable. [43].

En el caso de la electricidad, la eficiencia de la generación es más compleja y depende del proceso de tecnología empleada para su producción. La eficiencia térmica se define como el cociente de la energía que se obtiene en una central y la energía que se consume para su funcionamiento. Para el cálculo de este valor se realiza la media de las eficiencias ponderadas por las producciones anuales de cada central térmica. Las eficiencias para las diferentes tecnologías son [44], [45] y [46]:

- Central de Carbón: media 32-45% (o menores para una planta de 25 años de edad).
- Central de Ciclo Combinado: 45-53%.
- Renovables: Fotovoltaica (4-22%), Eólica (24-54%), Geotérmica (10-20%) e Hidráulica (>90%).
- Nuclear: 33%

Dado que en un país, la producción de energía no se obtiene por una sola fuente, hay que considerar su “mix energético”, en el que conviven potencias energéticas de naturaleza renovable con otras tecnologías más eficientes y menos contaminantes. Basándonos en el sistema español, su “mix” de generación en los años 2013 y 2012⁹ estuvo compuesto por:

⁹ Período de años en los que se analizan los datos de esta tesis.

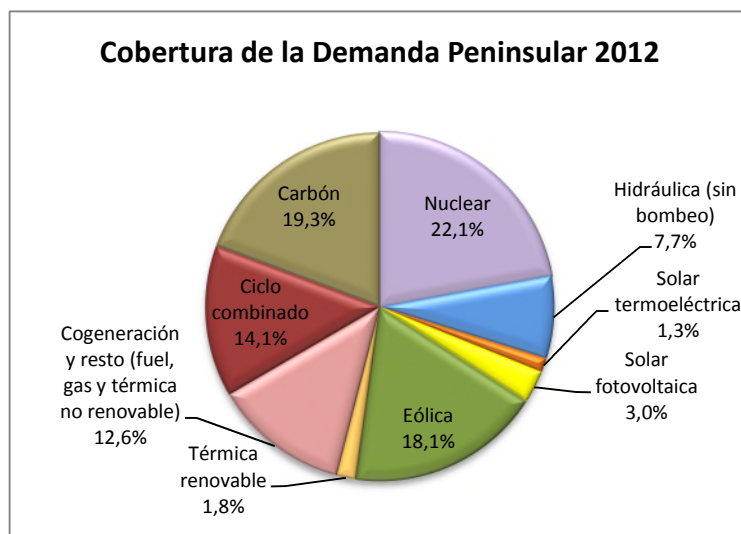
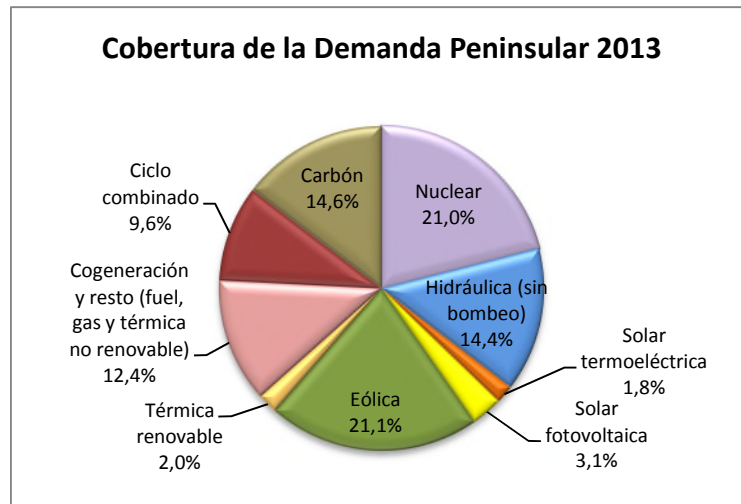


Gráfico 45. Mix Energético Español 20123 y 2012 [47]

Por tanto, la eficiencia del pozo al depósito en España para el año 2013 ha sido más alta que en el 2012 en España, ya que, las energías renovables han representado el 42,2% de la demanda eléctrica, que supone un 10,5 más que el año anterior. Considerando que dichas tecnologías renovables junto a la nuclear son las tecnologías con mayor eficiencia, aumenta el rendimiento promedio del sistema energético español y por tanto, el global del vehículo eléctrico (dicha situación no es habitual, porque un gran porcentaje de la generación eléctrica mundial proviene de centrales de carbón y gas natural).

En cuanto a las pérdidas en la red de transporte/distribución, durante los últimos años en todas las regiones se han llevado a cabo programas para proporcionar a la red de suministro una mayor fiabilidad y disponibilidad, lo que ha permitido reducir o al menos mantener el nivel de pérdidas, hasta un 8%.

5.1.2. Del tanque (depósito o batería) a la rueda

El rendimiento energético de un motor eléctrico (75%) triplica al motor de combustión interna (25-30%), ¿por qué?

En el motor eléctrico la transformación de la energía química almacenada en las baterías en energía mecánica puede alcanzar el 90%, ya que, se están empleando motores de alto rendimiento cuyas pérdidas eléctricas (magnéticas) y mecánicas son muy pequeñas. Asimismo, los dispositivos intermedios como el controlador, generador y transmisión son menores que en los vehículos de combustión (donde son necesarias muchas piezas móviles que generan pérdidas por rozamientos), por lo que los rendimientos en los vehículos eléctricos sólo se reducen un 57-68%. Los avances en baterías y controladores, permitirán una mejora de estos porcentajes, que pueden llegar a alcanzar el 75%.

En el motor de combustión interna, sin embargo, la transformación de la energía térmica contenida en la gasolina o el diesel en energía mecánica es inferior, debido a que la eficiencia depende del proceso termodinámico, y éste a su vez está condicionado por el grado de compresión [48] del aire y el combustible. Para el caso de los motores de gasolina (ciclo de Otto, motor de explosión o de ignición por chispa), usando antidetonantes la proporción suele ser de 8 o 10, y la eficiencia es de un 20 a un 25%. En los motores diésel (ignición por compresión), aunque el rendimiento es menor a igual grado de compresión que en la gasolina, permiten operar con relaciones del orden de 14 a 16, por lo que sus rendimientos aumentan hasta el 30%. Pero en ambos casos, los gases sobrecalentados tienen una energía útil (exergía) muy alta que se disipan (entropía) en los fluidos refrigerantes y lubricantes del motor (fricción), sin ser aprovechados.

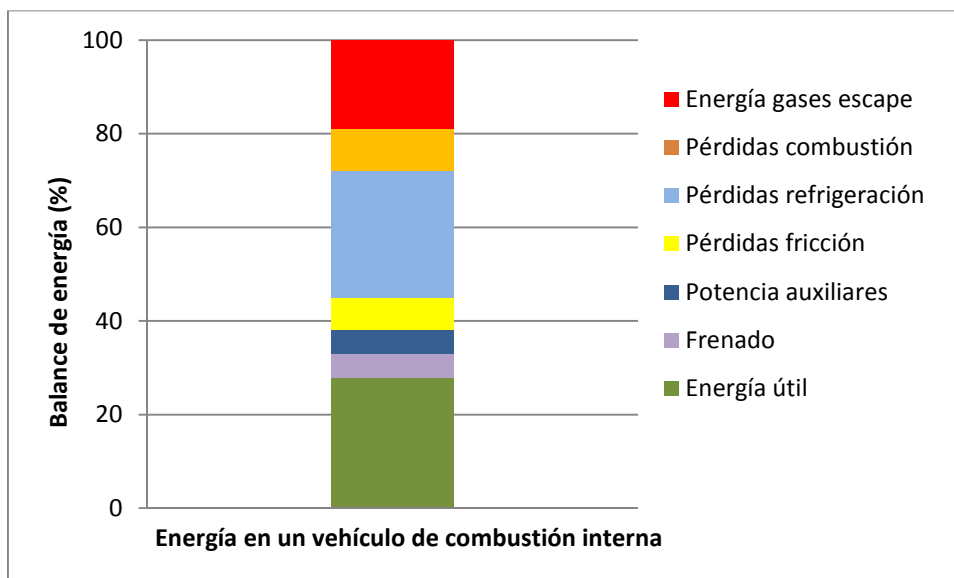
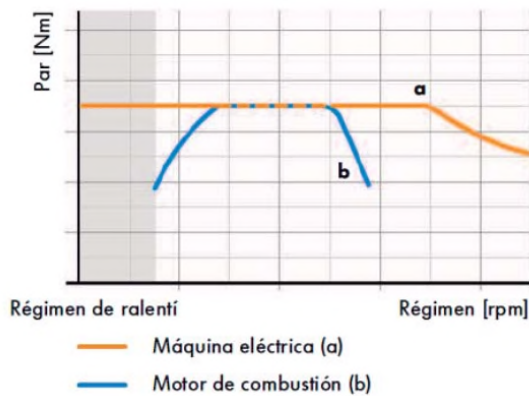


Gráfico 46. Porcentajes (%) de energía empleados en un vehículo de combustión interna [49]

Además, de las pérdidas hay que considerar que el régimen de trabajo del motor, no siempre es cercano al punto de carga máxima (cuando los vehículos circulan a la velocidad de crucero) donde se obtienen unas eficiencias del 28% en gasolina y un 33% en gasóleo. Las variaciones de potencia en los motores para adecuarse a los desplazamientos, arranques y paradas (sobre todo en los desplazamientos urbanos), los alejan de las marchas regulares, lo que reduce su eficiencia además de traducirse también en mayores consumos de combustible. Por tanto, se puede considerar que el



rendimiento para un vehículo de gasolina será del 18%, y en el caso de un diesel puede aumentar hasta un 23% e incluso un 33%, con los motores diésel de mejor tecnología disponible (Euro V, con start-stop y frenado regenerativo).

Los motores eléctricos entregan el par máximo desde el primer instante y de forma lineal.

Gráfico 47. Par motor: eléctrico y combustión.

5.1.2.1. Eficiencia Energética del Ciclo de Vida para los Vehículos

Con los datos anteriormente expuestos y aun empleando la tecnología menos eficiente, el vehículo eléctrico tiene más eficiencia que el de combustión interna:

Vehículo	Pozo a Tanque			Tanque a Rueda		Total
	Producción Crudo - Combustibles			Gasolina	Diésel	
MCI	87,5%			18%	23%	15,8% - 20,1%
VE	Nuclear	Térmicas	Renovables	Motor eléctrico		Total
	25%	31 - 41%	24 - 41%	75%		18% - 31%

Tabla 21. Eficiencia energética del ciclo de vida de un vehículo

5.2. Sostenibilidad económica

En cualquier flota de automóviles uno de los parámetros más importantes para el gestor es el coste total de la propiedad (CTP), que evalúa el coste de un vehículo, desde la compra (IVA e impuesto de matriculación), pasando por el combustible, mantenimiento, seguros e impuestos, y acabando con la venta de dicho vehículo como usado. Por tanto, para comparar la sostenibilidad económica de un VE

frente al de MCI, el combustible es uno de los parámetros que se está valorando para sustituir las flotas¹⁰.

El primer paso para poder realizar la comparación entre nuestros VE y un vehículo MCI ha sido seleccionar los modelos que existen en el mercado de características similares (técnicas y de servicio). Después, y a partir de las matrices desarrolladas y con las curvas de carga de las baterías hemos obtenido el consumo de energía eléctrica. Con las curvas NEDC y las matrices de desplazamiento, evaluaremos los consumos equivalentes para los combustibles fósiles, de forma que podamos obtener los litros de gasolina y/o gasóleo que hubieran sido necesarios para esos mismos desplazamientos, los costes económicos, y en un apartado posterior, sus emisiones de CO₂.

5.2.1. Combustible: Electricidad

Dado que la flota consta de 8 vehículos eléctricos, y estos están distribuidos en distintas ciudades, siendo el máximo de 2 vehículos por ciudad, para el estudio vamos a suponer que la carga de los vehículos se ha realizado con un punto de suministro exclusivo para ellos. Para elegir la tarifa eléctrica más conveniente, hay que considerar que éstas son de estructura binomial y están compuestas por un término fijo de potencia, que será en función de la potencia contratada (y la tensión de suministro) y un término de energía, proporcional a la energía consumida y medida por el contador.

Asimismo, para todos los consumidores la adquisición de esta energía para su suministro se realiza en el mercado libre desde el 1 de enero de 2003, lo que implica elegir libremente a su comercializadora, y por tanto contratar la oferta comercial que más convenga en condiciones pactadas. Nosotros hemos escogido la única tarifa regulada que existe en el mercado liberalizado, la Tarifa de Último Recurso (TUR), que es fijada periódicamente por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, válidas en baja tensión para potencias inferiores a 10 kW para particulares y PYMES, que se pueden encontrar en todas las comercializadoras de último recurso existentes, con el objetivo de compararlas con el coste de los combustibles, cuyo precio también hemos obtenido de los boletines que se publican por el Ministerio.

La determinación del precio de la energía, se hace al menos cada 6 meses (concretamente y en el año 2012, se fijaron 5 precios distintos y en el 2013, se publicaron 6) y se realiza ponderando las cotizaciones de la electricidad en los mercados a plazo, tomando como referencia principal el resultado de las subastas CESUR (Compra de Energía para el Suministro de Último Recurso).

A todos los precios deberán añadirseles el impuesto eléctrico (4,864% que se aplica a la suma de la potencia y energía, y el resultado se multiplica por 1,05113) y el IVA (18% de enero a agosto de 2012, y 21% de septiembre de 2012 hasta diciembre 2013).

¹⁰ Según un estudio del GE Capital², el combustible representa el 26% del TCO de las flotas de vehículos; según Lease Plan, representa más del 30%.

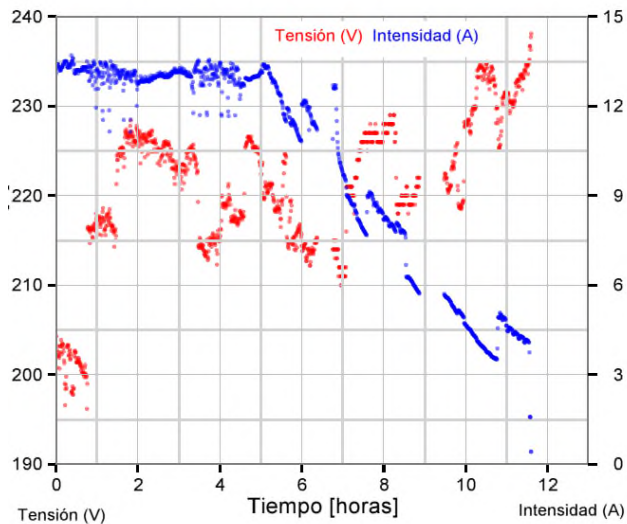


Gráfico 48. Tensión e Intensidad durante la carga de los VE

5.2.1.1. Término Fijo de Potencia

Cómo los VE sabemos que cargan según el fabricante, a 230 V y 10/16 A, y en las cargas que hemos realizado (ver apartado 4.4), la intensidad máxima que se ha medido ha sido 13 A (potencia máxima registrada 2.900 kW), son los valores que van a marcar la potencia a contratar, que debe ajustarse a los escalones correspondientes a las intensidades normalizadas para los aparatos de control de potencia (I.C.P.):

Intensidad (A)	Potencia (kW)	220 V
		230 V
10	2,20	
	2,30	
15	3,30	
	3,45	
20	4,40	
	4,60	
25	5,50	
	5,75	
30	6,60	
	6,90	
35	7,70	
	8,05	

Tabla 22. Extracto de las potencias eléctricas normalizadas (kW) [50]

En base a la distribución de los vehículos eléctricos, nos encontramos con ciudades con 2 VE, en los que vamos a elegir una potencia que nos permita la carga simultánea (potencia 6,90 kW), y resto de ciudades con un único VE (potencia 3,45 kW). La potencia total necesaria para los VE asciende a 27,6 kW (2 x 6,90 kW + 4 x 3,45 kW), distribuida en 6 puntos de suministro independientes.

El término de potencia se factura como el producto del término de facturación de potencia (€/kW año) por la potencia contratada (kW).

5.2.1.2. Término de energía

La energía se facturará como el producto del término de energía (€/kWh) por el consumo efectuado en el período (kWh). Para la energía y con la potencia que necesitamos (no superior a 10 kW), existen varias modalidades en función de si se elige o no la discriminación horaria:

- Tarifa 2.0A. El término de energía (€/kWh) tiene el mismo precio todas las horas del año.
- Tarifa 2.0DHA. Permite obtener una bonificación sobre el precio del kWh consumido exclusivamente en las horas valle, por la noche (14 horas/día); por el día, horas punta (10 horas/día), el precio es más elevado. Los tramos horarios además varían en invierno y verano.
- Tarifa 2.0DHS. Este tipo de discriminación horaria establece tres precios según el momento del día en que se consuma la electricidad, diferenciando en período punta (10 horas) con el precio más elevado, valle (8 horas) y más reducido y supervalle (6 horas), no variando los tramos horarios en invierno y verano. Está tarifa se creó en el RD/647/2011 para favorecer la recarga de los vehículos eléctricos al mejor precio (aunque no es exclusiva), para que esta opción de movilidad fuera aún más competitiva.

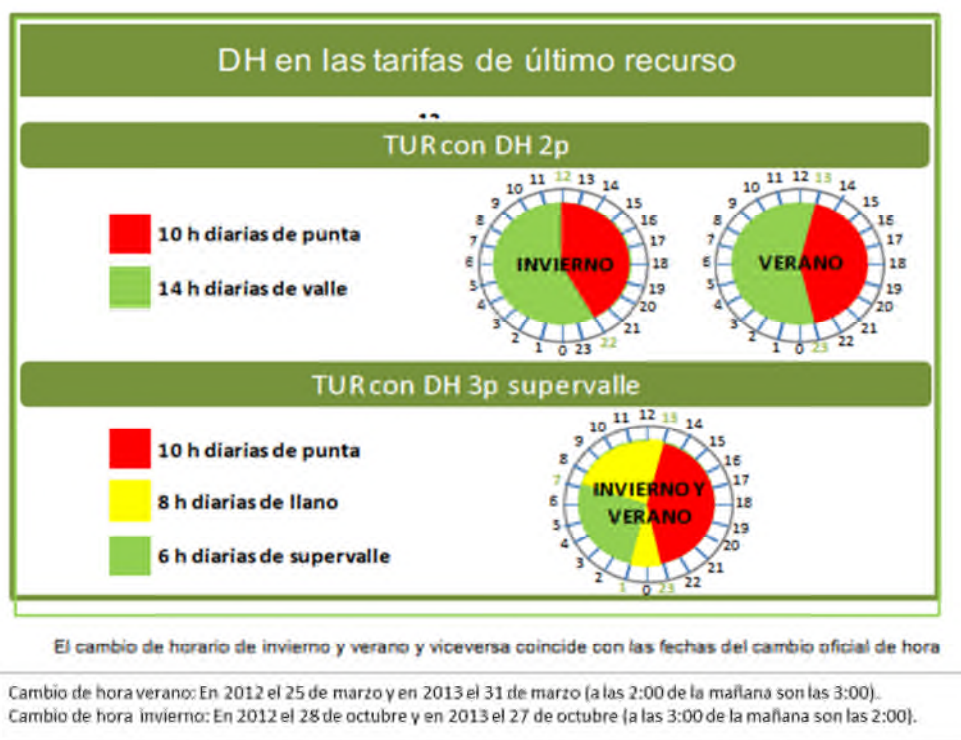


Gráfico 49. Períodos de Discriminación Horaria en las tarifas de último recurso.

5.2.1.3. Energía Verde: Renewable

También, tenemos la posibilidad de usar para la carga de los vehículos eléctricos Energía Verde, que proviene exclusivamente de fuentes de energías renovables, que se caracterizan por su máximo respeto medioambiental al evitar las emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes. Para esta tarifa, hemos elegido la Energía Verde Iberdrola [51], que está doblemente certificada¹¹. Esta tarifa no se crea comercialmente hasta septiembre de 2012; pero, nosotros la hemos simulado con los mismos criterios para los 8 primeros meses del año.

El precio para el término fijo de potencia coincide con el fijado en la TUR y para el término de la energía (que es un poco más elevado, 5% en algunos tramos horarios, al provenir únicamente de energías sin CO₂) también diferencia los precios en función de las horas (2.0A Verde, 2.0DHA Verde y 2.0DHS Verde).

5.2.1.4. Tarifas eléctricas

A continuación, se anexan las diferentes tarifas eléctricas que se pueden aplicar, y que han ido apareciendo en los BOE correspondientes:

AÑO 2012									
Fechas Tarifas	01/01/2012 a 31/03/2012 (1)			01/04/2012 a 31/05/2013 (2)			01/06/2012 a 30/06/2013 (3)		
Tarifa Electricidad Pot.<= 10kW	Término de Potencia (€/kW año)			Término de Potencia (€/kW año)			Término de Potencia (€/kW año)		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
		27,182742			21,893189			21,893189	
2.0A Verde		27,182742			21,893189			21,893189	
2.0DHA		27,182742			21,893189			21,893189	
2.0DHA Verde		27,182742			21,893189			21,893189	
2.0DHS		27,182742			21,893189			21,893189	
2.0DHS Verde		27,182742			21,893189			21,893189	
Tarifa Electricidad Pot.<= 10kW	Término de Energía (€/kWh)			Término de Energía (€/kWh)			Término de Energía (€/kWh)		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
2.0A		0,168075			0,142138			0,142208	
2.0A Verde		0,176479			0,149245			0,149318	
2.0DHA	0,208833	0,062260		0,172438	0,060700		0,172518	0,060780	
2.0DHA Verde	0,219275	0,062260		0,181060	0,060700		0,181144	0,060780	
2.0DHS	0,209923	0,074608	0,051735	0,172278	0,070370	0,054335	0,172358	0,070440	0,054405
2.0DHS Verde	0,220419	0,074608	0,051735	0,180892	0,070370	0,054335	0,180976	0,070440	0,054405

¹¹ En su origen, por certificados RECS ("Renewable Energy Certificate System") emitidos y administrados por un Organismo ("Issuing Body"), que garantiza que la energía generada proviene exclusivamente de fuentes renovables. Procedencia renovable de la totalidad de la energía contratada, certificada por "Bureau Veritas Quality International".

ANO 2012						
Fechas Tarifas	01/07/2012 al 30/09/2012 (4)			01/10/2012 al 31/12/2012 (5)		
Tarifa Electricidad Pot.<= 10kW	Término de Potencia (€/kW año)			Término de Potencia (€/kW año)		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
	21,893189			21,893189		
2.0A Verde	21,893189			21,893189		
2.0DHA	21,893189			21,893189		
2.0DHA Verde	21,893189			21,893189		
2.0DHS	21,893189			21,893189		
2.0DHS Verde	21,893189			21,893189		
Tarifa Electricidad Pot.<= 10kW	Término de Energía (€/kWh)			Término de Energía (€/kWh)		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
	0,149198			0,145578		
2.0A Verde	0,156658			0,152857		
2.0DHA	0,180838	0,067940		0,178438	0,059070	
2.0DHA Verde	0,189880	0,067940		0,187360	0,059070	
2.0DHS	0,180508	0,077160	0,059725	0,179448	0,070800	0,050795
2.0DHS Verde	0,189533	0,077160	0,059725	0,188420	0,070800	0,050795

Tabla 23. Tarifa TUR del 2012.

ANO 2013									
Fecha Tarifas	01/01/2013 a 28/02/2013 (6)			01/03/2013 a 31/03/2013 (7)			01/04/2013 a 30/06/2013 (8)		
Tarifa Electricidad Pot.<= 10kW	Término de Potencia (€/kW año)			Término de Potencia (€/kW año)			Término de Potencia (€/kW año)		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
	21,893189			21,893189			21,893189		
2.0A Verde	21,893189			21,893189			21,893189		
2.0DHA	21,893189			21,893189			21,893189		
2.0DHA Verde	21,893189			21,893189			21,893189		
2.0DHS	21,893189			21,893189			21,893189		
2.0DHS Verde	21,893189			21,893189			21,893189		
Tarifa Electricidad Pot.<= 10kW	Término de Energía (€/kWh)			Término de Energía (€/kWh)			Término de Energía (€/kWh)		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
	0,150938			0,150938			0,138658		
2.0A Verde	0,158485			0,158485			0,145591		
2.0DHA	0,183228	0,063770		0,183228	0,063770		0,167658	0,057190	
2.0DHA Verde	0,192389	0,063770		0,192389	0,063770		0,176041	0,057190	
2.0DHS	0,184298	0,077720	0,052775	0,184298	0,077720	0,052775	0,167558	0,069460	0,049695
2.0DHS Verde	0,193513	0,077720	0,052775	0,193513	0,077720	0,052775	0,175936	0,069460	0,049695

ANO 2013									
Fecha Tarifas	01/07/2013 al 31/07/2013 (9)			01/08/2013 al 30/09/2013 (10)			01/10/2013 al 31/12/2013 (11)		
Tarifa Electricidad Pot.<= 10kW	Término de Potencia (€/kW año)			Término de Potencia (€/kW año)			Término de Potencia (€/kW año)		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
	21,893189			35,649473			35,649473		
2.0A Verde	21,893189			35,649473			35,649473		
2.0DHA	21,893189			35,649473			35,649473		
2.0DHA Verde	21,893189			35,649473			35,649473		
2.0DHS	21,893189			35,649473			35,649473		
2.0DHS Verde	21,893189			35,649473			35,649473		
Tarifa Electricidad Pot.<= 10kW	Término de Energía (€/kWh)			Término de Energía (€/kWh)			Término de Energía (€/kWh)		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
	0,140728			0,124985			0,130485		
2.0A Verde	0,147764			0,131234			0,137009		
2.0DHA	0,172148	0,059420		0,150108	0,058633		0,158548	0,055833	
2.0DHA Verde	0,180755	0,059420		0,157613	0,058633		0,166475	0,055833	
2.0DHS	0,171878	0,069250	0,050915	0,149838	0,068148	0,050522	0,159148	0,070678	0,046932
2.0DHS Verde	0,180472	0,069250	0,050915	0,157330	0,068148	0,050522	0,167105	0,074212	0,046932

Tabla 24. Tarifa TUR del 2013.

5.2.1.5. Evaluación Económica

A partir de la matriz de energía, dónde se han obtenido los consumos energéticos horarios anuales para la carga de los vehículos, y las diferentes modalidades de tarifas horarias existentes (discriminadas en períodos horarios), se pueden calcular los costes económicos.

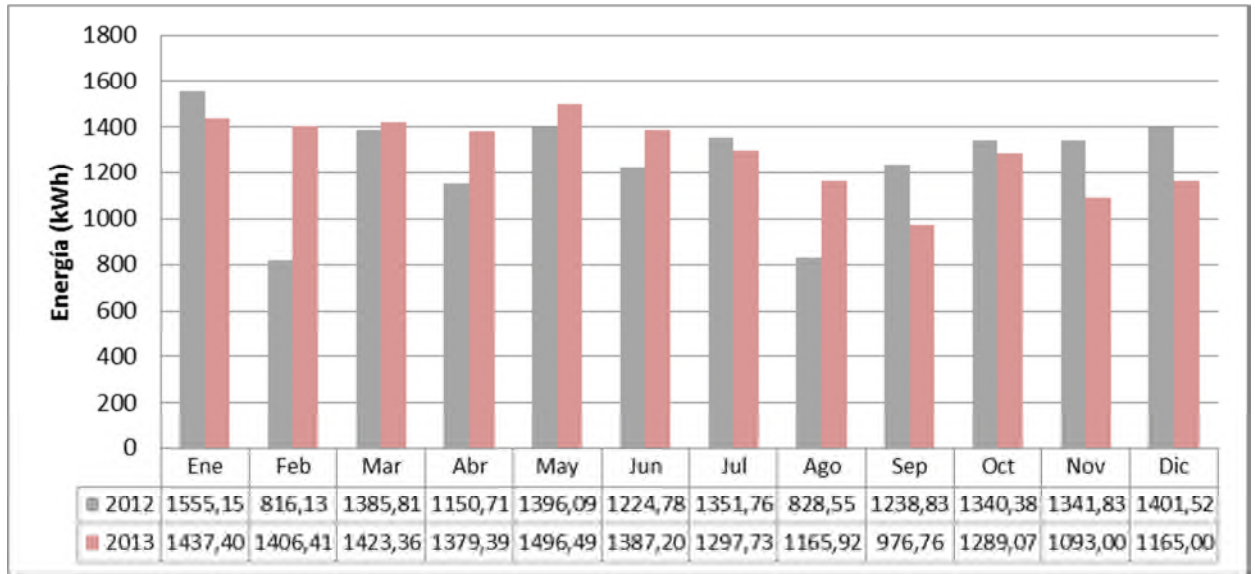


Gráfico 50. Energía Consumida (kWh) para la carga de los VE (2012-2013)

Como se puede comprobar en las siguientes tablas, la tarifa más conveniente para la carga de la flota de los vehículos eléctricos corresponde a la tarifa 2.0.A, que es la que tiene 2 períodos de discriminación horaria, y en la que las horas valles (energía más económica) coincide con la horas en las que se realizan la mayoría de las cargas de los vehículos.

SIN IMPUESTOS NI IVA		Costes Potencia (€)	Costes Energía (€)					
2012	Energía (kWh)	Potencia	2.0.A	2.0.A Verde	2.0DHA	2.0DHA Verde	2.0DHS	2.0DHS Verde
Ene	1.555,15	63,55	261,38	274,45	235,53	245,41	235,91	245,64
Feb	816,13	47,88	137,17	144,03	116,95	121,66	119,97	124,82
Mar	1.385,81	51,18	232,92	244,57	199,78	207,87	201,53	209,55
Abr	1.150,71	49,53	163,56	171,74	133,72	138,65	135,25	140,18
May	1.396,09	51,18	198,44	208,36	173,56	180,41	175,52	182,37
Jun	1.224,78	49,53	174,17	182,88	147,71	153,37	364,59	370,24
Jul	1.351,76	51,18	201,68	211,76	170,68	177,00	171,93	178,23
Ago	828,55	51,18	123,62	129,80	101,49	105,11	102,04	105,65
Sep	1.238,83	49,53	184,83	194,07	158,76	164,73	159,75	165,71
Oct	1.340,38	51,18	195,13	204,89	172,09	179,03	174,59	181,54
Nov	1.341,83	49,53	195,34	205,11	165,29	171,72	166,60	172,92
Dic	1.401,52	51,18	204,03	214,23	174,69	181,56	176,31	183,08
TOTAL	15.031,54	616,62	2.272,27	2.385,89	1.950,25	2.026,52	2.183,98	2.259,93

Tabla 25. Costes de la potencia y energía (sin impuestos, ni IVA) de carga de los VE en 2012.

CON IMPUESTOS E IVA		Costes Potencia (€)	Costes Energía (€)					
2012	Energía (kWh)	Potencia	2.0.A	2.0.A Verde	2.0DHA	2.0DHA Verde	2.0DHS	2.0DHS Verde
Ene	1.555,15	78,82	324,20	340,41	292,14	304,40	292,60	304,68
Feb	816,13	59,38	170,14	178,64	145,06	150,90	148,81	154,82
Mar	1.385,81	63,48	288,90	303,34	247,79	257,82	249,96	259,91
Abr	1.150,71	61,43	202,87	213,01	165,86	171,97	167,76	173,87
May	1.396,09	63,48	246,13	258,43	215,27	223,77	217,70	226,20
Jun	1.224,78	61,43	216,03	226,83	183,21	190,22	452,21	459,21
Jul	1.351,76	63,48	250,15	262,66	211,70	219,53	213,25	221,06
Ago	828,55	63,48	153,33	160,99	125,88	130,37	126,56	131,04
Sep	1.238,83	61,43	229,25	240,71	196,91	204,32	198,14	205,54
Oct	1.340,38	63,48	242,03	254,13	213,45	222,06	216,55	225,17
Nov	1.341,83	61,43	242,29	254,40	205,02	212,99	206,63	214,48
Dic	1.401,52	63,48	253,07	265,72	216,67	225,19	218,68	227,08
TOTAL	15.031,54	764,81	2.818,37	2.959,29	2.418,96	2.513,56	2.708,85	2.803,06

Tabla 26. Costes de la potencia y energía (con impuestos e IVA) de carga de los VE en 2012.

SIN IMPUESTOS NI IVA		Costes Potencia (€)	Costes Energía (€)					
2013	Energía (kWh)	Potencia	2.0.A	2.0.A Verde	2.0DHA	2.0DHA Verde	2.0DHS	2.0DHS Verde
Ene	1.437,40	51,32	216,96	227,81	191,01	198,63	190,02	197,29
Feb	1.406,41	46,35	212,28	222,89	193,63	201,61	194,30	202,11
Mar	1.423,36	51,32	214,84	225,58	191,09	198,79	192,09	199,64
Abr	1.379,39	49,66	191,26	200,83	160,44	166,63	162,84	169,03
May	1.496,49	51,32	207,50	217,88	182,81	190,19	185,33	192,70
Jun	1.387,20	49,66	192,35	201,96	167,34	174,01	170,20	176,87
Jul	1.297,73	51,32	182,63	191,76	161,01	167,41	162,34	168,74
Ago	1.165,92	83,57	145,72	153,01	122,63	127,08	123,84	128,28
Sep	976,76	80,87	122,08	128,18	106,47	110,51	107,30	111,33
Oct	1.289,07	83,57	168,20	176,61	151,11	157,22	153,70	160,93
Nov	1.093,00	80,87	142,62	149,75	128,91	134,14	130,31	136,41
Dic	1.165,00	83,57	152,02	159,62	132,16	137,34	134,01	140,21
TOTAL	15.517,73	763,40	2.148,46	2.255,88	1.888,61	1.963,56	1.906,29	1.983,55

Tabla 27. Costes de la potencia y energía (sin impuestos, ni IVA) de carga de los VE en 2013.

CON IMPUESTOS E IVA		Costes Potencia (€)	Costes Energía (€)					
2013	Energía (kWh)	Potencia	2.0.A	2.0.A Verde	2.0DHA	2.0DHA Verde	2.0DHS	2.0DHS Verde
Ene	1.437,40	63,65	269,10	282,55	236,91	246,36	235,68	244,71
Feb	1.406,41	57,49	263,30	276,46	240,17	250,06	241,00	250,68
Mar	1.423,36	63,65	266,47	279,80	237,02	246,56	238,26	247,62
Abr	1.379,39	61,60	237,23	249,09	199,00	206,68	201,98	209,65
May	1.496,49	63,65	257,37	270,24	226,74	235,89	229,87	239,02
Jun	1.387,20	61,60	238,57	250,50	207,55	215,84	211,10	219,38
Jul	1.297,73	63,65	226,52	237,84	199,70	207,65	201,36	209,29
Ago	1.165,92	103,65	180,74	189,78	152,10	157,63	153,60	159,12
Sep	976,76	100,31	151,42	158,99	132,06	137,06	133,09	138,09
Oct	1.289,07	103,65	208,63	219,06	187,42	195,00	190,64	199,61
Nov	1.093,00	100,31	176,90	185,74	159,89	166,38	161,63	169,19
Dic	1.165,00	103,65	188,55	197,98	163,93	170,35	166,22	173,91
TOTAL	15.517,73	946,87	2.664,80	2.798,03	2.342,49	2.435,46	2.364,43	2.460,25

Tabla 28. Costes de la potencia y energía (con impuestos e IVA) de carga de los VE en 2013

Hay que tener en cuenta, que estos costes incluyen no sólo la energía necesaria para realizar la carga de la batería al 100% después de haber realizado un desplazamiento (tramos A, B y C), sino también los consumos necesarios para mantener la temperatura adecuada de las baterías ZEBRAS (245°C)

(tramo D), lo que supone unos costes de energía por mantenimiento, que penalizan al VE con este tipo de baterías frente al de combustión (dónde el combustible sólo se consume cuando los vehículos realizan recorridos).

Cómo hemos expuesto en el capítulo anterior (4.5.1), en el 2012 la energía empleada para el mantenimiento de la batería ha supuesto una media de un 61,49%, y en el 2013, un 58,94%. Por tanto, los costes de energía dedicados exclusivamente a la recarga de la batería para realizar los desplazamientos, se reducirían proporcionalmente en estas cantidades, lo que supondría aproximadamente una reducción del precio con la tarifa 2.0A, (que es la que no tiene períodos de discriminación horaria):

Período	Energía carga (0-100%SOC)	Energía 2.0.A sin imp. (€)	Energía 2.0.A VERDE sin imp. (€)	Energía 2.0.A con imp. (€)	Energía 2.0.A VERDE con imp. (€)
2012	38,51 %	875,02	918,81	1.085,32	1.139,62
2013	41,06 %	882,07	926,26	1.094,06	1.148,87
Período	Energía Mto. (100%SOC)	Energía 2.0.A sin imp.	Energía 2.0.A VERDE sin imp.	Energía 2.0.A con imp.	Energía 2.0.A VERDE con imp.
2012	61,49 %	1.397,25	1.467,08	1.733,05	1.819,67
2013	58,94 %	1.266,39	1.329,62	1.570,74	1.649,16

Tabla 29. Tarifa de energía 2.0.A en función de los tramos de energía de la batería

El término fijo de potencia no se ve afectado por la energía. En el resto de tarifas (discriminación horaria), para poder realizar los cálculos habría que desplazar todas las cargas de los vehículos a las horas valle (considerando el carsharing prioritario, lo que supone que si el mismo día un vehículo tenía 2 o más reservas, la prioridad la tiene que el coche pueda ser cargado para utilizarse y no el ahorro en combustible). Asimismo, mientras se retrasa la carga el coche también sufre un proceso de autodescarga, que aunque no es significativo, también habría que tenerlo en cuenta. Estas consideraciones aplican en el caso de la tarifa con 2 períodos de discriminación horaria. En el caso, de la tarifa con 3 períodos, aparte de lo indicado anteriormente, también hay que contar con que la tarifa más económica es de 1:00 a 7:00 de la mañana (6 horas), y los coches tienen que estar disponibles a partir de las 7.30 de la mañana, por lo que sólo será válida para cargar aquellos vehículos cuyo nivel de batería no sea inferior aproximadamente al 60% (ver apartado 4.4).

El incremento de más de un 11% de los kilómetros realizados en 2013 frente a 2012, solamente ha supuesto un 3% más de energía:

- Año 2012: 15.031,54 kWh / 18.289 km = 0,82 kWh/km.
- Año 2013: 15.517,73 kWh / 20.427 km = 0,76 kWh/km.

5.2.2. Combustibles fósiles: gasolina / diésel

En un vehículo convencional, el consumo de combustible se evalúa como la cantidad de combustible consumido cada 100 kilómetros recorridos (l/100 km). Este consumo depende de la velocidad y régimen al que se circulen (urbano, extraurbano o mixto), resistencia del vehículo, consumo de combustible en el motor, su transmisión y marchas (Gráfico 51).

Cómo ya hemos citado en apartados anteriores, hay que considerar que en todo motor de combustión existe un punto óptimo de funcionamiento dónde el consumo de combustible es mínimo. Esta zona de trabajo se encuentra a la velocidad media del motor, y coincide con el par máximo, y dónde las pérdidas de admisión y escape se reducen al mínimo.

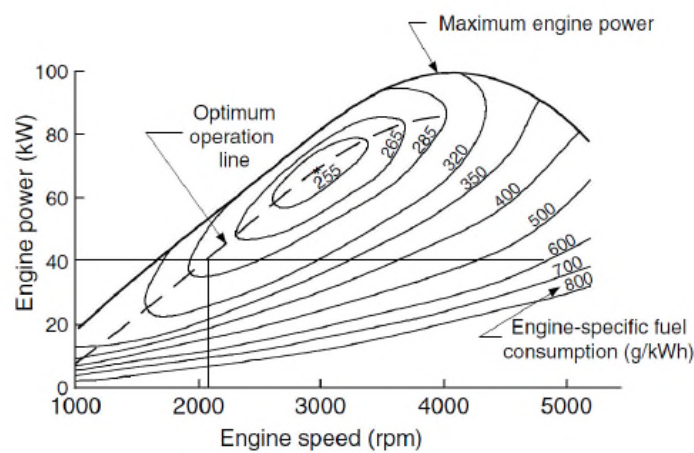


Gráfico 51. Curvas características del motor de gasolina

5.2.2.1. Selección de los vehículos MCI para comparar con los VE

Para elegir los tipos de vehículos de combustión más similares a la flota de VE de la que disponemos, se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Segmento de los vehículos por medidas. Debido a las dimensiones y características del Think City hay que clasificarlo como un microcoche (para 2 personas y con dimensiones inferiores a 3,30 m, que corresponden al segmento A).

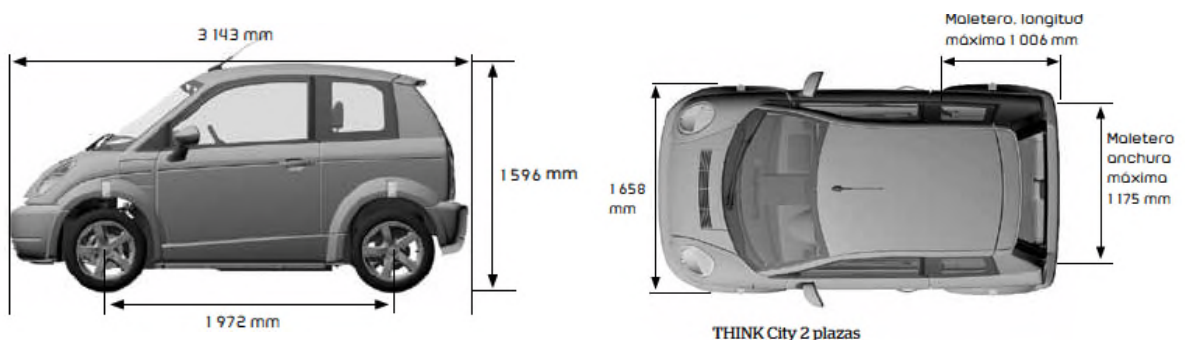


Gráfico 52. Medidas del VE Think City

- En el mercado actual y en este segmento, son limitados los modelos que se pueden encontrar para realizar la comparación: SMART for Two y TOYOTA iQ, que aunque cuenta con 4 plazas, las traseras son muy reducidas, uso para sillas infantiles o 1 adulto. Ambos vehículos, se comercializan actualmente en España con motores de gasolina, aunque en el pasado se comercializaron con diesel, y en otros países de la UE se pueden encontrar con este tipo de motorización. En estos modelos, en el caso del SMART existe una versión eléctrica y en el IQ, se lanzó el año pasado en EEUU y Japón un prototipo eléctrico.
- Características Técnicas del Motor. Con el objeto de incluir algún modelo diésel que se este comercializando en España, para disponer de más datos comparativos para el estudio, se ha buscado algún vehículo que pudiera incluirse. Hemos encontrado el Peugeot 107 (igual al Citroën C1; alianza PSA, gasolina: 50kW-93Nm), que aunque por medidas se incluye en el segmento A (excede en 13 cm el segmento del microcoche), sus motorizaciones (gasolina: 50 kW-93Nm) y consumos son similares al SMART (gasolina: 52kW-91Nm; diesel: 40kW-130Nm) y TOYOTA iQ (gasolina: 50kW-91Nm; diesel: 66kW-190Nm), todos superiores al Think City (30 kW y 90 Nm de para máximo). Al igual que sucedía en los microcoches este modelo sólo se fabrica en gasolina (existió una versión del C1 diésel (54 kW-130 Nm), pero se dejó de comercializar en nuestro país), por lo que no lo vamos a considerar porque no aporta un modelo que pudiéramos adquirir actualmente. Buscar un diésel en España con estas características es difícil, y el más similar que hemos podido encontrar ha sido el Fiat 500 (que cuenta con 2 motorizaciones de gasolina, de las que hay que elegir la que tiene mayor potencia, porque el motor incorpora la tecnología start-stop, que reduce sus consumos: 77 kW-145 Nm; diesel: 70kW-200Nm), y que finalmente tampoco vamos a usar para comparar, porque el motor tiene una potencia muy superior.
- Para los diferentes modelos elegidos, y debido al régimen del motor de combustión interna, y a las diferentes necesidades según su funcionamiento, el consumo de combustible será distinto (ciclo NEDC). Por tanto, para el estudio se ha escogido un valor medio de los consumos teóricos dados por los fabricantes de sus modelos (o de revistas especializadas del motor en el caso de los modelos que ya no se comercializan¹²) y se han diferenciado los trayectos en función de su velocidad para clasificarlos en urbano, extra-urbano y mixto.

¹² Datos obtenidos de diferentes web especializadas de motor que están en la web (www.km77.com, www.arpem.com, www.autopista.es, www.auto-data.net)

Consumos y Emisiones		SMART*	TOYOTA iQ	Valor Medio Calculado*
Gasolina	Urbano (l/100km)	4,9	5,1	5,0
	Extra-urbano (l/100km)	3,7	4	3,9
	Mixto (l/100km)	4,1	4,4	4,3
	(Emisiones CO ₂ g/km)	(90)	(99)	(94,5)
Diesel	Urbano (l/100km)	3,4	4,8	4,1
	Extra-urbano (l/100km)	3,2	3,4	3,3
	Mixto (l/100km)	3,3	3,9	3,6
	(Emisiones CO ₂ g/km)	90	(103)	(96,5)

Tabla 30. Consumos y emisiones de motores de combustión interna

5.2.2.2. Curvas NECD: Consumo y autonomía

Los vehículos comercializados en la UE presentan datos homologados de consumo y autonomía medidos a través del ciclo de ensayo NEDC (New European Driving Cycle) [52]. Esta prueba se hace en una nave cerrada, siempre a la misma presión atmosférica y temperatura; el coche debe tener un kilometraje entre 3.000 y 15.000 km, y permanecer entre 20 – 30° antes de la prueba, durante seis horas y media (En estudios recientes se ha comprobado que una temperatura de 22°C en vez 28°C puede aumentar más de un 4% el valor del CO₂ (TÜV, 2010). No tiene en cuenta la resistencia del aire, ni la inclinación del terreno, pero si el funcionamiento en ralentí del vehículo (25% del tiempo). El peso se simula colocando el coche sobre un banco de rodillos (vehículo vacío + 90% del depósito del combustible + rueda de repuesto, fluidos y kit de herramientas) , que simulan el impacto del consumo (incluyendo niveles de resistencia), con un sólo conductor (100 kg) y sin sistemas eléctricos conectados. La prueba consiste en:

- Simular un recorrido urbano europeo (UDC – Urban Driving Cycle) formado por cuatro ciclos de conducción ECE-15¹³ repetidos. Se caracteriza por bajas velocidades, baja carga del motor y baja temperatura de los gases de escape.

¹³ Introducido por primera vez en 1970 como parte de las normas para vehículos (ECE R83, R84 y R101)

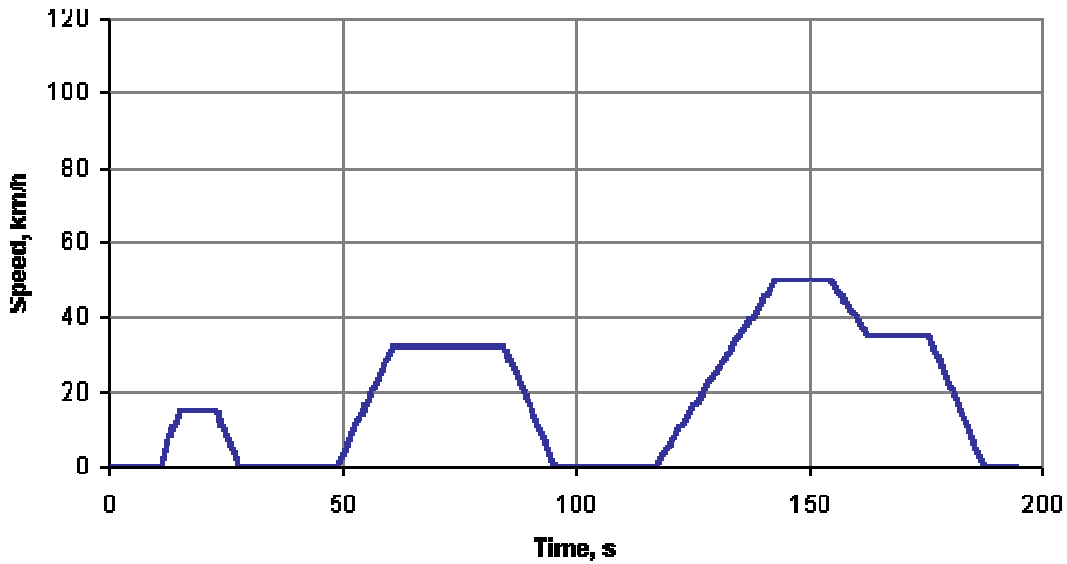


Gráfico 53. Ciclo de Conducción Urbano (ECE-15) [53].

- Un ciclo de conducción extraurbano (EUDC – Extra Urban Driving Cycle)¹⁴, diseñado para modos de conducción de velocidades más altas (velocidad máxima 120 km/h sólo 10 segundos). Para vehículos de baja potencia, se ha limitado la velocidad máxima a 90 km/h.

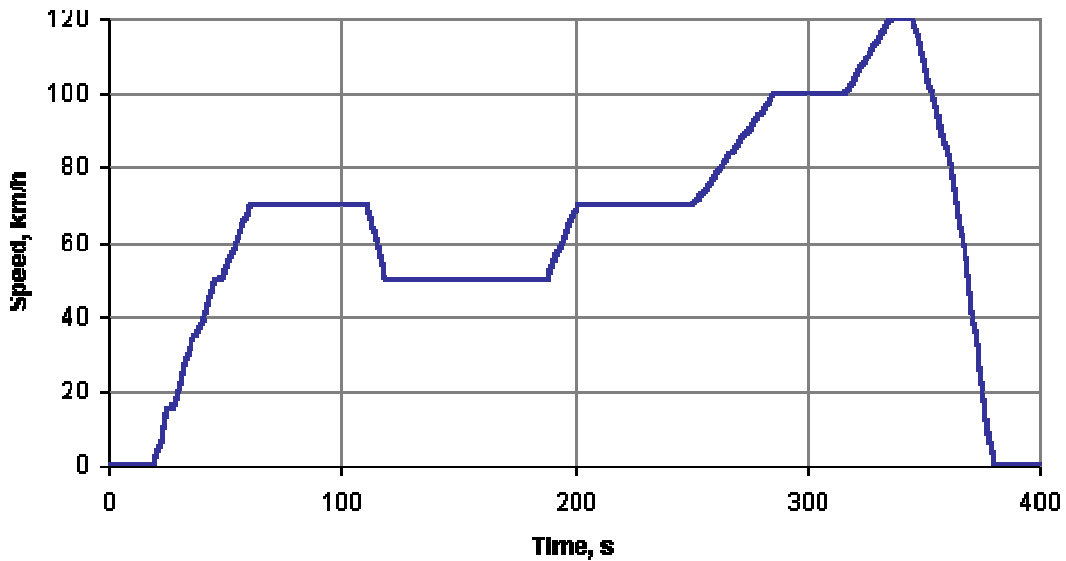


Gráfico 54. Ciclo de Conducción Extraurbano (EUDC) (Velocidad máxima 120 km/h) [53].

¹⁴ Introducido por ECE R101 en 1990.

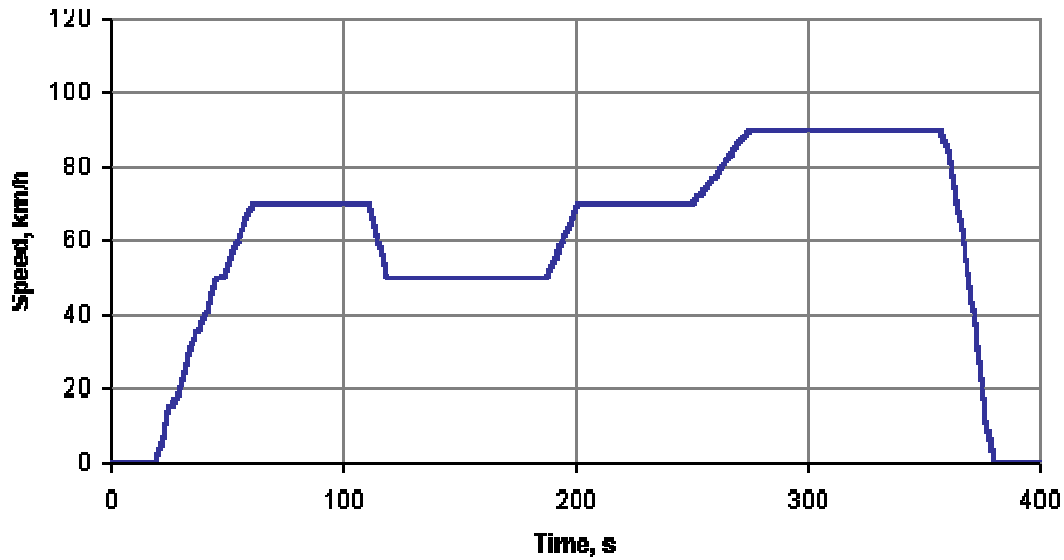


Gráfico 55. Ciclo de Conducción Extraurbano (Velocidad máxima 90 km/h) [53].

Unidades	ECE 15	EUDC (120 km/h)	NEDC 4xECE 15 + 1xEUDC	EUDC (90 km/h)
Distancia (km)	0,9941	6,9459	10,9314	6,9549
Tiempo total (seg)	195	400	1180	400
Tiempo paradas (seg)	57	39	267	39
Velocidad media (km/h incluyendo paradas)	18,35	62,59	33,35	57,18
Velocidad media (km/h excluyendo paradas)	25,93	69,36	43,10	63,36
Velocidad Máxima (km/h)	50	120	120	90

Tabla 31. Parámetros del ciclo NEDC [53]. (EUDC (90 km/h))¹⁵

5.2.2.3. Hipótesis y método de cálculo del combustible fósil

Considerando los parámetros del ciclo NEDC, que son los utilizados por los fabricantes para establecer los valores de los consumos de los vehículos que hemos seleccionado en el apartado anterior, y a partir de la matriz de desplazamientos construida, dónde se han calculado las velocidades medias y máximas de cada uno de los recorridos, podemos realizar los cálculos del consumo y coste de combustible fósil que supondría la flota de vehículos eléctricos que disponemos, usando las siguientes hipótesis:

- Todos los recorridos cuya velocidad máxima sea menor o igual a 50 km/h, y cuya velocidad media sea menor o igual a 18,35 km/h (según la curva ECE15 de NEDC e incluyendo paradas), las clasificamos como urbano.

¹⁵ Elaboración propia a partir de las curvas NEDC.

- Todos los recorridos cuya velocidad máxima sea mayor a 90 km/h, y cuya velocidad media sea mayor o igual a 57,18 km/h (según las curva EUDC 90 km/h de NEDC e incluyendo paradas), las clasificamos como extra-urbano.
- Los recorridos que no cumplan ninguno de los dos requisitos anteriores se consideran mixtos.
- En función del tipo de recorrido-consumo, aplicaremos el valor medio del consumo calculado (gasolina y diesel) del modelos de coche de combustión hipotético a comparar (media del SMART y TOYOTA iQ) y lo multiplicaremos por la distancia recorrida por los vehículos de la flota para obtener los litros de combustible necesario.
- Dado que los vehículos se encuentran en diferentes ciudades españolas y los precios para los carburantes son distintos el coste se obtiene a partir de los precios de los carburantes que se publican en los informes mensuales del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. [54] “Los precios con impuestos son los de surtidor con venta al público (no se consideran las ventas restringidas) y no incluyen los posibles descuentos por utilización de tarjetas, o los aplicados a clientes prioritarios o asociaciones. Incluyen IVA (18% hasta agosto de 2012, y 21% en el resto del período), impuesto de hidrocarburos, tramo estatal del Impuesto sobre Ventas Minoristas (IVM) y tramo autonómico del IVM en las Comunidades Autónomas que lo aplican (en Andalucía, Cataluña, Castilla-León y Comunidad Valenciana tienen el nivel máximo de 4,8cts/l tanto en gasolina como gasóleo). Los precios sin impuestos no incluyen ningún impuesto”.

5.2.2.4. Evaluación económica usando combustibles fósiles

Aplicando las consideraciones anteriores, obtenemos los resultados de la Tabla 32 y Tabla 33:

2012	Gasolina			Gasóleo		
	Litros	PSI	PVP	Litros	PSI	PVP
Ene	81,79	62,15	110,85	68,58	53,74	91,51
Feb	32,21	23,79	44,78	26,95	21,40	36,20
Mar	74,25	58,48	107,78	62,16	51,05	85,85
Abr	58,94	48,16	87,52	49,38	40,40	67,92
May	96,62	71,09	134,24	79,34	107,40	62,65
Jun	67,14	47,53	91,46	56,24	41,68	72,58
Jul	63,73	45,96	87,75	53,39	40,80	70,31
Ago	31,18	24,59	45,45	26,14	21,34	36,06
Sep	63,95	49,85	95,23	53,66	43,91	76,34
Oct	78,22	58,55	113,13	65,59	52,67	91,72
Nov	70,79	47,65	96,47	59,24	44,69	79,85
Dic	59,31	40,16	80,93	49,75	37,20	66,49
TOTAL	778,13	577,96	1.095,59	650,42	556,28	837,48

Tabla 32. Costes de gasolina y gasóleo en 2012.

2013	Gasolina			Gasóleo		
	Litros	PSI	PVP	Litros	PSI	PVP
Ene	66,53	47,04	93,12	55,65	42,66	75,74
Feb	80,97	61,03	117,99	67,84	53,45	93,95
Mar	68,72	51,5	99,97	57,64	44,73	79,16
Abr	80,75	58,91	115,36	67,69	50,79	90,71
May	91,93	68,23	128,56	77	56	101,12
Jun	84,65	61,02	120,31	71	52,35	94,27
Jul	73,93	54,41	106,07	62	46,97	83,52
Ago	66,62	49,8	95,95	55,87	42,92	75,54
Sep	54,02	39,81	77,55	45,2	35,44	62,34
Oct	74,35	52,27	104,01	62,25	47,24	84,21
Nov	69,08	48,11	95,47	57,92	43,5	77,32
Dic	55,67	39,02	77,83	46,65	35,26	63,03
TOTAL	867,22	631,15	1232,19	726,71	551,31	980,91

Tabla 33. Costes de gasolina y gasóleo en 2013.

5.2.3. Ahorros en combustible

En los apartados anteriores, y considerando los datos reales de los que disponemos hemos valorado los costes totales de energía eléctrica considerando no sólo los desplazamientos sino también la energía necesaria debida a las características de la batería para su mantenimiento (e incluyendo el término fijo de potencia), mientras que para los combustibles fósiles, sólo son necesarios los kilómetros recorridos. Con los resultados obtenidos, no hemos podido demostrar que el ahorro en combustible usando esta flota eléctrica con la tecnología de las baterías ZEBRA haya sido notable, y sin embargo, ¿el coste €/km es rentable? ¿a partir de cuántos kilómetros de recorridos anuales?

	Sin Impuesto (€)				Con Impuesto (€)			
	2.0.A*	2.0.A Verde*	Gasolina	Gasóleo	2.0.DHA	2.0.DHA Verde	Gasolina	Gasóleo
Desplazamientos								
2012	875,02	918,81	577,96	556,28	1.085,32	1.139,62	1.095,59	837,48
2013	882,07	926,26	631,15	551,31	1.094,06	1.148,87	1.232,19	980,91
TOTAL	1.757,09	1.845,07	1.209,11	1.107,59	2.179,38	2.288,49	2.327,78	1.818,39
Desplazamientos y Mantenimiento								
2012	2.586,87	2.643,14	577,96	556,28	2.652,01	2.726,96	1.095,59	837,48
2013	3.183,76	3.278,36	631,15	551,31	3.289,37	3.382,33	1.232,19	980,91
TOTAL	5.770,63	5.921,50	1.209,11	1.107,59	5.941,38	6.149,29	2.327,78	1.818,39

*La tarifa eléctrica empleada es diferente si sólo consideramos los costes debidos a la carga de la batería por desplazamientos que si valoramos el coste total de la energía (en ese caso, también hemos incluido el término fijo de potencia).

Tabla 34. Costes comparativos combustibles (con/sin impuestos) de la flota de VE versus MCI.

En el caso de los vehículos eléctricos, el fabricante indica el consumo de energía por la capacidad de la batería expresada en kWh (medida en sus terminales) y la autonomía de la batería en cada carga. Por lo que para evaluar el consumo de los VE, y compararlo con los vehículos de combustión (l/100 km), emplearemos los kWh/km, y con este parámetro nadie duda de que el vehículo eléctrico es más económico; comprobémoslo.

Según las especificaciones del fabricante de la batería ZEBRA Z36-371-ML3X-76:

- La energía/capacidad nominal de la batería es 28,2 kWh/76 Ah, energía aprovechable 23 kWh. Valor que hemos podido verificar en el apartado de autodescarga.
- La autonomía IEC prevista en conducción mixta es 160 km en verano y 90 km en invierno, lo que supone una media de 125 km. También comprobado en el apartado de autonomía y consumo.

Por tanto, a partir de estos datos podemos valorar el coste (€/100km) empleando todos los combustibles:

Año	Consumo	Sin Impuestos		Con Impuestos	
		PSI	Coste €/ 100 km	PVP	Coste € /100 km
2012	Electricidad 18,4kWh / 100 km	0,15 €/kWh	2,76	0,19 €/kWh	3,50
	Gasolina 4,31 / 100 km	0,74 €/l	3,18	1,42 €/l	6,11
	Gasóleo 3,91 /100 km	0,79 €/l	3,09	1,37 €/l	5,34
2013	Electricidad 18,4kWh / 100 km	0,14 €/kWh	2,58	0,18 €/kWh	3,31
	Gasolina 4,31 / 100 km	0,72 €/l	3,10	1,43 €/l	6,15
	Gasóleo 3,91 /100 km	0,75 €/l	2,93	1,36 €/l	5,30

Tabla 35. Comparación del coste €/100 km del VE versus MCI

El precio de la energía eléctrica kWh se ha obtenido como la media ponderada de la tarifa 2.0.A TUR (no estamos considerando el término fijo de potencia) y para los combustibles fósiles se ha calculado la media del PSI y PVP Español de los precios de los carburantes publicados en los informes mensuales que publica el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. [54]

El ahorro de combustible del VE frente al de MCI puede calcularse cómo:

$$A_{VE-MCI} = \left(1 - \frac{P_E \frac{B_{VE}}{R_{EV}}}{P_F \frac{C_{MCI}}{100}}\right) \times 100$$

dónde:

- El VE se representa por el P_E es el coste del combustible eléctrico (€/kWh), B_{VE} es la capacidad de la batería (kWh) y R_{EV} es su autonomía (km),

- Y en el MCI, P_F es el coste del combustible fósil (€/l) y C_{ICE} es el consumo (l/100 km).

Ahorro VE-MCI		Sin Impuestos	Con Impuestos
2012	VE-Gasolina	13,26 %	42,74 %
	VE-Gasóleo	10,42 %	34,57 %
2013	VE-Gasolina	16,80 %	46,14 %
	VE-Gasóleo	11,93 %	37,56 %

Tabla 36. Ahorro del VE versus MCI

Cómo se ha podido comprobar con la fórmula anterior, para evaluar los ahorros en combustible, calculamos el cociente entre la relación de precios de combustibles (demanda, mercado, impuestos, etc.) comparada con la tecnología (eficiencia del VE frente al MCI). En el caso de los precios de los combustibles, las diferencias cuando no se han aplicado los impuestos no son tan significativas. En el caso de los combustibles fósiles, su uso y precios son el resultado de los precios del crudo, los costes de procesos y distribución, la oferta y la demanda, tipos de cambio, impuestos regionales y la disponibilidad del suministro. Ya que los combustibles se comercializan en todo el mundo, sus precios son similares, pero el precio pagado por los consumidores refleja en gran medida la política nacional de precios. En el caso de Europa, tanto a la gasolina como al gasóleo, se le imponen altos impuestos; concretamente en España, los precios sin impuestos para estos combustibles son muy similares a la media de los PSI de la UE, y sin embargo, los PVP son más bajos que la media de la UE. Y además, el gasóleo tiene un PSI mayor que la gasolina, y sin embargo, está menos gravada.

En España, los precios de los combustibles están compuestos por: [55]

- Impuestos: IVA e impuestos especiales (promedio del tipo autonómico y tipo Estatal General y tipo Estatal Especial) e impuestos de venta al minorista.
- Coste de la gasolina/gasóleo: media ponderada de las cotizaciones internacionales CIF Mediterráneo (70%) y CIF Noroeste de Europa (30%). No se incluye el componente bio incorporado a los carburantes. Pero estos mercados están influidos por la oferta y la demanda, el coste de producción y la cotización euro/dólar.
- Otros costes y márgenes: costes fijos de logística (almacenamiento, transporte, mantenimiento de reservas estratégicas), comercialización, financieros y de incorporación de biocarburantes (que desde el 1-ene-13 no tienen bonificación fiscal), remuneraciones de minoristas y mayoristas y cambios de moneda dólar/euro.

En el caso de la energía eléctrica, los impuestos que se aplican son menores, y además no están tan condicionados por el entorno exterior, y si además, se aumenta la participación de las energías renovables en el mix eléctrico, la dependencia disminuye.

En la siguiente figura, se presenta un diagrama dónde se reflejan los principales factores que afectan a los combustibles fósiles y la energía eléctrica:

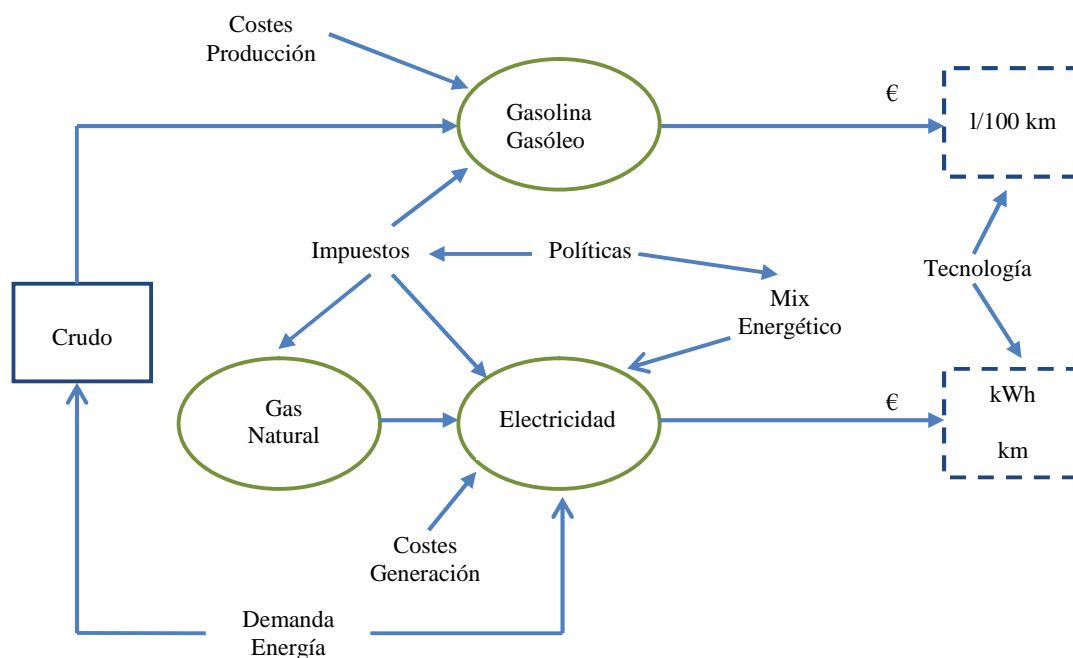


Gráfico 56. Influencia de los costes de la electricidad y los combustibles fósiles

5.2.4. Otras variables: costes y uso del vehículo

Pero además del combustible, es importante cuantificar la eficiencia real del vehículo, comparando los costes de tenencia asociados al mismo a lo largo de toda su vida útil, tanto si se opta por compra como en cuota de renting:

- Precio de adquisición.
- Mantenimiento.
- Impuestos / ITV.
- Seguros.
- Valor residual.

Antes que nada, habrá que definir el kilometraje anual y el período de utilización del vehículo. Consideraremos unos 20.000 km/año, que suponen un recorrido diario de 55 km/día, que es un valor de autonomía válido para un vehículo eléctrico, y que además se sitúa dentro de los límites realizados por un usuario particular (en Madrid, está en torno a los 15.000 km año) y un usuario profesional (30.000 km/año). En cuanto a su vida útil, elegiremos 6 años (período intermedio entre un particular, que es 8 años, y un profesional, 4 o 5 años).

5.2.4.1. Precio de Adquisición

El valor de compra de un vehículo eléctrico (considerando los modelos básicos, sin extras, y sin considerar financiación), equivalente en prestaciones a un modelo de combustión interna, como los que hemos valorado en el estudio, es superior. El coste se ve incrementado al ser una nueva tecnología (que tiene todavía que evolucionar, tanto en rendimientos y autonomía como en sus procesos de fabricación) así como por las baterías, que pueden suponer entre un 20-30% del precio final).

En el caso del Think City, y cuando salió en España en 2012, tenía un precio franco fábrica que ascendía a 29.500 € en su versión más básica. Sus 2 homólogos de combustible de gasolina, en los modelos que se comercializan en España, salen desde 9.752,07 € el SMART for two, y el TOYOTA iQ desde 11.786 €.¹⁶

Como ventaja, actualmente tanto los vehículos de combustión como los eléctricos están recibiendo subvenciones (apartado 2.1.3.2).

5.2.4.2. Mantenimiento

A lo largo de la vida útil del vehículo, que hemos estimado en 6 años, las actividades de mantenimiento pueden ser:

- Preventivas: Revisiones marcadas por el fabricante.
- Correctivas: Se deben a reparaciones. En este caso, se fijaría una media de intervenciones/año y coste/intervención.
- Desgaste / Cambio: Principalmente, vamos a considerar los neumáticos.

La arquitectura técnica de los VE se caracteriza por tener un 90% menos de componentes que un vehículo de combustión interna, lo que supone que se eliminan los costes de mantenimiento por su reemplazo con el uso en piezas como el embrague, alternador, motor de arranque y correa de distribución. Las necesidades de refrigeración en un motor eléctrico son menores que en un motor de combustión, por lo que no necesitan un circuito de refrigeración adicional, ni aceites. Esto origina que los gastos asociados al mantenimiento puedan ser un 50-70% inferiores al MCI. Adicionalmente, la recuperación de energía en el sistema de frenos regenerativo implica que el desgaste de las pastillas y discos de freno es menor que en una motorización convencional.

5.2.4.3. Impuestos e ITV

Es en este concepto es donde los VE tienen ventajas frente a los MCI. Actualmente, están exentos del impuesto de matriculación (ventaja fiscal). En el impuesto de circulación, que establece unos tramos de potencia fiscal para todo el territorio nacional, pero es cada municipio el que decide cuánto paga

¹⁶ Precios obtenidos de las web de los fabricantes: www.smart.es y www.toyota.es

cada uno de esos tramos, tiene también la exención máxima, que es un 75%. Además, para otros impuestos locales, como el Impuesto de Tracción de los Vehículos (ITV) (Tabla 37) o el Impuesto sobre Tracción Mecánica (ITM) en el Ayuntamiento (Tabla 38), también hay reducciones:

Comunidad Autónoma	Vehículo Eléctrico	Gasolina	Diésel
Andalucía	34,37 €	38,56 €	43,69 €
Castilla y León	40,74 €	50,18 €	59,42 €
Cataluña	40,12 €	40,12 €	45,11 €
Comunidad de Madrid	55,65 €	40,50 €	40,50 €
Comunidad Valenciana	42,26 €	52,25 €	66,92 €
País Vasco	46,58 €	46,58 €	46,58 €

Tabla 37. Precios orientativos de la ITV en las Comunidades Autónomas de la flota de VE.

Ciudad	Vehículo Eléctrico
Sevilla	75% (4 años)
Valladolid	75%
Barcelona	75%
Madrid	75%
Valencia	50% (2 años)
Bilbao	75%

Tabla 38. Bonificaciones aplicadas al ITM en las ciudades de la flota de VE.

Además, existen otras medidas de discriminación positiva para el vehículo eléctrico como pueden ser la circulación en áreas urbanas de acceso restringido o el aparcamiento gratuito en zonas de estacionamiento regulado en la vía pública.

En la Tabla 39, se pueden encontrar las diferentes tarifas de los estacionamientos regulados:

Ciudad	Horario L-V Laborables	Tarifas
Sevilla	(9 a 14 h) y (17 a 20 h)	Zona Mar: 35': min. 0,60 € / 60': máx. 1,25 € Zona Azul 35': min 0,45 € / 60': 0,75 € / 120': máx. 1,70 € Zona Verde 60': min 0,65 € / 120': 1,25 € / 180': max. 2,0 €
Valladolid	(9 a 14 h) y (16.30 a 20 h)	18': min. 0,20 € (Fracciones) 120' máx. 2,20 €
Barcelona	Azul (9 a 14 h) y (16 a 20 h) Verde (8 a 20 h)	Azul A: máx. 60 -120' 2,50 €/h Azul B: 120' máx 2,25 €/h Azul C: 180' máx.1,96 €/h Azul D: 240' máx. 1,08 €/h Verde 60 – 120' máx. A – 3 €/h / B – 2,75 €/h
Madrid	Valle (9 a 11 h) y (13 a 18 h) Punta (11 a 13 h) y (18 a 20 h)	Verde: 20': 0,50 € / Fracciones 1 min: 0,05 € / 60' máx.: valle 2,0 € y punta 2,10 € Azul: 20': Min. 0,25 € V y P / 30': 0,40 € 60': V 1,05 € y P 1,10 € / 90': V 1,65 € y P 1,75 € / 120': V 2,70 € y P 2,80 € / 150': V NA y P 3,80 € / 180': V NA y P 4,90 € / 210': V NA € y P 6,0 € / 240': V NA y P 7,25 € Fracción 5': 0,05 €
Valencia	(9 a 14 h) y (16 a 20 h)	Azul Gral.: Min 25': 0,30 € / 60' 0,80 € máx.: 2 h: 1,50 € Azul zonas:: Min 25': 0,55 € / 60' 1,00 € máx.: 120 h: 1,70 € Naranja Residentes: Min 25': 0,30 € / 60': 0,80 € / máx: 120': 250 € Naranja No Residentes: Min 25': 1,10 € / 60': 2,10 € / máx: 120': 3,30 €
Bilbao	(9 a 13.30 h) y (15 a 20 h)	Verde 30': 0,51 € / 60': 1,25 € / 120': 3,10 € / 180': 6,03 € / 4h: 9,27 € / 5 h: 12,80 € Azul 30': 0,51 € / 1 h: 1,25 € / 1h 30': 2,03 € / 2h: 3,10 €

Tabla 39. Tarifas del estacionamiento regulado en las ciudades de la flota de VE. Elaboración propia

5.2.4.4. Seguros

Dado que el volumen de vehículos eléctricos que existe en el mercado no es elevado, actualmente hay pocas aseguradoras que estén ofreciendo seguros específicos para este tipo de vehículos. Los productos que se están comercializando incluyen las mismas coberturas que para los vehículos de combustión (responsabilidad civil, seguro de ocupantes, seguro de lunas, asistencia en carretera especializada) y se complementan con coberturas específicas: asistencia en kilómetro cero (creado por la autonomía limitada que tienen y por la escasez de puntos de recarga) y soporte por fallo en batería (elemento principal del VE).

Todos estos seguros tienen unas pólizas con precios un poco más reducidos que los vehículos de combustión. Dichos precios están condicionados por el valor residual y la reparación en caso de siniestro.

5.2.4.5. Valor Residual

Es el valor de venta del vehículo al final de su vida útil, que es variable en función del número de años considerados. Dado que la tecnología del vehículo eléctrico es muy reciente, las compañías no

disponen de un mercado de segunda mano maduro, con el que puedan tener precios orientativos para este tipo de vehículos (de hecho, es uno de los motivos por los que las empresas de renting y leasing, todavía no los ofrecen en su cartera).

5.3. Impacto ambiental: emisiones de CO₂ y ruido

Dos de los problemas medioambientales asociados a los vehículos de combustión interna en los entornos urbanos, son las emisiones de gases contaminantes y la contaminación acústica. Según estimaciones realizadas, si en una ciudad se introdujeran 1.000 VE, se reducirían las emisiones de gases contaminantes (incluyendo CO, NO_x, HC, ...) en 30.000 kg anuales y el CO₂ en más de 2 toneladas. [56]

5.3.1. Matriz de emisiones (2012-2013)

Al igual que sucedía con la eficiencia energética, el mix de generación eléctrico va a determinar las emisiones, teniendo en este caso el mix energético de generación un papel fundamental. Para determinar las emisiones indirectas en el caso de la electricidad, vamos a considerar solamente las emisiones generadas por el conjunto de centrales de la red (producción bruta de energía eléctrica o lo que es lo mismo, demanda en tiempo real, estructura de generación y emisiones de CO₂ según REE [57]).

En la web de REE, se puede encontrar la estructura de generación de todos los años, y concretamente del 2012 y 2013 en base horaria, y junto a ellas las emisiones de CO₂ asociadas a las distintas fuentes de generación. Estas emisiones se calculan incorporando el factor de emisión del Plan Español de Energías Renovables 2005-2010, en línea con la Decisión de la Comisión Europea 2007/589/CE, a cada una de las tecnologías.

De acuerdo a las metodologías internacionales del Protocolo GHG [58] y la norma ISO 14069 [59], para la determinación de las emisiones indirectas derivadas de la generación, sólo vamos a incluir las emisiones generadas por el conjunto de centrales productoras de la red. Concretamente, sólo encontramos 4 fuentes de generación que generan CO₂: carbón, ciclo combinado, resto de energías de régimen especial¹⁷, y fuel/gas. Para esta tesis, vamos a descartar la emisión de fuel/gas porque en la estructura de generación anual su producción no ha supuesto más de un 0,0004%. [60] (En la península las centrales de fuel/gas no han funcionado y el porcentaje se debe sólo a las islas).

En la siguiente tabla, se exponen los factores calculados en diversos momentos de 2012-2013, sin experimentar variaciones:

¹⁷ Régimen Especial: Instalaciones con potencia instalada no superior a 50 MW que utilizan fuentes de energía renovables (solar, eólica, hidráulica y biomasa), residuos y cogeneración.

Tecnologías	Factor de Emisión CO ₂ (g CO ₂ /kWh)*
Térmica de Carbón	950
Ciclo Combinado	370
Resto de Régimen Especial	270

Tabla 40. Cálculo del factor de emisiones de CO₂ de tecnologías de generación eléctricas.

Para saber el factor de emisiones de CO₂ medio horario será necesario calcularlo a través del porcentaje de participación de cada tecnología en cada hora, utilizando la ecuación:

$$f_{\text{horario}} = f_C \cdot \%G_C + f_{CC} \cdot \%G_{CC} + f_{RRE} \cdot \%G_{RRE}$$

De REE, hemos podido obtener dos matrices anuales que cuentan con una columna con todas las horas de 2012 (de la 0 hasta la 8783 h al ser año bisiesto) y 2013 (de la 0 a la 8759 h), y una serie de columnas que asocian cada hora con la generación en ese momento, de forma global como diferenciada por tecnologías. A partir de la matriz de carga horaria en base anual, dónde hemos calculado la energía por horas necesaria para cargar todos los VE (a partir de la curva de carga medida), y los valores de participación de cada tecnología junto con el factor de emisión medio horario, obtenemos las emisiones de CO₂ hora a hora debidas a la carga de los vehículos eléctricos. A continuación, se muestra un extracto de la matriz obtenida:

MATRIZ DE EMISIONES DE CO ₂						
Hora Anual	Fecha	Horario	Energía VEs (kWh)	Factor CO ₂ (kg/kWh)	Emisiones CO ₂ (kg)	
0	01/01/2012	0 a 1	0,57	0,23	0,13	
1	01/01/2012	1 a 2	2,10	0,23	0,49	
8758	31/12/2012	22 a 23	1,10	0,12	0,13	
8759	31/12/2012	23 a 24	0,54	0,14	0,07	
Gen Carbón (MWh)	% Carbón	Gen CC (MWh)	% CC	Gen RRE (MWh)	% RRE	Total Generación (MWh)
3.742,90	14,40%	3.651,30	14,04%	3.694,90	14,21%	26.000,00
3.775,10	15,16%	3.136,20	12,60%	3.751,40	15,07%	24.894,90
1.293,70	4,57%	1.679,70	5,93%	5.275,60	18,62%	28.334,60
1.817,50	6,53%	1.794,70	6,44%	5.323,90	19,12%	27.848,90

Tabla 41. Extracto de la matriz de emisiones de CO₂ del mix eléctrico 2012-2013.

5.3.2. Del pozo a la batería (tanque)

En el caso de la electricidad y sus emisiones de CO₂ para el vehículo eléctrico, tenemos dos opciones:

- Considerar el mix eléctrico peninsular, asociado a la producción bruta de energía eléctrica. En cuyo caso, usaremos el procedimiento descrito anteriormente para el cálculo de las emisiones:

Año	Carga 8 VE's		gr CO ₂ / kWh	gr CO ₂ / km	Distancia recorrida (km)
	Emisiones kgCO ₂	Energía kWh			
2012	4.254,78	15.031,54	283,06	232,64	18.289
2013	3.437,73	15.517,73	221,54	168,29	20.427

Tabla 42. Emisiones de CO₂ debidos a la carga de la flota de VE (2012-2013).

Cómo era de esperar, y dado que en el 2013 en el mix energético español, la participación de las energías renovables represento un 10,5% más que en el 2012, las emisiones de CO₂ se han reducido un 19,20%, aún a pesar de que en la flotas se han incrementado los desplazamientos, y por tanto la energía necesaria para recargar los vehículos.

- Emplear la electricidad verde proveniente de fuentes de energía renovables y de cogeneración de alta eficiencia a través del sistema de garantías de origen (Orden ITC/1522/2007 [61]), cuyo factor de emisión es 0 g CO₂/kWh. Eligiendo esta opción, aunque el coste de la energía es más caro (cómo hemos desarrollado en el apartado 5.2.1.3), estamos ayudando a cumplir con el objetivo obligatorio de la Comunidad Europea de alcanzar una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía y una cuota del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de combustibles para el transporte en la Comunidad para 2020. [62]

5.3.3. Del tanque (depósito o batería) a la rueda

En esta etapa del ciclo de vida, los vehículos eléctricos no emiten emisiones de CO₂. Si, asumimos que se emplea para la carga sólo energía renovable, podemos afirmar que los VE son CERO emisiones de CO₂. En el caso, de emplear el mix eléctrico, tendremos que indicar las emisiones antes calculadas.

5.4. Emisiones de CO₂ para los combustibles fósiles

Cómo ya hemos descrito en el apartado de sostenibilidad económica de combustibles fósiles, a partir de la matriz de desplazamientos, y con los consumos de combustible proporcionados por los fabricantes en base a las curvas NEDC, hemos podido obtener los litros de combustible equivalentes a la energía eléctrica de los VE.

5.4.1. Del pozo al tanque (depósito o batería)

En el caso de los combustibles derivados del petróleo, gasolina y gasóleo, aproximadamente el 15% de las emisiones tienen lugar en la fase de producción y el 85% restante durante el consumo (combustión) del hidrocarburo. Además, las emisiones de CO₂ dependen de la complejidad de la refinería:

- Sencilla (hydroskimmer): Baja conversión, dónde las emisiones totales y específicas de CO₂ por tonelada de crudo son bajas, pero altas en relación con la producción de gasolina. Producen grandes cantidades de productos no demandados, como el fuelóleo.
- Compleja (hydrocracker, cocker): Alta conversión, dónde las emisiones de CO₂ totales son superiores debido a que el consumo de energía es mayor, por el proceso de producción. Son las que producen los combustibles más demandados por el transporte, gasóleo y queroseno de aviación, además de gasolina. [63]

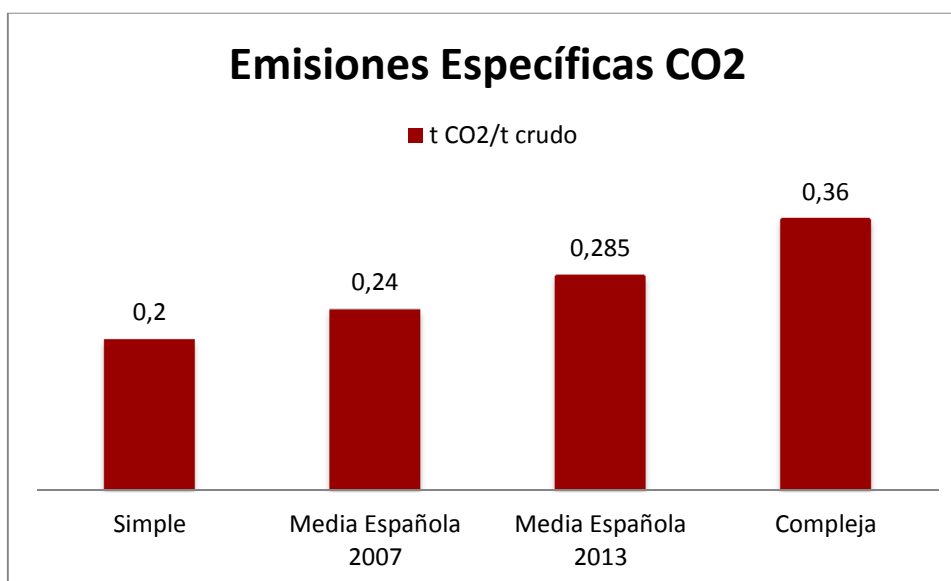


Gráfico 57. Emisiones Específicas de tonelada de CO₂ por tonelada de crudo

La demanda de gasóleo en los últimos 20 años ha sido mayor que la de gasolina y fuelóleo (proporción 2/1 en 1990, actualmente es 1/2 y se espera en 2030 el 1/3,5) [64], y las refinerías han tenido que adaptarse a estas necesidades. Asimismo, cuanto más compleja sea la refinería, aumentan las emisiones totales de CO₂, pero disminuyen en relación con la proporción de productos comerciales demandados por el transporte que se obtienen

Además, y cómo hemos visto el proceso productivo de la fabricación del diésel es más intensivo en energía, y por tanto en emisiones de CO₂, lo que da como resultado que las emisiones que se reduzcan por el empleo de turismos diesel frente a los de gasolina, quedan compensadas en exceso por los mayores niveles de emisión de los procesos productivos.

Carburantes	Consumo Final		Energía Primaria		Factor de Emisión	
	tep	Densidad Energética (l/tep)	tep	MWh	Energía Final ¹ tCO ₂ /tep	Energía Primaria ² Co ₂ /tep
Gasolina	1	1.290	1,10	12,79	2,90	3,19
Gasóleo	1	1.181	1,12	13,02	3,06	3,42

¹ Sin considerar pérdidas en las transformaciones para la obtención del combustible y/o carburante y transporte del mismo.

² Considerando pérdidas en las transformaciones para la obtención del combustible y/o carburante y transporte del mismo.

Tabla 43. Factores Conversión Energía Final-Energía Primaria y Factores Emisión CO₂

5.4.2. Del tanque (depósito o batería) a la rueda

La media de emisiones de CO₂ para los vehículos nuevos (medidos por los test oficiales) en 2013 fue de 127 g/km, lo que supone un 4% menos que la media del 2012. [65]

Para calcular los gramos de CO₂ que se emiten durante la combustión en un vehículo, estudiaremos el combustible. En el caso del gasóleo y la gasolina, recurriremos a su composición química:

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos volátiles: alcanos, cicloalcanos e hidrocarburos aromáticos. Concretamente, es 2,2,4-trimetilpentano (un isomero de octano C₈H₁₈ [octanaje 100]) y n-heptano (C₇H₁₆ [octanaje 0]). En función de su índice de octano¹⁸, la gasolina 95 (que es la más usada en los vehículos de combustión actuales), se caracteriza por ser una mezcla con las mismas propiedades que el 95% de iso-octano y 5% de heptano. [66]

El gasóleo A para automoción (diésel) se compone de aproximadamente 75% de hidrocarburos saturados (principalmente parafinas incluyendo n, iso y cicloparafinas), e hidrocarburos aromáticos 25% (incluidos los naftalenos y alquilbencenos). La fórmula química media para el combustible diesel común es C₁₂H₂₃, que van aproximadamente desde C₁₀H₂₀ a C₁₅H₂₈.

	Fórmula Combustión	Densidad 15°C kg/m ³ [67]	Emisiones CO ₂ kg/l
Gasolina	2 C ₈ H ₁₈ + 25 O ₂ → 16 CO ₂ + 18 H ₂ O + 2.636 kcal	720(min) – 775 (máx)	2,31 kg/l
	2 mol C ₈ H ₁₈ (114 g/mol) → 16 mol CO ₂ (44 g/mol) 2*114g = 228g → 16*44 = 704g		
Diésel	4 C ₁₂ H ₂₃ + 71 O ₂ --> 48 CO ₂ + 46 H ₂ O + energy	820 (min) – 845 (máx)	2,63 kg/l
	4 mol C ₁₂ H ₂₃ (167 g/mol) → 48 mol CO ₂ (44 g/mol) 4*167g = 668g → 48*44 = 2.112g		

Tabla 44. Tabla de Emisiones de CO₂ de combustibles. Elaboración propia.

¹⁸ Medición de la tendencia de la gasolina a producir detonaciones.

5.4.3. Comparativa emisiones CO₂ combustibles fósiles versus electricidad

Considerando los resultados obtenidos de la matriz de desplazamiento y energía, obtenemos los resultados que se presentan en la Tabla 45:

DEL TANQUE A LA RUEDA						
Período	Gasolina		Gasóleo		Electricidad	
	Litros	t/CO ₂	Litros	t/CO ₂	Mix t/CO ₂	Verde t/CO ₂
2012	776,12	1,79	650,41	1,69	0	0
2013	867,21	1,99	726,72	1,89	0	0
TOTAL	1.643,33	3,78	1.377,13	3,58	0	0
DEL POZO AL TANQUE						
	tep	t/CO ₂	tep	t/CO ₂	Mix t/CO ₂	Verde t/CO ₂
2012	0,60	1,91	0,55	1,88	4,25	0
2013	0,67	2,14	0,66	2,26	3,44	0
TOTAL	1,27	4,05	1,21	4,14	7,69	0
CICLO DE VIDA						
tCO ₂	Gasolina		Gasóleo		Electricidad	
					Mix t/CO ₂	Verde t/CO ₂
TOTAL	7,83		7,72		7,69	0

Tabla 45. Comparativa del ciclo de vida de emisiones de CO₂ de la flota de VE versus MCI

Aunque la tasa de emisión por litro de combustible consumido es superior en el gasóleo que en la gasolina, los vehículos de gasóleo emiten aproximadamente un 10% menos de CO₂ por kilómetro recorrido que los de gasolina. En este caso concreto, la emisión ha sido de un 5,27% inferior el gasóleo frente al gasolina (tanque a la rueda).

Cómo se ha podido comprobar, las emisiones de CO₂ de la flota de VE son menores que si empleáramos vehículos de combustible fósiles (1,82% en el caso de la gasolina y 0,39% en el caso del gasóleo).

5.5. Ruido

Las fuentes de emisión acústica procedentes de los vehículos son las asociadas con el motor, la rodadura y el desplazamiento del aire en la circulación. En el caso de los vehículos eléctricos el motor es silencioso, sin embargo en los vehículos de combustión hay muchas componentes que lo generan. Entre los principales componentes del ruido son: la admisión, la deformación de las paredes de la cámara de combustión durante la compresión, combustión y expansión, el ruido durante la combustión, el provocado por las oscilaciones del motor sobre la suspensión, por golpes durante el trabajo de los mecanismos, por el funcionamiento de agregados del motor y el producido durante el escape de los gases.

Esto ocasiona que las emisiones debidas a la propulsión de los vehículos con motores de combustión interna son la primera fuente de ruido por debajo de los 50-60 Km/h, velocidades propias de entornos urbanos y sus accesos.

Una escala objetiva para determinar la intensidad sonora son los dB(A). La medición sonora con la variación (A) se asimila a la receptibilidad del oído humano en la gama auditiva de 20 Hz a 20 < Hz. Las emisiones sonoras de los automóviles y los tractores se miden durante el paso acelerado a una distancia de 7,5 m desde el centro del vehículo con la marcha más rápida.

La Tabla 46 expone los resultados de pruebas realizadas en Estados Unidos y compara los niveles de ruido registrados entre un vehículo con motor de combustión interna y uno eléctrico de características funcionales similares:

Velocidad de circulación	Vehículo Eléctrico (Nissan Leaf)	Vehículo MCI (Nissan Versa)
10 km/h	49 dB(A)	56 dB(A)
20 km/h	57 dB (A)	62 dB (A)
30 km/h	64 dB (A)	68 dB (A)

Tabla 46. Niveles sonoros registrados en la ubicación de un peatón de un paso de cebra a diferentes velocidades de circulación de los vehículos dB(A). [68]

Por tanto, con velocidades inferiores a 30 km/h, los vehículos eléctricos podrían reducir en 5 dB (A) de media, la contaminación acústica en entornos urbanos. Pero lo que puede ser una ventaja por la reducción de ruido que supone también es un inconveniente, ya que, los viandantes suelen usar el sonido y la vista para identificar a los vehículos. Por este motivo, y como ya se ha abordado en el apartado 2.1.2.2, la Comisión Europea estudia la instalación de sistemas de aviso acústico en los vehículos eléctricos (AVAS; Acoustic Vehicle Alerting System) con el objetivo de los peatones puedan identificarlos a bajas velocidades.

5.6. Otras ventajas: Responsabilidad Social Corporativa

Las directrices de sostenibilidad energética y medioambiental no sólo son cada vez más habituales dentro de las políticas de Responsabilidad Social Corporativa de las empresas sino que también tienden a ser más estrictas y exigentes, y una flota de vehículos eléctricos permite reducir la huella de carbono asociada a la movilidad de la Compañía, dando imagen de empresa sostenible y limpia.

6. Conclusiones

Se pueden dividir en los tres campos que se han estudiado en la tesis:

6.1. Sostenibilidad Técnica

- La eficiencia del vehículo eléctrico aumenta a medida que el mix eléctrico del país incrementa el uso de las tecnologías renovables para la producción eléctrica, además de que reduce las emisiones de CO₂.
- Las baterías ZEBRA son válidas para los vehículos eléctricos, pero necesitan una “energía adicional” para mantener la temperatura del electrolito (245°C). Esta energía la proporciona la red, en el caso de que los vehículos se encuentren enchufados, lo que supone un extra-coste frente a otros tipos de tecnología de baterías, como el ión-litio, que no lo necesita. En el caso de que no tengan alimentación externa, el calentamiento lo realizan con su propia energía lo que puede provocar una autodescarga, si los tiempos son muy prolongados.

Período	Energía Carga (%)		Energía Mto. (%)
	Tramo A (0-75% SOC)	Tramo B – C (75%-100%)	Tramo D (Mto 99,9 -100%)
2012	16,73	21,77	61,49
2013	18,22	22,83	58,94
Media 12-13	17,48 %	22,30 %	60,22 %

- La autonomía de las baterías en los 2 años estudiados ha sido de 126,67 km y su consumo es 0,81% de SOC/ km recorrido. Esta autonomía está condicionada por la climatización del coche y por tanto por las condiciones meteorológicas. En verano y con aire acondicionado, el coche consume menos energía, que en invierno con la calefacción debido a que el consumo del compresor del aire es menor que el del calentador del agua.
- Estas baterías han sufrido un proceso de envejecimiento durante los 2 años que se ha realizado la toma de datos. Por tanto, sería interesante estudiar más años las baterías ZEBRA para definir su degradación con el tiempo (tanto en su propia autodescarga como en el consumo y autonomía).

Año	SOC(%) / km recorrido	Autonomía (km)
2012	0,78 % / km	128,17
2013	0,81 % / km	123,36

- El carsharing con vehículo eléctrico es una opción viable para las empresas, que permite reducir costes en aparcamientos en las ciudades, debido a las exenciones de pago de dichos

vehículos. Además, el uso del vehículo eléctrico reduce la “range anxiety”, término inglés que se ha acuñado para describir la ansiedad que produce en los conductores el usar un vehículo eléctrico, que tiene una autonomía menor (± 125 km) que la de un vehículo de combustible, y con un “abastecimiento de combustible” diferente. (En el estudio realizado, el número de desplazamientos y kilómetros recorridos de los coches se ha incrementado un 8% y un 11%, respectivamente).

6.2. Sostenibilidad Económica

- Para que los costes de combustible eléctrico en la flota se redujeran y fueran más competitivos frente a los combustibles fósiles, deberían realizarse mayor cantidad de kilómetros anuales con los vehículos, ya que, el consumo kWh/km se reduce, siendo inversamente proporcional a los kilómetros recorridos (cada 100 km supone un incremento de $22,74 \text{ kWh} \cong 3,30 \text{ €}$).

Año	Energía kWh	Km recorridos	Ratio kWh/km
2012	15.031,54	18.289	0,82
2013	15.517,73	20.427	0,76

- La flota de vehículos eléctricos está compuesta por microcoches. Para realizar la comparación, hemos usado coches de combustión de la misma categoría, cuyos modelos en el mercado español sólo se comercializan en gasolina, y que tienen un consumo de combustible muy bajo. Como se ha podido comprobar, debido a la energía que necesitan estas baterías (ZEBRA) para mantenerse calientes, no resultan rentables económicamente si comparamos el total de la energía suministrada con el consumo de gasolina (el gasóleo sale más económico, pero no se pueden adquirir en España, aunque existen en otros países europeos). Si por el contrario, sólo evaluamos la energía necesaria para los desplazamientos, el vehículo eléctrico es más económico (7%), incluso si usamos energía verde, cuyo precio es superior, pero tiene la ventaja de que es una energía procedente de fuentes renovables, y por tanto, nos garantiza el cero emisiones de CO₂.

	Sin Impuesto (€)				Con Impuesto (€)			
	2.0.A*	2.0.A Verde*	Gasolina	Gasóleo	2.0.DHA	2.0.DHA Verde	Gasolina	Gasóleo
Desplazamientos								
2012	875,02	918,81	577,96	556,28	1.085,32	1.139,62	1.095,59	837,48
2013	882,07	926,26	631,15	551,31	1.094,06	1.148,87	1.232,19	980,91
TOTAL	1.757,09	1.845,07	1.209,11	1.107,59	2.179,38	2.288,49	2.327,78	1.818,39
Desplazamientos y Mantenimiento								
2012	2.586,87	2.643,14	577,96	556,28	2.652,01	2.726,96	1.095,59	837,48
2013	3.183,76	3.278,36	631,15	551,31	3.289,37	3.382,33	1.232,19	980,91
TOTAL	5.770,63	5.921,50	1.209,11	1.107,59	5.941,38	6.149,29	2.327,78	1.818,39

*La tarifa eléctrica empleada es diferente si sólo consideramos los costes debidos a la carga de la batería por desplazamientos que si valoramos el coste total de la energía (en ese caso, también hemos incluido el término fijo de potencia).

- Respecto a la tarifa super-valle, que además fue creada con el objeto de favorecer al vehículo eléctrico, en el caso concreto de esta flota hemos comprobado que no es la más económica para el perfil de carga que tenemos. Hubiera sido necesario disponer de un programa de gestión para que el inicio de carga de los vehículos se desplazara a las horas nocturnas (1 a 7 h de la mañana). Pero dado que estos vehículos son para un servicio de carsharing que debe estar operativo a partir de las 7.30 de la mañana, y que además estas baterías tienen un proceso de autodescarga cuando no están conectadas a la red, así como que el tiempo de recarga para una batería descargada al 100% es de aproximadamente 11,5 h, la tarifa super-valle sólo sería indicada en el caso de que las baterías no tuvieran un SOC inferior al 55%, lo que supone un funcionamiento escaso de los vehículos. La mejor tarifa, de acuerdo al servicio de carsharing al que están destinados, es la de 2 períodos de discriminación horaria, como se ha comprobado.

Años	Energía (kWh)	Costes Potencia (€)	Costes Energía (€)					
		Potencia	2.0.A	2.0.A Verde	2.0DHA	2.0DHA Verde	2.0DHS	2.0DHS Verde
SIN IMPUESTOS E IVA								
Año 2012	15.031,54	616,62	2.272,27	2.385,89	1.950,25	2.026,52	2.183,98	2.259,93
Año 2013	15.517,73	763,40	2.148,46	2.255,88	1.888,61	1.963,56	1.906,29	1.983,55
TOTAL	30.549,27	1.380,02	4.420,73	4.641,77	3.838,86	3.990,08	4.090,27	4.243,48
CON IMPUESTOS E IVA								
Año 2012	15.031,54	764,81	2.818,37	2.959,29	2.418,96	2.513,56	2.708,85	2.803,06
Año 2013	15.517,73	946,87	2.664,80	2.798,03	2.342,49	2.435,46	2.364,43	2.460,25
TOTAL	30.549,27	1.711,68	5.483,17	5.757,32	4.761,45	4.949,02	5.073,28	5.263,31

6.3. Sostenibilidad ambiental

- Las emisiones totales de CO₂ de un vehículo eléctrico son menores que en un vehículo de combustión siempre que las tecnologías eléctricas se vuelven más limpias, incrementándose el porcentaje de energías renovables en el mix energético. En el caso de la Unión Europea, el cumplimiento de la estrategia 20-20-20, fijada para 2020, trabaja en esta dirección porque busca el incremento de 20% para las energías renovables en el mix de cada país miembro, una disminución del 20% en las emisiones de CO₂ (comparados con niveles de 1992) y una reducción del 20% en el uso de las energías primarias (mejorando la eficiencia de las centrales).

DEL TANQUE A LA RUEDA						
Período	Gasolina		Gasóleo		Electricidad	
	Litros	t/CO ₂	Litros	t/CO ₂	Mix t/CO ₂	Verde t/CO ₂
2012	776,12	1,79	650,41	1,69	0	0
2013	867,21	1,99	726,72	1,89	0	0
TOTAL	1.643,33	3,78	1.377,13	3,58	0	0
DEL POZO AL TANQUE						
	tep	t/CO ₂	tep	t/CO ₂	Mix t/CO ₂	Verde t/CO ₂
2012	0,60	1,91	0,55	1,88	4,25	0
2013	0,67	2,14	0,66	2,26	3,44	0
TOTAL	1,27	4,05	1,21	4,14	7,69	0
CICLO DE VIDA						
tCO ₂	Gasolina	Gasóleo	Electricidad			
			Mix t/CO ₂	Verde t/CO ₂		
TOTAL	7,83	7,72	7,69	0		

- El uso de vehículos eléctricos produce un desplazamiento en el origen de las emisiones de CO₂, disminuyendo el problema de la contaminación local de las ciudades. Al concentrarse las emisiones en las centrales de generación eléctrica, las medidas para reducir el CO₂ son más eficaces, al poder aplicarse tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ sobre las centrales productoras.
- Los vehículos eléctricos reducen los niveles de contaminación acústica a bajas velocidades debido a que sus motores son silenciosos, frente a los de combustión interna.

6.4. Trabajos futuros

Esta flota de VE dejó de estar operativa en 2014, debido a que los VE se habían quedado obsoletos comparados con los vehículos que se estaban ofreciendo actualmente en el mercado: turismos más

grandes (4-5 plazas), con autonomías superiores y tecnologías de baterías de ión-litio. Concretamente, la flota va a ser sustituida por estos nuevos vehículos, reduciéndose el número a 6 (se han eliminado las ciudades dónde el servicio era menor).

Como futuras líneas de trabajo, surgidas de esta tesis, y con la flota renovada, se podría trabajar en los siguientes campos:

- Estudiar el comportamiento y prestaciones de los vehículos con las nuevas tecnologías de ión-litio.
- Los vehículos eléctricos a sustituir, tienen la opción de carga lenta y rápida, por lo que podría estudiarse los efectos de dichas cargas sobre las baterías, así como las ventajas que puede suponer el reducir los tiempos de carga de los vehículos para el servicio de carsharing.
- Tanto los vehículos (que disponen de conectores mennekes) como el servicio de carsharing van a contar con un sistema de gestión más avanzado, que no sólo permite la reserva de los vehículos y la optimización de su uso, sino que va a disponer de puntos de recarga inteligentes, que permiten la comunicación con el vehículo y el desplazamiento de las cargas de los vehículos adecuándose a las tarifas de discriminación horaria.
- Se podría también probar con los puntos de recarga inteligentes la tecnología V2G.
- Evaluar modelos de vehículos eléctricos de mayor tamaño, que disponen de unas baterías de capacidades y autonomías similares a las ZEBRA (por ejemplo, Nissan Leaf y Renault Fluence), pero que comparados con sus homólogos de combustión, presentan unos consumos de combustibles muy superiores a los que tienen los microcoches.
- Por último, se podría introducir o sustituir la flota por vehículo híbridos enchufables para estudiar los puntos anteriormente desarrollados, y compararlos con la tecnología de vehículos eléctricos puros.

7. Glosario

Muchos de los términos utilizados en esta tesis se han empleado en inglés, al ser la terminología comúnmente utilizada en este sector, y no emplearse los mismos términos en su acepción española. A continuación se indican las abreviaturas usadas en este trabajo:

- VE: Vehículos Eléctricos Puros. (BEV Battery Electric Vehicle BEV).
- PR: Puntos de Recarga (CP Charging Points).
- CA: Corriente Alterna (AC Alternating Current).
- CC: Corriente Continua (DC Direct Current).
- Vehículos Eléctricos Híbridos (HEV PHEV Hybrid Electric Vehicle)
- Vehículos Eléctricos Híbridos Enchufables (PHEV Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
- Vehículos Eléctricos de Rango Extendido (REV - Range Extender Vehicle)
- MCI: Motor de combustión interna (ECI: Engine Combustion Interne).
- AVAS: Acoustic Vehicle Alerting System
- OPEP: Organización de Países Exportadores de Petróleo
- WtW: Del pozo a la rueda (Well-to-Wheel)
- WtT: Del pozo (de petróleo) al tanque (del automóvil) (Well-to-Tank)
- TtW: Del tanque a la rueda (Tank-to-Wheel).
- CTP: Coste total de la propiedad (TCO-Total Cost of Ownership).
- SOC (%): Estado de carga de la batería (State of Charge)
- Call Centre: Centro de Control
- Data logger: Dispositivos embarcados
- CEI: Comisión Electrotécnica Internacional (IEC: International Electrotechnical Commission).
- NEDC: New European Driving Cycle
- TUR: Tarifa de Último Recurso.
- DH: Discriminación Horaria.
- CESUR: Compra de Energía para el Suministro de Último Recurso.
- PSI: Precio Sin Impuestos.
- PVP: Precio Venta Público (precios incluyendo todos los impuestos correspondientes).
- ITV: Impuesto de Tracción de los Vehículos (ITV).
- ITM: Impuesto sobre Tracción Mecánica (ITM).

8. Bibliografía

- [1] Green Car Congress, «ExxonMobil Outlook: 35% growth in energy demand by 2040; hybrids to account for ~50% of new vehicle sales,» 15 12 15/12/2013. [En línea]. Available: www.greencarcongress.com.
- [2] Steve Sorrel, Jamie Speirs, Roger Bentley, Adam Brandt, Richar Miller, «Golbal Oil Depletion. An assessment of the evidence for a near-term peak in global oil production,» Technology and Policy Assessment function of the UK Energy Research Centre, Agosto de 2009.
- [3] OECD, «Prospectiva Medioambiental de la OCDE para el 2030,» 2008.
- [4] División demográfica de Naciones Unidas, «Perspectivas demográficas mundiales,» 2008.
- [5] J. G. Serna y F. J. A. Moreno-Ortiz, «Diversidad energética de un transporte sostenible,» de Responsabilidad social corporativa en el ámbito de la sostenibilidad energética y ambiental. Simposio Empresarial Internacional FUNSEAM, Barcelona, Aranzadi, 2013, pp. 39-47.
- [6] E. C. EA, «WHITE PAPER. Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system,» 28.03.2011.
- [7] «www.greenemotion-project.eu,» [En línea].
- [8] «CIVITAS,» [En línea]. Available: www.civitas.eu.
- [9] The European Parliament and of the Council of the European Union, «Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and mai,» Official Journal of the European Union, nº L 171, pp. 1-16, 29/06/2007.
- [10] Á. S. Hernández, «Nuevo reglamento Euro 5 y Euro 6,» CESVIMAP, nº 72, pp. 48-51, 2009.
- [11] Parliamnet and the council of the European Union , «Regulation (EC) no 443/2009 of the European Parliament and of the council, of 23 April 2009, setting emission performace standards for new passenger cars as part of the Community´s integrated approach to reduce CO2 emissions from light-duty vehicles,» Official Journal of the European Union, nº L140, pp. 1-15, 05/06/2009.
- [12] Dirección General de Transporte Terrestre. Secretaría de estado de Infraestructuras, transporte y vivienda, «El transporte urbano y metropolitano en España,» Ministerio de Fomento, Junio 2013.
- [13] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 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, BOE-A-2011-8910, 2011.
- [14] Ioan-Adria VIOREL, Loránd SZABÓ, Lars LÖWENSTEIN, and Cristian STET,

- «Integrated Starter-Generators for Automotive Applications,» ACTA ELECTROTEHNICA, vol. 45, n° 3, pp. 255-260, 2004.
- [15] Fundación Sotavento Galicia, «Toma de datos y análisis en el uso de un vehículo eléctrico,» 2013.
- [16] Austrian Technological Expertise in Transport, «Volume 4. Focusing on: Hybrid and Electric Vehicles,» Octubre 2008. [En línea]. Available: www.IV2S.at.
- [17] Rubén Hernández Herráez, «Dos fuentes de energía. Vehículos Híbridos. Tipos, clasificación y diferencias.,» CESVIMAP, n° 81, pp. 52-54, 2012.
- [18] Mohamed El Hachemi Benbouzid and Demba Diallo Mounir Zeraoulia, «Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study,» IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 55, n° 6, pp. 1756-1764, Nov 2006.
- [19] Francisco Aparicio Izquierdo, José María López Martínez, «Impacto tecnológico de los vehículos híbridos y eléctricos,» Geoeconomía. El impulso económico del coche eléctrico, vol. 3, pp. 77-90, Verano 2010.
- [20] Narayan c. Kar, K-L.V. Iyer, Anas Labak, Xiamonin Lu, Chunyan Lal, Aiswarya Balamurali, Bryan Esteban y Maher Sid-Ahmed, «Courting and Sparking,» IEEE Electrification Magazine, n° 1, pp. 21-31, Septiembre 2013.
- [21] Jaime Hamel Fonseca, «Celdas, pilas y baterías de Ion-Litio una alternativa para...?,» Journal Boliviano de Ciencias, vol. 8, n° 22, pp. 40-47, 12/01/2011.
- [22] The Boston Consulting Group, «Batteries for Electric Cars. Challenges, Oportunities, and the Outlook to 2020,» 2010.
- [23] Fritz R. Kalhammer, Bruce M. Kopf, David H. Swan, Vernon P. Roan, Michael P. Walsh, «Status and Report for Zero Emissions Vehicle Technology. Report of the ARB Independent Expert Panel 2007,» State of California Air Resources Board, Sacramento, California, 13/04/2013.
- [24] Julien Pluchet, Pierre Destruel, «Etat de la R&D dans le domaine des batteries pour véhicules électriques au Japon,» Ambassade de France au Japon. Service pour la Science et la Technologie, Tokyo, 2010.
- [25] Statish Rajagopalan, «Battery Cost Modeling,» EPRI. Electric Power Research Institute, Austin, TX, 13/02/2013.
- [26] Beyermann G., Böhm H., Zebra - Batteries Enhanced Power by doping, AEG Anglo Batteries GmbH.
- [27] Eduardo Fabián Arcos Fuentes, Implementación de sistema de tracción para vehículo eléctrico, basado en batería ZEBRA y ultracapacitores, Santiago de Chile: Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería, Julio 2005.

- [28] Noshim Omar, «Examining the Quality and Standars needed for validation next generation Li-Ion Batteries,» de EV Battery Forum, Barcelona, 2012.
- [29] «Drive System Design,» 4 Marzo 2014. [En línea]. Available: www.drivesystemdesign.com. [Último acceso: 2014].
- [30] International Energy Agency (IEA), «Spain,» de IE-HEV Hybrid and Electric Vehicles. The electric drive gains traction, May 2013, pp. 145-150.
- [31] International Energy Agency, «Electrical and Plug-in Hybrid Vehicle Roadmap,» 2010.
- [32] S. Shaheen, «Carsharing in Europe and North American: Past, Present and Future,» Berkeley, The University of California Transportation Center (UCTC), 1998.
- [33] C. Shaheen, «Worldwide carsharing growth: an international comparison.»
- [34] «yélo,» [En línea]. Available: <http://yelo.agglo-larochelle.fr/voiture>.
- [35] «Autolib,» [En línea]. Available: www.autolib.eu. [Último acceso: Mayo 2014].
- [36] Servicios al Inversor. Dirección de Operaciones y Competitividad, «Desarrollo de Servicio de Car-sharing Eléctrico en Entornos Urbanos Españoles,» Invest in Spain. Ministerio de Economía y Competitividad, 18/07/2013..
- [37] «Esharing,» [En línea]. Available: www.esharing.es. [Último acceso: 2014 Marzo 19].
- [38] «Bluemove Carsharing,» [En línea]. Available: www.bluemove.es. [Último acceso: 19 Marzo 2014].
- [39] «Respiro carsharing,» [En línea]. Available: www.respiromadrid.es. [Último acceso: 19 Marzo 2014].
- [40] «Avancar,» [En línea]. Available: www.avancar.es. [Último acceso: 19 Marzo 2014].
- [41] «Ibilek car sharing,» [En línea]. Available: www.ibilek.es. [Último acceso: 19 Marzo 2014].
- [42] Think City, «Manual de uso de la batería. ZEBRA Z36.»
- [43] EUROPIA, White paper on Fueling EU Transport, 2011.
- [44] Annette Evans, Vladimir Strezov, Tim Evans, «Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 13, nº 5, pp. 1082-1088, June 2009.
- [45] Iberdrola, «Informe de Sostenibilidad Corporativa. Eficiencia Energética Iberdrola,» 2012.
- [46] Robert Edwards, Jean-Francois Larivé, David Rickeard, Werner Weindorf, «Well to wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context,» Joint Research Centre, 2013.
- [47] «REE,» [En línea]. Available: ww.ree.es.
- [48] J. A. Peris, Curso de Termodinámica, Madrid: Alhambra Longman, 1994.
- [49] A. Bandivadekas, «On the road in 2035,» 2008.
- [50] «Iberdrola: Ofertas y Servicios: Suministros en Baja Tensión,» [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.es/clientes/empresas/info/suministros-baja-tension>. [Último acceso:

- 28 Junio 2014].
- [51] «Iberdrola,» [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.es/clientes/hogar/luz/menos-10kw/energia-verde>. [Último acceso: 28 Junio 2014].
- [52] «Global Fuel Economy Initiative (GFEI),» [En línea]. Available: www.unep.org. [Último acceso: Junio 2014].
- [53] «DieselNet "Emission Test Cycles ECE 15 + EUDC / NEDC",» [En línea]. Available: www.dieselnets.com. [Último acceso: 5 Junio 2014].
- [54] Ministerio de Industria, Energía y Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Energía, «Precios de Carburantes y Combustibles,» Enero a Diciembre 2012-2013. [En línea]. Available: <http://www.minetur.gob.es/energia/petroleo/Precios/Informes/InformesMensuales/Paginas/IndexInformesMensuales.aspx>. [Último acceso: Julio 2014].
- [55] Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos, «AOP,» Boletín Petrolero EU y cotizaciones internacionales, [En línea]. Available: [ww.aop.es](http://www.aop.es). [Último acceso: 6 agosto 2014].
- [56] IDAE, «El vehículo eléctrico para flotas».
- [57] «Red Eléctrica de España,» www.ree.es, [En línea]. Available: demanda.ree.es/demanda.html.
- [58] Greenhouse Gas Protocol.
- [59] ISO/TR 14069:2013. Greenhouse gases - Quantification and reporting of greenhouse gas emissions for organizations - Guidance for the application of ISO 14064-1, ISO, 2013.
- [60] Red Eléctrica de España, «www.ree.es,» [En línea].
- [61] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, «ORDEN ITC/1522/2007, de 24 de mayo, por la que se establece la regulación de la garantía del origen de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables y de cogeneración de alta eficiencia,» BOE núm. 131 (pág. 23892-23896), Madrid, 1 de junio 2007.
- [62] El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, «Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE,» Diario Oficial de la Unión Europea (5.06.2009, pág. L140/16 a L140/62), 23 de abril de 2009.
- [63] Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos, La industria del refino en España, AOP, Noviembre 2010.
- [64] «Fuelling Europe's Future,» [En línea]. Available: <http://www.fuellingeuropesfuture.eu/es/el-refino-en-europa/el-refino-responsable/huella-medioambiental>. [Último acceso: Abril 2014].

- [65] Transport & Environment, «Carakers CO2 Emissions in 2013,» Briefing, May 14.
- [66] R. Chang, Química, Mexico: Mc Graw Hill, 1994.
- [67] Miniterio de Industria, Turismo y Comercio, Real Decreto 1088/2010, 3 septiembre, por el que se modifica el Real Decreto 61/2006, 31 enero, en lo relativo a las especificaciones técnicas de gasolinas, gasóleos, utilización de biocarburantes y contenido de azufre de combustibles para uso marítimo, Boletín Oficial del Estado, 4 de septiembre de 2010.
- [68] National highway Traffic Safety Administration., EEUU, Octubre 2011..