



Madrid  
**Ahorra**  
con Energía

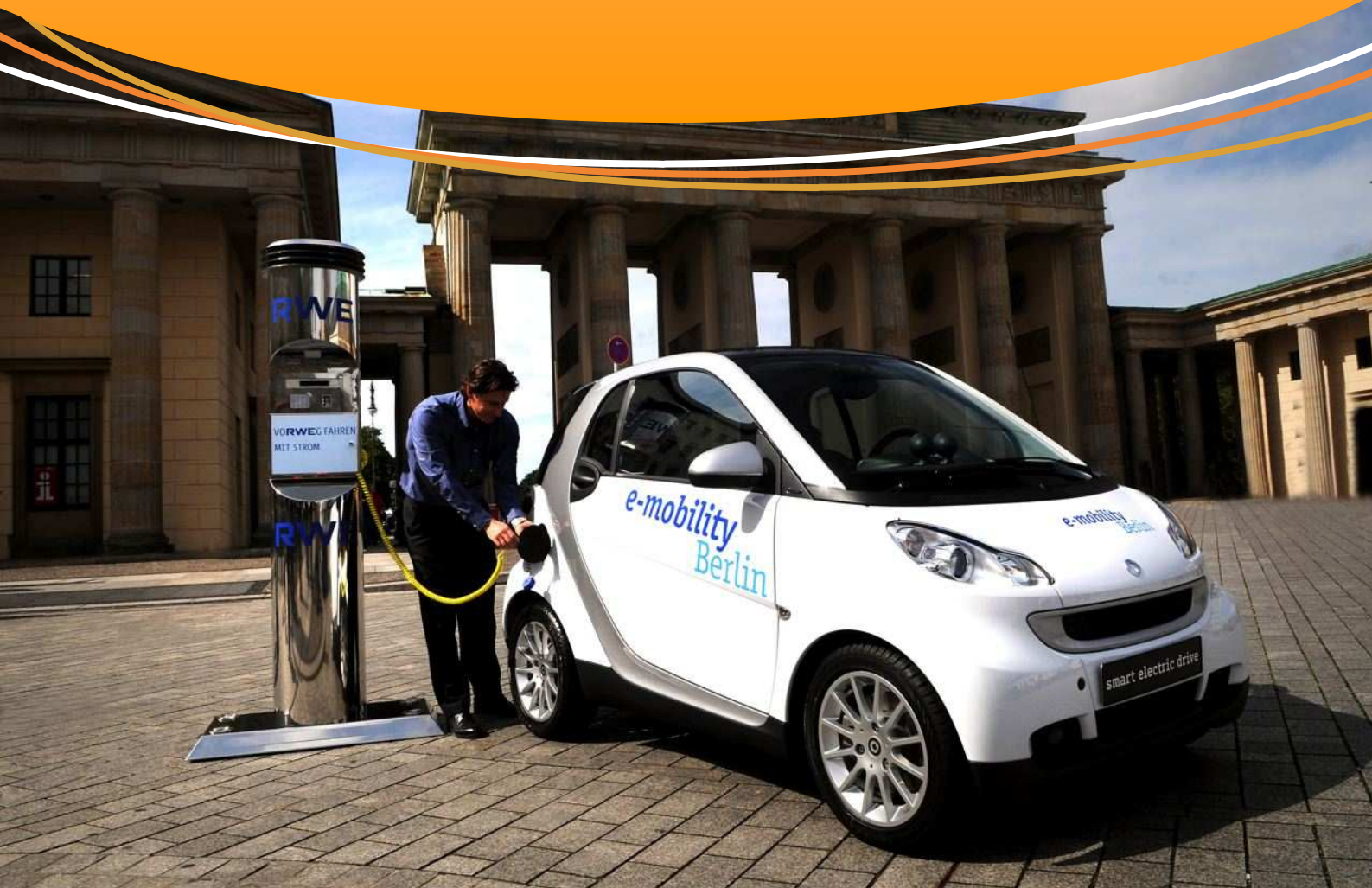


CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

**Comunidad de Madrid**

[www.madrid.org](http://www.madrid.org)

# Guía del Vehículo Eléctrico





# Guía del Vehículo Eléctrico



Fundación de la Energía  
de la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency

Intelligent Energy  Europe



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

**Comunidad de Madrid**

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica necesariamente con las ideas u opiniones que en ellos se exponen y, por lo tanto, no asume responsabilidad alguna de la información contenida en esta publicación.

Coordinación: Ana Martín Pérez

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

Revisión: Iván Vaquero Díaz - Pilar García Bermúdez

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

Maquetación: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

Depósito Legal:

Impresión Gráfica:

# Autores

- Capítulo 1. **Reinventando la movilidad: sobre petróleo, energía, vehículos, transporte y medio ambiente. Los vehículos eléctricos y las infraestructuras de recarga**

Pallisé, J.  
CIRCUTOR

- Capítulo 2. **¿Puede España liderar el desarrollo del sector del vehículo eléctrico (VE)?**

Guillén, F.  
IDOM

- Capítulo 3. **Retos de futuro para la comercialización de vehículos eléctricos en España**

Alonso, J.  
GoingGreen

- Capítulo 4. **Presente y futuro de la tecnología híbrida**

Van Dijck, K.  
Toyota España S.L.U.

- Capítulo 5. **Las baterías, las energías renovables y el vehículo eléctrico en entorno urbano**

Chacón, J.  
SAFT Batteries

- Capítulo 6. **Baterías recargables avanzadas para vehículos eléctricos**

Amarilla, J.M.  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

- Capítulo 7. **Integración de vehículos eléctricos en el sistema eléctrico español. Visión del operador del sistema**

Soto, F., Díaz-Guerra, B.  
Red Eléctrica de España

- Capítulo 8. **La red de distribución eléctrica y la carga de los vehículos eléctricos**

Sánchez-Forné, M.A., Corera, J.M.  
IBERDROLA





## Guía del Vehículo Eléctrico

### Capítulo 9. **Impacto del vehículo eléctrico en la red de distribución**

García, F., Alonso, F.J., Juárez, J.P.

*Unión FENOSA Distribución*

### Capítulo 10. **El proyecto Movele: una iniciativa del IDAE para la promoción de la movilidad sostenible en las ciudades mediante el vehículo eléctrico**

Plá de la Rosa, J.L.

*IDAE*

### Capítulo 11. **Vehículos a hidrógeno**

Vegas, A., López, M. y Luque, R.

*ARIMA*

# Índice

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 1.       | REINVENTANDO LA MOVILIDAD: SOBRE PETRÓLEO, ENERGÍA, VEHÍCULOS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE. LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y LAS INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA | 15 |
| 1.1.     | Reinventando la movilidad en el umbral de cambios rápidos  | 15 |
| 1.2.     | Sobre petróleo, vehículos, transporte y medio ambiente   | 19 |
| 1.3.     | Llega el coche eléctrico. ¿Dónde se enchufa?   | 26 |
| 1.4.     | Avanzando conclusiones   | 35 |
| 2.       | ¿PUEDE ESPAÑA LIDERAR EL DESARROLLO DEL SECTOR DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO (VE)?  | 39 |
| 2.1.     | Situación actual del vehículo eléctrico  | 39 |
| 2.2.     | Iniciativas para impulsar el sector de los vehículos eléctricos  | 42 |
| 2.2.1.   | Algunas iniciativas de impulso del VE en España  | 44 |
| 2.3.     | Retos para el desarrollo del VE  | 45 |
| 2.3.1.   | Desarrollo de las baterías (energía, autonomía, vida útil y coste)   | 46 |
| 2.3.2.   | Desarrollo de la red de infraestructura  | 49 |
| 2.3.2.1. | Tipologías de redes  | 49 |
| 2.3.2.2. | Ejemplo de reconversión de las estaciones de servicio  | 50 |
| 2.3.2.3. | Implicaciones en el sector eléctrico   | 52 |
| 2.3.2.4. | Regulación   | 53 |
| 2.3.3.   | Economía del vehículo eléctrico en comparación con el vehículo convencional  | 54 |
| 2.3.4.   | Vehículos en desarrollo  | 55 |
| 2.4.     | Negocios en la cadena de valor del VE y oportunidades en España  | 57 |
| 2.4.1.   | Oportunidades en España  | 58 |
| 2.4.2.   | Papel de los gobiernos   | 59 |
| 2.5.     | España: ejemplo de liderazgo en el desarrollo de nuevos sectores   | 60 |
| 3.       | RETOS DE FUTURO PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN ESPAÑA   | 63 |





## Guía del Vehículo Eléctrico

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 3.1.   | La necesidad de una movilidad sostenible  | 63  |
| 3.2.   | El papel de la movilidad eléctrica  | 65  |
| 3.3.   | Los retos de futuro   | 67  |
| 3.3.1. | Disponer de oferta competitiva de vehículos                                     | 68  |
| 3.3.2. | Disponer de redes de venta y posventa especializadas                            | 72  |
| 3.3.3. | Disponer de infraestructuras para recarga                                       | 74  |
| 3.3.4. | Cambiar la mentalidad de la sociedad  | 81  |
| 3.4.   | Resumen   | 84  |
| 4.     | PRESENTE Y FUTURO DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA                                      | 87  |
| 4.1.   | Vehículos híbridos: funcionamiento y componentes                                | 87  |
| 4.2.   | Ventajas de la hibridación respecto a tecnologías convencionales                | 89  |
| 4.3.   | Avances tecnológicos y desafíos de futuro                                       | 90  |
| 4.4.   | Híbridos enchufables como solución alternativa al coche eléctrico               | 92  |
| 4.5.   | Conclusiones  | 94  |
| 5.     | LAS BATERÍAS, LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN ENTORNO URBANO | 97  |
| 5.1.   | El vehículo eléctrico en las ciudades   | 97  |
| 5.2.   | Necesidad de la movilidad eléctrica   | 98  |
| 5.3.   | Las energías renovables y el almacenamiento energético                          | 101 |
| 5.4.   | Las baterías recargables para vehículos eléctricos                              | 108 |
| 5.5.   | Conclusiones  | 115 |
| 5.6.   | Bibliografía  | 116 |
| 6.     | BATERÍAS RECARGABLES AVANZADAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS                        | 117 |
| 6.1.   | Introducción  | 117 |
| 6.1.1. | Baterías recargables: generalidades   | 118 |
| 6.1.2. | Parámetros electroquímicos de las baterías recargables                          | 119 |
| 6.2.   | Baterías de plomo-ácido   | 120 |
| 6.2.1. | Historia  | 120 |
| 6.2.2. | Reacciones electroquímicas  | 121 |
| 6.2.3. | Ventajas y limitaciones   | 122 |
| 6.2.4. | Baterías de Pb-ácido con aplicación en coches eléctricos                        | 124 |
| 6.3.   | Baterías de níquel-hidruro metálico   | 125 |
| 6.3.1. | Historia  | 125 |



|   |     |
|---|-----|
| 6.3.2. Reacciones electroquímicas   | 126 |
| 6.3.3. Ventajas y limitaciones  | 127 |
| 6.3.4. Baterías de NiMH con aplicación en vehículos eléctricos híbridos (VEHs)                          | 129 |
| 6.4. Baterías de ión-litio  | 130 |
| 6.4.1. Historia   | 130 |
| 6.4.2. Reacciones electroquímicas   | 131 |
| 6.4.3. Ventajas y limitaciones  | 133 |
| 6.4.4. Baterías de ión-litio con aplicación en vehículos eléctricos                                     | 135 |
| 6.5. Conclusiones   | 136 |
| 6.6. Bibliografía   | 137 |
| 7. INTEGRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL. VISIÓN DEL OPERADOR DEL SISTEMA | 139 |
| 7.1. Introducción   | 139 |
| 7.2. Capacidad de adaptación del sistema eléctrico español  | 141 |
| 7.2.1. Desarrollo del tren de alta velocidad en España  | 142 |
| 7.2.2. Integración de las energías renovables como fuente masiva de generación                          | 143 |
| 7.3. El sistema eléctrico peninsular español: presente y futuro   | 144 |
| 7.3.1. Sistema eléctrico en la actualidad   | 145 |
| 7.3.1.1. Demanda de energía eléctrica   | 145 |
| 7.3.1.2. Equipo de generación y cobertura de la demanda   | 148 |
| 7.3.2. Sistema eléctrico en 2016  | 151 |
| 7.4. Impacto de la integración de vehículos eléctricos en un sistema eléctrico                          | 154 |
| 7.4.1. Impacto en la demanda eléctrica  | 154 |
| 7.4.2. Impacto en las infraestructuras de transporte y distribución                                     | 160 |
| 7.4.3. Impacto en la estructura de generación   | 161 |
| 7.4.4. Impacto en la operación del sistema  | 161 |
| 7.5. Conclusiones   | 162 |
| 8. LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA Y LA CARGA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS                              | 165 |
| 8.1. Introducción   | 165 |
| 8.2. La demanda eléctrica de los vehículos eléctricos   | 166 |





## Guía del Vehículo Eléctrico

|   |     |
|---|-----|
| 8.2.1. Tipos de carga   | 166 |
| 8.2.2. Demanda agregada   | 169 |
| 8.3. El control de la carga de los vehículos eléctricos   | 171 |
| 8.3.1. Requisitos técnicos  | 171 |
| 8.3.2. Requisitos regulatorios  | 175 |
| 8.4. La red de distribución eléctrica   | 175 |
| 8.4.1. Características  | 175 |
| 8.4.2. Desarrollos necesarios   | 178 |
| 8.5. ¿Un nuevo negocio?   | 178 |
| 8.5.1. Agentes posibles   | 179 |
| 8.5.2. Regulación   | 180 |
| 8.6. Conclusiones   | 181 |
| 8.7. Bibliografía   | 182 |
| 9. IMPACTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN   | 183 |
| 9.1. Introducción: ¿por qué el interés actual por el vehículo eléctrico?  | 183 |
| 9.2. La pregunta clave: ¿qué ritmo de entrada tendrá el vehículo eléctrico?   | 186 |
| 9.3. Definición de escenarios   | 190 |
| 9.4. Impacto en la red de distribución  | 194 |
| 9.4.1. Estacionamiento de centro comercial  | 195 |
| 9.4.2. Estacionamiento comunitario  | 196 |
| 9.4.3. Garaje comunidad de vecinos  | 196 |
| 9.4.4. Garaje individual  | 197 |
| 9.4.5. Estaciones de repostaje  | 197 |
| 9.5. Conclusiones   | 198 |
| 9.6. Bibliografía   | 199 |
| 10. EL PROYECTO MOVELE: UNA INICIATIVA DEL IDAE PARA LA PROMOCIÓN DE LA MOVILIDAD SOSTENIBLE EN LAS CIUDADES MEDIANTE EL VEHÍCULO ELÉCTRICO | 201 |
| 10.1. Introducción  | 201 |
| 10.2. Justificación y objetivos   | 205 |
| 10.3. Descripción del proyecto  | 206 |
| 10.4. Bases del proyecto  | 208 |
| 10.5. Partícipes del proyecto   | 209 |
| 10.6. Fases del proyecto  | 210 |
| 10.7. Esquema organizativo  | 210 |
| 10.8. Presupuesto del proyecto  | 211 |
| 10.9. Impacto energético y medioambiental   | 212 |
| 10.10. Extrapolación de resultados  | 212 |

|   |            |
|---|------------|
| 10.11. Desarrollo de infraestructuras públicas de recarga   | 214        |
| 10.12. Vehículos incentivables                              | 215        |
| 10.13. Cuantía de las ayudas                                | 216        |
| 10.14. Beneficiarios  | 217        |
| 10.15. Plazos de presentación                               | 218        |
| <b>11. VEHÍCULOS A HIDRÓGENO</b>                            | <b>219</b> |
| 11.1. Introducción  | 219        |
| 11.2. Producción de hidrógeno                               | 219        |
| 11.2.1. Hidrógeno “químico”                                 | 220        |
| 11.2.2. Hidrógeno “electrolítico”                           | 221        |
| 11.3. Almacenamiento de hidrógeno                           | 221        |
| 11.3.1. Hidrógeno comprimido                                | 222        |
| 11.3.2. Hidrógeno licuado                                   | 222        |
| 11.3.3. Métodos alternativos de almacenamiento de hidrógeno | 222        |
| 11.4. Utilización del hidrógeno                             | 223        |
| 11.5. Las pilas de combustible                              | 223        |
| 11.6. ¿Por qué vehículos de hidrógeno?                      | 224        |
| 11.7. ¿Cabe un sistema de hidrógeno en un vehículo?         | 225        |
| 11.8. ¿Seguro, qué es seguro?                               | 228        |
| 11.9. Experiencias existentes                               | 230        |
| 11.10. Visión de futuro                                     | 230        |
| 11.11. Bibliografía   | 232        |





# Prólogo

La historia de la Humanidad, durante la mayor parte de los últimos seis mil años, se ha caracterizado por una lucha constante para aprovechar cada vez mayores cantidades de energía de manera progresivamente más eficaces. Desde los primeros arados tirados por animales en lo que hoy es Irak, el progreso material ha ido acompañado e impulsado por el dominio cada vez más sofisticado de combustibles y sistemas de energía.

La fuerza animal hizo posible la agricultura. La leña nos ha permitido cocinar los alimentos, calentar nuestras casas y fundir metales para fabricar utensilios y armas. El uso del carbón a gran escala, en el siglo XIX, sentó las bases de la Revolución Industrial. Un siglo más tarde, el petróleo y el gas natural, seguidos por una amplia variedad de tecnologías, que van desde la nuclear a la solar, pasando por la eólica y la mareomotriz, han completado la transformación llevando al mundo industrializado a la modernidad.

Hoy en día, vivimos en un mundo completamente dominado por la energía. Producimos y consumimos energía no sólo para calentarnos y alimentarnos, sino también para entretenernos, para ampliar nuestros conocimientos, para construir nuestro mundo y, sobre todo, para desplazarnos.

Durante más de un siglo, nuestra movilidad ha dependido completamente del petróleo y el motor de combustión interna. De los 900 millones de coches, camiones y demás vehículos que circulan por el planeta, más del 90% consumen para su accionamiento derivados del petróleo y, aparentemente, esto seguirá siendo así hasta que aparezcan otros sistemas económicamente más atractivos, pero no hay que olvidar el progresivo agotamiento de las reservas y los denominados costes externos, vinculados a la salud y al clima, a los que también hay que hacer frente.

El propio sector de la automoción reconoce que el motor de explosión, tanto de gasolina como de gasóleo, se está quedando obsoleto. Los índices de eficiencia energética son muy bajos –menos del 30% de la energía contenida en el combustible llega realmente





## Guía del Vehículo Eléctrico

a las ruedas- y las emisiones siguen siendo elevadas, a pesar de la mejora de la tecnología.

Los fabricantes, conscientes del agotamiento del petróleo y de los impactos derivados de su consumo, han iniciado una serie de mejoras e innovaciones tecnológicas en el sector de la automoción: desde los coches híbridos hasta los coches eléctricos, ya sean estos accionados por la energía almacenada en las baterías o por la generada por pilas de hidrógeno.

En los próximos años seremos espectadores de todos estos cambios, que constituirán una verdadera revolución energética en el sector del automóvil. No sólo será posible sino inevitable.

El contenido de esta Guía sobre Vehículos Eléctricos se ha elaborado, con la participación de diversos especialistas e instituciones, con el fin de contribuir a ese cambio tecnológico, en consonancia con los objetivos de la Comunidad de Madrid, de apoyo a la industria, a la eficiencia energética y a la sostenibilidad.

**Carlos López Jimeno**

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

# 1

## REINVENTANDO LA MOVILIDAD: SOBRE PETRÓLEO, ENERGÍA, VEHÍCULOS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE. LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y LAS INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA

### 1.1. Reinventando la movilidad en el umbral de cambios rápidos

*“Bueno, lo que es en mi país –aclaró Alicia jadeando aún bastante- cuando se corre tan rápido como lo estamos haciendo y durante algún tiempo, se suele llegar a alguna otra parte...”*

*“¡Un país bastante lento!-replicó la Reina- lo que es aquí, como ves, hace falta correr todo cuanto uno pueda para permanecer en el mismo sitio. Si se quiere llegar a otra parte hay que correr por lo menos dos veces más rápido”.*

**Alicia en el país de las Maravillas (L. Carroll)**

La consideración de que el mundo que nos rodea, tal y como lo conocemos, es el mejor o el único de los mundos posibles, parece ser una característica inherente a la mayoría de grupos humanos, independientemente de que cada uno de nosotros haya sido partícipe de cambios sociales y tecnológicos inimaginables en el transcurso de unos pocos años. Plantear la necesidad de cambios al modelo actual de transporte -de personas y mercancías-, genera como reacción una mezcla de oposición y escepticismo ante lo que pudiera representar un nuevo escenario en un área importante de nuestras vidas. Nuestra primera observación es que siempre resulta difícil la aceptación de escenarios alternativos a los existentes.

El modelo vigente de transporte parece llegar a su punto de inflexión por diversas causas, entre las que destaca tanto el despilfarro de un recurso estratégico como es el petróleo, como los impactos ambientales asociados a su uso. Ninguna sociedad racional debe permitir desaprovechar su energía fósil con sistemas energéticos ineficientes; siendo actualmente el sector de la movilidad y transporte el que precisa de una mayor atención dado que presenta unos ra-





## Guía del Vehículo Eléctrico

tios muy reducidos de eficiencia, mientras constituye uno de los principales focos de consumo energético, habiendo alcanzado un 40% del total del consumo español. Por otra parte, el transporte constituye uno de los principales focos de atención de todas las administraciones por los problemas causados por la contaminación y los retos que plantea el cambio climático.

A principios de siglo XX, antes de la utilización masiva de los vehículos de combustión interna para el transporte, el consumo de petróleo representaba tan sólo un 3% de la demanda total de energía. Medio siglo después, este combustible fósil se había erigido como el principal recurso energético del mundo desarrollado.

Aunque pueda parecer trivial, debe recordarse que la famosa “mundialización” de nuestras economías, basa su fundamento en un consumo masivo de combustibles fósiles, a la cabeza de los cuales está el petróleo; así pues, referirse a movilidad y transporte equivale en definitiva a hablar del petróleo, bastando un par de cifras macroenergéticas para percibir su magnitud: dentro del conjunto de países de la UE-25, el consumo sectorial del transporte representa un tercio de los recursos energéticos, un 70% de los cuales corresponde a los derivados del petróleo (principalmente gasóleos y gasolinas). En nuestro país el problema del sector es todavía más agudo, consumiendo 39.743 ktep, representando un 38% del consumo de Energía Final (EF), lo que implica una importación anual de más de 60 Mt de crudo y una importante dependencia de terceros países, dado el ínfimo nivel de autoabastecimiento situado alrededor del 0,2%<sup>1</sup>.

Afinando este análisis, se puede efectuar una comparación -aunque sea en orden de magnitud- entre los consumos de Energía Primaria (EP) y EF, para captar los niveles de ineficiencia energética y hasta imaginar algunos de los problemas ambientales asociados a la generación y consumo de energía. Tomado sectorialmente el grupo del petróleo en su conjunto, representa un 48,1% del total de la EP con un valor absoluto 70,8 Mtep, sabiendo que, a excepción del porcentaje destinado a los usos no energéticos (sector químico y petroquímico), el grueso del mismo va destinado al transporte, del que depende totalmente el modelo de movilidad.

Así pues, aquella primera reacción escéptica y de incredulidad frente



al hecho de encontrarnos ante un cambio crucial en la movilidad y transportes, suele quedar atenuada al enfrentarse a los datos energéticos precedentes; siendo a partir de este momento cuando se comienzan a valorar las distintas alternativas existentes. En los últimos años se ha barajado el potencial y posibilidades de utilizar combustibles alternativos (los biocombustibles y el hidrógeno).

Sin despreciar en absoluto la importancia y posibilidades reales de los biocombustibles, con un porcentaje del 1,8% de consumo de combustibles, y con importantes inversiones industriales en nuestro país para el caso del biodiésel; debe recordarse que en último término es dependiente de la eficiencia de la fotosíntesis (situada alrededor del 2%, a la que se le debe restar el consumo energético implicado en su cultivo, transporte y proceso), por lo que difícilmente se podrán alcanzar los valores de aprovisionamiento previstos del 5,75% para 2010, dado que representaría la utilización de una superficie cultivada de más de 1,3 millones de hectáreas, es decir, el 14% del total de la superficie cultivable de todo el estado (Ministerio de Agricultura).

En lo que respecta a las famosas pilas de combustible basadas en hidrógeno y su enésimo estancamiento, tan sólo decir que, a pesar de las expectativas generadas durante años, la administración Obama ha recortado fuertemente sus ayudas, al considerar que no está dando los resultados esperados. Así, una vez parecen despejadas ciertas incógnitas, tan sólo queda como recurso energético alternativo la electricidad.

A pesar de que haya existido un bombardeo mediático durante los últimos meses, el público en general sigue desconociendo la existencia de los vehículos eléctricos (VE)<sup>2</sup> y sus posibilidades reales, ignorando que, con más de ciento diez años de antigüedad, dichos vehículos precedieron a los vehículos de combustión interna (VCI)<sup>3</sup>. Ahora bien, una vez estos últimos solucionaron algunos aspectos técnicos y tuvieron a su disposición los derivados del crudo (recursos de altísima densidad energética) y comenzaron a fabricarse en grandes series, desplazaron completamente a los primitivos VE que adolecían de un

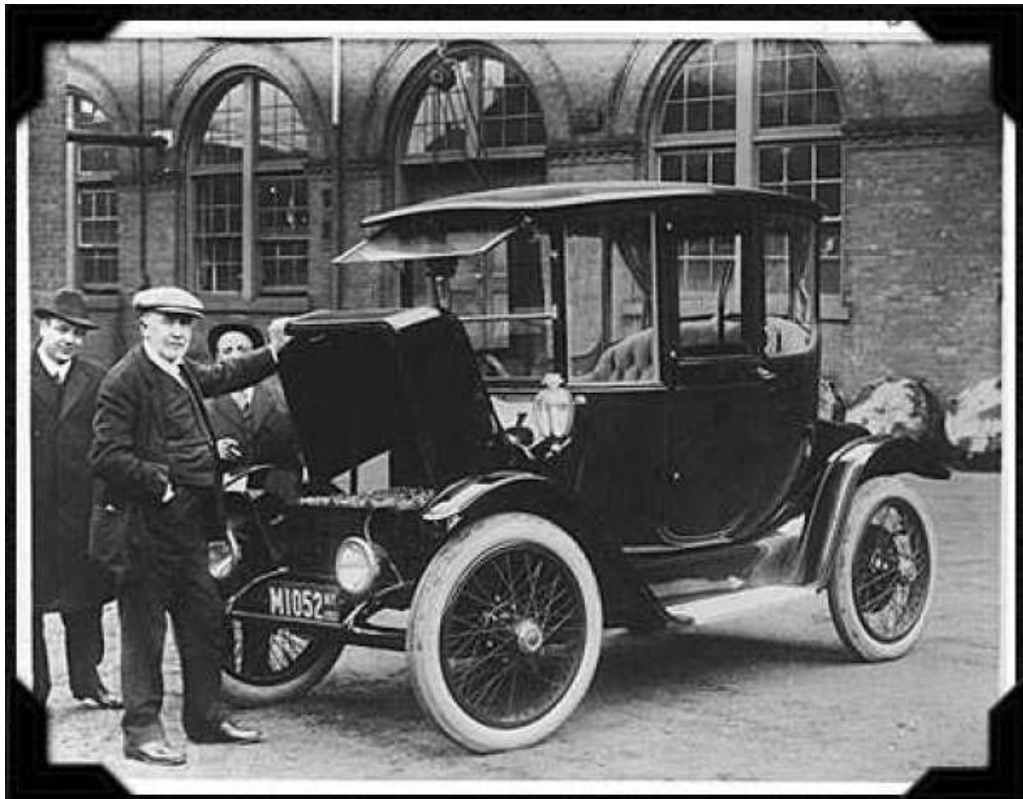


<sup>2</sup> Al hacer referencia a VE se incluye tanto a los turismos, motocicletas y camionetas, integrando a los equipos totalmente eléctricos, como a los híbridos enchufables.

<sup>3</sup> La revolución del automóvil llegó con el modelo Ford T en el año 1908, que a pesar de tener un consumo de 20 litros los cien kilómetros, se fabricó en grandes series llegando a producir más de 15 millones de unidades y se vendió a un precio asequible.



problema importante, como era su limitada capacidad de autonomía entre recargas; problema que se ha mantenido vigente hasta nuestros días.



**Foto 1.1.** Los primeros VE Edison Electric Car 1913.

La imposibilidad de almacenar la energía eléctrica en cantidades importantes y el elevado coste de fabricación, al tratarse de prototipos fabricados en series reducidas, representan los dos escollos principales de los VE que los ha relegado durante años a una mera curiosidad. Paradójicamente, un siglo después, ambos aspectos siguen siendo los dos aspectos tecnológicos clave a solucionar, para que se produzca una verdadera explosión que permita a los VE alcanzar su mayoría de edad.



**Foto 1.2.** Prototipos de VE para su comercialización en los años 2010-2011.

Para apreciar el potencial de penetración de los VE en un horizonte inmediato (2015-2030) es preciso conocer los datos básicos del parque móvil español, constituido por casi 30 millones de vehículos, 21,7 millones de los cuales son turismos, 2,3 millones motocicletas y 5,14 millones camiones y furgonetas. Frente a la importancia de dichas cifras, siendo indudable su contribución a la creación de riqueza y satisfacción de necesidades, resulta difícil no plantearse los problemas energéticos y ambientales que su rápido crecimiento ha generado, además de una enfermiza y monogámica dependencia del petróleo. También deben destacarse los crecientes impactos por la necesidad de infraestructuras y ocupación del espacio, además del amplio abanico de problemas ambientales que se pueden focalizar en las emisiones de gases contaminantes y el ruido, por su afectación directa a la salud de las personas; y en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (con sus adversas afectaciones climáticas), problemas a los que se hará referencia posteriormente, pero que pesan como otro poderoso incentivo para el cambio de modelo, especialmente después de haberse asumido numerosos compromisos internacionales de reducción a partir de las Directivas Euro sobre emisiones y de los compromisos de Kyoto.

Se comparte la opinión con diversos analistas que, sin ningún género de dudas, antes de alcanzar la cima del denominado “peak-oil” (momento en el que la producción mundial de crudo no podrá seguir el nivel de demanda), los países con elevados niveles de movilidad y motorización (más de 400 vehículos por 1.000 habitantes), se encontrarán abocados de facto frente a un cambio de escenario que podría producirse de manera extraordinariamente acelerada y ante el cual quizás habrá que comportarse como en el universo imaginado por L. Carroll en la cita que precede al apartado y si es que queremos *llegar a otra parte* para pasar al “otro lado del espejo”, deberemos correr el doble de rápido y, por más que se entrevea la existencia de retos y obstáculos importantes, también aparecen una cantidad de oportunidades tecnológicas, energéticas, ambientales y empresariales que en ningún caso se deberían desaprovechar.

## 1.2. Sobre petróleo, vehículos, transporte y medio ambiente

La facilidad de obtención del petróleo, unido a su relativamente bajo coste, ha hecho olvidar la enorme capacidad de trabajo que puede





## Guía del Vehículo Eléctrico

desarrollar como recurso de alta densidad energética. La inmensa mayoría de la población ignora aquella gran cantidad de energía que trasvasa y almacena en la rutinaria tarea de rellenar el depósito de combustible en cada operación de recarga.

La comunidad experta y los medios de comunicación deberán realizar un gran esfuerzo pedagógico para concienciar a los ciudadanos en la necesidad de avanzar hacia escenarios energéticamente eficientes, explicando que con el consumo de cada litro de gasóleo o gasolina, va asociada una alta densidad de energía<sup>4</sup> con el que se puede desarrollar, o dilapidar, diversas cantidades de trabajo, en función de la máquina que utilicemos; así, cada vez que se llena el depósito con 50 litros de gasolina, se dispone de una cantidad teórica de energía de unos 500 kWh. Se puede apreciar el significado de dicha cantidad relacionándola con los valores tan modestos que los seres humanos somos capaces de desarrollar (menos de 100 W de potencia durante intervalos de pocas horas), o del consumo típico de los hogares, situado alrededor de 10 kWh/día.

Una vez situados en orden de magnitud de la energía contenida en los combustibles, es momento adecuado para dar a conocer la “eficiencia energética” de los VCI, que si bien constituyen estéticas, sofisticadas y potentes máquinas, desde el punto de vista tecnológico tienen unos rendimientos termodinámicos francamente modestos, del orden de un 25% (o, lo que es lo mismo, con unas pérdidas e ineficiencias del 75 y hasta del 80%). Por consiguiente, aquella gran cantidad de energía contenida en el depósito quedará reducida a una energía útil de unos 125 kWh, mientras el resto se convierte en energía degradada (calor y subproductos contaminantes a elevadas temperaturas).

Se conoce por experiencia que en el mundo real no siempre se consideran los argumentos de tipo racional (científico-técnico) como los de mayor importancia; y por ello, a pesar de los rendimientos tan absurdos, no se debe pensar en un rápido “hundimiento” de los VCI. Son muchos los expertos y los informes que pronostican una larga vida a los vehículos convencionales; así, en un importante informe estratégico encargado por el gobierno francés (“Mission Véhicule 2030”. Rapport J.Syrota, 2008) se pronostica una larga vida a los VCI, afirmando

---

4 Del orden de 10 kWh/litro. Los valores del “crudo” pueden oscilar entre 42-44 MJ/kg. En unidades volumétricas el valor de la gasolina es de 35,4 MJ/litro

de manera textual: *Le moteur thermique à essence ou diesel, en constante évolution, a encontre un bel avenir devant lui.* Precisamente, “gracias” a las ineficiencias comentadas, los vehículos y motores todavía disponen de un amplio margen de mejoras tanto en la combustión y aprovechamiento de combustible, como en la reducción de emisiones; a pesar que las crecientes restricciones ambientales se estarían convirtiendo en un problema de mayor importancia que los aspectos estrictamente energéticos. Temas ambientales aparte, se podría convenir el diagnóstico de un experto de nuestro país de la Sociedad de Técnicos de Automoción, que recientemente afirmaba: *los motores de CI tienen muchos años por delante* (R. Boronat Jornada STA); aunque ello no represente un impedimento para un brillante desarrollo de los nuevos VE.

Desde este punto de vista, existen un par de aspectos básicos a desarrollar para que se produzca un verdadero “*taking off*” de los VE, a saber: el desarrollo de una nueva generación de baterías y la plena incorporación de las grandes empresas del sector de la automoción para la fabricación en serie, estando ambos aspectos actualmente en plena eclosión.

La capacidad de almacenamiento de las baterías de Pb-ácido actuales se podría situar entre los 0,027 a 0,194 kWh/kg<sup>5</sup> y, por ello, para disponer de cantidades similares de energía con el mismo nivel de ineficiencia de la combustión se precisaría contar con una agrupación de baterías de más de 600 kg de peso.

Actualmente, se sabe que los motores eléctricos pueden conseguir eficiencias del 90% y que la mecánica asociada, al ir directamente acoplada a las ruedas de los VE, simplifica enormemente los cambios y transmisiones (reduciendo las consiguientes pérdidas), por lo que, en el futuro próximo, se pasará a depender de la electrónica de potencia con su instrumentación, batas blancas y plantas limpias, más que de árboles, transmisiones y engranajes con los conocidos talleres mecánicos con aceites, grasas y monos azules. La formación de profesionales preparados y la reconversión del taller de automóviles, constituirá también un reto importante, si bien, como ya se ha comentado, el verdadero talón de Aquiles para el despliegue de los VE, precio de venta aparte, sigue siendo la autonomía entre tiempo de recarga, o



5 0,1 MJ/kg con un límite teórico de 0,7 MJ/kg; o con las modernas baterías Ion-Li que ya alcanzan capacidades de 0,5 MJ/kg (con límites actuales de 3 MJ/kg).



## Guía del Vehículo Eléctrico

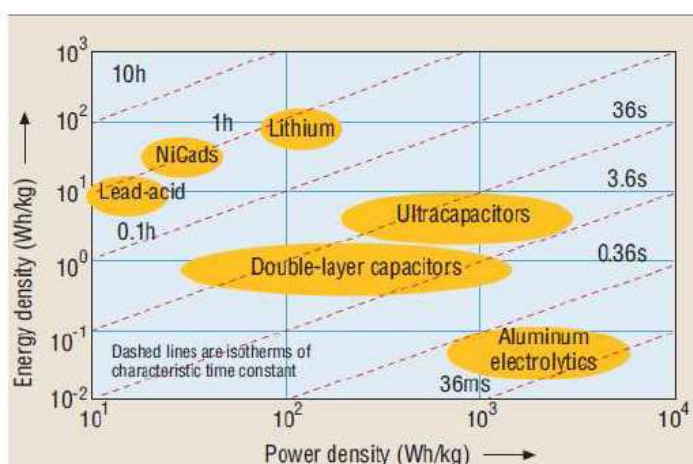
lo que es equivalente, conseguir almacenar en sus baterías una capacidad adecuada de energía eléctrica.

Los modelos de VE actualmente existentes en el mercado, o los que ya se encuentran en una fase avanzada de desarrollo, manejan valores de energía almacenada entre los 15 y 30 kWh en sus baterías, garantizando una autonomía que se sitúa entre los 80 y los 200 km; mientras que la propuesta alternativa de vehículos híbridos enchufables (siglas en inglés HPVE) en sus diversas disposiciones, serie o paralelo, equipados con un pequeño motor de combustión que se activaría en el momento que faltase la energía eléctrica, podría constituir una propuesta inmejorable de transición hacia nuevos escenarios de movilidad, consiguiendo autonomías envidiables, hasta para los mismos VCI actuales.

Por lo que respecta al desarrollo de modelos y prototipos de baterías, parece que la carrera se está decantando por las baterías de Ion-Litio, Fig. 1.1, tanto por sus características técnicas (SOC, no ciclos, capacidad de almacenamiento, densidad de energía, etc.), como por sus perspectivas de fabricación; si bien todavía se debe ser prudente -a falta de disponer de una experimentación en operación con VE- hasta conocer los problemas en el “mundo real”. Una de las propuestas más recomendables a nivel de gobierno y administraciones sería optar por un importante desarrollo en I+D para acumular experiencia en este particular campo de la electroquímica y las nuevas baterías; dado que en otros campos importantes de desarrollo, como son la electrónica de potencia, motores eléctricos y generadores, se podría estar en mejor posición.

En relación al segundo obstáculo, se considera que la ya anunciada entrada de empresas del sector automoción con un importante número de prototipos (Mitsubishi, Toyota, GM, Opel, Chrysler, Ford, Nissan, Renault, SEAT, etc.) y la futura fabricación en serie de VE, o HPVE, podría hacer cambiar rápidamente la situación respecto a los costes actuales.

Existen otros aspectos clave en los que se deberá profundizar, relativos a las mejoras de los aspectos ambientales que representará una presencia significativa de VE en el parque automovilístico actual y entre los cuales debe hacerse hincapié, como mínimo, en tres grandes grupos: **A.** los referidos a la contaminación acústica provocada por el tráfico rodado que resulta particularmente insidiosa en nuestro con-



**Figura 1.1.** El aspecto clave para el desarrollo de los VE.  
Paquete de baterías lón-Li.

texto económico-cultural; **B.** los relativos a la contaminación atmosférica y la afectación a la salud provocada por las emisiones de los gases contaminantes convencionales (CO, NO<sub>x</sub>, PM, HxCy, etc.) y **C.** los referidos al dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI) relacionados con el cambio climático.

Se saben generar cantidades importantes de esta fuente secundaria que es la electricidad con grandes centrales productoras que pueden utilizar un amplio abanico de recursos energéticos convencionales y renovables. Actualmente existen tecnologías probadas con elevados rendimientos superiores al 45% mediante ciclos combinados de gas natural (CCGN), con energía hidroeléctrica, que representa un caso aparte por sus elevados rendimientos, o mediante flujos renovables (solar, eólica) con bajos impactos ambientales. El principal obstáculo de la electricidad ha sido, desde sus mismos orígenes, la incapacidad de almacenarla en cantidades importantes; una creciente presencia de VE con su capacidad de almacenamiento ofrece, por primera vez, la posibilidad de almacenar energía eléctrica en cantida-





des significativas. Esto constituiría, por sí sólo, otro importante cambio de escenario tecnológico energético, a parte del propio del transporte.



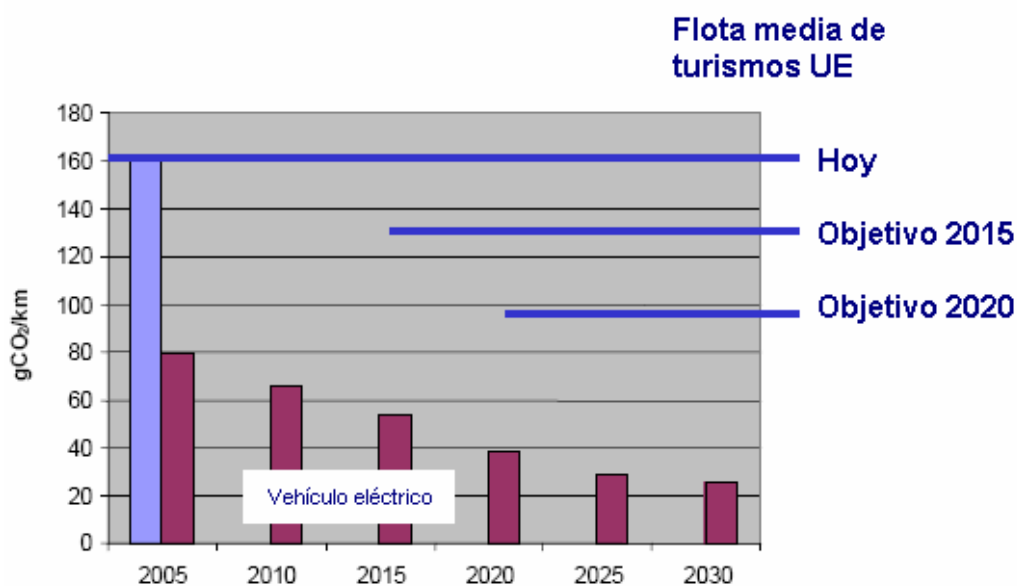
**Figura 1.2.** Optimización del sistema energético y potencial de carga de VE.

Tratando adecuadamente los cambios (de modelo de transporte y de acumulación de electricidad) puede además conseguirse un aplanamiento de la curva diaria y estacional de carga<sup>6</sup>, optimizando la generación al utilizar el parque más moderno y eficaz, aprovechando el pleno potencial de las energías renovables, desplazando una fracción importante de petróleo consumido en los vehículos, reduciendo emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero a los que nos tienen acostumbrados los VCI, etc. Tan sólo y por lo que respecta a los temas ambientales, un reciente informe del prestigioso EPRI ha estudiado el potencial de reducción de GEI en función de los respectivos recursos utilizados, concluyendo que, con

6 Al no poder almacenarse la electricidad, tiene que seguir escrupulosa y rápidamente una demanda muy variable a lo largo del día, pero que produce unos ciclos regulares diarios y estacionales con pronunciados picos y valles; provocando con ello diversos problemas técnicos y costes económicos importantes.



una electricidad procedente de centrales térmicas de carbón, la reducción de emisiones sería alrededor del 34%; mientras que, si procediesen de plantas de CCGN, se alcanzarían reducciones de hasta el 60%, sin contar que las reducciones serían todavía más importantes si la generación de energía para almacenar en los VE procediese de fuentes renovables, como la eólica y la solar. Como se ha visto, existe un sinfín de realimentaciones insospechadas y en cadena que afectan positivamente a sectores energéticos, del transporte y ambientales con el cambio de modelo.



**Figura 1.3.** Importancia de los VE's para la reducción de emisiones y gases contaminantes.

En el caso de que deseáramos disponer de un bagaje y balance completo de las ventajas potenciales, y de los inconvenientes, se debería realizar un análisis comparativo de todas las externalidades económicas y ambientales de los actuales VCI respecto a los nuevos VEs, simulando diversos escenarios de penetración de los mismos y realizando una aproximación tanto desde el pozo a la rueda "Well to Wheel" (WTW), lo que implicaría desarrollar un completo Análisis de Ciclo de Vida (del inglés LCA), como la más sencilla del análisis tanque-rueda "Tank to Wheel" (TTW), pero que también tiene gran importancia para el desarrollo de VEs en las zonas urbanas y centro de las ciudades, que serán, sin duda, uno de los escenarios privilegiados en la introducción de los VEs como de hecho está siendo el caso paradigmático de Londres como prototipo de nuevo modelo de ciudad europea.



## Guía del Vehículo Eléctrico

Se ha documentado largamente que más del 80% de los vehículos actuales tan sólo realiza un desplazamiento diario (*daily commute distances*) de menos de un centenar de km, por lo que los VEs parecen particularmente adecuados, si bien su proliferación deberá contar con los obstáculos que representarán ciertos factores psico-sociales, como los del tipo... “¿Y si un día quiero ir a Valencia?”, por más que a la pregunta de cuántas veces había ido con su vehículo a dicha ciudad, su paradójica respuesta fuese: ¡Nunca!

En el siguiente apartado se verá todo lo relativo a las infraestructuras de recarga necesarias para los VE y las supuestas dificultades de su desarrollo con una afirmación un tanto provocativa. En una primera fase, que abarcaría, como mínimo, hasta el año 2015, se puede afirmar que dichas infraestructuras no constituirán ningún problema importante, siempre y cuando se atienda a unos requisitos mínimos de seguridad y control.

### 1.3. Llega el coche eléctrico. ¿Dónde se enchufa?

El imaginativo titular periodístico que figura como encabezado representa un claro ejemplo de lo que podría ser la confusión entre los aspectos que se pueden denominar secundarios y los problemas fundamentales del cambio de modelo. Plantear un modelo alternativo de transporte, implica dar respuesta a las dos objeciones principales que cualquier interlocutor planteará: la primera, ¿de dónde procederá la electricidad necesaria para suministrar a los VE, o de manera más directa, se dispone de suficiente electricidad? La segunda objeción procede de una analogía con el modelo actual y, dada la ausencia de “electrolineras”, se pregunta ¿donde se enchufa? Una negativa a las preguntas anteriores, proporciona las premisas a cualquier sofista para que concluya la imposibilidad de todo cambio de modelo.

Se abordará primero la cuestión principal, relativa a la disponibilidad de energía eléctrica con una flota significativa de VE. Actualmente se dispone de diversos estudios y análisis de organismos oficiales e instituciones que indican cómo una entrada progresiva de VE dentro del sistema energético español no ha de representar ningún problema, al menos en un horizonte temporal 2010-2015; es más, se ha concretado que, procediendo de un modo adecuado, el sistema eléctrico del país permitiría la flota de más de un millón de VE para 2014, representando tan sólo un aumento de la demanda eléctrica de un 1% y que,

de ampliar hasta una flota de 10 millones de VE para 2030 (más del 33% del parque actual), representaría un incremento del 7,5% de la demanda anual.

El análisis global anterior no implica que las administraciones y compañías eléctricas no deban emprender con diligencia un estudio pormenorizado del estado y capacidad de las redes de transporte y distribución, como ya han realizado diversos países<sup>7</sup>, para identificar, anticiparse y solucionar cuantos problemas locales y regionales podrían aparecer. Desde un punto de vista meramente teórico y con un sistema optimizado el sistema existente podría integrar en 2014 hasta 6,5 millones de VE **sin necesidad de inversiones en generación ni red de transporte**, consiguiendo con ello incrementar la eficiencia y rentabilidad de las plantas de generación existente, así como una mayor integración de la electricidad procedente de fuentes renovables. Ello permite concluir al operador del sistema, Red Eléctrica de España, que, en términos de consumo anual, la integración progresiva de VE es admisible (presentación de REE, Zaragoza, 03/2009).

Sin embargo, no se debe ignorar que la implantación del vehículo eléctrico en España y en todo el mundo representa un nuevo reto a afrontar en lo que a diseño, desarrollo y mejora de las redes eléctricas se refiere. En el contexto actual, las redes eléctricas suelen transportar un máximo de energía en unas pocas “horas punta”, en las que se concentra la demanda (aproximadamente entre 7 y 9 de la tarde), y unas “horas valle”, en las que existe un mínimo consumo (entre las 11 de la noche y las 7 de la madrugada). Normalmente en España, durante las “horas valle” existen excedentes de energía, llegando al caso límite de tener que desechar potencial eólico del parque existente por falta de demanda.

Se puede obtener un orden de magnitud de las “modestas” necesidades de los VE reteniendo que un solo generador eólico de nueva generación es capaz de producir la energía suficiente para un parque de más de 700 VE que efectúen un recorrido de 20.000 km/año.

Una vez dilucidado el tema de la suficiencia energética, se debe reenfocar el problema y preguntarse si el principal problema para el cambio de modelo reside en la falta de infraestructuras de recarga.



<sup>7</sup> Como, por ejemplo, el “Potencial Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation”, DOE et al. USA 2008.

## Guía del Vehículo Eléctrico



Algunos comentaristas han argumentado que, en el caso de que los usuarios no dispongan de infraestructuras, no podrán cargar el VE y éste no va a poder consolidarse. Así, se llega a una argumentación circular del tipo “pescadilla”.

De entrada y para acotar el problema, se debe distinguir entre un período transitorio, que puede durar algunos años (p.e. el horizonte del año 2015) en el que el parque de VE será minoritario, con un porcentaje que podría oscilar entre menos de un 2% y el 5%, en el que sería el momento adecuado para la adaptación y creación de las infraestructuras pertinentes; y un periodo a medio y largo plazo, sobre el que existen mayores incógnitas más difíciles de plantar en el momento actual sin VEs.

Ahora bien, en lo que atañe a los puntos de recarga, resulta que existe alguna ventaja frente a los convencionales VCI, ante la existencia de unas redes eléctricas ya implantadas por todo el territorio que posibilitan una recarga distribuida, sin necesidad de hacerlo únicamente en ciertos puntos privilegiados de la ciudad o carretera; lo que posibilita obtener el servicio de recarga del vehículo, tanto en un aparcamiento público, como en nuestra propia vivienda. La implantación de puntos de recarga en vías públicas y parkings de las ciudades permitirá a los usuarios de los VE no tener que dirigirse siempre al mismo punto de recarga para su vehículo, pudiendo elegir entre una extensa red de puntos de la vía pública como si se tratará de una autentica red mallada de gasolineras.

**Foto 1.3.** Equipo de recarga RVE 2 para exterior.



Así pues, y como posiblemente ya se percibe, mucho más importante que **¿Dónde?**, el lugar o emplazamiento de la recarga, es **¿Cómo?** se realizará (de forma rápida o lenta) y sobretodo **¿Cuándo?** (en que tramo horario). La respuesta adecuada a estas dos cuestiones representa el verdadero *quid* de la cuestión.

Así, orientando la recarga de VEs en “horas valle”, se estará aprovechando una energía más económica que ya estaría disponible, o que en situaciones extremas tiene que dejar de producirse y hasta desecharse.

Para concienciarse sobre cuándo se debe proceder a la recarga, es preciso realizar algunas observaciones relativas al actual comportamiento de despreocupación respecto al nivel de combustible, dado que, en el momento que falta, se puede acudir a la gasolinera más cercana y repostar en el tiempo aparentemente corto de algunos minutos<sup>8</sup>. Si se desea optimizar el cambio de modelo, se deberá promocionar un cambio de mentalidad y comportamientos en la recarga de los VEs respecto de aquellos hábitos ya adquiridos. Una mera reflexión sobre el ciclo de vida diario del vehículo permite identificar aquel tramo horario donde éste pasa el mayor número de horas estacionado, y, por ende, se deberá pensar más en procedimientos de recarga nocturna -similares a las de los teléfonos móviles- que en las gasolineras actuales. No debe existir ninguna duda al respecto en relación al hecho de que deberá promocionarse y facilitarse por todos los medios posibles la recarga en horas nocturnas.



**Foto 1.4.** Tarjetas con microchip, una forma “inteligente” de control de acceso y de medida del consumo.

<sup>8</sup> En realidad, el tiempo muerto de recarga utilizado anualmente puede ser más importante de lo que implícitamente se supone y, de proceder adecuadamente, hasta se podría “ganar tiempo” con la recarga de VEs (información personal suministrada por Altran Technologies).



A medio plazo se piensa que la recarga de los VEs se producirá principalmente en el parking, ya sea público o privado y, quizás en menor medida, pero también importante, en la calle. Es por ello importante que exista variedad de opciones para el futuro usuario, con particularidades para cada tipo de instalación (parking público, privado, comunitario, vía pública, estación de servicio, etc.), requiriéndose un tipo específico de equipos y de instalación adaptado a las respectivas necesidades.

A corto plazo, y hasta que el número de VE comience a ser representativo, su incidencia energética puede considerarse insignificante. En Circutor se han desarrollado modelos de recarga de vehículos eléctricos adaptados a la vía pública con diseño antivandálico y sistema de prepago de energía mediante tarjetas de proximidad, modelos de interior para instalar en aparcamientos públicos con equipos simples pero robustos, con protección y fácil mantenimiento, con sistema de prepago de energía integrado, etc. Actualmente, se dispone de modelos que miden total y parcialmente la energía consumida, tanto para aparcamientos privados, como para aparcamientos comunitarios, existiendo equipos operativos ya instalados en ciudades como Sabadell, Barcelona, Madrid, Valencia, etc., además de instalaciones especiales en circuitos como Montmeló y diversos aparcamientos. Ahora bien, a pesar de su aparente simplicidad, se debe explicar que dichos equipos no han surgido ni improvisadamente, ni de manera espontánea, sino que se han experimentado y diseñado a partir de una amplia experiencia y contraste de equipos similares en aparcamientos, puertos deportivos y campings, donde desde hace años están instalados sistemas de control y medida, con diversas modalidades para el pago de energía.



**Foto 1.5.** Diversos equipo de recarga para interior de edificios y aparcamientos.



**Figura 1.4.** Estación de recarga VE para exterior.

Respondiendo a la también importante cuestión de ¿cómo debe realizarse la carga?, se puede decir que, desde el punto de vista meramente técnico y del lado del suministro, es posible recargar a gran velocidad aquellos vehículos que estén preparados con enchufes y baterías que permitan este tipo de modalidad<sup>9</sup>. De hecho, se dispone ya de VE con recarga adaptados para ambas necesidades, con tomas de carga normal y una segunda toma para la carga rápida. El uso mayoritario para las redes actuales españolas debe ser la recarga normal, ya que la recarga rápida precisa de poten-

<sup>9</sup> En definitiva, la cantidad de energía almacenada es función de la potencia a disposición y del tiempo. Disponiendo de una gran potencia se puede reducir (teóricamente) la carga a unos pocos minutos, aunque con ello aparezcan nuevos e importantes problemas técnicos.







## Guía del Vehículo Eléctrico

cias con intensidades elevadas (32 A, 64 A, etc.) y las redes eléctricas existentes no están dimensionadas para soportar una posible simultaneidad de un gran número de recargas rápidas. Por lo que respecta a dichos equipos con recarga rápida, existen diversos modelos tanto para circuitos monofásicos como trifásicos (mod RVE-CM1 y RVE-CT1), si bien se considera que su utilización debe restringirse a casos de urgencia, exceptuando quizá nuevos prototipos en desarrollo que se alimentarán exclusivamente de recursos renovables.

En el estadio actual no representa ningún problema desarrollar y fabricar equipos de recarga con prestaciones más sofisticadas, aunque posiblemente también serían más frágiles y caros; y, de hecho, se dispone de diversos prototipos, con mayores niveles de “inteligencia” que ya incorporan medida, supervisión y telecontrol de energía mediante sistemas SCADA, como, por ejemplo, el prototipo del proyecto 22@ de Barcelona liderado por ENDESA. También es posible su comunicación vía GPRS con localizadores GPS, por más que en el latente estadio de desarrollo actual, se cree que más que ayudar a desarrollar el cambio de modelo, aumentar su complejidad sólo serviría para ralentizarlo; así, como sucede frecuentemente en el mundo real, se ha preferido proceder de manera pragmática, avanzando paso a paso, ya que en el momento actual el reto principal sigue siendo el déficit, o la reducida presencia de VE en nuestras calles y carreteras.

Recapitulando, y por lo que respecta a los fabricantes y suministradores de equipos de recarga, si bien nadie sabe a ciencia cierta cómo será el modelo definitivo, ni sus períodos de implantación, comienzan a vislumbrarse de forma nítida algunas orientaciones que se sintetizan a continuación:

1. Debería evitarse que, por desconocimiento, inacción, falta de diligencia, o intereses cortos de miras, se considerase la recarga del VE como una mera carga eléctrica más que se añadirá a la red y que no debería ser objeto de ningún tratamiento especial que no sea la de inyectar más electricidad al sistema<sup>10</sup>.
2. Es preciso aprovechar el período transitorio inicial para adoptar

---

<sup>10</sup> Debería evitarse que la carga de VEs recibiese un tratamiento semejante al de la introducción de las bombas de calor para climatización hace algo más de una década. Ello comportaría problemas importantes en el sistema eléctrico.



aquellas normativas específicas que eviten, dentro de lo posible, una generalización de recargas en horas inadecuadas. Desde este punto de vista, esto sólo será posible por la vía de la máxima bonificación en las horas valle, aspecto que implica desarrollar nuevos tipos y formas de facturación que promuevan la carga nocturna incentivando económicamente desde sus inicios hacia la carga lenta (6 a 8 h) en horas valle, de manera que se aplane la curva de carga. Dicha actuación, al representar un coste comparativamente bajo respecto a los combustibles actuales, actuaría como un poderoso incentivo realimentando positivamente el desarrollo de VE.

3. Los agentes principales que deben liderar estos cambios (formas de facturación, normalización de tipos de conexión y cargas, comunicaciones, nivel de inteligencia del sistema, etc.), son los fabricantes de automóviles y las compañías eléctricas, incentivadas por la administración; si bien los suministradores y fabricantes de bienes de equipo del sector eléctrico pueden aportar su dilatada experiencia.
4. En relación a los puntos de recarga, debería evitarse la diseminación de tomas de corriente con tensión de manera permanente desperdigadas en calles o garajes, tanto desde el punto de vista de la protección y riesgo, como por los malos usos y picarescas que podrían derivarse; siendo imprescindibles los habituales sistemas de protección y seguridad eléctrica según la normativa aplicable.

Es preciso dotar de cierta “inteligencia” a los equipos de manera que dispongan de un control de acceso y una medida de consumos, función que puede realizarse, entre otros sistemas más complejos, con las tarjetas de prepago con microchip. Complicar excesivamente los sistemas de carga inicialmente, tan sólo significaría retardar la implantación y disparar los costes de inversión y mantenimiento. La complejidad podrá irse asumiendo de manera progresiva, a medida que vayan estandarizándose vehículos y equipos.

Al tratarse de un producto innovador, son previsibles diversas actualizaciones a medida que se produzca la estandarización y se detecten necesidades o problemas. Debería poder garantizarse que se podrán adaptar las nuevas versiones a medida que se vayan produciendo.





## Guía del Vehículo Eléctrico

Dada la experiencia de Circutor en el sector eléctrico, dentro de los campos de ahorro y eficiencia energética y el tratamiento de disfunciones, se prevé la aparición de algunos impactos que, hasta el momento, no han sido considerados y que, de no recibir un tratamiento técnico adecuado, podrían provocar problemas importantes en la red (fugas transitorias, desequilibrio entre fases y corriente de neutro, aparición de armónicos, demandas de potencia excesivas, etc.). Así, antes de proceder a instalar equipos de recarga, deberá contarse con unos conocimientos y equipos especializados (analizadores de redes, equipos de medida, sistemas SCADA, filtros de compensación, etc.) que permitan un dimensionado adecuado de la instalación y una contratación óptima de potencia, que no provoque problemas en la red. Así, debe insistirse en no simplificar el asunto, reduciéndolo al problema de instalar un simple enchufe para la recarga; sino que se requieren niveles de inteligencia y equipos de medida y corrección adecuados a las necesidades.

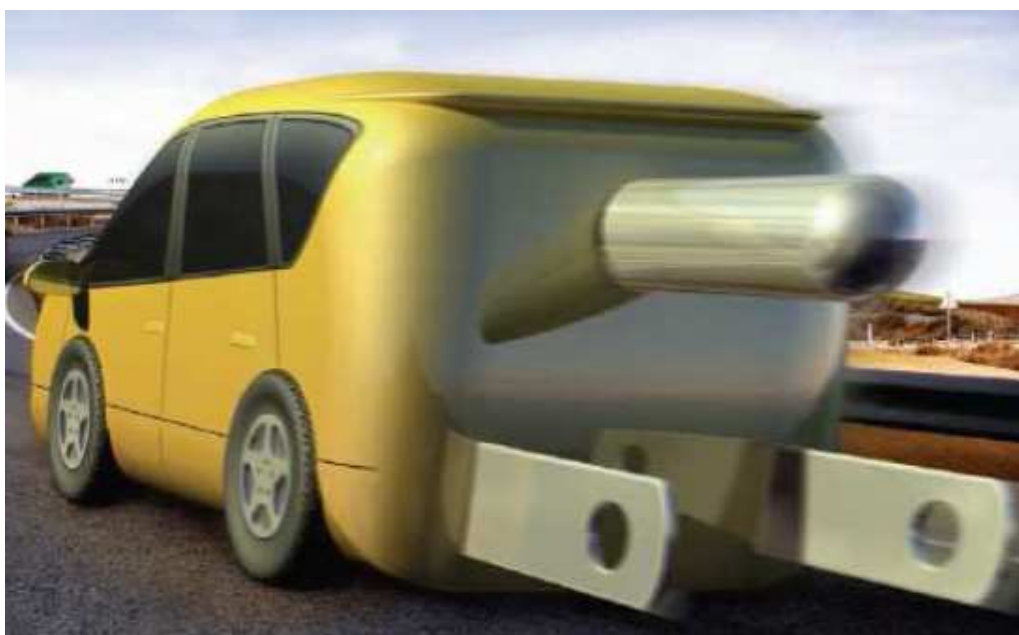
Debería evitarse una falsa percepción de “buscadores de tesoro” que por analogía con los actuales VCI y las gasolineras hace imaginar recargas con recaudaciones similares de euros, cuando, en realidad, se tratará de pequeñas cantidades económicas por recarga. Cualquier expectativa de negocio y prestación de servicios debería pensar más en una perspectiva de tipo micro. Como ejemplo claro y directo para cualquier administración local se debe indicar que, desde el punto de vista de recaudación, existen opciones más rentables que las de asignar espacios “Verdes”, sacrificando zonas azules, para recarga de vehículos eléctricos. La introducción del VE tiene su razón de ser en otros ámbitos de mayor importancia.

Es posible justificar que para evitar que las infraestructuras de recarga constituyan un obstáculo al cambio de modelo deberían realizarse en forma de un proceso rápido y previo a la aparición significativa del VE. A nivel de implantación, para que ésta pueda ser rápida y sencilla, es imprescindible que los sistemas instalados puedan funcionar de forma totalmente autónoma y el usuario pueda pagar por aquello que consuma. Es decir, que los puntos de recarga dispongan de sistema de medida de energía eléctrica y sistema de prepago con tal de que el usuario pueda utilizar y consumir aquello que realmente necesita.

Existen desarrollos importantes y modelos a seguir que sirven de orientación. Así, de las diversas ciudades dentro del ámbito europeo, las

experiencias y propuestas de la urbe londinense parecen ser de las más adecuadas; mientras que, a nivel más general, y como estrategia de país líder, hasta donde se conoce, es el ejemplo de EE.UU. el que continuamente proporciona las pautas más importantes, con ejemplos de ayudas de hasta el 50% para planes regionales de desarrollo de infraestructuras, o con las recientes subvenciones directas de miles de millones de dólares de la administración al sector de la automoción para incentivar el desarrollo del VE en todas sus gamas.

Concluyendo, se puede afirmar que estamos al inicio de un gran cambio a nivel mundial en el sector del transporte y, para evitar que nuestro país quede rezagado, se deben realizar los cambios señalados de manera rápida, ahondando en todas sus vertientes y posibilidades tecnológicas, industriales y ambientales. Lo que está claro es que el vehículo eléctrico ha llegado, este proceso ya es irreversible, y sólo hay una opción, que es ir hacia delante.



**Figura 1.5.** El desarrollo e implantación de los VE's un importante reto para el país.

## 1.4. Avanzando conclusiones

La cuestión “**El vehículo eléctrico: realidad o ficción**”, plantea un dilema que se responde de forma contundente, dado que el VE es ya una realidad presente, si bien todavía con una modesta entidad. De hecho, existe una oferta creciente de VEs, por más que sus presta-



## Guía del Vehículo Eléctrico

ciones sean todavía reducidas frente a los VCI, apareciendo diversos modelos (REVA, Axis, Think City, Piaggio, etc.) y un sinfín de prototipos que se van incrementado día a día, ello sin contemplar las motocicletas y furgonetas, cuya presencia se cuenta por millares previéndose un importante crecimiento anual y a las que habrá que dedicar ciertos tratamientos sectoriales específicos.

De una oferta casi inexistente, se está pasando a una multiplicidad de vehículos y fabricantes que han adoptado el próximo año 2010 (algunos 2011) como fecha significativas del “*taking off*”, en los que una mayoría de grandes fabricantes de automóviles estarán en situación de comercializar sus diversos modelos de VE y HPVE que en plena efervescencia están desarrollando, con nuevas prestaciones y autonomías crecientes.

La penetración del VE desplazará una porción de VCI, implicando con ellos una reducción de las necesidades crecientes de productos petrolíferos, a la vez que posibilitará una inmejorable oportunidad para optimizar el sistema eléctrico, aplanando la curva diaria de carga. Este último aspecto ha constituido un objetivo largamente perseguido por ingenieros y empresas eléctricas.

El automóvil, con la hibridación y la electrificación, está cambiando por completo y lo que parecía un sueño se esta convirtiendo en realidad mucho antes de lo que se había imaginado. Una presencia progresiva de VE en el sistema de movilidad y transporte, si bien representa un reto importante, también ofrece un conjunto de oportunidades para nuestro país que no se deben desperdiciar, dado que constituye una gran oportunidad para la innovación tecnológica, con nuevos desarrollos industriales que han de representar una mejora energética y ambiental sin ambages.

Existen algunos nichos privilegiados de mercado que podrían representar la vanguardia en la introducción del VE, en sectores de logística y distribución de pequeñas mercancías (correos, productos farmacéuticos, alimentación, etc.) los cuales precisan una gama de vehículos (furgonetas, VAN, motocicletas, limpieza, basuras, etc.) que se adaptan perfectamente a los requisitos que ya ofrecen los VEs actuales. Otro nicho importante son las flotas de VEs de empresas de alquiler para desplazamiento en los centros de ciudades (Smart City, Think city, Going Green, etc.), así como empresas de servicio específicas (puertos y aeropuertos), o también la posibilidad de

ofrecer a los clientes de eventos internacionales, como ferias y congresos, un modo de desplazamiento alternativo muy adecuado para las ciudades; mientras que, por otra parte, son diversas las sociedades de aparcamientos, restaurantes y centros comerciales, que se están preparando para ofrecer un nuevo servicio para la captación y fidelización de sus clientes.

Desde una perspectiva temporal, el hecho de disponer de un período transitorio 2010-15 en el que previsiblemente podría producirse un moderado incremento anual inferior al 0,5%, debería verse más como una oportunidad que como un problema, pues toda vez que permite modular los procesos y ofrece un tiempo precioso para la experimentación, estandarización y adecuación de las normativas. Uno de los temas pendientes de definir que configurará el proceso será todo lo que hace referencia al modelo de negocio, tarifas y, en definitiva, a la forma como se facturará la energía.

El principal obstáculo tecnológico con que se enfrenta la eclosión de los VE lo constituyen las baterías y su limitada capacidad de almacenamiento, por lo cual se deberían realizar un máximo de esfuerzos en I+D para conseguir avances significativos en densidad de potencia, reducción de volúmenes y costes. Los tiempos de recarga, el número de ciclos, la autonomía y el peso constituyen otros factores importantes a considerar. Desde una visión estratégica de país deberían dedicarse esfuerzos para el desarrollo de un sector industrial de esta rama de la electroquímica.

Respecto a las infraestructuras de recarga, éstas no deberían suponer ningún obstáculo insalvable, si bien deben concretarse algunos aspectos en diversas áreas (normalización, comunicaciones, nivel adecuado de inteligencia, etc.). El objetivo más importante en relación a la recarga debe orientarse para condicionar al grueso de la población hacia la recarga en “horas valle”, y ello solamente se conseguirá de manera efectiva por la vía de la bonificación. Las tecnologías existentes permiten conseguir desde un simple control y facturación, hasta sistemas efectivos de Gestión de la Demanda; aunque para ello sea imprescindible desarrollar sistemas que permitan aplicar un paquete de equipos tecnológicos, además de los instrumentos normativos.

En una primera etapa no existirán problemas importantes desde el punto de vista del suministro energético, ni de las fuentes de ener-





## Guía del Vehículo Eléctrico

gía; antes bien, al contrario, su introducción posibilitará una diversificación de las mismas y una mejora del mix energético español.

La reinvención de la movilidad con la introducción de los VE's constituye una importante ocasión para sensibilizarse frente a lo que representa la ineficiencia y el despilfarro energético; toda vez que ofrece la posibilidad para ser más respetuosos y sensibles con el medio ambiente.

En un principio, no se debe ser muy exigentes respecto a lo que se demande a los VE y, efectivamente, así debe ser, planteando la necesidad de ser cautos, lo que no significa timoratos, pues está ante nosotros el inicio de un nuevo modelo del que tan sólo se perciben sus inicios. Es por ello que en este texto todavía no se hayan querido plantear aspectos futuristas más ambiciosos, como serían las ideas sobre vehículos vertiendo o tomando energía de la red (V2G), o el tema de las redes inteligentes interactuando con VE. Todo ello deberá ser objeto de nuevos y apasionantes desarrollos que tan sólo se comienzan a vislumbrar.

## 2

## ¿PUEDE ESPAÑA LIDERAR EL DESARROLLO DEL SECTOR DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO (VE)?

## 2.1. Situación actual del vehículo eléctrico

Si bien la historia del vehículo eléctrico en el mundo se remonta a principios del siglo XIX intentándose de nuevo su lanzamiento a mediados de los años 90, el Vehículo Eléctrico (VE) retorna en la primera década del siglo XXI.

A mediados de los años 90, General Motors lanza el modelo EV1 en el momento en el que el Gobierno de California promueve la comercialización de vehículos no contaminantes a través de la orden ZEV (*Zero Emission Vehicle Mandatory* por sus siglas en inglés), orden que contemplaba un objetivo del 10% de coches no contaminantes del total de los coches vendidos en 2003. Otros fabricantes como Chrysler, Ford, GM, Honda, Nissan y Toyota también produjeron VE. Entre las posibles razones que causaron su desaparición se atribuyen la modificación de la ZEV, volviéndola menos restrictiva.

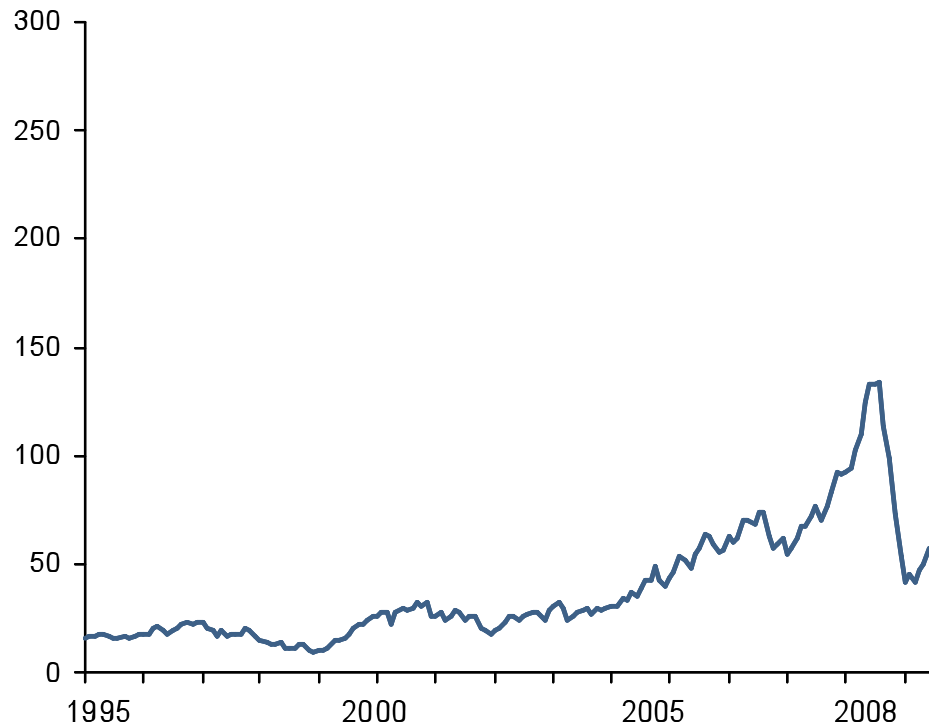
Actualmente, ante el aumento del precio del petróleo y las iniciativas de regulación que fomentan la mejora de eficiencia de los vehículos (menos emisiones de CO<sub>2</sub> por cantidad de combustible), es un reto para los fabricantes de coches, ya que difícilmente van a poder cumplir con los vehículos de combustión interna. Se propone como alternativa los vehículos híbridos y eléctricos.

Con respecto a la dependencia energética, en los últimos años los precios del petróleo han presentado una tendencia a la alza con una fluctuación muy volátil registrada en 2008. En junio de 2008 el precio del petróleo alcanzó 133,44 \$US/bbl (72,53% de incremento en 2008) y a pesar de que actualmente se encuentra cerca de 70 \$US/bbl, diversas estimaciones proyectan un alza en su precio a corto plazo, pudiendo llegar a 150 \$US/bbl en 2012, tal y como se puede observar en la Fig. 2.1.

Para abordar los retos anteriormente citados, los gobiernos están



### Precio del petróleo – Brent (US \$/bbl)



**Figura 2.1.** Evolución del precio del petróleo. (Fuentes: NHTSA, Business week y Indexmundi Commodities).

tomando medidas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para restringir dichas emisiones, la Comisión Europea ha establecido un objetivo de reducción de un 20% para el año 2020 con respecto a los niveles de 1990<sup>1</sup>.

Dentro del sector automotriz, esto implica que los fabricantes desarrollen modelos que cumplan con la regulación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para lograr mejoras en la eficiencia energética en términos de CO<sub>2</sub>/combustible. Por ejemplo, en Europa los nuevos vehículos no deben exceder los 130 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido<sup>2</sup> para el año 2012 y así, progresivamente, hasta llegar a 100 gramos en 2020. Este objetivo es menos exigente que el establecido en otros países como EE.UU., según indica la Tabla 2.1.

1 Para poder cumplir con los objetivos del Protocolo de Kyoto, acuerdo internacional que tiene como objetivo reducir la emisión de los gases que producen el calentamiento global en un 5% de media las emisiones entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. El acuerdo entró en vigor en febrero de 2005.

2 Esto corresponde a un consumo de 4,5 litros de diesel por cada 100 km o 5 litros de gasolina por cada 100 km.



**Tabla 2.1.** Comparación de emisiones de CO<sub>2</sub> estándar por el consumo de combustible.

### Comparación de límites de emisiones de CO<sub>2</sub> para vehículos de pasajeros

|      | Europa   | EE.UU.   |
|------|----------|----------|
| 2008 | 160 g/km | 240 g/km |
| 2012 | 130 g/km | 190 g/km |
| 2015 | 115 g/km | 180 g/km |
| 2020 | 100 g/km | 160 g/km |

Fuente: Comisión Europea y CAFÉ: Corporate Average Fuel Economy.

En este contexto, de acuerdo al análisis realizado por Deutsche Bank<sup>3</sup>, el aumento de los precios del petróleo y las medidas cada vez más restrictivas para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de gasolina (por ejemplo, incentivos fiscales y restricciones en la compra de vehículos de baja eficiencia), hacen difícil adecuar los vehículos convencionales debido a las inversiones necesarias que se requieren.

Esto hace que la electrificación del transporte y, por consiguiente, el desarrollo del VE sea una alternativa a considerar. Existen diferentes tipos de VE que engloban tanto microhíbridos como eléctricos puros:

- **Microhíbridos:** modelo en el cual el motor deja de funcionar al detenerse el vehículo y vuelve a arrancar cuando se deja de accionar el pedal del freno. La reducción del consumo de gasolina está entre 5% y 15%.



3 Deutsche Bank (2008). "Electric Cars: Plugged In". Deutsche Bank Securities Inc. EE.UU.



## Guía del Vehículo Eléctrico

- **Mildhíbridos:** modelo en el cual el motor deja de funcionar cuando el vehículo se detiene y provee energía adicional cuando se acelera. La reducción del consumo de gasolina está entre el 10% y el 20%.
- **Híbridos:** estos modelos proveen energía eléctrica para niveles de velocidad baja. La reducción del consumo de gasolina está entre el 25% y el 40%.
- **Plug-in Híbridos:** este modelo está previsto para el año 2010 y permitirá recorrer las primeras 10 millas con energía eléctrica funcionando después como un híbrido. La reducción del consumo de gasolina está entre el 40% y el 65%.
- **Eléctricos:** en este modelo la propulsión del coche proviene de motores eléctricos, a través de un sistema de generación y almacenamiento de energía. La reducción del consumo de gasolina es del 100%.

En particular, este análisis se centrará en los modelos puramente eléctricos citados en último lugar.

## 2.2. Iniciativas para impulsar el sector de los vehículos eléctricos

Existen diversas iniciativas en diferentes regiones y países, incluyendo España, que muestran el interés de empresas de referencia provenientes de sectores como la automoción, eléctrico y gubernamentales para el desarrollo del VE.

Las experiencias pioneras se encuentran en Israel, California y Londres, sirviendo de referencia para otros países. Destacar que existen iniciativas que incluyen alianzas para el desarrollo de infraestructura de recarga, proyectos pilotos y grupos de trabajo.

Algunas de estas alianzas son las de la empresa californiana *Project Better Place* (PBP) y Renault-Nissan con compañías eléctricas y gobiernos en diferentes lugares.

En el caso de PBP se dedica a la construcción de una red de recarga de energía para los VE que incluye estaciones de servicios. En los casos de Dinamarca e Israel se está trabajando para que la electricidad necesaria sea generada exclusivamente de fuentes de energía renovable proveniente de paneles solares y parques eólicos.

En el estado norteamericano de California existe una alianza público/privada entre PBP y Renault-Nissan junto con el Gobierno de California para lanzar los VE en el año 2010. Asimismo, PBP tiene acuerdos con Portugal, Australia, Mónaco, EE.UU. (California y Hawaii), Canadá (Ontario) y Japón (Yokohama) y ha entablado conversaciones con más de 30 países.

Por otro lado, la alianza Renault - Nissan tiene acuerdos con 26 gobiernos y otras entidades para el desarrollo de la infraestructura y la implantación de los VE. Entre ellos se encuentran Singapur, China, Irlanda, Portugal, Mónaco, Prefectura de Kanagawa en Japón, Dinamarca, Israel, los estados de Oregón y Tennessee y las ciudades estadounidenses de Seattle, San Diego, Raleigh, Tucson, Phoenix y Washington, D.C. Se estima que la introducción de los vehículos eléctricos en estos lugares tendrá lugar entre 2010 y 2011.

En el caso de los proyectos pilotos, el gobierno de Alemania está desarrollando con Daimler AG el proyecto de *e-Mobility Berlin*, en el cual la compañía eléctrica RWE proveerá la infraestructura de recarga y Daimler AG los vehículos Mercedes Benz y Smart. En Italia, Daimler AG y el gobierno italiano trabajan con la eléctrica Enel para proyectos en ciudades como Milán, Roma y Pisa.

En relación a los grupos de trabajo, en Europa se están desarrollando grupos organizados por la Asociación Europea de Componentes de Automoción, CLEPA (*Comité de Liaison Européen des fabricants d'équipements et de Pièces Automóviles*) sobre la viabilidad técnica y económica de los VE, así como los de *Berlin e-mobility* sobre la estandarización de los enchufes.

Adicionalmente, la Comisión Europea ha implementado a finales de 2008 la Iniciativa Europea de Vehículos Verdes (*The Green Car Initiative*), como parte del Plan Europeo de Recuperación Económica. En ella se proponen alianzas públicos/privadas para





impulsar las tecnologías limpias a través del apoyo a la innovación y las actividades de investigación con un presupuesto de 5 billones de euros.

La Tabla 2.2 muestra un listado de algunas de las iniciativas creadas alrededor del mundo.

**Tabla 2.2.** Alianzas entre fabricantes para el desarrollo del mercado de vehículos eléctricos.

| Experiencias en marcha | Fabricante de Vehículos | Fabricante de Baterías | Red de Servicios           | Plan de implantación  |
|------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|---|
|                        | Nissan - Renault        | NEC Corp.              | Better Place (BP)          | Han iniciado planes con el Gobierno de California para lanzar en 2010: régimen de leasing de la batería y una red de puntos de recarga y recambio de las mismas. Otros proyectos son en Hawai, Australia, Israel y grandes ciudades |
|                        |                         |                        | BP / DONG Energy           | En Dinamarca, con la empresa eólica DONG, los VE están previstos para el 2011   |
|                        |                         |                        | BP / Bullfrog Power        | En Ontario, Canadá, con la eléctrica que suministra 100% energía renovable  |
|                        |                         |                        | EDF                        | En Francia, con el objetivo de tener VE en el 2011  |
|                        |                         |                        | Administ. Local            | En Portugal, iniciativa que es parte del Plan de movilidad de Cero Emisiones (1.300 puntos de recarga eléctrica para el 2011)   |
|                        |                         |                        | ESB / Administ. local      | En Irlanda, implantación de VE en el 2011   |
|                        |                         |                        | Administ. local            | El Gobierno de Oregon ha acordado sustituir su flota de vehículos con Nissan - Renault en Régimen de Leasing en 2010  |
|                        |                         |                        | PGE / Administ. local      | En Portland (Oregón) Portland General Electric ha acordado con el Gobierno la implantación de una red de puntos de recarga  |
|                        | Toyota                  | Matsushita - Panasonic | EDF Energy / Elektromotive | El Ayuntamiento de Londres ha iniciado conversaciones para establecer las redes de suministro   |
|                        | Daimler AG              | ND                     | RWE AG / Administ. local   | Daimler proveerá coches Mercedes-Benz y smart y RWE la infraestructura y la operación de la red de recarga en Berlín para el 2009   |
|                        |                         |                        | Enel / Administ. local     | En Italia, Igual que El proyecto de Berlín, pero con Enel en Milán, Roma y Pisa   |
|                        | Th!nk                   | EnerDel - A123 Syst.   | Recarga doméstica          | En venta en Escandinavia. Ofrece un "Paquete de Movilidad" que por un precio fijo mensual incluye todos los servicios de mantenimiento y recambio de batería  |
|                        | Peugeot - Citroën       | PSA                    | EDF                        | Acuerdo firmado para el desarrollo de vehículos híbridos y eléctricos   |

Fuente: Prensa, sitios Web, entrevistas, Idom Análisis.

### 2.2.1. Algunas iniciativas de impulso del VE en España

En el caso concreto de España, destacar que también se están desarrollando iniciativas. El Ministerio de Industria espera alcanzar la cifra de un millón de vehículos híbridos y eléctricos para el año 2014.

Como un primer paso, el Ministerio ha aprobado, por un lado, el Plan de Competitividad del Ministerio de Industria (enero de 2009)

dotado con 800 millones de euros para el desarrollo de proyectos de tecnologías limpias. También ha creado el Plan VIVE II para la renovación del parque automovilístico por nuevos vehículos que emitan menos emisiones de CO<sub>2</sub>.

Asimismo, está en desarrollo el programa piloto Proyecto MOVELE. El proyecto tiene un presupuesto de 10 millones de euros para implantar 500 puntos de recarga y 2.000 vehículos eléctricos en Madrid, Barcelona y Sevilla en el año 2010. Cuenta con la participación de las principales eléctricas de España, como Endesa e Iberdrola.

Por otro lado, el Ministerio de Industria ha establecido tres grupos relacionados con la infraestructura, industrialización y comercialización para estudiar la viabilidad técnica del sector.

Destacar que las principales empresas españolas de automoción y auxiliar automoción, así como el sector eléctrico, están presentes en grupos de trabajo en otros países. También han firmado acuerdos con fabricantes internacionales. Sirva de ejemplo el caso de Iberdrola y General Motors Europa, que tienen un acuerdo para analizar la viabilidad técnica del suministro energético del VE en España.

### 2.3. Retos para el desarrollo del VE

De cara a la introducción masiva del VE, existen unos retos que deben ser considerados. En España, estos retos son:

- La mejora de la tecnología de las baterías para asegurar mayor densidad energética, durabilidad, seguridad y menor coste-disminución de riesgo tecnológico.
- El desarrollo de la infraestructura, inexistente actualmente.
- La disminución del diferencial de costes del VE con respecto al vehículo convencional (la clave está en el precio de compra inicial).
- Desarrollo de gama de vehículos.

De cara a superar estos retos, se están barajando diferentes





## Guía del Vehículo Eléctrico

soluciones que requieren los esfuerzos conjuntos de todos los actores con intereses en el sector: gobiernos, empresas y compañías eléctricas.

### 2.3.1. Desarrollo de las baterías (energía, autonomía, vida útil y coste)

La batería es el elemento tecnológico clave para el desarrollo del VE. Ésta debe cumplir con determinadas prestaciones, como proveer suficiente energía (determina la autonomía o distancia recorrida), ser de peso y tamaño reducido, tener ciclo de vida prolongado y ciclo de carga profundo (admite muchas recargas profundas con poco deterioro), así como ser segura y de bajo coste.

Asimismo, el tiempo de recarga es fundamental, el cual oscila entre aproximadamente 2 y 8 horas, dependiendo del tipo de voltaje empleado. Mencionar que las tecnologías como la de PBP presentan la posibilidad de hacer recargas en minutos.

Actualmente es necesario conseguir mejoras tecnológicas para tener una batería que cumpla con estas cualidades y permita la viabilidad y generalización de los VE. Ante esta situación, surgen las siguientes preguntas: cuáles son las opciones actuales de tecnología, tecnología que se utilizará, batería fija versus intercambiable, baterías marca blanca para diferentes modelos, venta de batería por separado, quién las venderá o si los fabricantes de baterías podrán ofrecer garantías de rendimiento.

Entre las baterías predominantes se encuentran las de plomo ácido, níquel metálico e iones de litio. Las características de cada una se pueden ver en la Tabla 2.3.

Hoy en día, los vehículos híbridos, que combinan un motor de combustión interna con uno eléctrico, emplean, generalmente, baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH), que consiste en un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de oxidróxido de níquel (NiOOH) y un cátodo con una aleación de hidruro metálico. Estas baterías tienen una mayor duración que las de plomo ácido y ofrecen más energía, por lo que son las más caras.

**Tabla 2.3.** Especificaciones de las diferentes tecnologías de baterías.**Comparación densidad de energía y coste de las baterías**

|                            | Coste (€/Wh) | Ciclo de Vida<br>(Nº ciclos de<br>recarga) | Densidad<br>Energía (Wh/kg) |
|----------------------------|--------------|--|-----------------------------|
| <b>Plomo Ácido</b>         | 0,15         | 500 – 1.000                                | 30-40                       |
| <b>Níquel<br/>Metálico</b> | 0,60         | 1.000 – 2.000                              | 71                          |
| <b>Iones de Litio</b>      | 0,3-0,4      | +7.000                                     | 105-170                     |

Fuente: Idom Análisis, Intelligent Energy Europe, ACEEE Study.

Las baterías de iones de litio son las que aparentemente tienen mayores ventajas. Este tipo de batería almacena la energía eléctrica que emplea como electrolito una sal de litio que suministra los iones necesarios para la reacción electroquímica que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo. Las propiedades de estas baterías, como su elevada capacidad energética o su capacidad para operar con un elevado número de ciclos de regeneración, han permitido el diseño de acumuladores livianos, de pequeño tamaño y con un alto rendimiento para las aplicaciones de la industria electrónica, como teléfonos móviles y ordenadores portátiles.

Sin embargo, su rápida degradación y sensibilidad a las elevadas temperaturas requieren en su configuración la inclusión de dispositivos adicionales de seguridad, que ha limitado la extensión de su uso a otras aplicaciones al aumentar su peso y costes.

A modo de ejemplo, citar que para lograr distancias largas con una sola carga con la tecnología actual se necesita de un paquete de baterías que ocupa un espacio considerable y de gran peso para el vehículo. Mencionar el caso del modelo deportivo Tesla Roadster, que con una carga recorre 393 km, tiene una batería de iones de litio que pesa 450 kg (36% del peso total del vehículo sin pasajeros) y ocupa el espacio del maletero.





En relación al coste, según datos del Deutsche Bank, una batería puede alcanzar hasta el 75% del coste incremental para producir un VE. De acuerdo a sus estimaciones, una batería con 22 kWh con el kWh a 360 euros (o 500 \$US), puede ser de unos 8.000 euros.

Los principales tipos de baterías de litio y fabricantes se muestran en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4.** Tecnologías de baterías de iones de litio.

| Comparativa de tecnologías de baterías de Iones de Litio |                 |                 |                              |                                 |
|--|-----------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|
|  | Energía (wh/kg) | Coste (US\$/kw) | Fabricantes                  | Usos                            |
| (NCA) Litio Níquel Cobalto Aluminio                      | 170             | 40              | JCI/Saft, PEVE               | Vehículos híbridos              |
| (LMO) Litio Manganeso                                    | 150             | 40              | LG Chemical, Electrovaya     | Vehículos híbridos              |
| (LMO/LTO) Litio Titanio                                  | 150             | 40              | EnerDel, Toshiba, AltairNano | Vehículos híbridos              |
| (LFP) Litio Fosfato de Hierro                            | 140             | 30              | A123 Systems, GS Yuasa, BYD  | Vehículos eléctricos e Híbridos |

Fuente: Deutsche Bank, Análisis Idom.

Actualmente, diferentes fabricantes de baterías como la japonesa NEC, la china BYD y la norteamericana A 123 Systems están invirtiendo en desarrollos para conseguir una tecnología que permita conseguir baterías con mejores prestaciones.

Asimismo, se están evaluando alternativas como la que plantea PBP, en la cual sus estaciones de servicio, además de recargar con energía las baterías fijas de los VE, también reemplazan las baterías agotadas por una recargada para que el usuario pueda continuar conduciendo. Esta opción se orienta hacia un modelo de negocio en el que PBP es el propietario de las baterías y la persona usuaria paga un coste mensual por las mismas (*leasing*).

En este sentido, puede surgir el requerimiento, por ejemplo, de la estandarización del sistema de las baterías por parte de los fabricantes para diferentes modelos de VE, y que sean los mismos fabricantes quienes vendan la batería por separado directamente a operadores como PBP. Sin embargo, con la tecnología actual queda por saber si se podrán ofrecer baterías con garantías.



## 2.3.2. Desarrollo de la red de infraestructura

La existencia de la infraestructura de recarga de energía es un factor fundamental para apoyar la implantación a gran escala de los VE. Si no existe una red con la que se puedan recargar los vehículos en cualquier lugar, no habrá cabida para el VE.

Planteamientos como cuál es la tecnología adecuada, quién debe desarrollarla, qué estándares deben definirse, quién provee la energía eléctrica, quién opera la red y ofrece las baterías o qué regulación debe soportar el desarrollo y la operación (por ejemplo, especificaciones técnicas, tarifas y procedimientos de cobro), son objeto de las diferentes iniciativas que se están llevando a cabo para la implantación del VE.

### 2.3.2.1. Tipologías de redes

Entre las tecnologías que se están desarrollando, además de los puntos de recarga situados en las casas de los usuarios de VE, se encuentra el equivalente a una estación de servicio o “electrolinera”, los parquímetros en la calle, puntos de recarga en estacionamientos, equipamientos especial para las casas o los teléfonos públicos y las farolas en la calle.

El concepto de las “electrolineras” nace de PBP. La idea se basa en tener una estación de servicio para los VE donde puedan recargarse las baterías en cuestión de minutos, así como cambiar la batería por una con carga completa.

La ventaja de este sistema consiste en que, en el caso de existir una red amplia de instalaciones de recambio de baterías, anularía el problema de la autonomía al poder cambiarlas recorriendo largas distancias. Otra ventaja consiste en que esos vehículos serían vendidos sin batería, lo que permitiría reducir su precio, por ejemplo, pagando un *leasing* por la batería. El coste de la batería y su recarga se distribuiría a lo largo de la vida útil del vehículo, la cual puede ser entre seis u ocho años.

Con respecto a los postes de recarga, una de las empresas que está produciendo estos postes es Circutor, compañía española de material





## Guía del Vehículo Eléctrico

eléctrico que proporciona un sistema de enganche y recarga normalizado mediante tarjetas específicas.

Otras empresas, como Coulomb Technologies en California y Elektromotive del Reino Unido, desarrollan tecnologías y soluciones de ingeniería de redes de recarga, tanto para zonas públicas como privadas.

### 2.3.2.2. Ejemplo de reconversión de las estaciones de servicio

El objetivo de este ejercicio no es otro que exponer, mediante unos cálculos sencillos y órdenes de magnitud, un modelo de puntos de recarga basado en la reconversión o empleo de las estaciones de servicio actuales por electrolineras, en un hipotético escenario en el cual todo el parque automovilístico actual fuese de tipo eléctrico. Se han considerado los siguientes datos de partida e hipótesis básicas:

- Parque móvil distribuido por tipo de vehículo, carburante y comunidad autónoma (furgonetas y turismos)<sup>4</sup>.
- Consumos anuales de gasolinas y gasóleos por comunidad autónoma<sup>5</sup>.
- Distribución de estaciones de servicio por comunidad autónoma<sup>6</sup>.
- No se consideran las pérdidas en las redes eléctricas hasta puntos de recarga.
- Estado actual de la tecnología de EV.
- Empleo de baterías con tecnología Li-Ion.
- Se toma como referencia un turismo medio actual, en su versión diesel y gasolina (datos de consumos y autonomía).

4 Dirección General de Tráfico, 2007.

5 Corporación de reservas estratégicas de productos petrolíferos (CORES), 2007.

6 Actualmente existen 8.499 estaciones de servicio en España (Páginas Amarillas, 2009).

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtendrían los siguientes ratios:

- En cómputo anual, esta recarga diaria se traduciría en una nueva demanda eléctrica de 83.000 GWh/año, que sería equivalente a un tercio de la demanda eléctrica total (261.273 GWh/año), de acuerdo con los datos de Red Eléctrica de España.
- En términos de potencia, la demanda diaria asociada al transporte podría situarse en 9.500 MW si las recargas se realizasen distribuidas a lo largo de las 24 horas de un día e incluso podría alcanzar los 28.500 MW si dichas recargas tuviesen lugar en periodos de 8 h.
- Un número medio de repostajes de 811 recargas/día por estación de servicio. A nivel nacional, unos 6.863.894 vehículos necesitarían recargar baterías diariamente.
- La batería estándar tendría que ser capaz de almacenar una energía aproximada de 33 kWh para conseguir una autonomía de 250 km.
- Para almacenar esta energía, la dimensión de una batería sería equivalente a un cubo de medio metro de lado.

Esta nueva necesidad energética se debe satisfacer desde las centrales de generación. En el año 2007, la punta de demanda se situó en 44.876 MW y la capacidad instalada alcanzó los 65.977 MW con centrales tradicionales o de régimen ordinario y 24.481 MW con instalaciones de tipo renovable. Esta última fracción incluye eólica y fotovoltaica, las cuales no se consideran gestionables y, por tanto, aportan un nivel inferior de garantía de potencia.

Atendiendo a los estudios realizados por REE para el año 2014, el sistema no estaría preparado para cubrir la nueva demanda eléctrica en transporte, ya que este sistema, en el caso más favorable, únicamente contaría con un excedente de 138 GWh/día frente a unas necesidades de 228 GWh/día.

Para un período de recarga de 24 horas la potencia media requerida en cada “electrolinera” resultaría del entorno de 1.100 kW (potencia equivalente al consumo de, aproximadamente, 175 hogares). Esta





## Guía del Vehículo Eléctrico

potencia se triplicaría a 3.300 kW si los períodos de recarga fuesen de 8 horas.

Las electrolineras deberían disponer de recintos para almacenar baterías que podrían ocupar un volumen equivalente a un cubo de 5 metros de lado, necesidad que se correspondería con un nivel de recargas por instalación de 811/día.

A modo de síntesis, cabría concluir que este modelo de puntos de recarga debe venir acompañado de un impulso importante de la generación a partir de fuentes renovables con los beneficios derivados en cuanto a la reducción de emisiones y uso eficiente del parque de generación en su conjunto, ya que existiría, entre otros, la posibilidad de modular y gestionar la curva de consumo del sistema en el sentido de desplazar gran parte de este nuevo consumo a períodos con baja demanda. Esto resultaría complejo para el caso de puntos de recarga descentralizados.

Existe la posibilidad, asimismo, de aprovechar la red actual de estaciones de servicio, ya sea por reconversión total o integración de este nuevo servicio de “electrolinera”. Las estaciones de servicio actuales disponen “per se” de espacio suficiente para almacenar las baterías de uso diario, prestarían un servicio de sustitución con períodos de repostaje muy cortos y una mayor autonomía para los usuarios, ya que no tendrían que hacer frente a los largos tiempos de espera típicos de la recarga de una batería. Básicamente, estas instalaciones seguirían desempeñando su papel actual y, por tanto, el usuario no percibiría un cambio significativo respecto a la situación actual en cuanto a los hábitos y autonomía.

### 2.3.2.3. Implicaciones en el sector eléctrico

En relación al desarrollo de las redes, las compañías eléctricas están trabajando en temas como la normalización de los enchufes a escala europea, y en la planificación del mix de energía y de la potencia de las redes para evitar que un despliegue masivo del VE pueda provocar problemas de suministro en cantidad y calidad.

Se prevé un aumento en el consumo eléctrico. En relación a este tema, los expertos coinciden en que al menos a medio plazo sería posible funcionar con las centrales existentes actualmente. Sin em-

bargo, si se produjera un cambio estructural, la clave estaría en la gestión coordinada de muchos puntos que pueden demandar o aportar energía.

En este sentido, el reto parece estar en las “*smart grids*”, o redes inteligentes (redes que ofrecen electricidad a los consumidores utilizando la tecnología digital), las cuales constituirán un sistema de gestión de electricidad coordinada y capacitada para interactuar con el cliente, sobre todo si se considera el objetivo en España de contar con un millón de VE en 2014.

En particular, estas redes son sistemas con tecnología V2G (*Vehicle-to-Grid*)<sup>7</sup>, la cual permite el flujo de electricidad desde la batería del automóvil hacia las líneas de distribución eléctrica y viceversa. Cuando el automóvil se conecta a su aparato V2G de recarga en el garaje del usuario, la carga de su batería aumenta o disminuye dependiendo de las necesidades de la compañía de suministro eléctrico, la cual a veces debe almacenar el excedente de energía o movilizar energía extra para responder a picos en la demanda energética. En este sistema la energía que se inyecta a la red podría ser vendida a la compañía eléctrica y viceversa.

Para el desarrollo de estas redes, las compañías eléctricas deben planificar diferentes variables, como son el tipo de tecnología necesaria, los costes que deben asumir, los proveedores con los que se pueda trabajar, así como los modelos de negocios que pueden surgir. Asimismo, deberían poder trabajar con los fabricantes y vendedores de VE en relación a los equipos que se necesitan para la recarga en las casas de los clientes.

#### 2.3.2.4. Regulación

Debido al impacto que puede tener el VE en el sector eléctrico, así como en el surgimiento de nuevos modelos de negocio, se deberán realizar cambios en la regulación del sector, inexistente actualmente, para temas relacionados con las tarifas de recarga y especificaciones técnicas de los equipos.



<sup>7</sup> Sistema en el que la electricidad puede ser vendida a la red de energía eléctrica por la batería de un vehículo eléctrico que se conecta a la red.



## Guía del Vehículo Eléctrico

Destacar que los temas que se están trabajando en las iniciativas para impulsar el sector del VE abarcan desde seguridad personal en los puestos de recarga y seguridad de suministro de energía, hasta especificaciones técnicas para equipos de contadores, estandarización de los enchufes y regulación de tarifas y procedimientos de cobro.

### 2.3.3. Economía del vehículo eléctrico en comparación con el vehículo convencional

La diferencia entre el precio de un VE y el precio de un vehículo convencional puede ser un factor limitante para el desarrollo del VE orientado al segmento “mainstream”.

Actualmente se estima que existe un diferencial entre 8.000 euros y 17.000 euros con respecto al precio de un vehículo convencional. Como se menciona anteriormente, sólo la batería puede alcanzar hasta el 75% del coste incremental. En cualquier caso, se espera que su coste disminuya en el tiempo.

Desde una perspectiva del coste total en la vida del vehículo y teniendo en cuenta los precios del petróleo y los ahorros que se pueden obtener al dejar de consumir gasolina, existe la posibilidad de recuperar la inversión en un determinado periodo a lo largo de la vida útil del VE. Si se considera el precio de la gasolina entre 0,8 euros y 1,7 euros el litro (versus 0,07 euros/kWh incluyendo la depreciación de la batería), se estima que los ahorros resultantes permiten recuperar lo invertido en el VE en 4 años aproximados<sup>8</sup>.

Esto puede limitar el desarrollo de VE en los primeros años a nichos concretos, como pueden ser las flotas de los VE de empresas y gobiernos.

De cara a facilitar la implantación del VE a gran escala, se están analizando dos opciones que permitan disminuir el elevado coste del VE en la primera etapa de su desarrollo y, por ende, incentivar su compra:

- El modelo de PBP, en el que la persona usuaria, pagando una

cantidad fija periódica, adquiere servicios de movilidad como *leasing* (régimen de alquiler de un activo) por la utilización y recambio de las baterías, uso de una red de recarga y consumo de energía.

- Subvenciones por parte del Gobierno.

### 2.3.4. Vehículos en desarrollo

Para el desarrollo de los VE es necesario que, además del desarrollo de la infraestructura de recarga y de la mejora en la tecnología de las baterías, se cuente con una gama de VE que se adapte a las necesidades de la demanda existente.

Sin embargo, surgen una serie de preguntas ante la posibilidad de producir VE: ¿Quién puede producir VE? ¿Quién puede comprar VE? ¿Qué gama de vehículos existe? ¿Qué modelos de negocio predominarán para la compra de vehículos? ¿El modelo de PBP de tener el vehículo en propiedad y las baterías bajo *leasing* o de comprar el vehículo con subsidios? ¿Quién los venderá?

Los VE pueden verse como una oportunidad para nuevos fabricantes, ya que no tienen una estructura “pesada” y cuentan con la facilidad para definir nuevos modelos de negocio como puede ser ofrecer servicios de transporte en lugar de venta de vehículos.

En el caso de los fabricantes de grandes marcas, teniendo en cuenta que su experticia radica en la producción de vehículos con motor de combustión interna, tendrán que reinventar su negocio para competir con nuevos fabricantes. No obstante, estos fabricantes ya establecidos gozan de economías de escala, de marca reconocida, de una infraestructura de distribución, de relaciones con concesionarios y clientes, así como de capital, factores que pueden ser barreras de entrada para nuevos competidores. Por otro lado, los VE pueden ayudar a estos fabricantes a cumplir con las restricciones en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Actualmente, los grandes fabricantes comienzan a dedicar recursos a los VE, viendo el mercado que se está creando por parte de nuevas empresas al dejar disponibles nichos de mercado. Existen VEs



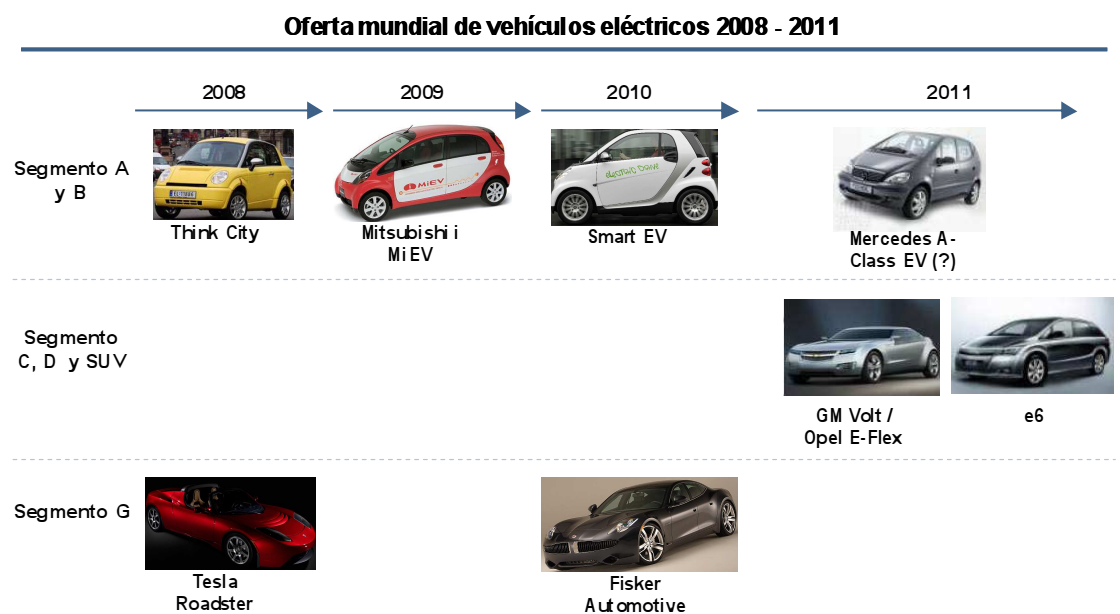


que son utilizados para flotas de gobiernos y de empresas, así como otros que forman parte de pruebas pilotos para analizar la viabilidad técnica del VE con la incorporación de una infraestructura de recarga de energía.

En cuanto al mercado de la producción de VE, algunas empresas nuevas como REVA (India) y Think (Noruega) crean VE pequeños, mientras que BYD Auto (China), con diseños más grandes, se presenta como un potencial competidor en este sector con su modelo E6. También está el caso de nuevos actores, como la empresa española GoingGreen, especializada en soluciones de movilidad eléctrica, que se está preparando para lanzar el VE Think de Noruega este año. Asimismo, BYD Auto tiene previsto lanzar en 2011 su modelo E6.

Los planes de producción y calendarios de lanzamiento de fabricantes importantes son inminentes. Algunas marcas empezarán a producir y vender VE en serie, como la de Mitsubishi i-MiEV, que empezará a distribuirse en Europa el año que viene; Nissan tiene programados algunos modelos para el año 2010; Opel Ampera estará a la venta a finales de 2011; Renault, con su versión eléctrica del Kangoo, en 2011. Asimismo, en España, SEAT con su modelo Seat León Twin Drive Ecomotive en el año 2014.

En la Fig. 2.2 se puede ver la lista de los modelos más conocidos.



**Figura 2.2.** Alianzas para el desarrollo del mercado de vehículos eléctricos (No exhaustivo). (Fuente: Companies Web sites, Idom Análisis).



Por segmentos de vehículos, el segmento A y B comprende vehículos pequeños. El segmento C, D y SUV (*Sport Utility Vehicle*), está compuesto por vehículos de mayor tamaño. Los precios de estos segmentos pueden estar en un rango de 12.000 euros (US\$ 17.000) y 30.000 euros (US\$ 40.000). Por último, el segmento G está integrado por vehículos deportivos con precios aproximados de 85.000 euros (US\$ 120.000).

Los factores diferentes al precio que pueden influir en el momento de comprar un VE, son la sensibilidad hacia el cuidado del medio ambiente, moda, gusto por coches deportivos, etc.

Si se considera el precio como variable clave en la toma de decisión de compra de un VE, se ve necesaria la creación de modelos como el de PBP, en el que se ofrece la batería en *leasing* o, por otro lado, que los gobiernos otorguen subsidios para lograr la venta masiva del VE y el desarrollo de este sector.

Asimismo, los fabricantes de vehículos deberán replantear su modelo de negocio en diferentes aspectos: modelo de relación con fabricantes de baterías y con las compañías eléctricas, resolviendo cuestiones como su participación en las redes de infraestructura.

## 2.4. Negocios en la cadena de valor del VE y oportunidades en España

El desarrollo del sector de VE requerirá la puesta en marcha de nuevos negocios industriales/comerciales a lo largo de la cadena de valor. Existen diversas oportunidades que abarcan desde los suministradores de componentes y fabricantes de vehículos hasta los concesionarios y empresas de servicios.

Como se observa en la Fig. 2.3, algunas de las alternativas identificadas son:

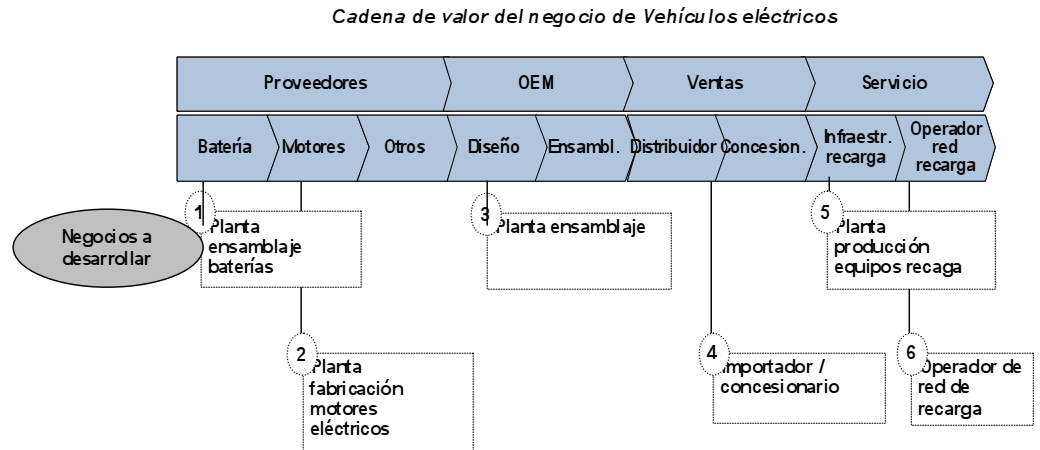
- **Sector de componentes:** se prevé el desarrollo de una planta productora de baterías, así como de motores eléctricos.
- **Ventas:** concesionario que venda marcas nacionales e internacionales.





## Guía del Vehículo Eléctrico

- **Servicios:** desarrollar de la infraestructura de recarga, así como la red de estaciones de recambio de baterías.



**Figura 2.3.** Cadena de valor del vehículo eléctrico (No exhaustivo). (Fuente: *Análisis Idom*).

### 2.4.1. Oportunidades en España

En este sentido, surgen las siguientes cuestiones: ¿Qué negocios se pueden desarrollar en España? ¿Cuáles interesa que se desarrollen? ¿En cuáles se cuenta con capacidades? ¿Qué impacto tendrán en generación de empleo y PIB? ¿Y sobre las empresas del sector ya implantadas en España?

Con el desarrollo del sector del VE pueden existir una cantidad de negocios destacables. Por ejemplo, los casos específicos de baterías, infraestructura de red y estaciones de recambio pueden presentar oportunidades:

- **Baterías:** la mayoría de las plantas de baterías de iones de litio se encuentran en Asia y en EE.UU., y las estimaciones del Deutsche Bank apuntan a que el crecimiento anual del mercado de baterías de litio de largo formato puede ser del 20% hasta el 2020.
- **Infraestructura de recarga:** en España no existe todavía una infraestructura de recarga. Oportunidad potencial para proveedores de componentes, aplicaciones de sistemas, etc.

- **Estaciones de recambio de baterías:** nuevos modelos de negocio pueden surgir con el cobro de un precio fijo que cubra el uso de la red, el *leasing* de la batería y mantenimiento, el consumo de energía, servicio al cliente, etc.

En este sentido, España deberá definir su posicionamiento teniendo en cuenta el impacto en PIB y empleo, o el tejido industrial existente.

### 2.4.2. Papel de los gobiernos

Ante la posibilidad de una mayor participación de los poderes públicos para la promoción de una política que impulse tanto el desarrollo de las infraestructuras como el uso de los VEs y el desarrollo de un marco legal, pueden surgir las siguientes preguntas: ¿En qué medida debe implicarse la iniciativa pública para posibilitar el desarrollo del sector? ¿Debe desarrollar el marco regulador que engloba aspectos técnicos, operacionales, económicos y fiscales o promoción de la inversión en el sector (ayudas del Estado, participación en *Project finance*, etc.)? ¿Debe ofrecer apoyo para el desarrollo tecnológico y para asegurar un volumen de mercado?

Se distinguen diferentes tipos de ayudas provenientes de los gobiernos presentando las siguientes posibilidades:

- Proveer soporte para el desarrollo tecnológico a través de la investigación.
- Definir un marco regulatorio mediante legislación tarifaria para las “electrolineras”, nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, renovación de las flotas, etc.
- Asegurar un volumen de mercado con la aprobación de incentivos fiscales y ayudas económicas directas para la adquisición de los VE.
- Asegurar el mercado por un tiempo definido a un proyecto en particular.
- Apoyar la creación de empresas con capital del Estado o financiadas por éste.





## Guía del Vehículo Eléctrico

Actualmente, el Gobierno de España está trabajando en una serie de ayudas en los tres primeros niveles tal y como se menciona en el apartado 2.2.1.

Cabe destacar que existe un consenso en el que España, si desea mantenerse como un gran productor de vehículos y desea promover la producción del VE, debería contar con significativas ayudas del gobierno para la comercialización, así como para el despliegue inmediato de redes de recarga. Esto se debe, como se menciona anteriormente, al precio elevado de los vehículos y al nulo desarrollo de estas redes.

La opinión general es que hasta que no se produzca el VE a gran escala y se disminuyan los costes marginales de producción, los gobiernos deberán seguir proporcionando ayudas para fomentar su venta.

## 2.5. España: ejemplo de liderazgo en el desarrollo de nuevos sectores

España ha demostrado ser referente mundial en el desarrollo de nuevos sectores, contribuyendo a la creación de nuevas industrias, como son las empresas de energías renovables: eólica, solar fotovoltaica y termoeléctrica.

En 2008 las energías renovables comprendieron el 19% de la energía eléctrica consumida en España (la energía eólica, el 11%), y en los últimos meses esta cifra se ha elevado hasta más del 30%.

En el caso específico de la energía eólica, según datos de la Asociación Empresarial Eólica y la AWEA (*American Wind Energy Association*), del total de potencia instalada en el mundo de 121,187 MW al final del 2008, España contaba con 16.740 MW (1.609 MW nuevos en ese año), siendo así el tercer país en el mundo por potencia instalada, detrás de Estados Unidos (25.170 MW) y Alemania (23.902 MW).

La empresa española Iberdrola se presenta como líder entre las compañías del mundo productoras de energía eólica, mientras que Gamesa y Acciona lideran la fabricación de las instalaciones. Otro ejemplo es el de Abengoa, empresa que ha firmado un acuerdo a finales del 2008 para seguir con su macroproyecto Solana en Arizona

(EE.UU.), consistente en la creación de la tercera planta solar más grande del mundo.

En el caso particular de la industria de automoción, España cuenta con una importante tradición, hecho que ha favorecido que el sector esté a la vanguardia en desarrollo y producción a nivel mundial.

Desde sus inicios a finales de los años cuarenta, con la creación de la Sociedad Española de Automóviles de Turismo (SEAT), España logró posicionarse en el 2007 como el primer fabricante de vehículos industriales y tercero de vehículos de pasajeros en Europa, con la presencia de las firmas líderes operando en el país. Los ingresos llegaron a representar el 6% del PIB.

Debido a su trayectoria emprendedora en el desarrollo de nuevas tecnologías y por su notable experiencia en el sector automoción, España opta a ser referente de nuevos mercados, en particular, el de los VE.





# 3

## RETOS DE FUTURO PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN ESPAÑA

### 3.1. La necesidad de una movilidad sostenible

Nuestras grandes y modernas ciudades se han convertido en espacios que no cesan de crecer en complejidad y en las cuales la movilidad personal se ha convertido en una necesidad básica e imprescindible (desde el punto de vista laboral, comercial o de ocio) que, sin embargo, conlleva unas servidumbres cada vez más relevantes.

Así, el crecimiento económico de las urbes se acompaña indefectiblemente de cada vez más vehículos moviéndose a velocidades más bajas, contribuyendo a un alto consumo de combustibles y a un progresivo deterioro del medio ambiente y la calidad de vida.

Simplemente a título ilustrativo, algunos datos objetivos y relevantes:

- En el año 2010 más de la mitad de la población vivirá en las grandes ciudades.
- Según la *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA), los vehículos de nuestras ciudades suponen entre 1/3 y 1/2 de las emisiones de los tres peores contaminantes: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) e hidrocarburos (HC).
- Aproximadamente el 80% de la contaminación urbana y el 35% de la total es causada por el transporte.
- Estudios independientes proclaman que dos días de alta contaminación suponen un incremento del 1,5% en la tasa de mortalidad de las grandes ciudades.
- La polución del tráfico mata tres veces más que los accidentes: 15.000 personas fallecen cada año por causas asociadas a la contaminación originada por el tráfico.
- Sólo los coches de una de las grandes capitales europeas contaminan más que todos los aviones de Europa.





### Guía del Vehículo Eléctrico

- España es el país más ruidoso de Europa y el segundo del mundo después de Japón.
- En España, un 85% de la población de las ciudades está sometida a un ruido que rebasa la cifra límite de los 70 decibelios.



**Foto 3.1.** Contaminación en las grandes ciudades por el tráfico de vehículos.

A la vista de estos datos, comúnmente aceptados, se puede afirmar que, sin ningún género de dudas, el estilo de vida actual y, en concreto, la movilidad diaria tienen un impacto directo en la calidad de vida. El progreso y la necesidad de conseguir una movilidad sostenible caminan unidos y es uno, si no el mayor, reto al que se enfrentan las ciudades actuales.

Como sucede en todos los países de nuestro entorno, en nuestro país se va tomando rápidamente conciencia de esta problemática e introduciéndose un estado de opinión favorable a la consecución de una movilidad más sostenible.

Así, de una simple observación de nuestro entorno, se puede comprobar que:

- Las bajas emisiones de los vehículos se han convertido en elemento de comunicación preferente de casi todos los fabricantes de vehículos, a la vez que el nivel de emisiones forma parte ya de los criterios de compra de un amplio segmento de la población.
- Los vehículos ecológicos ocupan páginas de los medios impresos y espacios en TV o radios e incluso ven la luz medios especializados en este tipo de vehículos.



- Proliferan los estudios públicos e independientes sobre las emisiones de los vehículos y posibles propuestas de mejora.
- La calidad del aire y, en general, del entorno se convierte en una de las principales variables que los ciudadanos declaran para catalogar la calidad de vida en su ciudad.
- Existe una tendencia generalizada a la limitación, más o menos severa, del tráfico de vehículos privados contaminantes, así como de entrega de beneficios para los menos contaminantes (por ej. aparcamiento gratuito).
- Las principales ciudades europeas ofrecen reducciones de los impuestos de circulación a los vehículos que usen combustibles alternativos.
- Cada vez más las empresas, de acuerdo a su compromiso corporativo con la sostenibilidad, implantan medidas de uso/incentivo de vehículos ecológicos tanto por parte de sus empleados como para su propia flota.
- Proliferan las propuestas o medidas de incremento de tasas (impuesto de matriculación) a los vehículos más contaminantes y de exenciones/bonificaciones a los no contaminantes.
- Las administraciones estatales y comunitarias conceden subvenciones a la adquisición de vehículos ecológicos.
- Como muestra, más de 126 ciudades españolas se encuentran adheridas a la Red Española de Ciudades por el Clima, sumando una población de 15,69 millones de habitantes.

En resumen, con el apoyo de todos, ciudadanos, empresas y administraciones, se está avanzando en el convencimiento de que una movilidad futura más sostenible es posible y necesaria para mantener el modo de vida actual.

### 3.2. El papel de la movilidad eléctrica

En el contexto anterior, la utilización de vehículos eléctricos implica una propuesta básica *a priori* sumamente atractiva para nuestra cali-



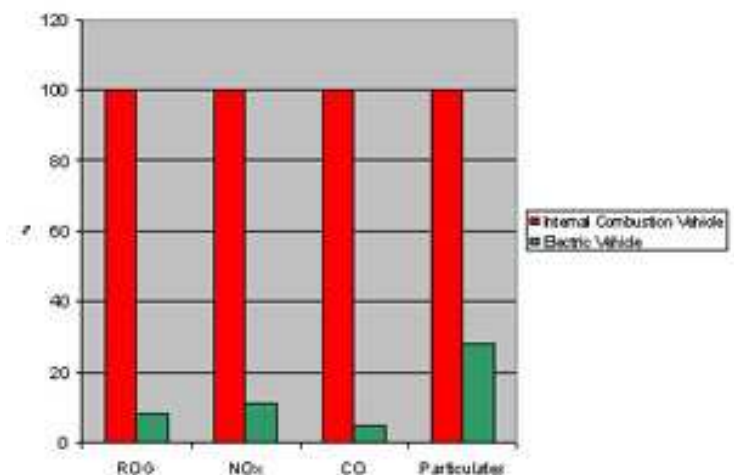
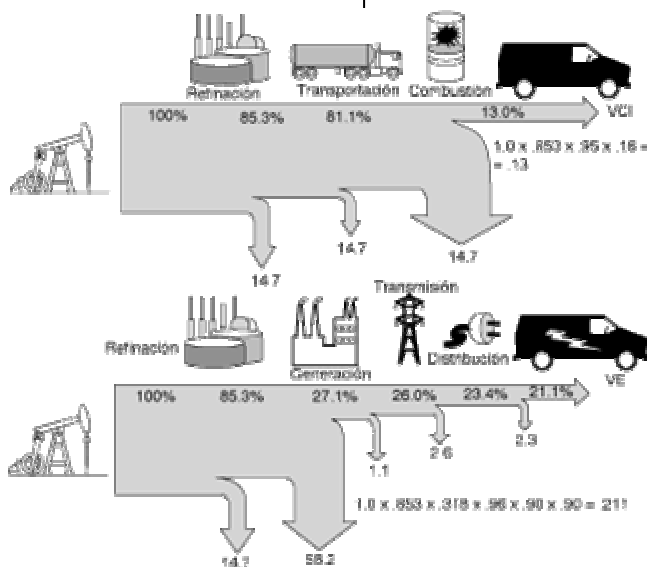
## Guía del Vehículo Eléctrico



dad de vida: propulsar los vehículos con una batería eléctrica sin emisiones locales y limitar la contaminación a la imprescindible para generar electricidad fuera de la ciudad, donde su impacto puede ser muy mitigado mediante:

- Utilización de energías renovables.
- Control y reducción de las emisiones en los centros productores.

Así, de acuerdo con la *Electric Power Research*, los vehículos eléctricos son claramente más eficientes que los de combustión ofreciendo, al mismo tiempo, un menor nivel de ruido y, dada su mayor simplicidad mecánica, una mayor fiabilidad y una menor necesidad de mantenimiento.



Fuente: EV Emissions Benefits in California, Technical Brief RP 2882. (Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute).  
Los resultados son conservadores ya que no tienen en cuenta el incremento de las emisiones de los vehículos de combustión con el paso de los años así como las emisiones en atascos y otras paradas prolongadas.

**Figura 3.1.** Comparación de consumo energético y emisiones vehículo eléctrico vs. vehículo de combustión interna.

Por otro lado, otras tecnologías se enfrentan a problemáticas diversas en su desarrollo e implantación que suponen que actualmente se muestren todavía como muy lejanas (hidrógeno) o aplicables únicamente a segmentos concretos de usuarios (gas natural).

Así, con la breve exposición anterior, se pretende transmitir la idea de que la introducción de la movilidad eléctrica es una clara apuesta ganadora para hacer frente a uno de los mayores retos a los que se enfrentan las sociedades avanzadas y que, indefectiblemente y en mayor o menor medida, será parte de nuestras sociedades.

Sin embargo, y como ocurre en todo mercado incipiente, el espacio/cuota que la movilidad eléctrica será capaz de ocupar a futuro dependerá en gran medida de las actuaciones que los diferentes agentes del mercado adopten para superar los retos a los que se enfrenta este mercado.

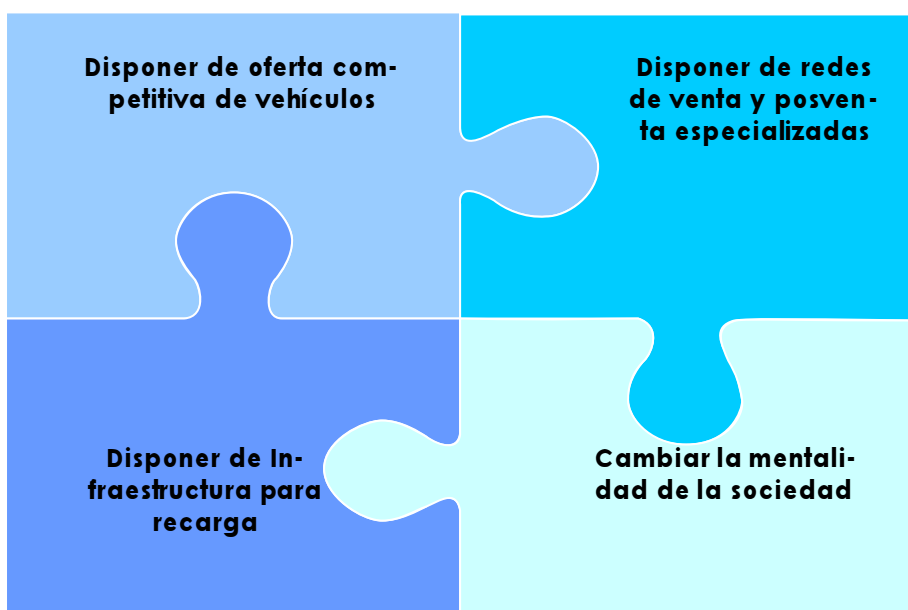
Ello desde el convencimiento de que sólo una apuesta integral y conjunta de todos los agentes podrá permitir que nuestro país sea un referente mundial en este mercado y la movilidad eléctrica se haya convertido en una realidad en nuestras vidas.

### 3.3. Los retos de futuro

Desde el punto de vista de una empresa comercializadora de vehículos eléctricos, a lo largo de los últimos años se está colaborando estrechamente con cientos de clientes, proveedores, administraciones y otros agentes en el desarrollo conjunto de este mercado.

Esta experiencia previa, directa de quien se enfrenta cada día al reto de dar un paso más para la introducción masiva de los vehículos eléctricos en nuestras ciudades, permite identificar cuáles son las dimensiones clave en cuyo desarrollo será necesario trabajar para asegurar o, al menos, facilitar, este desarrollo masivo del mercado

Así, se considera que existen 4 retos clave a los que se enfrenta un comercializador en este mercado, cuyo desarrollo se acomete en líneas posteriores.



**Figura 3.2.** Los retos de futuro.





### 3.3.1. Disponer de oferta competitiva de vehículos

Después de un largo recorrido de desarrollo tecnológico no exento de dificultades (los vehículos eléctricos existen desde mediados del siglo XIX), se puede afirmar sin riesgo a equivocarse que el estado actual de la tecnología eléctrica ofrece ya, no sólo una teoría u anécdota, sino una posibilidad real de movilidad sostenible y, a la vez, un futuro cada vez más atractivo.

Así, cada vez existe una mayor oferta de vehículos eléctricos que progresivamente van eliminando las grandes limitaciones de este tipo de vehículos (sus prestaciones y sus calidades):

- Ya existen en nuestras calles vehículos eléctricos que permiten el uso diario con unas prestaciones suficientes (autonomías de más de 200 km/carga y velocidades de más de 100 km/hora) para el uso diario, especialmente en el contexto actual de una creciente e imparable limitación de potencias y velocidades en nuestras ciudades y carreteras.



**Foto 3.2.** Vehículos eléctricos.

- Los vehículos eléctricos más avanzados ofrecen a los usuarios especificaciones en términos de seguridad, confort o calidad de fabricación perfectamente homologables, con exigencias de las sociedades modernas y como las de otros vehículos urbanos de combustión.

Así, en un plazo muy corto de tiempo, el desarrollo de la tecnología de baterías y eficiencia de consumo hará que los vehículos eléctricos hayan dejado atrás definitivamente sus posibles limitaciones actuales, al menos para lo que se considera uso urbano.

Si a esto se le añade que los vehículos eléctricos tienen un 90% menos de piezas que un vehículo de combustión (por poner un ejemplo, en las motos la relación es de 200 a 2.000 piezas) y que disponen de un número de piezas sometido a desgaste mucho menor (bujías, filtros, cilindros, etc.), esta es, sin duda, una propuesta de movilidad con unos requisitos de mantenimiento mucho más eficientes que los de los vehículos de combustión.

Adicionalmente, un vehículo eléctrico ofrece otras ventajas indudables que ya son ampliamente valoradas por sus propietarios actuales, tanto particulares como flotas públicas o privadas. A título ilustrativo y por la experiencia de trabajo con clientes, se pueden citar:

- Para las flotas públicas, mejora el servicio al ciudadano (no humo, silencio, limpieza, etc.) y la imagen de la ciudad (sostenibilidad, modernidad, etc.).
- Incrementa la satisfacción del usuario (mejores calidades de componentes, más diseño, más seguridad, mejor maniobrabilidad, más potencia, más tecnología, etc.).
- Evita repostar en gasolineras con lo que ello conlleva de molestia y, en el caso de las flotas, de gestión del pago y control administrativo posterior.
- No presenta problemas de descarga de batería por el equipamiento Standard.
- Mejora la imagen de las compañías que los utilizan ante los clientes y accionistas (compromiso con la calidad de vida en la ciudad).
- Reduce los costes de combustibles a una décima parte.
- Minimiza el mantenimiento reduciendo costes directos.
- Reduce los tiempos de no utilización.
- Reduce las averías, por su simplicidad y fiabilidad.
- Simplifica las necesidades técnicas para el mantenimiento.
- Reduce los índices de siniestralidad (velocidades limitadas electrónicamente, menor propensión a la conducción deportiva, etc.).





## Guía del Vehículo Eléctrico

A partir de la información proporcionada por los test de satisfacción de clientes se observa que, tras los 6 primeros meses de uso de los vehículos, muestran valores de 4,3 sobre 5. Los principales motivos de satisfacción han sido, como era previsible:

- Sus prestaciones.
- Su comodidad y manejabilidad.
- Su practicidad y economía.
- Su estabilidad y fiabilidad.

Sin embargo, no sería honesto ocultar que no todo son ventajas y que, indudablemente, el gran reto tecnológico y comercial al que se enfrentan los fabricantes de vehículos eléctricos es conseguir poner en el mercado vehículos con las calidades y prestaciones citadas a precios competitivos.

Esto es debido, fundamentalmente, a que todavía las producciones son reducidas, lo que supone que la repercusión de costes en cada unidad es elevada. Esta repercusión de costes es especialmente importante en lo que se refiere a gastos de I+D y al coste de las baterías, que representan entre un 35% y un 50% del coste total de un vehículo eléctrico. Como dato ilustrativo, se puede decir que una buena batería cuesta hoy en día aproximadamente 3.000 € por cada 5 kWh de capacidad de almacenamiento.

A pesar de esto, se debe destacar que un elemento a favor de los clientes en el momento de su decisión de compra es que, dados los limitados volúmenes de producción de los vehículos eléctricos, el precio de los mismos es directamente proporcional a su calidad. En los vehículos eléctricos el impacto del coste de la mano de obra es mucho menor que en los vehículos de combustión con series de producción de millones de vehículos.

Así, el cliente puede estar seguro que, desde nuestra experiencia, el mismo vehículo fabricado en dos países con manos de obra de coste muy diferente, si tienen las mismas calidades, deberán tener el mismo precio. Si esto no es así, las calidades serán indefectiblemente diferentes, ya que todavía no existen empresas que les guste perder dinero vendiendo los vehículos más baratos que sus competidores.

Volviendo al tema anterior del precio de los vehículos eléctricos, este mayor precio de salida es perfectamente entendible por un cliente

que sea una flota y que realice un uso intensivo del vehículo (y, por lo tanto, se vea beneficiado por unos menores costes de explotación) o que incorpore a su decisión otras motivaciones más relacionadas con su posición ante el mercado y los ciudadanos.

Adicionalmente, la experiencia muestra que un aspecto que los clientes valoran muy positivamente es la predictibilidad que un vehículo ofrece desde el punto de vista del gasto futuro o ¿alguien se atreve a pronosticar cuál será el precio de la gasolina dentro de 1, 2, 3 ó 4 años, que es el plazo típico de tenencia de un vehículo? En el caso de la electricidad, las subidas son mucho más lineales y, en muchos casos, asociadas a parámetros como el IPC. Esto es especialmente atractivo para los gestores de flotas que deben elaborar sus presupuestos de operación.

Así, desde estas líneas se asume el reto de demostrar a cualquier flota de nuestro país las ventajas que, en términos tanto económicos como de creación de valor, supone incorporar vehículos eléctricos a su actividad.

Para el caso de los clientes particulares, hay que reconocer que hoy en día el precio es todavía un limitante importante a la venta masiva y que, en este aspecto, actuaciones de las administraciones públicas tendentes a mitigar este esfuerzo de pago son claramente un elemento clave para la introducción del vehículo eléctrico en sus primeros momentos. Lo que, por otro lado, no difiere de lo que se ha visto en otros mercados que han requerido fuerte apoyo institucional en sus primeros momentos.

Sin embargo, hay que transmitir a los clientes que la estrategia seguida por la mayoría de los fabricantes y comercializadores de enfocar gran parte de sus esfuerzos, con el apoyo institucional, en la venta a flotas supondrá alcanzar de manera rápida unos volúmenes de producción suficientes para acometer sucesivos descensos en el coste de los vehículos y hacer accesibles los mismos al gran público.

Sin ningún género de dudas, el día que la inversión inicial para la adquisición de un vehículo eléctrico sea similar al de uno de combustión, el vehículo eléctrico será económicamente imbatible al tener unos costes operativos de uso muy reducidos. Sólo a modo de comparación, un coche eléctrico urbano tiene un coste energético de 1,5 euros a los 100 kilómetros, mientras que uno de combustión se sitúa en los 4 y 5 euros.





### 3.3.2. Disponer de redes de venta y posventa especializadas

Desde el comienzo de esta actividad en el sector, se ha defendido, no siempre con el acuerdo de algunos interlocutores, que el vehículo eléctrico iba a suponer una revolución para las actuales redes de venta y posventa, tanto en cuanto a su modelo de negocio como a sus capacidades necesarias.

A continuación, se ven con cierto detalle los principales cambios previstos:

- El modelo de negocio del vehículo eléctrico es inverso al actual de los vehículos de combustión. Así, mientras que en el negocio tradicional de la automoción los mayores márgenes se encuentran en la posventa suponiendo la venta de vehículos márgenes muy reducidos cuando no negativos, en el vehículo eléctrico el margen debe obtenerse principalmente de la venta, ya que el volumen de operaciones de posventa es mucho más reducido:
  - Un 90% menos de piezas.
  - Menos intervenciones por cliente.
  - Menos tiempo por intervención.
  - Mantenimiento mínimo, centrado en los consumibles (neumáticos, pastillas de freno, etc.).
- Dichas características implican menores niveles de stock de piezas e instalaciones con menores dimensiones que los talleres tradicionales.
- Esto no quiere decir que la actividad de posventa de vehículos eléctricos no sea rentable, que lo es debido a que no son necesarias inversiones tan elevadas en instalaciones y maquinaria. Los vehículos eléctricos pueden dejar obsoleto una parte importante del equipamiento que actualmente se observa en los talleres de nuestras ciudades.
- Las capacidades requeridas de los equipos comerciales son claramente diferentes y los argumentos de venta al cliente totalmente distintos. El vendedor tradicional está acostumbrado a hablar con el cliente de potencia, consumos, precio, etc., y el



de vehículos eléctricos de autonomía, de comodidad, de confort, de responsabilidad, de simplicidad de mantenimiento y, desde luego, de precio. Todas las experiencias realizadas mediante la compartición de comerciales dedicados al mismo tiempo a vehículos eléctricos y de combustión han dado como resultado índices de éxito mucho menores que los de comerciales exclusivos de eléctricos.

- Se apuesta porque el modelo de venta conjunta de vehículos de combustión con vehículos eléctricos no será, al menos durante una larga fase inicial hasta que el mercado sea lo suficientemente maduro, el idóneo comercialmente. No se prevé que el cliente entre en un concesionario dudando entre un vehículo de combustión y otro eléctrico, esa decisión será previa y, si está dispuesto a considerar la compra de un vehículo eléctrico, entonces apreciará un sitio donde reciba información especializada de vehículos eléctricos.
- Además, es necesario considerar que la introducción del vehículo eléctrico será paulatina, por lo que todas las marcas dispondrán de, como mucho, 1-2 modelos totalmente eléctricos durante un largo período. Si realmente se quiere introducir un número elevado de vehículos eléctricos será una oportunidad disponer de espacios especializados donde los clientes puedan conocer y comparar de primera mano las opciones existentes.
- Otro cambio fundamental y del cual nuestra empresa puede dar buena prueba, es que cuando se trata de vehículos eléctricos es posible gestionar al mismo tiempo diferentes tipologías de vehículos (por ej. motos y coches). Como es sabido, esta circunstancia es hoy en día muy minoritaria en el sector de la automoción. La simplicidad de posventa permite, por ejemplo, que un mismo técnico se haga cargo de ambos vehículos que, no hay que olvidar, son en un 80% electrónica. Adicionalmente, la gestión de stock es mucho más simple permitiendo compatibilizar ambos tipos de vehículos. Se puede decir, sin ningún género de dudas, que “se parece” más una moto eléctrica a un coche eléctrico que un coche eléctrico a un coche de combustión.

Dicho todo lo anterior en cuanto a diferencias entre el modelo de venta del vehículo eléctrico y el de combustión, se ha de decir que





### Guía del Vehículo Eléctrico

existen algunos parámetros que no van ni deben cambiar entre ambos modelos y estos son aquellos relacionados con la calidad de atención, atractivo del espacio, esmero en la entrega y formación de los recursos.

Se ha de reconocer que el sector de la automoción ha alcanzado en los últimos años unos niveles muy elevados en cuanto a estándares de calidad en sus instalaciones y sus recursos humanos a los cuales los clientes no están dispuestos a renunciar ni se les puede exigir, comprar un vehículo eléctrico debe ser una experiencia igualmente gratificante que lo es comprar actualmente un vehículo de combustión.

Así pues, existe un pleno convencimiento que uno de los retos fundamentales a los que se enfrenta el vehículo eléctrico para llegar a ser una realidad para el gran público y a la que se dedican importantes esfuerzos desde las empresas es que los vehículos eléctricos logren disponer de espacios de venta y posventa con las mismas calidades que los actuales, pero adaptados en sus dimensiones, recursos y oferta a los requerimientos y oportunidades específicas de los vehículos eléctricos y que se han citado en puntos anteriores.

### 3.3.3. Disponer de infraestructuras para recarga

El vehículo eléctrico, como todo vehículo propulsado por un combustible, requiere ineludiblemente la disponibilidad de una fuente de suministro de dicho combustible para su recarga.

En el caso de los vehículos eléctricos, las fuentes de suministro potenciales son millones (prácticamente cualquier enchufe es válido para recargar un vehículo eléctrico). Sin embargo, el gran reto es hacer que esas fuentes de suministro estén disponibles para el cliente y, no sólo eso, sino que supongan una alternativa cómoda para el mismo en términos de accesibilidad y uso.

Dadas las características de los diferentes segmentos de clientes, parece que en un futuro próximo habrá cuatro tipologías de puntos de recarga:

- Vías públicas.
- Flotas.

- Recargas privadas (garajes individuales o colectivos).
- Estaciones de servicio eléctricas.

## A. Recarga en vías públicas

La disponibilidad de puntos de recarga en la vía pública, de libre acceso para los propietarios de vehículos eléctricos, da la posibilidad a estos propietarios de acceder a la recarga de su vehículo en el transcurso de su jornada de trabajo u ocio, consiguiendo un incremento de la autonomía disponible.

Destacar que se habla de un incremento de autonomía (lo que se denomina recarga de oportunidad) y no de recarga completa. Ello es debido a que, desde la experiencia, la recarga en vía pública, debido al tiempo que requiere una carga completa, no puede concebirse como una solución única para la recarga del vehículo que se compra y el cliente siempre deberá disponer de una alternativa para la recarga completa (recarga base) en la que diariamente hacer la carga de su vehículo.

Un coche eléctrico tarda actualmente unas 8 horas en cargar completamente y una moto del orden de 4 horas. Estos tiempos actuales suponen que si los puntos en vía pública se utilizan para realizar recargas completas y teniendo en cuenta que todos los clientes querrían utilizarlos durante la noche, ya que durante el día utilizan el vehículo, sería necesario disponer de aproximadamente 1 punto de recarga por vehículo, lo cual supone un despliegue en las ciudades claramente inasumible tanto desde el punto de vista económico como del propio desarrollo urbano.

Así, la recarga en vía pública sólo puede y debe ser concebida como un complemento al punto de recarga base del cliente (en su casa, trabajo o instalaciones profesionales).

Sin embargo, no por ello este tipo de infraestructura deja ser clave para el desarrollo del mercado:

- Tanto por su efecto beneficioso en la autonomía disponible (uno de los mayores retos de estos vehículos) apoyado por el hecho de que la mayor velocidad de recarga se obtiene en los primeros momentos, por lo que una recarga de poco tiempo



## Guía del Vehículo Eléctrico



(típicamente 1 hora) puede suponer un incremento de carga apreciable. Esto es especialmente relevante para las motos eléctricas que tienen tiempos de carga mucho menores y que, además, suponen un uso de espacio público mucho menor.

- Como por su impacto en el estado de opinión e incluso en la psicología del cliente que se siente más tranquilo sabiendo que, en caso de necesidad, puede acceder a un punto de recarga aunque realmente lo utilice sólo en casos muy contados. No en vano, las ciudades europeas en las que existe una mayor proporción de vehículos eléctricos son aquellas en las que se dispone de puntos de recarga en la vía pública, y la experiencia demuestra que fueron estos puntos los que contribuyeron al desarrollo del mercado y no los vehículos los que hicieron imprescindible la instalación de los puntos.



**Foto 3.3.** Ejemplos de puntos de recarga.

Con estos objetivos, las principales ciudades europeas están desplegando puntos de recarga en las vías públicas para los propietarios de vehículos eléctricos:

- Existen estaciones de recarga en ciudades como Florencia, Torino, Erlangen (Alemania) o La Rochelle (Francia).
- En París existen aproximadamente 100 columnas de recargas.
- En California existen 365 estaciones de carga.
- En Londres disponen de 100 estaciones de carga, y Toyota y EdF han llegado a un acuerdo para implantar 250 puntos de recarga adicionales para vehículos híbridos.

En España, existen varias iniciativas para la instalación de puntos en la vía pública enmarcados en los planes de diferentes ayuntamientos y

que, sin duda, supondrán un salto cualitativo importante en la percepción de los ciudadanos sobre la movilidad eléctrica.

Pocas actuaciones suponen una mayor prueba del compromiso de un ayuntamiento con la movilidad eléctrica y con la imagen de sostenibilidad y modernidad de la ciudad que la colaboración en la instalación de puntos de recarga en sus vías públicas.

El apoyo de la Administraciones Locales a la instalación de este tipo de infraestructura es fundamental, dado que son éstas las que disponen de la potestad para autorizar su instalación en la vía pública, así como para facilitar la dotación necesaria para su funcionamiento, por ejemplo, reserva de espacio de aparcamiento para el vehículo eléctrico o acceso a la línea eléctrica.



**Foto 3.4.** Diseño de un punto de recarga.

## B. Recarga de flotas

Uno de los motivos fundamentales por los que el mercado de vehículos eléctricos, como ha pasado en otros mercados nacientes, ha empezado a desarrollarse de manera mucho más rápida en flotas públicas y privadas es la capacidad y facilidad que tienen este tipo de clientes para acceder a un punto de recarga del vehículo.

Así, prácticamente cualquier flota dispone de unas instalaciones en



## Guía del Vehículo Eléctrico

las que realizar su recarga cuando los vehículos no están siendo utilizados.

Esta circunstancia es suficiente para los primeros momentos de introducción de los vehículos eléctricos en la flota; sin embargo, si realmente se pretende que este tipo de vehículos supongan una cuota relevante en las principales flotas españolas, será necesario facilitar a sus gestores la adaptación de sus instalaciones para posibilitar la recarga de un gran número de vehículos de manera simultánea. A título ilustrativo, se pueden citar dos necesidades claras:

- Acceso rápido y económico al incremento de potencia de su instalación.
- Disponibilidad de dispositivos de medida y control de la recarga que permitan al gestor de flota realizar un seguimiento continuo de los consumos y del propio proceso de carga (alarmas, identificación de usuario/vehículo, etc.), así como una gestión de las cargas mediante, por ejemplo, la puesta en carga secuencial de grupos de vehículos que permitan cargar más vehículos con la misma potencia máxima disponible en la instalación.

## C. Recargas en garajes privados

Este es uno de los aspectos, por no decir el principal, al que quizás no se está prestando suficiente atención por parte de todos los agentes del mercado.

Es un hecho claro que el uso masivo del vehículo eléctrico pasa ineludiblemente porque cada ciudadano pueda acceder de manera fácil a un punto de suministro.

La mitad de los coches y casi el 80% de las motos de las ciudades “duermen” en garajes particulares, y esto es especialmente relevante en las zonas de nueva construcción. Si a esto se le añade que el periodo en el que permanece en el garaje es de un mínimo de 10 horas, que la electricidad puede ser más barata durante la noche y que la recarga en horas nocturnas colabora al equilibrio de oferta-demanda del sistema eléctrico, facilitando la instalación de nuevas fuentes de energía renovable, se entiende que la recarga en garajes en las horas nocturnas es la solución idónea para el desarrollo del mercado.



**Foto 3.5.** Recarga en un garaje privado.

Sin embargo, por experiencia se observa que actualmente sólo los clientes que viven en viviendas unifamiliares tienen fácil el acceso a un punto de recarga en su domicilio y, no en vano, esta tipología de clientes constituyen el segmento fundamental de usuarios de estos vehículos.

En el caso de los garajes colectivos (que constituyen un alto porcentaje de las viviendas en las grandes ciudades) aparece la problemática de que la actual ley de propiedad horizontal no permite a un vecino de un inmueble instalar un punto de suministro propio en su plaza de garaje sin permiso unánime de todos los vecinos de su comunidad, incluso aunque se instale un control de medida específico para ese suministro.

El autor de este capítulo dispone de un punto de suministro en su plaza de garaje autorizado por su comunidad de propietarios, pero, a la vez, hay que reconocer que este espíritu de colaboración y concienciación no es extrapolable a la generalidad de las comunidades en las que vivimos.

A esta falta de colaboración contribuyen, más allá de razones emocionales relacionadas con la propia naturaleza humana, razones “técnicas”, como la falta de información sobre la seguridad de carga de los vehículos eléctricos (curiosamente existe preocupación por si hay algo “enchufado” en el garaje y no de que haya 100 litros de gasolina inflamable en cada depósito cuando, en ambos casos, sólo existe riesgo de incendio en caso de actuación vandálica a la que están expuestos ambos tipos de vehículos y con efectos mucho menores en el caso del vehículo eléctrico).

Así, se considera que es necesario/imprescindible que las administraciones públicas contribuyan a facilitar los cambios legislativos y en la





## Guía del Vehículo Eléctrico

propia percepción de los ciudadanos para que los propietarios de un vehículo eléctrico puedan disponer de un punto de suministro propio en sus plazas de garaje.

### D. Estaciones de servicio eléctricas

La autonomía de los vehículos eléctricos ha sido tradicionalmente uno de los mayores impedimentos para su comercialización masiva.

Este limitante se ha ido mitigando progresivamente y, actualmente, ya se pueden encontrar vehículos eléctricos con autonomías suficientes para su uso diario por parte de un segmento de clientes con un estilo de vida determinado (entorno urbano, trayectos constantes, etc.).

Sin embargo, hay que reconocer que nuestras ciudades aumentan en extensión y que la movilidad en dichas ciudades es más compleja, requiriendo cada vez mayor número de trayectos, lo que supone una mayor posibilidad de recorridos más amplios.

Para solucionar esta problemática y acceder a nuevos segmentos de clientes, se plantean dos alternativas, o se incrementa la autonomía de los vehículos o se reduce el tiempo necesario para realizar una recarga.

Desde la experiencia, autonomías cercanas a los 200-300 km son claramente suficientes para la gran mayoría de los usuarios si pueden acceder a una recarga en un plazo de tiempo asumible que se cifra en 15 minutos (menos de lo que hoy en día se tarda en llenar un depósito de gasolina).

Actualmente, ya se están realizando pruebas de recarga rápida con éxito, aunque será necesario establecer un sistema robusto que permita la comunicación adecuada entre el punto de recarga y el vehículo eléctrico a la vez que asegurar que la utilización extensiva de este tipo de recarga no afecta a las especificaciones de la batería a largo plazo.

En el momento que esté disponible y probada la solución (no más de 3 años), se prevé que se desarrolle la figura de las estaciones de servicio para la recarga de vehículos eléctricos. A los efectos de conseguir la máxima eficiencia del sistema eléctrico, este sistema de recarga



rápida deberá ser complementario con las recargas “lentas” realizadas durante la noche, permitiendo y fomentando un tipo de recarga adaptado a cada necesidad específica mediante, por ejemplo, precios de recarga diferenciados.

Aunque esta infraestructura de recarga es más lejana que el resto de tipologías de infraestructura, sin duda constituye un reto fundamental para el impulso del mercado. La cobertura del país con estaciones de servicio para vehículos eléctricos (idealmente alimentadas con energías renovables) permitirá que el vehículo eléctrico pueda realizar trayectos interurbanos.



**Foto 3.6.** Instalación fotovoltaica.

### 3.3.4. Cambiar la mentalidad de la sociedad

Es comúnmente aceptado que con el incremento del bienestar de nuestras sociedades, la adquisición de un vehículo se ha convertido en un símbolo de posición y reconocimiento social. No en vano, pasa por ser la segunda mayor inversión que realizan las familias españolas.

Nos encontramos en una sociedad en la cual otras necesidades básicas están, en términos generales, cubiertas y los ciudadanos pueden dedicar sus ahorros a la adquisición de otro tipo de bienes como los vehículos.

Sin embargo, ha llegado el momento en el que tomar conciencia de





## Guía del Vehículo Eléctrico

que la movilidad es una necesidad más de nuestras sociedades que debe ser satisfecha de la manera más racional posible porque, de otra forma, se estará afectando precisamente a esa calidad de vida que se está intentando mejorar.

Por ello, los que participan de una u otra forma en la creación del mercado de la movilidad eléctrica deben aceptar el reto de contribuir a una sociedad en la que:

- El vehículo no pase de ser un mero elemento de transporte en cuya adquisición primen criterios de seguridad, confort y racionalidad, incluyendo, como no puede ser de otra manera, el respeto con nuestro entorno dentro de estos criterios de racionalidad. Seguro que cada uno de nosotros puede permitirse moverse en una gran ciudad en un vehículo contaminante, pero la cuestión es si la sociedad en su conjunto se lo puede permitir.
- El vehículo eléctrico no sea percibido como un “juguete” ni una extravagancia, sino como una alternativa real de movilidad urbana que identifica a su usuario como un ciudadano comprometido y responsable.
- No existan barreras psicológicas ni excusas (salvo la de que no tengo un lugar en mi casa donde enchufar) para que una gran mayoría de personas se mueva en un vehículo eléctrico.
- La posesión de un vehículo eléctrico proporcione unas satisfacciones en términos de compromiso y comodidad de uso que resulten claramente superiores para un gran porcentaje de la población a otras satisfacciones como la potencia, la velocidad punta o el tamaño.

Para este cambio de mentalidad en nuestras sociedades, que los comercializadores no pueden ni deben realizar en solitario, han de jugar un papel determinante tres elementos clave de las sociedades modernas:

- Aquellas personas o grupos que, como creadores de opinión, tienen la capacidad de, desde una posición de independencia, transmitir nuevos valores a la vez que prestigio y reconocimiento a un nuevo producto o tendencia. Se ha de reconocer y agradecer el apoyo que personajes de reconocido prestigio y me-

dios de comunicación están proporcionando a estas iniciativas. Sin embargo, también se ha de reconocer que en nuestro país queda mucho camino por recorrer en la involucración de estos grupos de opinión que en otros países (especialmente nórdicos y anglosajones) lideran los cambios en la sociedad.



**Foto 3.7.** Promoción de los vehículos eléctricos.

- Aquellas empresas que por su notoriedad y liderazgo están llamadas a liderar los cambios y que con su apuesta por los vehículos eléctricos prestigian el producto a los ojos de la sociedad y dan prueba de su fiabilidad y solvencia.



**Foto 3.8.** Motocicletas eléctricas.

- Las administraciones públicas que, mediante el fomento de los vehículos eléctricos y el uso para sus propias actividades, mandan un mensaje claro a los ciudadanos de que la movilidad eléctrica no es una moda pasajera.



**Foto 3.9.** Motocicletas eléctricas de la policía local.

### 3.4. Resumen

Como resumen de este capítulo, recordar los cuatro retos fundamentales a los que se enfrenta el vehículo eléctrico para constituir una realidad masiva que cambie nuestra forma de ver y entender la movilidad:

1. Que los fabricantes consigan, con el apoyo inicial de las compras realizadas por flotas públicas y privadas y las ventajas proporcionadas por las administraciones públicas, alcanzar los niveles suficientes de producción para ofrecer a los clientes particulares vehículos eléctricos con un precio similar a los actuales de combustión, manteniendo las ventajas evidentes en cuanto a costes de mantenimiento posterior.
2. Que los vehículos eléctricos logren disponer de espacios de venta y posventa con las mismas calidades que los actuales pero adaptados en sus dimensiones, recursos y oferta a los requerimientos y oportunidades específicas de los vehículos eléctricos.

3. Que exista una oferta suficiente de infraestructura de recarga que proporcione a los propietarios de un vehículo eléctrico diferentes alternativas para su recarga durante el día atendiendo a su modo de vida y de una manera cómoda y eficiente. Adicionalmente, que cualquier cliente pueda acceder a la posibilidad de contar con un punto de recarga en su propio domicilio para realizar recargas completas durante la noche.
4. Que mediante la participación activa de todos los agentes, y especialmente de aquellos que constituyen un referente para la sociedad, los ciudadanos entiendan que la movilidad es una necesidad y que, puestos a satisfacer la misma con criterios de seguridad, confort y sostenibilidad, el vehículo eléctrico es una alternativa real y viable.

Se espera que este capítulo contribuya a despertar el interés del lector por el apasionante reto que significa la introducción de la movilidad eléctrica en nuestras sociedades.





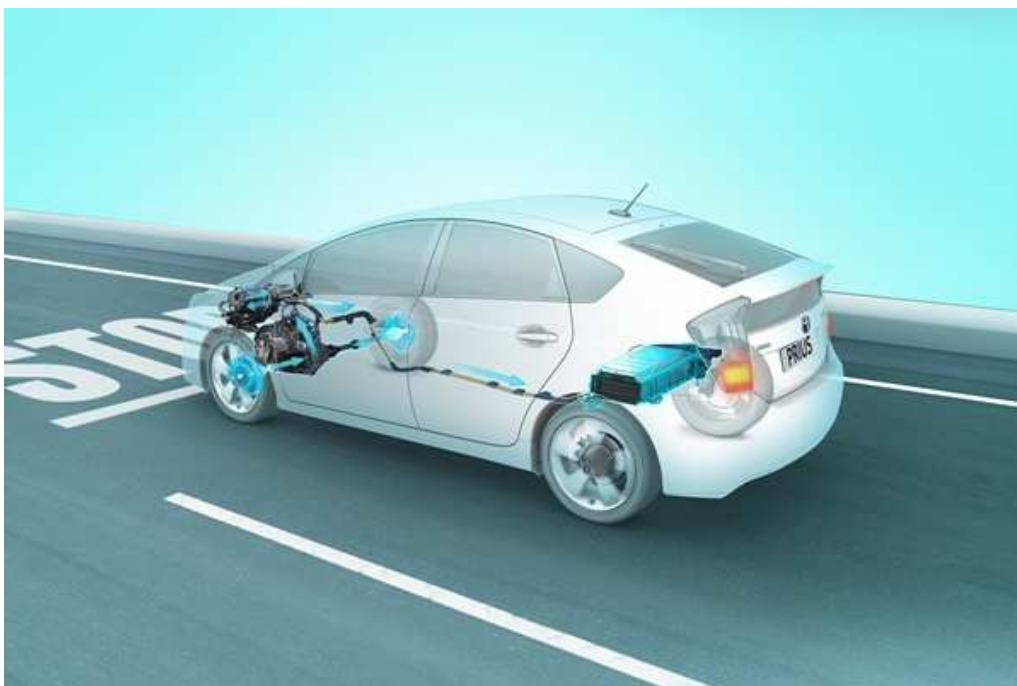
# 4

## PRESENTE Y FUTURO DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA

### 4.1. Vehículos híbridos: funcionamiento y componentes

El concepto “híbrido” es el de un vehículo con motor de combustión (gasolina, diésel, etc.) apoyado por uno o más motores eléctricos. A diferencia de un vehículo eléctrico puro 100% (EV), su batería no tiene la misión de almacenar gran cantidad de energía para después ir liberándola durante mucho tiempo, sino que está en todo momento interviniendo en ciclos de carga y descarga.

En 1997, Toyota comercializó el primer automóvil híbrido del mundo producido en serie: el Prius, que se ha consolidado como el vehículo híbrido más vendido hasta la fecha. No obstante, la hibridación se está extendiendo a múltiples modelos y en la actualidad la mayoría de las marcas se están sumando a esta tecnología.



**Figura 4.1.** Vehículo híbrido, Toyota Prius.

Pese a diferencias en el nivel de hibridación de los vehículos (*full* o *mild* – en función de su capacidad de tracción única eléctrica a petición del conductor) y de configuración (serie o paralelo o combinado), se puede afirmar respecto a su funcionamiento que a bajas velocidades se mueve con la electricidad almacenada en las baterías, y

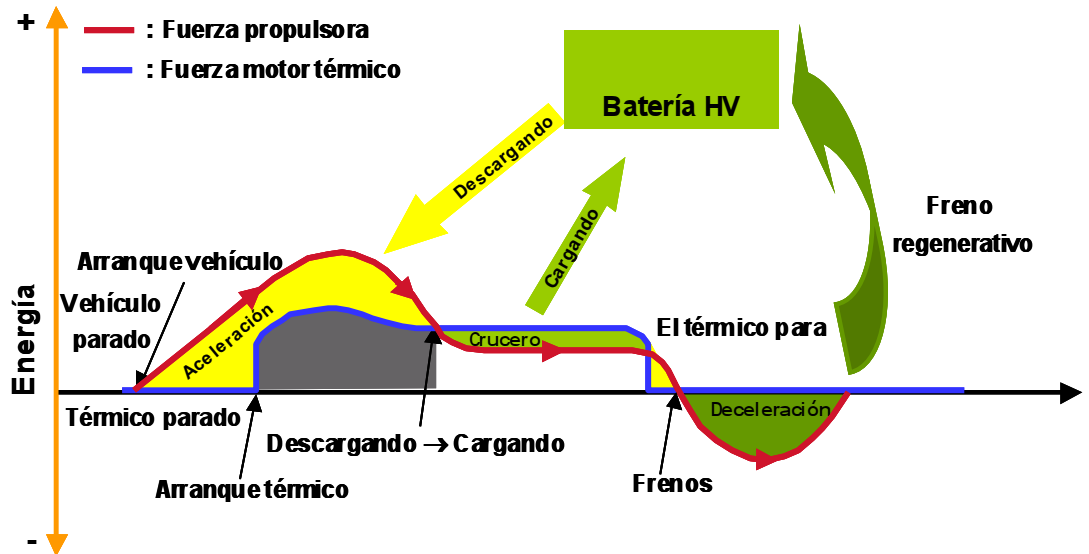






cuando se necesita más potencia entra en uso el motor convencional.

El gráfico de la Fig. 4.2 resume cómo funciona el sistema de hibridación *full* en función de las condiciones de marcha.



**Figura 4.2.** Esquema de funcionamiento de un sistema de hibridación.

Al arrancar, la batería entrega toda la energía necesaria para el arranque del vehículo al motor eléctrico. A partir del momento en el que la velocidad y la aceleración son suficientes para que sea óptimo desde el punto de vista de la eficiencia poner en marcha el motor de gasolina, éste se arranca automáticamente y ayuda al motor eléctrico en la propulsión.

En el punto de crucero durante la conducción, en el que el conductor no demanda aceleración sino mantener la velocidad, el motor térmico se sitúa en una zona de funcionamiento óptima en su relación entre prestaciones y consumo, entregando potencia para mover el vehículo y también para cargar la batería. Por último, al decelerar o frenar, el motor térmico se para y se carga la batería por medio del sistema de freno regenerativo.

En definitiva, la clave del funcionamiento reside en que la batería actúa como un almacén de energía. La acumula cuando sobra para devolverla cuando el conductor demanda gran aceleración o para la circulación lenta 100% con motor eléctrico.



## 4.2. Ventajas de la hibridación respecto a tecnologías convencionales

La principal ventaja de la tecnología híbrida radica en el hecho de utilizar parte del tiempo la tracción eléctrica que, al ser más eficiente, resulta en menor consumo de combustible y menores emisiones que los vehículos convencionales, especialmente en recorridos urbanos, donde la velocidad media de los trayectos en coche es muy baja.

La función *start-stop* en los híbridos permite detener el motor de gasolina y utilizar sólo electricidad a bajas velocidades o cuando se está parado.

Así pues, la tecnología híbrida mejora la eficiencia energética, consiguiendo un ahorro considerable en combustible en comparación con vehículos de gasolina y también incluso numerosos diésel, favoreciendo de esta forma el desarrollo sostenible y, al mismo tiempo, reduciendo la dependencia energética.

Este tipo de vehículos cuenta con otra serie de ventajas en el ámbito del ahorro energético, como la eficiencia doble al suprimir la mayor parte de las pérdidas de potencia. A esto hay que añadir que los vehículos híbridos permiten recuperar parte de la energía cinética perdida en los procesos de frenado, lo que supone un uso inmediato de la energía recuperada; el motor funciona siempre en su punto óptimo o muy cerca de él y, además, puede desactivarse durante la marcha cuando no se necesita, de manera completamente automática. Además, al no tener cambio manual, se optimizan los regímenes del motor de forma electrónica.

El sistema de frenada regenerativa recupera la energía cinética como energía eléctrica y la guarda en la batería de alta tensión, efectuando así su recarga. En consecuencia, los vehículos híbridos no necesitan de estaciones de abastecimiento como sucede con otros sistemas y tecnologías, lo que evita el problema de contar con una red de aprovisionamiento suficiente.

Otro problema que la hibridación puede contribuir a solucionar es el de la contaminación acústica, considerado uno de los problemas medioambientales más graves en las grandes ciudades. En conducción normal, sin bruscas aceleraciones, el ruido del motor de un vehículo híbrido es inapreciable. El ruido sólo aparece cuando sube su ré-





## Guía del Vehículo Eléctrico

gimen de giro para entregar la máxima potencia posible, por ejemplo si el conductor demanda una aceleración fuerte de cara a garantizar la seguridad de la marcha y ésta es una circunstancia de viaje que se produce pocas veces en condiciones habituales.

Además, la velocidad punta de los vehículos híbridos se alcanza sin requerir la intervención de la batería híbrida, por lo que puede mantenerla en llano indefinidamente sólo con el motor de gasolina.

### 4.3. Avances tecnológicos y desafíos de futuro

En la actualidad, la mayor parte de coches híbridos funcionan con baterías de níquel metal-hidruro que impulsan un motor eléctrico y pueden recargarse rápidamente mientras el automóvil está desacelerando o se encuentra detenido.

Hasta ahora, las baterías que se estaban desarrollando contaban con cuatro importantes obstáculos: baja capacidad de almacenamiento de energía eléctrica y de potencia para impulsar el vehículo; peso y dimensiones; estabilidad de los materiales y rentabilidad económica.

Sin embargo, nuevos avances en este campo podrían revolucionar la industria del automóvil. Las baterías de ión-litio, por ejemplo, incrementan notablemente la capacidad de almacenamiento de energía. El principal inconveniente sigue siendo su todavía mayor coste.

A medio y largo plazo, las fuentes energéticas en la automoción se diversificarán aún más, haciendo imprescindible el desarrollo de tecnologías que sean capaces de operar con un abanico de combustibles. Sin embargo, debido a que son numerosas las complicaciones asociadas a convertir en comercialmente viables fuentes de energía alternativas, es necesario a corto plazo concentrarse en combustibles convencionales. Por este motivo, el principal esfuerzo de los fabricantes de automóviles se encuentra en hacer más eficiente el uso del carburante en los motores de combustión interna y los sistemas de transmisión.

Algunos fabricantes, como Toyota, están trabajando en el desarrollo de la tecnología de sus sistemas de propulsión para mejorar la eficiencia en el consumo de combustible y reducir así las emisiones de CO<sub>2</sub>; minimizar las emisiones de gases contaminantes responsables de la contaminación atmosférica; y aumentar la diversificación energética.



A side profile of a red and white Mitsubishi i-MiEV. The car is compact and rounded. The side door is white with a red handle and features the 'i-MiEV' logo and the text 'MITSUBISHI INNOVATIVE ELECTRIC VEHICLE'. A yellow wavy line graphic runs along the side. The rear is red with a white lightning bolt icon and the text 'Mitsubishi Innovative'. The car is on a white background.

A side profile of a red and white Mitsubishi i-MiEV. The car is compact and rounded. The side door is white with a red handle and features the 'i-MiEV' logo and the text 'MITSUBISHI INNOVATIVE ELECTRIC VEHICLE'. A yellow wavy line graphic runs along the side. The rear is red with a white lightning bolt icon and the text 'Mitsubishi Innovative'. The car is on a white background.

A side profile of a red and white Mitsubishi i-MiEV. The car is compact and rounded. The side door is white with a red handle and features the 'i-MiEV' logo and the text 'MITSUBISHI INNOVATIVE ELECTRIC VEHICLE'. A yellow wavy line graphic runs along the side. The rear is red with a white lightning bolt icon and the text 'Mitsubishi Innovative'. The car is on a white background.

A side profile of a red and white Mitsubishi i-MiEV. The car features a white body with red accents on the roof, side mirrors, and rear. The text 'i-MiEV' is prominently displayed on the side door, with 'MITSUBISHI INNOVATIVE ELECTRIC VEHICLE' written below it. A yellow wavy line graphic runs along the side, ending in a plug icon. A small red lightning bolt icon is visible on the rear fender.

A side profile of a red and white Mitsubishi i-MiEV. The car features a white body with red accents on the roof, side mirrors, and rear. The text 'i-MiEV' is prominently displayed on the side door, with 'MITSUBISHI INNOVATIVE ELECTRIC VEHICLE' written below it. A yellow wavy line graphic runs along the side, ending in a plug icon. A small red lightning bolt icon is visible on the rear fender.

A side profile of a red and white Mitsubishi i-MiEV. The car features a white body with red accents on the roof, side mirrors, and rear. The text 'i-MiEV' is prominently displayed on the side door, with 'MITSUBISHI INNOVATIVE ELECTRIC VEHICLE' written below it. A yellow wavy line graphic runs along the side, ending in a plug icon. A small red lightning bolt icon is visible on the rear fender.



## Guía del Vehículo Eléctrico

más allá de la alimentación de sistemas periféricos de baja potencia. Como novedad mundial, la tercera generación del Prius dispone de una versión con paneles solares en el techo para la alimentación del sistema de climatización.

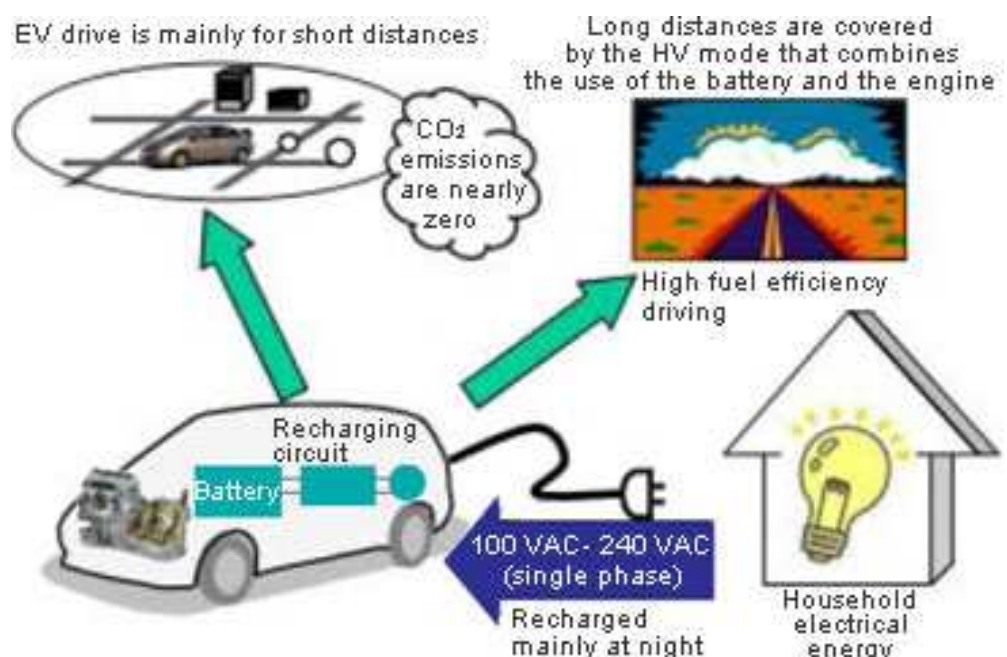
El siguiente apartado tratará el estado actual de desarrollo de vehículos híbridos conectables a la red eléctrica o *Plug-in Hybrid Electric Vehicles* (PHEVs) y cómo al acumular las ventajas del motor térmico y el eléctrico sin tener los inconvenientes más importantes de éstos, puede convertirse en el vehículo del futuro.

### 4.4. Híbridos enchufables como solución alternativa al coche eléctrico

El Vehículo Híbrido Enchufable (PHEV) es un vehículo basado en la tecnología híbrida, pero cuya batería puede ser recargada por un enchufe eléctrico. Esto permite un mayor equilibrio entre consumo, emisiones y autonomía del vehículo.

La electricidad es una de las vías prometedoras para lograr una movilidad sostenible. El PHEV es una solución práctica para facilitar un uso creciente de la electricidad como fuente de propulsión, sin estar condicionado por las actuales limitaciones de autonomía causadas por la capacidad de las baterías.

Como muestra la Fig. 4.4, el vehículo híbrido enchufable permite aprovechar al máximo el uso de la energía eléctrica, cargando el vehículo



**Figura 4.4.** Vehículo híbrido enchufable.

en casa o en puntos de recarga públicos en horas de bajo consumo eléctrico.

En la práctica, este vehículo se comporta en distancias cortas como un vehículo eléctrico, al poder emplear únicamente el motor eléctrico que ha sido recargado. En distancias largas, el coche se desplaza como un vehículo híbrido normal.

Por lo tanto, el híbrido enchufable se posiciona como una alternativa real al coche eléctrico, no sólo por su similar comportamiento en recorridos urbanos, sino también por no tener limitaciones de autonomía (gracias a su motor de combustión) en recorridos interurbanos.

En la práctica, esto supone que el híbrido enchufable permite disponer de un único vehículo para recorridos tanto urbanos como interurbanos. Por el contrario, el coche eléctrico y su autonomía limitada hace necesario en la práctica disponer de dos vehículos, el de recorridos urbanos (eléctrico) y el de recorridos interurbanos (con otro tipo de tecnología).

Cabe recordar que las hibridaciones del tipo serie o combinado son las únicas susceptibles de ser conectadas a la red eléctrica. Los vehículos híbridos de tipo paralelo carecen de esta posibilidad.

Si se trasladan los hábitos de transporte de los españoles (según estudio UNESPA) a un vehículo híbrido enchufable, donde se recorren como media 36 kilómetros diarios para ir a trabajar, podemos observar que un vehículo híbrido enchufable sería capaz de realizar esos 36 kilómetros con un impacto medioambiental mínimo y un ahorro de combustible considerable.

Resultados similares arrojan pruebas sobre los hábitos de conducción de británicos y franceses. En el primer caso, el 90% de los trayectos diarios son inferiores a 25 kilómetros, mientras que esta cifra es del 80% entre los franceses.

En lo que se refiere a las prestaciones de estos vehículos desde el punto de vista medioambiental, se estima que los mismos pueden conseguir reducciones en emisiones de CO<sub>2</sub> de en torno a un 30% respecto a las emisiones de un vehículo híbrido del mismo modelo.

Varios fabricantes de automóviles han iniciado proyectos piloto para





probar el funcionamiento de estos vehículos, estando prevista su comercialización en Europa a partir de 2010. Estos proyectos piloto permitirán sacar conclusiones sobre los usuarios y las necesidades de infraestructura requeridas para comercializar esta tecnología a gran escala.

No obstante, uno de los mayores desafíos para el desarrollo y comercialización de los híbridos enchufables será, sin duda, el desarrollo de baterías más pequeñas, ligeras y potentes.



**Foto 4.1.** Pruebas piloto con un vehículo híbrido enchufable en Londres.

### 4.5. Conclusiones

Es un hecho innegable que el vehículo eléctrico está próximo a convivir con los vehículos convencionales, si bien se necesita aún mucho tiempo para mejorar la capacidad de las baterías y crear una red suficiente y paralela a la actual de gasolineras de infraestructuras de recarga eléctrica.

Hasta que estas limitaciones no se hayan resuelto por completo, el vehículo eléctrico puro no será una alternativa real para la inmensa mayoría de los ciudadanos, ya que un vehículo significa por definición: **autonomía y libertad**. Los vehículos eléctricos a día de hoy y en un futuro a medio plazo, tienen serias dificultades para cumplir ambas premisas.

La tecnología híbrida, que conjuga lo mejor de ambos mundos (capacidad eléctrica de desplazamiento y alta eficiencia del motor de gasolina junto con recuperación energética en las frenadas) está contribuyendo a resolver este dilema. Por otra parte, su capacidad de maximizar las ventajas de diferentes opciones tecnológicas y de combustibles convierte a la hibridación en una técnica fundamental en el progreso de los mecanismos de propulsión alternativa en la industria automovilística.

En los próximos años aumentará exponencialmente la oferta de vehículos eléctricos. No obstante, sus limitaciones en algunas áreas posicionarán al vehículo híbrido enchufable como la opción preferente de transporte para aquellos usuarios que precisen mayor flexibilidad y rendimiento más allá de entornos puramente urbanos.







## 5

## LAS BATERÍAS, LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN ENTORNO URBANO

## 5.1. El vehículo eléctrico en las ciudades

Las políticas más modernas tienden a transformar el entorno urbano de las ciudades en espacios cada vez más amigables con los ciudadanos. La congestión asociada al tráfico, con la consecuente emisión de gases y ruidos, representa uno de los grandes retos de la Administración en la obtención de lugares habitables según los estándares de las más modernas generaciones.

Las nuevas estrategias de gestión del tráfico urbano deben contemplar diversos aspectos relacionados entre sí y, al mismo tiempo, relacionados con las tendencias actuales de otros sectores implicados, como pueden ser el de la energía, el de la arquitectura, el del diseño de automóviles, etc. Tiende a denominarse “movilidad urbana” a este nuevo concepto que trata de aglutinar nuevas ideas y provocar una revolución controlada en este ámbito, apoyándose en nuevas herramientas, como son:

- Análisis del tipo de vehículo eficiente.
- Análisis del tipo de conductor/usuario de vehículo urbano.
- Energías renovables.
- Transporte público.
- Estudios de flujos de grupos de personas en las ciudades.
- Gestión de la logística, la información al usuario, etc.

En todas estas nuevas estrategias, el vehículo con tracción eléctrica o vehículo eléctrico aparece como uno de los puntos clave para un desarrollo sostenible de los entornos urbanos porque puede ofrecer una serie de soluciones a las consecuencias generadas por la utilización masiva de vehículos con motor de explosión en estos espacios:

- La tracción eléctrica apoyada en baterías electroquímicas no emite gases durante su funcionamiento, con lo que se reducirían los problemas de salud ciudadana relacionados con la concentración excesiva de emisiones nocivas de los coches actuales.
- Existe una gran cantidad de diseños, tamaños y especializaciones de vehículos eléctricos para diferentes usos y aplicaciones





## Guía del Vehículo Eléctrico

que pueden ir desde una simple bicicleta o triciclo hasta vehículos medianos para el reparto de mercancías, que favorecen la implantación de sistemas personalizados en función de las necesidades concretas de una zona.

- El hecho de disponer de múltiples sistemas con una cantidad importante de energía almacenada repartidos por la ciudad (baterías de los vehículos eléctricos) puede permitir favorecer la alimentación eléctrica de micro-redes en aquellas zonas con una alta variabilidad de la demanda a lo largo de un período.

Y parece evidente que las tendencias socioeconómicas apuntan a la necesidad de comenzar a estudiar de manera coordinada las tácticas que se deben acometer en los próximos años en este terreno. Tácticas que planteen soluciones para:

- El crecimiento de la población y su concentración en entorno urbano, junto con el incremento constante de la demanda de movilidad.
- La cada vez mayor presencia de las energías renovables en sus dos versiones generales (conectadas a la red o en instalaciones aisladas).
- Las políticas energéticas internacionales dentro del ámbito donde se encuadra nuestro país para el que, por ejemplo, el precio de los combustibles fósiles supone un freno al mantenimiento de políticas de crecimiento económico sostenibles.
- La demanda ciudadana de actuaciones limpias que repercutan en una mayor calidad de vida.

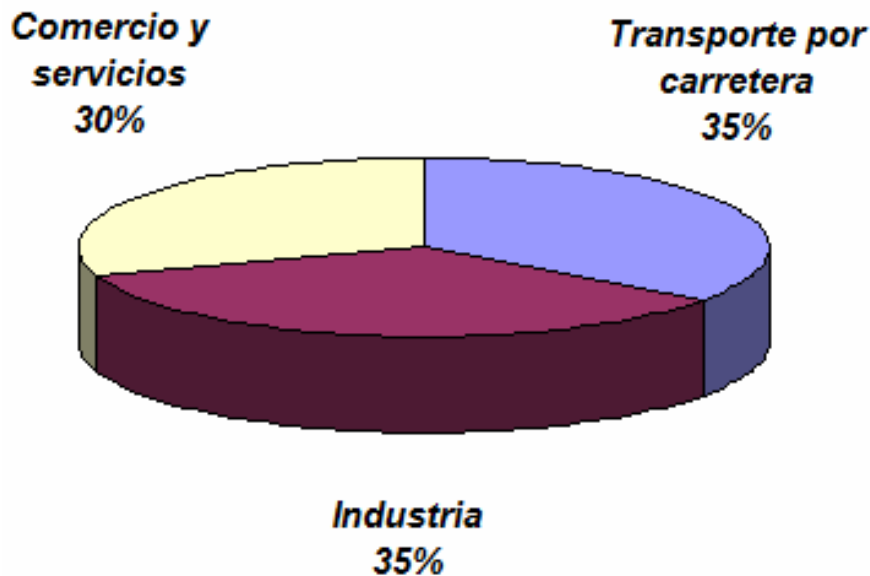
## 5.2. Necesidad de la movilidad eléctrica

Si se realiza una clasificación general de los factores que influyen en la necesidad de implantar sistemas de movilidad urbana basados en los vehículos eléctricos, se puede llegar a la conclusión de que éstos se pueden distribuir entre:

- **Factores medioambientales:**

- El calentamiento global observado en el planeta es un

hecho constatado, cuyas causas provienen del efecto invernadero que provocan algunos gases que se emiten a la atmósfera, entre los que se menciona siempre con un grado de importancia relevante al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Y resulta destacable que las emisiones imputables a la automoción suponen el 35% de las emisiones globales de  $\text{CO}_2$ .



**Figura 5.1.** Porcentajes de emisión de  $\text{CO}_2$  por sectores de actividad.

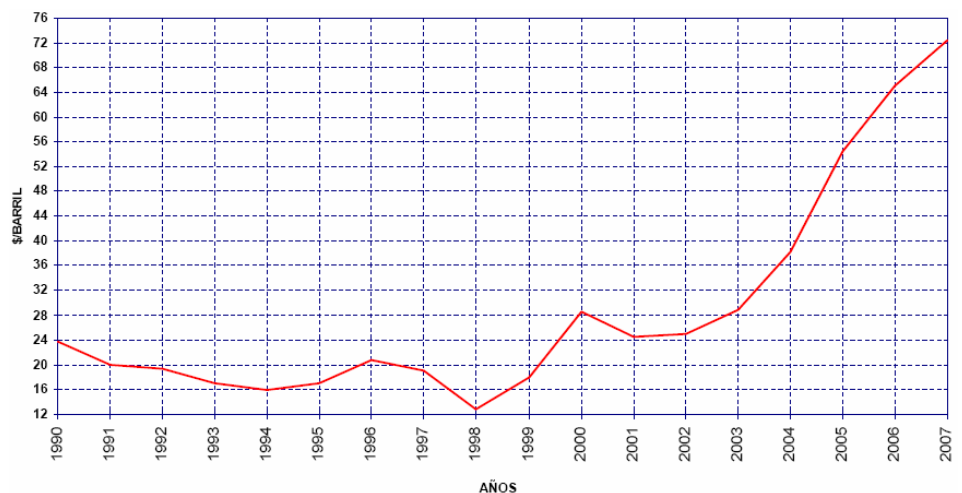
- Como consecuencia de lo anterior y de la llegada de nuevas tecnologías, las legislaciones locales, regionales, nacionales e internacionales comienzan a ser más restrictivas en todo lo relacionado con la contaminación atmosférica. Existen ejemplos abundantes en Europa donde se han llevado a cabo en los últimos años los mayores avances en este terreno.
- Existen alternativas de obtención de energía limpias para el vehículo eléctrico en cuanto a la eliminación de las emisiones directas provenientes de la propulsión de los automóviles: energía distribuida a través de la red tradicional de distribución eléctrica o, por ejemplo, energía de células de combustible basadas en el hidrógeno. Aunque a medio y largo plazo, la alternativa que más reduce las emisiones indirectas en la generación de energía es la que proviene de las redes tradicionales de distribución eléctrica que conta-



rán con una mayor componente de generación desde energías renovables, mientras que la generación de hidrógeno siempre necesitará el concurso de combustibles fósiles.

- **Factores económicos:**

- Entre los aspectos de competitividad más importantes para la industria está el hecho de evitar la dependencia en cuanto a las fuentes energéticas que, en muchos casos, suponen una parte importante del coste de los productos. El hecho de disponer de fuentes renovables de energía hace que la implantación de vehículos eléctricos, como consumidores fundamentales de esas fuentes, suponga un aliciente para su desarrollo.
- La inestabilidad de los diversos aspectos geopolíticos en diversas partes del mundo y el alto grado de condicionamiento de los parámetros económicos a dichos aspectos, hace que se favorezcan las políticas de independencia energética.



**Figura 5.2.** Histórico de la evolución del precio del barril de petróleo.

- **Factores estratégicos:**

- El gran desarrollo experimentado en los últimos años en ingeniería y nuevos materiales a nivel internacional ha hecho

que se hayan puesto en marcha y realizado muchos proyectos de desarrollo de tecnologías para vehículos eléctricos y, se puede decir que, en la actualidad, se cuenta con una base muy sólida para desarrollar este mercado.

- La combinación de las fortalezas del sector del automóvil con la importancia del sector eléctrico o energético en general, puede traer importantes sinergias de objetivos y estrategias que contribuyan al desarrollo de un mayor bienestar de la sociedad y un mejor aprovechamiento de los recursos naturales del planeta.

### 5.3. Las energías renovables y el almacenamiento energético

La introducción de los vehículos eléctricos en las ciudades va a suponer además una inversión en nueva infraestructura eléctrica que permita, entre otros aspectos, llevar suficiente potencia y energía a los diferentes puntos de estaciones de recarga eléctricas.

Históricamente, las redes eléctricas se han basado en grandes centrales generadoras que suministran la energía a los usuarios finales a través de las redes de transmisión y distribución establecidas desde hace muchos años. Este modelo tradicional ha funcionado muy bien a efectos de proporcionar una energía de manera fiable y segura. Pero la demanda de aumento de la participación de las energías renovables está cambiando la naturaleza de las redes. Un cada vez mayor porcentaje de la energía utilizada será proporcionada por parques eólicos o huertos solares que, frecuentemente, se encuentran lejos de las ciudades. Además, surgirán esquemas locales de generación de energía eléctrica y calor a nivel de comunidades de vecinos que se harán cada vez más comunes en las redes de distribución.

Para asegurar que este nuevo tipo de redes pueda recibir energía de calidad desde fuentes tan diversas y, al mismo tiempo, suministrar de manera fiable la potencia necesaria a los usuarios, será necesario incorporar la gestión inteligente a todo este entramado. Aquí es donde surge la necesidad de almacenar energía.

El almacenamiento de energía en baterías juega tres papeles fundamentales:





- **Energía siempre disponible**

Las baterías permiten disponer de energía en cualquier momento, independientemente de cuándo se genera. Esta propiedad resulta altamente valiosa para las energías renovables, que dependen fuertemente de factores ambientales como la luz solar y el viento. Unos paneles fotovoltaicos o unos molinos eólicos generan energía en el momento en el que las fuentes naturales están disponibles y, es en ese tiempo, cuando alimentan los diferentes servicios conectados a la red. Sin embargo, cuando no hay luz solar o cuando el viento se para, los servicios pueden quedar desatendidos. Y, por otro lado, puede ocurrir que la generación, en un momento determinado, sea superior a la necesidad concreta del momento, y sobre energía.

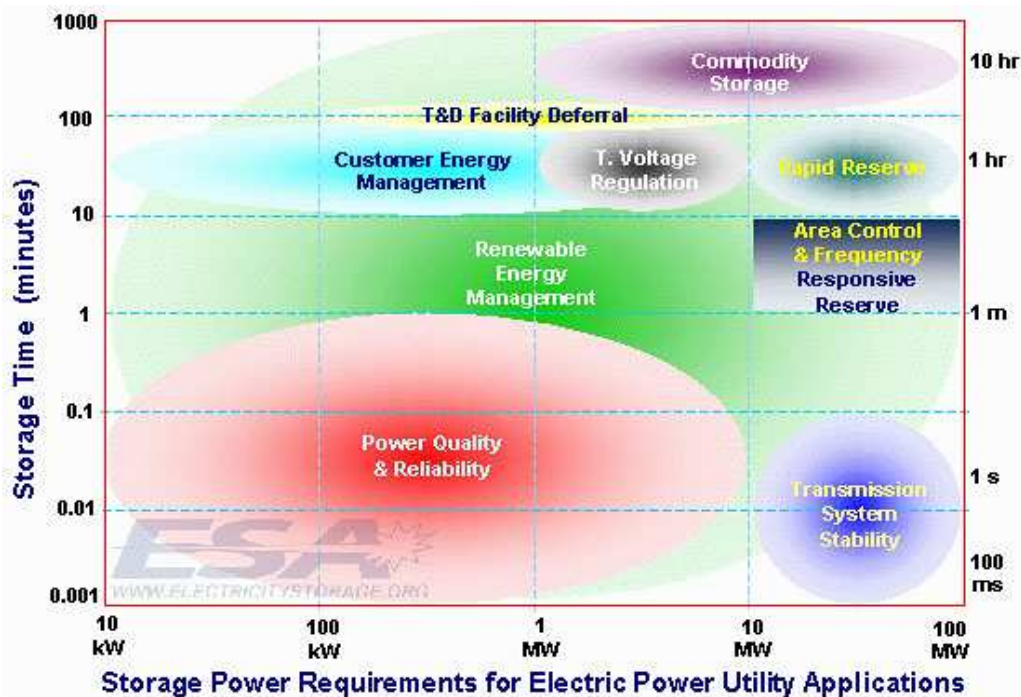
Las baterías sirven para equilibrar las diferencias existentes entre la oferta y la demanda, tanto en cuanto al momento en que se solicitan como en cuanto al coste asociado a la energía suministrada en un momento determinado. Las baterías pueden almacenar un exceso de generación cuando no se necesita y suministrarlo a la red en el momento de mayor demanda, aunque el sistema de generación se encuentre en las condiciones operativas más adversas.

- **Ajustes de potencia**

Existen multitud de situaciones que provocan una fluctuación importante de las necesidades de potencia del sistema eléctrico en un momento puntual. En la Fig. 5.3 se presentan las situaciones más habituales en este tipo de servicios.

Cada situación requiere una solución de almacenamiento diferente. Así:

- *Fiabilidad y calidad del suministro:* se refieren a situaciones que duran menos de unos pocos segundos con potencias implicadas de entre 0,1 y 1 MW. En estos casos, la batería garantiza un suministro continuo con voltajes estables en los rangos aceptables para el servicio.
- *Estabilidad de la red de transmisión:* se refieren a situaciones que duran menos de un segundo con potencias impli-



Data from Sandia Report 2002-1314

**Figura 5.3.** Diferentes situaciones que provocan fluctuaciones de potencia frente a los requerimientos de almacenaje de energía necesarios para hacerlas frente.

casos de entre 10 y 100 MW. En estos casos, la batería absorbe las posibles fluctuaciones de la red normal y el cliente no sufre las inconveniencias causadas por las mismas.

- *Gestión de las energías renovables:* se refieren a situaciones que duran entre uno y diez minutos con potencias implicadas de entre 0,1 y 10 MW. En estos casos, las baterías almacenan la energía sobrante en los momentos de mayor generación para suministrarla en los momentos de mayor necesidad, normalmente debidos a las diversas situaciones climatológicas.
- *Instalaciones locales de control de transporte y distribución:* se refieren a situaciones que duran de una a dos horas con potencias implicadas de entre 0,1 y 10 MW. En estos casos, las baterías actúan como gestores controladores de la generación y el consumo simultáneos, ofreciendo una continuidad estable al sistema de la red, tanto en cuanto a la demanda como en cuanto a la oferta.
- *Gestión energética por parte de los clientes:* se refieren a situaciones que duran en el entorno de una hora con po-



tencias implicadas de entre 0,1 y 1 MW. En estos casos, las baterías sirven como instrumento de gestión privada para homogeneizar y rentabilizar instalaciones locales mediante el aprovechamiento de la energía en sus puntos de menor coste, a elección total del usuario final.

- *Regulación del voltaje:* se refieren a situaciones que duran en el entorno de una hora con potencias implicadas de entre 1 y 10 MW. En estos casos, la batería ofrece al sistema de red una herramienta de homogeneización del voltaje para que todos los servicios reciban una tensión similar y constante y no sufran de cortes o pérdidas de eficiencia.
- *Almacenamiento para el comercio:* se refieren a situaciones que duran varias horas con potencias implicadas superiores a 1 MW. En estos casos, las baterías permiten al usuario decidir cuándo comprar y vender energía, beneficiándose de los diferentes precios que ésta presenta a lo largo de un día completo.
- *Reserva de energía de rápida disponibilidad:* se refieren a situaciones que duran en el entorno de una hora con potencias implicadas de entre 10 y 100 MW. En estos casos, la batería presta un servicio urgente para una necesidad concreta e inmediata de energía, normalmente no prevista en el esquema de servicio habitual, y evita una desatención de la red a un servicio.
- *Control de reserva y de frecuencia de la red:* se refieren a situaciones que duran unos pocos minutos con potencias implicadas de entre 10 y 100 MW. En estos casos, como en el caso de la regulación de voltaje, la batería es el instrumento que mantiene los parámetros de la red en unos valores acordes al servicio que alimenta.

### • Estabilidad de la red

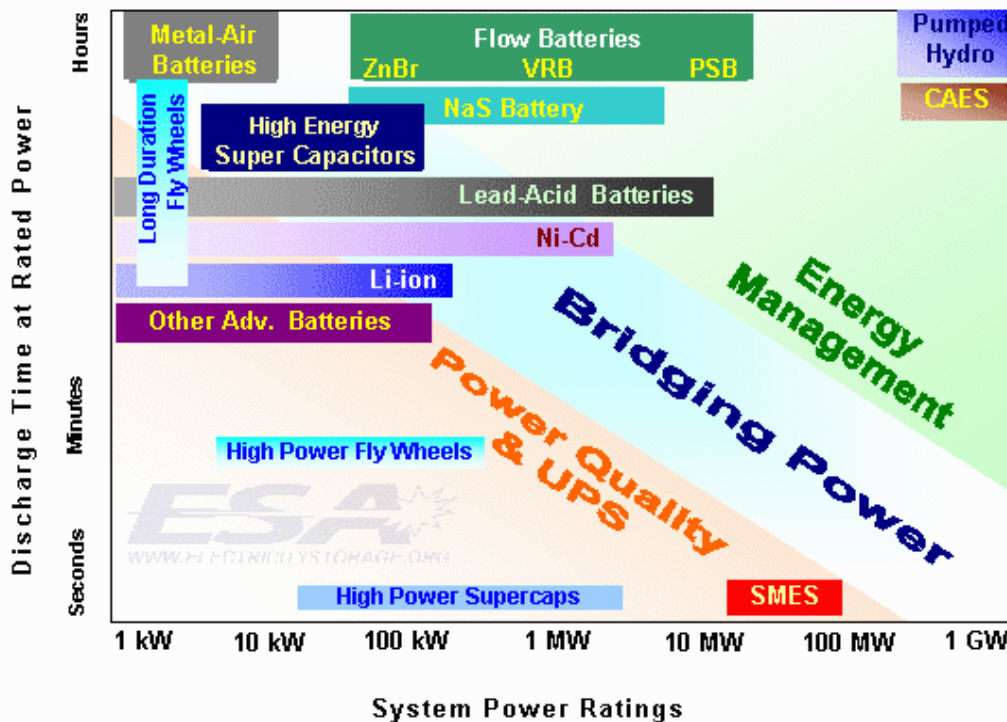
La energía almacenada en baterías se suministra con unos valores de voltaje y potencia perfectamente controlables. Uno de los principales quebraderos de cabeza de cualquier empresa destinada al suministro energético consiste en ser capaces de ofrecer



a los clientes un producto con unos valores constantes de calidad.

Con el suministro directo desde las fuentes generadoras, existe tal casuística que resulta tremendamente difícil, por no decir imposible, garantizar unos valores de voltaje y frecuencia estables a lo largo de un período de tiempo necesario para la firma de un contrato a medio o largo plazo. Las baterías garantizan ese suministro dentro de los parámetros requeridos por el cliente. Una batería se puede dimensionar de acuerdo a unas necesidades específicas y es el instrumento ideal que permite al cliente y al suministrador fijar unas condiciones comerciales estables y claramente definidas.

Todos los puntos descritos más arriba llevan a la conclusión de que las baterías permiten afrontar la implantación de las estrategias de introducción de los vehículos eléctricos en el entorno urbano de una manera eficaz y fiable. Y eso, independientemente de la tecnología de batería que se vislumbra en un futuro más o menos cercano.



**Figura 5.4.** Tecnologías de almacenamiento energético actuales y previstas para el desarrollo de los vehículos eléctricos en entorno urbano.



El valor real del almacenamiento energético para la implantación de los vehículos eléctricos en las ciudades, se puede explicar según los siguientes aspectos, para los diferentes agentes implicados en el sistema:

- **Aspectos locales:** una comunidad relativamente pequeña puede ser completamente autosuficiente para mantener una flota de vehículos con un número determinado de unidades dimensionando su estructura de generación de energía eléctrica y de almacenamiento de la misma, para cubrir los casos siguientes:
  - Falta de suministro eléctrico de la red general o por inclemencias del tiempo (es el caso de generación mediante fuentes de energía renovables).
  - Incremento del coste de la energía mediante la utilización de las baterías para compensar las horas pico (mayor coste) con el empleo de la energía almacenada en la batería con las horas valle (momento ideal para recargar la batería por el menor coste de la energía).
  - Obtención de financiación extra mediante la venta al sistema general de la energía sobrante generada mediante fuentes renovables, cuando la demanda así lo requiera.
- **Operador de la red:** necesitado de una mayor información de la oferta y la demanda puntual de energía para ser capaz de dimensionar las infraestructuras a las necesidades reales del mercado:
  - Reducción del pico de demanda, complementando con baterías la potencia necesaria puntual e instantánea en un servicio que evite la inversión en mayores infraestructuras fijas en lugares donde la demanda sea muy variable.
  - Oferta de una energía de gran calidad, con una respuesta inmediata que permita incrementar el valor percibido de la misma y, por tanto, su precio en el mercado.
  - Eliminación de fluctuaciones de la red con los consiguientes costes de tipo operativo.
  - Gestión inteligente de la energía haciendo más eficiente la generación frente a la demanda y, con ello, el margen percibido por la misma.

- Alimentación de servicios auxiliares con el mismo sistema que, muchas veces, conlleva la inversión en equipos autónomos de difícil justificación y amortización pero imprescindibles para garantizar el suministro.
- **Otros agentes económicos:** el incremento de las energías renovables en el mix energético nacional y regional conlleva una necesidad de utilización eficaz y efectiva de estos sistemas de generación. El ahorro energético y la eficiencia de este tipo de sistemas se ven claramente incrementados con el empleo de baterías recargables como instrumentos que permiten una mejor gestión de la oferta y la demanda. Autoridades, la comunidad financiera y la sociedad en general necesitan una gestión eficiente de la energía.

Mientras tanto, el vehículo eléctrico y las estrategias de implantación del mismo, no deben estar ausentes de la evolución de esta serie de desarrollos en el sector energético. Por ello, los trabajos que se están llevando a cabo en el campo de las baterías electroquímicas juegan un papel fundamental para la consecución de soluciones eficientes. Y dentro de estas soluciones eficientes, se están barajando diversas posibilidades que, en algún momento, deberán ser puestas en común para establecer una especificación o definición clara sobre los requerimientos que se demanden de las baterías para este tipo de aplicaciones. Algunos ejemplos de requerimientos ligados a los desarrollos de algunas tecnologías de baterías son los siguientes:

- Altos valores de prestaciones: densidad energética, alta potencia, larga duración en ciclos de carga y descarga, funcionamiento a temperaturas extremas, recarga rápida, bajo precio, etc.
- Capacidad de comunicación con el sistema: baterías capaces de informar sobre su estado y situación para recibir las oportunas instrucciones desde una unidad gestora inteligente sobre qué deben hacer en cada momento y cómo hacerlo.
- Sistemas de baterías capaces de combinar diferentes fuentes de generación vinculadas a un solo sistema de almacenamiento, con múltiples salidas para diversas aplicaciones con demanda energética al mismo tiempo.





## Guía del Vehículo Eléctrico

- Sistemas de almacenamiento energético vinculados financieramente a la vida del sistema global para una mejor gestión y aprovechamiento económico del almacenamiento de energía.
- Baterías, dentro de los vehículos eléctricos, capaces de actuar como suministradores eléctricos a otros servicios comunitarios en períodos de deficiencias de la red habitual de los mismos. Ya que se tienen varios vehículos en una comunidad, si no se usan en un momento determinado, la energía almacenada en los mismos puede emplearse en otras tareas.
- Capaces de actuar como elementos fundamentales de un sistema residencial complejo habilitado para la gestión global de la entrada y el consumo de energía necesaria para los servicios existentes.

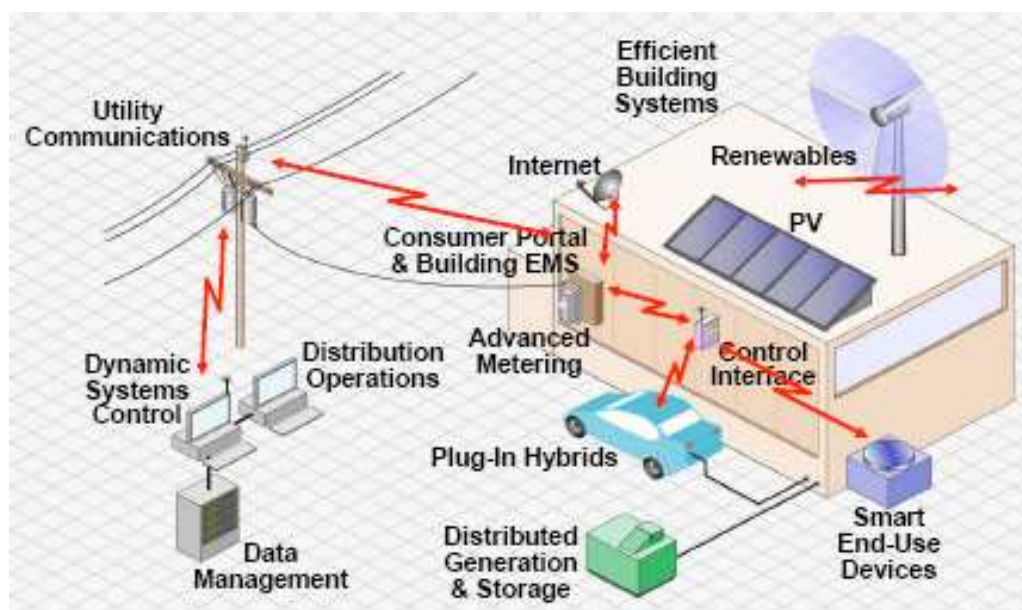
Bajo estos parámetros de funcionamiento y gestión, parece claro que una de las primeras aplicaciones de las baterías como sistemas de almacenamiento energético en entorno urbano será en aquellos casos donde se disponga de una flota de vehículos que funcionen bajo unos estándares de eficiencia energética conectados a otros servicios estacionarios o de tracción, con el objetivo puesto en el ahorro energético, la conservación y respeto por el medio ambiente y la reducción de la factura de la energía.

Bajo este prisma, y puestos a soñar, si se introduce dentro de la ecuación energética que supone la implantación de los vehículos eléctricos en las ciudades, al resto de los desarrollos que aparecen en la actualidad, bien sea vía legislativa o bien vía de evolución tecnológica, el panorama que se podría observar sería algo parecido a la Fig. 5.5.

## 5.4. Las baterías recargables para vehículos eléctricos

Este documento quedaría incompleto si no se mencionasen brevemente las diferentes tecnologías electroquímicas existentes en la actualidad que puedan acompañar la implantación de los vehículos eléctricos en entorno urbano al empleo de las energías renovables.

Aunque si bien es cierto que últimamente han sido desarrolladas diferentes tecnologías para el almacenamiento de la electricidad en los llamados supercondensadores, volantes de inercia, etc., las tradicio-



**Figura 5.5.** Modelo de implantación de los vehículos eléctricos en entorno urbano.

nalmente llamadas baterías ofrecen las características adecuadas para una evolución óptima de las estrategias necesarias para la implantación de nuevos sistemas de movilidad en las ciudades.

Las baterías secundarias o recargables se utilizan hoy en día en diversas aplicaciones. Las más habituales son las aplicaciones de arranque de automóviles, equipos de manutención de carretillas y potencia de emergencia y de reserva. Las baterías secundarias pequeñas también tienen cada vez más utilización en aparatos eléctricos portátiles, como herramientas, juguetes e iluminación, y aparatos electrónicos como los fotográficos, las radios y, sobre todo, la electrónica de consumo (ordenadores, videocámaras, teléfonos móviles).

Más recientemente, las baterías secundarias han sido objeto de un interés renovado como fuentes de alimentación de vehículos eléctricos e híbridos eléctricos. Se han puesto en marcha importantes programas de desarrollo con el objetivo de mejorar el rendimiento de los sistemas de baterías existentes y desarrollar nuevos sistemas que cumplan las estrictas especificaciones de estas nuevas aplicaciones.

Las aplicaciones de baterías secundarias se encuadran en dos categorías principales:

- Aquellas aplicaciones en que se utiliza la batería secundaria como dispositivo de almacenamiento de energía, cargada por



una fuente de energía principal y que suministra su energía a la carga requerida, cuando la fuente de energía principal no está disponible o no sea la adecuada para satisfacer los requisitos de carga. Algunos ejemplos son los sistemas de automoción y de aeronaves, alimentación ininterrumpida y fuentes de alimentación de reserva, así como aplicaciones híbridas.

- Aquellas aplicaciones en que se descarga la batería secundaria (con uso semejante a la batería primaria o no recargable) y se recarga tras la utilización, tanto en el equipo en el que se hizo la descarga como separadamente. Se da esta utilización a las baterías secundarias por conveniencia, para reducir costes (ya que se pueden recargar en lugar de sustituir) o para drenajes eléctricos que excedan la capacidad de las baterías primarias. Esta categoría abarca la mayoría de la electrónica de consumo, vehículos eléctricos, de tracción, carretillas y algunas aplicaciones de baterías estacionarias.



**Foto 5.1.** Ejemplo de baterías recargables de litio-ión.

Las baterías secundarias acuosas convencionales se caracterizan, además de por su posibilidad de recarga, por una elevada densidad de potencia, perfiles de descarga planos y un buen rendimiento a altas y bajas temperaturas. Sin embargo, su densidad de energía y energía específica suelen ser más bajas, y su retención de carga es menor que en los sistemas de baterías primarias.

Las baterías recargables, como las tecnologías de litio-ión, tienen, sin embargo, densidades de energía más elevadas, una mejor retención de carga y otras mejoras en el rendimiento caracterizadas por la utilización de materiales más energéticos. La densidad de potencia se puede ver perjudicada debido al uso de diversos compuestos en el electrolito con una conductividad más baja que el electrolito acuoso. Esto se ha compensado con la utilización de electrodos con una elevada área superficial.

Las baterías secundarias existen desde hace más de 100 años. En 1859, Plante fabricó las primeras baterías de plomo-ácido. Sigue siendo la batería más utilizada, aunque con numerosas modificaciones y mejoras en su diseño, principalmente en las baterías de arranque de automóviles. La batería alcalina de hierro-níquel fue utilizada por Edison en 1908 como fuente de alimentación para los primeros automóviles eléctricos. Ocasionalmente, se utilizó en carretillas, vehículos de trabajo subterráneo, vagones de ferrocarriles y aplicaciones estacionarias. Sus ventajas consistían en la durabilidad y en su largo tiempo de utilización, pero fue perdiendo la cuota de mercado debido a su elevado coste, sus requisitos de mantenimiento y su baja energía específica.

Las baterías de níquel-cadmio de placas de bolsa se fabrican desde 1909 e inicialmente se utilizaban para aplicaciones de uso industrial. Los diseños de placas sinterizadas, importantes en la mejora de la capacidad de potencia y de la densidad de energía, abrieron el mercado del arranque de motores de aeronaves y aplicaciones para comunicaciones en la década de 1950. Más tarde, el desarrollo de la batería hermética de níquel-cadmio llevó a que se difundiera su uso en aplicaciones portátiles y de otros tipos. El dominio de esta tecnología en el mercado de los dispositivos portátiles recargables fue inicialmente suplantado por las baterías de níquel-hidruros metálicos y, recientemente, por las baterías de litio-ión, que presentan una energía específica y densidad de energía más elevadas.

Tal como ocurre en los sistemas de baterías primarias, han tenido lugar significativas mejoras relativas al funcionamiento de las baterías secundarias más antiguas, y muchos de los tipos más recientes, como las baterías de plata-cinc, níquel-cinc, níquel-hidrógeno y litio-ión, se han introducido en el uso comercial o están siendo objeto de avanzados desarrollos. Gran parte del trabajo de desarrollo en los nuevos sistemas se ha apoyado en la necesidad de baterías de alto rendimien-







**Foto 5.2.** Ejemplo de baterías recargables de níquel-cadmio.

to para aplicaciones electrónicas portátiles de consumo y vehículos eléctricos.

La energía específica y densidad de energía de las baterías portátiles recargables de níquel-cadmio no tuvieron mejoras significativas durante la última década, y actualmente se encuentran en 35 Wh/kg y 100 Wh/l, respectivamente. Mediante el uso de nuevas aleaciones para almacenamiento de hidrógeno, se ha obtenido un mejor rendimiento de las baterías de níquel-hidruros metálicos, que suministran 75 Wh/kg y 240 Wh/l. A finales de la década de 1990 tuvo lugar una importante mejora en los sistemas de litio-ión, gracias al uso de material carbónico en el electrodo negativo con una capacidad específica mucho más elevada. Estas baterías suministran actualmente una energía específica de 150 Wh/kg y una densidad de energía de 400 Wh/l, en los modelos cilíndricos pequeños utilizados para las aplicaciones electrónicas de consumo. Las pilas de tamaño AA recargables de



dióxido de manganeso de litio se retiraron del mercado a finales de los años 90 y, aunque en este campo se siguen llevando a cabo investigaciones y desarrollos importantes, de momento no existen productos disponibles para su comercialización.



**Foto 5.3.** Ejemplo de batería recargable de níquel-hidruros metálicos empleada en vehículos eléctricos e híbridos.

En el mercado mundial de las baterías secundarias, la batería de plomo-ácido es la más utilizada, en su gran mayoría, en el sector del arranque de automóviles. Esta cuota está disminuyendo paulatinamente debido a la cada vez mayor utilización de aplicaciones para otros tipos de baterías. La cuota de mercado de las baterías alcalinas es de alrededor del 25%. Una de las áreas de mayor crecimiento consiste en las aplicaciones para el usuario, sin ser de automoción, para las baterías secundarias pequeñas. En el último decenio, la utilización de las baterías de litio-ión ha crecido hasta el punto de alcanzar el 50% de la cuota de mercado de las baterías herméticas de consumo de pequeñas dimensiones. Las características y aplicaciones habituales de las baterías secundarias se resumen en la Tabla 5.1.





**Tabla 5.1.** Principales características y aplicaciones de las baterías recargables.

| SISTEMA                                | CARACTERÍSTICAS  | APLICACIONES   |
|--|--|--|
| <b>Plomo-ácido: automoción</b>         | Bajo coste, rendimiento moderado con baja energía específica y a baja temperatura; sin mantenimiento.          | Arranque de automóviles, carros de golf, cortacéspedes, tractores, aeronaves, marina.  |
| <b>Plomo-ácido: tracción (motores)</b> | Diseñadas para descargas intensas de 6 a 9 h, servicio en ciclos.  | Carretillas, manejo de materiales, vehículos eléctricos e híbridos eléctricos, tipos especiales para energía submarina.  |
| <b>Plomo-ácido: estacionario</b>       | Diseñadas para una flotación en espera, larga duración, diseños VRLA.  | Energía de emergencia, servicios auxiliares, telecomunicaciones, SAls, nivelación de carga, almacenamiento de energía.   |
| <b>Plomo-ácido: portátil</b>           | Herméticas, sin mantenimiento, bajo coste, carga en flotación, ciclo de vida moderado.                         | Herramientas portátiles, aparatos y dispositivos pequeños, televisiones y equipos electrónicos portátiles.   |
| <b>Níquel-cadmio: industrial</b>       | Buena capacidad a alta frecuencia y baja temperatura, tensión plana, ciclo de vida excelente.                  | Baterías para aeronaves, aplicaciones industriales y de emergencia, equipos de comunicación.   |
| <b>Níquel-cadmio: portátil</b>         | Herméticas, sin mantenimiento, buen rendimiento a alta frecuencia y baja temperatura, ciclo de vida excelente. | Equipos ferroviarios, electrónica de consumo, herramientas portátiles, buscapersonas, dispositivos, equipos fotográficos, potencias de reserva, memorias de seguridad. |
| <b>Níquel-hidruros metálicos</b>       | Herméticas, sin mantenimiento, más capacidad que las baterías de níquel-cadmio.                                | Electrónica de consumo y otras aplicaciones portátiles, vehículos eléctricos e híbridos eléctricos.  |
| <b>Hierro-níquel</b>                   | Duraderas, de fabricación resistente, larga vida útil, baja energía específica.                                | Manejo de materiales, aplicaciones estacionarias, vagones ferroviarios.  |
| <b>Níquel-cinc</b>                     | Elevada energía específica, corto ciclo de vida y gran capacidad.  | Bicicletas, motocicletas, motores de arrastre.   |
| <b>Plata-cinc</b>                      | Energía específica más elevada, muy buena capacidad a alta frecuencia, bajo ciclo de vida, coste elevado.      | Electrónica portátil ligera y otros equipos, aviones telet controlados, submarinos, otros equipos militares, vehículos lanzaderas y sondas espaciales.                 |
| <b>Plata-cadmio</b>                    | Elevada energía específica, buena retención de carga, ciclo de vida moderado, coste elevado.                   | Equipos portátiles que requieren una batería ligera y de alta capacidad, satélites espaciales.   |

| SISTEMA  | CARACTERÍSTICAS  | APLICACIONES  |
|--|--|---|
| <b>Níquel-hidrógeno</b>  | Largo ciclo de vida bajo descargas poco profundas, larga duración.   | Especialmente para aplicaciones aeroespaciales, como los satélites LEO y GEO.   |
| <b>Tipos “primarios” recargables a temperatura ambiente [Zn/MnO<sub>2</sub>]</b> | Bajo coste, buena retención de carga, herméticas, sin mantenimiento, ciclo de vida y duración de descarga limitados. | Aplicaciones de pilas cilíndricas, sustitución recargable para baterías primarias alcalinas, electrónica de consumo (temperatura ambiente). |
| <b>Liño-ión</b>  | Elevada energía específica y densidad de energía, largo ciclo de vida.   | Equipos electrónicos portátiles y de consumo, vehículos eléctricos y aplicaciones espaciales.   |



## 5.5. Conclusiones

Las principales conclusiones son las siguientes:

- Existe una clara necesidad y tendencia a la racionalización del tráfico en las ciudades. La introducción del concepto del vehículo eléctrico en el entorno urbano representa una alternativa real a esta demanda.
- El almacenamiento de energía eléctrica en baterías es un sistema limpio y amigable con el entorno y permite disponer de potencia dónde y cuándo se necesita.
- El almacenamiento descentralizado de energía ofrece un gran valor añadido a los diferentes agentes responsables de la introducción del vehículo eléctrico en entorno urbano.
- Existen varias soluciones de almacenamiento energético en baterías que van desde los pocos kW hasta los MW en términos de potencia y desde segundos hasta días en términos de tiempos de descarga.
- El almacenamiento energético en baterías claramente ayuda a la penetración del uso de las energías renovables en entorno urbano.
- El almacenamiento de energía facilita la estabilización de redes de distribución descentralizadas.



## 5.6. Bibliografía

- LINDEN, D. y REDDY T.B.(1995). “Handbook of batteries”. McGraw-Hill, third edition.
- LIPPERT, M. (2009). Revista Saft International. N. 25.
- Varios (2009). Revista Automática e instrumentación. N. 405.
- LIPPERT, M. (2009). Revista “Cogeneration and On-site power production”.

## 6

## BATERÍAS RECARGABLES AVANZADAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## 6.1. Introducción

Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> para combatir el cambio climático, mejorar la calidad del aire en las grandes ciudades y disminuir la dependencia del petróleo, son tres de los retos más importantes a los que se enfrenta nuestra sociedad en el inicio del siglo XXI.

La electrificación del transporte, es decir, el desarrollo de vehículos eléctricos (VEs), se postula como una de las alternativas más atractivas para alcanzar estos objetivos. Los VEs son más eficientes que los vehículos clásicos de combustión interna, baste decir que el motor eléctrico puede ser hasta cuatro veces más eficiente que el motor térmico. Además, los VEs son más respetuosos con el medio ambiente. Se estima que la utilización de vehículos eléctricos híbridos (VEHs) permitirá reducir más de un 30% los niveles de emisión de CO<sub>2</sub>.

En el caso de los vehículos eléctricos movidos por baterías (VEBs), sus emisiones son nulas en su punto de uso, por tanto, su uso generalizado en grandes ciudades disminuiría de forma muy importante la contaminación del aire en ellas. La utilización de vehículos eléctricos a gran escala permitirá, además, establecer valiosas sinergias con las energías renovables. Así, para los VEBs que se carguen con electricidad de origen renovable, su contaminación total, incluyendo la producida en origen, será prácticamente nula. La carga de los VEs en horas valle mejorará la gestionabilidad de las energías renovables que actualmente está cuestionada. Por otro lado, la electrificación del transporte empleando energías renovables permitirá reducir la dependencia del petróleo.

Las baterías son un componente fundamental en los VEs, ya que son las responsables de almacenar y suministrar la energía eléctrica que estos vehículos necesitan para su funcionamiento. Las características de los VEs tales como autonomía, velocidad máxima, tiempo de recarga, coste, etc., van a depender fuertemente de la tecnología de baterías que se haya utilizado en el diseño y fabricación del vehículo. Por todo ello, la temática de las baterías recargables es una de las más importantes en el campo de los vehículos eléctricos. En este capítulo, se presentarán unas nociones básicas sobre baterías recargables.





## Guía del Vehículo Eléctrico

A continuación, se revisarán las baterías de (i) plomo-ácido, (ii) níquel-hidruro metálico e (iii) ión-litio, ya que son las más utilizadas en los VEBs y en los VEHs que se comercializan actualmente.

### 6.1.1. Baterías recargables: generalidades

Una batería recargable o acumulador es un dispositivo capaz de almacenar energía eléctrica mediante reacciones electroquímicas de oxidación/reducción. Las baterías son generadores secundarios, es decir, no pueden funcionar sin que se les haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina, proceso de carga. Posteriormente, la energía química de los materiales activos de los electrodos se puede transformar directa y espontáneamente en energía eléctrica mediante reacciones red-ox reversibles. Estas reacciones red-ox llevan necesariamente asociada una transferencia de electrones entre los reactivos. En el caso de las reacciones red-ox electroquímicas, dicha transferencia electrónica tiene lugar a través de un circuito exterior donde se incluye la aplicación a la cual se le suministra electricidad.

La unidad básica de una batería es la celda electroquímica, también denominada elemento; de tal manera que una batería está formada por dos o más elementos. Para aumentar el voltaje y/o la capacidad del acumulador, estos elementos se conectan en serie, en paralelo o en una combinación de ambas formas. Las celdas electroquímicas están formadas por dos electrodos separados por un electrolito. En general, los electrodos son materiales compuestos (“composite”) formados por: (i) el material electroquímicamente activo, (ii) un conductor electrónico encargado de asegurar la transferencia de electrones al/desde el material activo y (iii) un polímero que mejora las propiedades mecánicas del electrodo “composite”. En el electrodo negativo se dispone el material activo con menor potencial red-ox y en el electrodo positivo el compuesto con mayor potencial.

En este capítulo, y para simplificar el lenguaje, al electrodo positivo también se le nombrará como cátodo y al electrodo negativo, ánodo. Para establecer la conexión entre los electrodos y los bornes de la celda se emplean los colectores de corriente, que son generalmente metales. Respecto al electrolito, en la mayoría de las baterías comerciales es un líquido que presenta una elevada conductividad iónica y, además, es aislante electrónico. Para confinar el electrolito dentro de

las celdas, éste se embebe en un separador, el cual también evita que entren en contacto directo los dos electrodos.

### 6.1.2. Parámetros electroquímicos de las baterías recargables

Las prestaciones de una batería van a depender en gran medida de las características que tengan las celdas o elementos utilizados para su fabricación. Los parámetros electroquímicos más ampliamente utilizados para caracterizar una celda o una batería son:

**(i) Fuerza electromotriz, voltaje o potencial (E).** El voltaje de una celda electroquímica viene dado por la diferencia entre los potenciales red-ox de los materiales activos del cátodo y del ánodo. Es muy importante disponer de celdas con alto potencial, ya que permiten disminuir el número de elementos que se deben conectar en serie para aumentar el voltaje nominal de la batería. La fuerza electromotriz de las celdas y las baterías se mide en voltios.

**(ii) Capacidad específica (Q).** La capacidad es el parámetro que indica la cantidad total de carga eléctrica que es capaz de almacenar la batería. La unidad comúnmente utilizada para expresar la capacidad es el amperio-hora (Ah). Cuando se comparan diferentes tecnologías de baterías, es muy útil normalizar el valor de la capacidad a la masa total ( $\text{Ahkg}^{-1}$ ) o al volumen total ( $\text{Ahl}^{-1}$ ) de la batería. Ambas normalizaciones son significativas, ya que tanto el peso como el volumen total de la batería son dos magnitudes que es importante reducir para una óptima aplicación de la batería en VEBs y en VEHs.

**(iii) Energía específica (W).** La energía específica indica la cantidad total de energía eléctrica que se puede almacenar en la batería. Este parámetro electroquímico es muy importante ya que reúne a los dos anteriormente indicados. Así, la energía específica másica de una batería se calcula como  $W_m = E \cdot Q / \text{peso de la batería}$ . La energía específica volumétrica, también denominada densidad de energía, se determina a partir de la expresión  $W_v = E \cdot Q / \text{volumen de la batería}$ . Las unidades utilizadas para ambas energías son  $\text{Whkg}^{-1}$  y  $\text{Whl}^{-1}$ , respectivamente.

**(iv) Ciclos de vida.** Los ciclos de vida ("life cycle") de una batería son el número de ciclos de carga/descarga que se pueden llevar a cabo hasta que la capacidad de la batería sea el 80% de su valor nominal.





## Guía del Vehículo Eléctrico

Es altamente recomendable que las baterías tengan más de 500 ciclos de vida si han de ser usadas en vehículos eléctricos.

Conviene mencionar que a la hora de decidir cuál de las tecnologías de baterías es la más idónea para su utilización en VEBs o VEHs, aspectos tales como un bajo impacto medioambiental o que las baterías sean fácilmente reciclables, juegan un papel cada vez más determinante. Por último, disponer de baterías con un precio bajo o moderado, es otro parámetro muy importante a la hora de tomar una decisión.

## 6.2. Baterías de plomo-ácido

### 6.2.1. Historia

En 1859, el físico francés Gaston Plante, Fig. 6.1, realizó una serie de experimentos con el objetivo de desarrollar un dispositivo capaz de almacenar la electricidad. La primera celda que construyó constaba de dos láminas de plomo separadas por un tejido. Estos tres componentes los enrolló en espiral y los sumergió en ácido sulfúrico al 10%. Un año más tarde, Plante presentó en la Academia de Francia la primera batería de Pb-ácido que incluía diez de estos elementos, Fig. 6.1.



**Figura 6.1.** Gastón Plante, inventor de la batería de plomo-ácido. Acumulador de 10 elementos que presentó en la Academia de Francia en 1860 y batería de Pb-ácido de última generación mostrando la geometría en espiral de los componentes dentro de cada elemento.

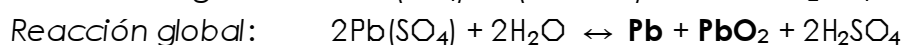
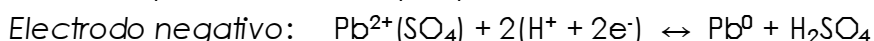
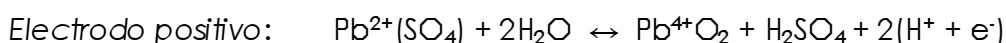


Desde 1960, se han introducido numerosas mejoras en este tipo de acumuladores. Estas mejoras incluyen aspectos muy diferentes, tales como: (i) el método de preparación del material activo de electrodo, (ii) la composición y/o la geometría de los colectores de corriente, (iii) la disposición de los electrodos en cada uno de los elementos, etc.

En la actualidad, el diseño más avanzado se corresponde con las denominadas "spiral wound valve-regulated lead-acid (VRLA) batteries" cuya principal novedad consiste en que se ha abandonado la disposición tradicional de electrodos en placas paralelas con el conjunto separador-electrolito entre ellas, por una nueva geometría en la cual los tres componentes están enrollados en espiral, Fig. 6.1. Curiosamente, después de casi 150 años de desarrollo, esta nueva geometría recuerda mucho a la utilizada por Plante en su primera batería de Pb-ácido. Con esta nueva geometría, se aumenta notablemente la potencia que es capaz de suministrar el acumulador. También se incrementa el número de ciclos que se pueden realizar para descargas profundas; es decir, cuando la capacidad suministrada por la batería se aproxima a su valor nominal.

## 6.2.2. Reacciones electroquímicas

Las reacciones reversibles que tienen lugar en cada uno de los elementos de una batería de Pb-ácido durante las etapas de carga/descarga son<sup>1</sup>:



Antes de pasar a describir las reacciones electroquímicas, conviene indicar que en las tres tecnologías que se revisan en este capítulo, los materiales activos de electrodo que se utilizan para la fabricación de la batería se corresponden con los compuestos que se forman cuando ésta está descargada; por ejemplo, en este caso, es el sulfato de plomo,  $\text{PbSO}_4$ . Por esta razón, las baterías se deben cargar antes de ser utilizadas. Durante la etapa inicial de carga, en el electrodo positivo se produce la oxidación del  $\text{Pb}^{2+}$  del sulfato de plomo ( $\text{PbSO}_4$ ) a



<sup>1</sup> En todas las tecnologías de baterías recargables tratadas en este capítulo, la reacción de carga tiene lugar de izquierda a derecha según las ecuaciones correspondientes.



## Guía del Vehículo Eléctrico

dióxido de plomo ( $\text{Pb}^{4+}$ ) con cesión de dos electrones. Estos electrones, en el electrodo negativo, reducen el  $\text{Pb}^{2+}$  del sulfato de plomo a plomo metálico ( $\text{Pb}^0$ ). Al final de esta etapa de carga se han formado *in situ* dentro de cada celda,  $\text{PbO}_2$  y  $\text{Pb}$  metálico. Estos dos compuestos son los auténticos materiales electroquímicamente activos de la batería de  $\text{Pb}$ -ácido. Respecto al electrolito, éste es una disolución acuosa de ácido sulfúrico al 37% en peso.

Durante la etapa de descarga, es decir, durante el funcionamiento de la batería, en el ánodo se produce espontáneamente la oxidación del plomo metálico a  $\text{Pb}^{2+}$ , con cesión de dos electrones. Este catión, en presencia de los iones sulfato del electrolito precipita inmediatamente sobre el electrodo formándose el sulfato de plomo, ( $\text{Pb}^{2+}\text{SO}_4$ ) inicial. Los electrones, tras suministrar energía eléctrica a la aplicación, reducen el  $\text{PbO}_2$  del cátodo a  $\text{Pb}^{2+}$ . Al igual que en el ánodo, se produce la rápida precipitación del sulfato de plomo en el electrodo. El voltaje nominal de las baterías de  $\text{Pb}$ -ácido es de 2,0 V. Su energía específica teórica es de  $83 \text{ Whkg}^{-1}$ , sin embargo, las baterías de  $\text{Pb}$ -ácido comerciales presentan bajos valores de energía entre 10 y  $40 \text{ Whkg}^{-1}$ .

### 6.2.3. Ventajas y limitaciones

Las principales ventajas de las baterías de  $\text{Pb}$ -ácido son:

- *Elevado voltaje.* Dentro de los acumuladores electroquímicos basados en electrolitos acuosos, son los que tienen un mayor voltaje nominal,  $E = 2,0 \text{ V}$ .
- *Elevada potencia.* Las baterías de  $\text{Pb}$ -ácido son capaces de suministrar una elevada intensidad de corriente y, por tanto, alta potencia. Esta propiedad se justifica por la rápida cinética de reacción en los electrodos de estas baterías. En VEBs esta propiedad es muy útil durante los periodos de aceleración del vehículo.
- *Tecnología fácil de implementar.* La fabricación de baterías de  $\text{Pb}$ -ácido se ve facilitada debido a que: (i) la pasta inicial de  $\text{PbO} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$  utilizada para la fabricación de ambos electrodos, cátodo y ánodo, es la misma, (ii) la conductividad eléctrica de los materiales activos de los electrodos ( $\text{Pb}$ ,  $\text{PbO}_2$ ) es elevada, por ello no es necesario añadir ningún componente adicional

para mejorar la respuesta eléctrica de los electrodos, (iii) los colectores de corriente y las conexiones eléctricas entre los elementos de la batería están realizados en plomo y (iv) en la actualidad, las fábricas de baterías de Pb-ácido han alcanzado un considerable grado de automatización.

- *Bajo coste.* Sin duda, la principal ventaja de las baterías de Pb-ácido es su bajo precio (100-125 \$/kWh). Actualmente, es la tecnología de acumuladores electroquímicos más barata del mercado y difícilmente va a dejar de serlo.
- *Tecnología madura.* La tecnología de las baterías de Pb-ácido, después de 150 años de desarrollo, es muy conocida y está contrastada.
- *Componentes fácilmente reciclables.* La tecnología para reciclar los componentes de las baterías de Pb-ácido está altamente desarrollada. Así, en España, se reciclan más del 95% de todas las baterías utilizadas.

En referencia a las limitaciones de las baterías de Pb-ácido, las más importantes son:

- *Baja energía específica.* De las tres tecnologías de acumuladores analizadas en este capítulo, las baterías de Pb-ácido son las que tienen menor energía específica (10-40 Whkg<sup>-1</sup>). Estos bajos valores son consecuencia del elevado peso de los compuestos de plomo que se utilizan en estas baterías.
- *Moderada ciclabilidad.* Cuando se hacen descargas profundas, es decir, cuando se utiliza la mayor parte de la capacidad de la batería, el número de ciclos de carga/descarga que pueden realizar las baterías de Pb-ácido es moderado, típicamente entre 400 y 800 ciclos. Esta limitación reduce la vida media de estas baterías cuando se utilizan en VEs.
- *Desprendimiento de gases.* Durante la etapa de carga de la batería se puede formar hidrógeno y oxígeno en los electrodos. El desprendimiento de hidrógeno entraña riesgo, ya que éste es un gas inflamable.
- *Fuerte impacto medioambiental.* Además del fuerte carácter





contaminante de los compuestos de plomo, algunas configuraciones de baterías de Pb-ácido incluyen antimonio y arsénico como componentes de la rejilla del colector de corriente. Estos elementos pueden dar lugar a estibina y arsina, compuestos de alta toxicidad.

### 6.2.4. Baterías de Pb-ácido con aplicación en coches eléctricos

Las baterías de Pb-ácido fueron las elegidas por los ingenieros de General Motors para impulsar su revolucionario modelo EV1, Foto 6.1. Este vehículo ocupa un puesto de honor en la historia de los coches eléctricos, ya que fue el primer VE que se comercializó en serie, en el año 1997. El bajo coste de las baterías de Pb-ácido y la madurez de su tecnología fueron las principales razones para que los responsables de GM utilizasen estas baterías en el EV1. La velocidad máxima de este vehículo era de 130 km/h y tenía una autonomía de 140 km. Estas prestaciones se consiguieron gracias a un sistema de baterías capaz de almacenar 16,3 kWh. Este sistema estaba formado por 26 acumuladores de Pb-ácido sin mantenimiento. Además, el EV1 tenía una aerodinámica muy avanzada que reducía el rozamiento del vehículo. Sin duda, el EV1 fue un vehículo adelantado a su tiempo. Desafortunadamente, su vida fue efímera pues, tras una decisión rodeada de una gran polémica, la empresa GM decidió retirar este modelo del mercado en el año 2004.



Reva-i



**Foto 6.1.** Fotografías del GM-EV1, primer vehículo eléctrico de baterías (VEB) que se comercializó en serie (año 1997) y del Reva-i, VEB más vendido actualmente. En la parte derecha se presenta una fotografía del sistema de baterías de Pb-ácido del Reva-i.

En la actualidad, las baterías de Pb-ácido se están utilizando en el coche eléctrico Reva-i, comercializado por la compañía indio-americana Reva Electric Car, Foto 6.1. Este modelo es el coche eléc-

trico urbano más vendido en el mundo. De dimensiones reducidas, el Reva-i ha sido diseñado para cubrir las necesidades de movilidad urbana, en especial, para situaciones con elevado tráfico y bajas velocidades. Está impulsado por un sistema de 8 baterías de Pb-ácido, Foto 6.1, con un voltaje nominal de 48 V, capacidad de 195 Ah y 9,36 kWh de energía específica. El tiempo de carga de las baterías en un enchufe convencional es de 8 horas. La autonomía del Reva-i está entre 65 y 80 km. Estos valores, aunque son reducidos, se consideran adecuados para una gran parte de los desplazamientos en ciudad. Además, resaltar que el consumo de este coche es muy bajo, se estima que el coste por cada 100 km recorridos es de aproximadamente 1 euro.

## 6.3. Baterías de níquel-hidruro metálico

### 6.3.1. Historia

Las baterías de níquel-hidruro metálico (baterías NiHM) se consideran la evolución de las baterías alcalinas de níquel-cadmio. Ambas tecnologías tienen en común el material activo de cátodo (oxihidróxido de níquel,  $\text{NiOOH}$ ) y el electrolito (hidróxido potásico,  $\text{KOH}$ ). El aspecto más novedoso de las baterías de NiHM es la sustitución del electrodo negativo de cadmio por una aleación metálica capaz de insertar hidrogeno electroquímicamente y de manera reversible.

En 1967, Lewis publicó una recopilación de datos que demostraban la inserción de hidrógeno en paladio. Posteriormente, en 1970, Junty y col. desarrollaron el primer electrodo reversible de hidruro metálico. Sin embargo, hubo que esperar hasta el año 1989, para que se comercializara la primera batería de NiHM. Desde entonces, se han realizado muchas investigaciones encaminadas al desarrollo de esta tecnología, en especial, a la mejora del electrodo de hidruro metálico.

De todos los materiales ensayados son dos las familias de aleaciones metálicas, denominadas clase  $\text{AB}_5$  y clase  $\text{AB}_2$ , las más utilizadas como electrodo negativo en las baterías comerciales. El paradigma de aleación de la clase  $\text{AB}_5$  es el  $\text{LaNi}_5$ . Desafortunadamente, este material es muy costoso, inestable y sufre severos problemas de corrosión. Por ello, en los ánodos comerciales, el lantano se ha sustituido parcialmente por una mezcla de tierras raras de menor coste y el níquel por otros metales, tales como cobalto o manganeso, que aumentan la resistencia a la corrosión. Como ejemplo de aleación  $\text{AB}_5$ , citar el

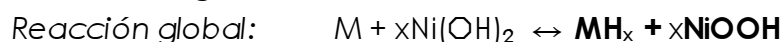
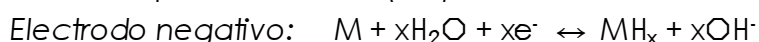
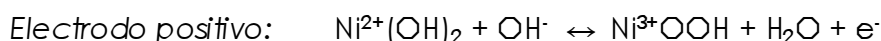




$\text{La}_{10.5}\text{Ce}_{4.3}\text{Pr}_{0.5}\text{Nd}_{1.3}\text{Ni}_{6.1}\text{Co}_{12.7}\text{Mn}_{5.9}\text{Al}_{4.7}$  cuya capacidad es próxima a los  $300 \text{ Ahkg}^{-1}$ . Las aleaciones  $\text{AB}_2$ , son fases de Laves formadas por diversos elementos químicos, p.e.  $\text{V}_{18}\text{Ti}_{15}\text{Zr}_{18}\text{Ni}_{29}\text{Cr}_5\text{Co}_7\text{Mn}_8$ . La principal ventaja de estas aleaciones es que poseen una capacidad específica superior a las aleaciones  $\text{AB}_5$  ( $440$  y  $300 \text{ Ahkg}^{-1}$ , respectivamente). Sin embargo, su mayor coste hace que sean menos utilizadas en baterías NiHM comerciales. Ambas familias tienen en común ser aleaciones metálicas que incluyen un número elevado de elementos químicos en su formulación y sus estequiometrías son complejas. Por ello, sigue siendo necesario investigar en este campo para así poder optimizar los electrodos de hidruro metálico.

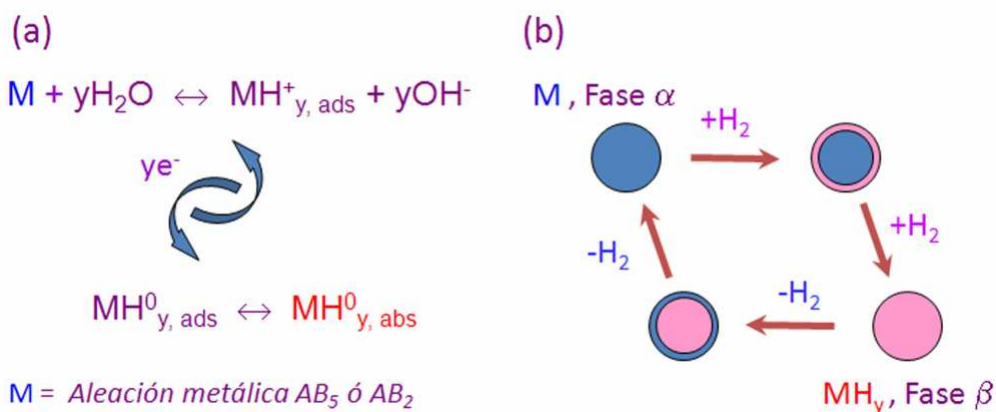
### 6.3.2. Reacciones electroquímicas

Las reacciones electroquímicas que tienen lugar en una batería de níquel-hidruro metálico durante las etapas de carga/descarga son:



Al igual que en las baterías de Pb-ácido, los materiales de electrodo utilizados para la fabricación del acumulador son las fases descargadas. Sin embargo, en las baterías de NiHM, al igual que ocurre en la práctica totalidad de los acumuladores electroquímicos, los materiales activos de ambos electrodos son diferentes. En el electrodo positivo y durante la etapa inicial de carga de la batería, el  $\text{Ni}^{2+}$  del hidróxido de níquel,  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ , se oxida a  $\text{Ni}^{3+}$  cediendo 1 electrón. Simultáneamente, se desintercala un protón de la estructura laminar del  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ , el cual reacciona con los  $\text{OH}^-$  abundantes en el electrolito básico y se forma  $\text{H}_2\text{O}$ . Al final de esta etapa se forma el material activo del cátodo

**Figura 6.2.** Etapas de la reacción electroquímica (a) y mecanismo de reacción (b) de los electrodos negativos de hidruros metálicos.



do que es el oxihidróxido de níquel ( $\text{NiOOH}$ ). En el electrodo negativo, sobre la superficie de la aleación metálica, se produce la adsorción de protones desde el electrolito acuoso, Fig. 6.2a.

Con los electrones provenientes del electrodo positivo, se produce la reducción de estos  $\text{H}^+$  para formar hidrógeno atómico ( $\text{H}^0$ ), el cual se mantiene inicialmente adsorbido en la superficie. Posteriormente, se produce la absorción de este hidrógeno en los huecos intersticiales existentes en la aleación. En esta última etapa, se forma *in situ* el hidruro correspondiente, que es el material activo del ánodo en las baterías NiHM.

En el esquema presentado en la Fig. 6.2b, se indica fenomenológicamente el mecanismo de reacción del electrodo de hidruro metálico. A la aleación inicial se la denomina fase alfa. Cuando se absorbe el hidrógeno formado tras la reacción electroquímica en la fase a, no lo hace de forma homogénea dispersándose por todo el volumen del material. El proceso que tiene lugar es la formación de una costra compuesta por el material totalmente hidrurado, el cual se denomina fase b. A medida que la carga de la batería progresa, el espesor de la costra aumenta, evolucionando hacia el interior de las partículas de la aleación; con ello, la cantidad de fase b va aumentando a costa de la fase a, hasta que ésta se agota.

El proceso que tiene lugar durante el funcionamiento de la batería, es decir, durante la etapa de descarga, es semejante pero en sentido contrario. La costra superficial está ahora formada por la aleación inicial (fase a). De nuevo, la reacción progresa del exterior al interior. En las baterías de NiHM, el electrolito es una disolución acuosa de hidróxido potásico,  $\text{KOH}$  al 30% en peso. El voltaje nominal de estas baterías es de 1,2 V y la energía específica de las baterías comerciales oscila entre 60 y 80  $\text{Whkg}^{-1}$ .

### 6.3.3. Ventajas y limitaciones

Cuando se analizan las ventajas y limitaciones de una nueva tecnología de baterías es necesario tener en cuenta las tecnologías existentes en el periodo de tiempo en que éstas se introdujeron en el mercado. En este sentido, cuando las baterías de NiHM se comenzaron a comercializar a finales de los años 80, los acumuladores comerciales existentes eran los de Pb-ácido y los de níquel-cadmio. En compara-





## Guía del Vehículo Eléctrico

ción con estas dos tecnologías, las principales ventajas de las baterías de NiHM son:

- *Mayor energía específica.* Las baterías de NiHM poseen una energía específica ( $60\text{--}80\text{ Whkg}^{-1}$ ) notablemente superior a las de Pb-ácido ( $10\text{--}40\text{ Whkg}^{-1}$ ) y mayor que la de sus predecesoras, las baterías alcalinas de NiCd ( $\sim 60\text{ Whkg}^{-1}$ ).
- *Admiten recargas rápidas.* Típicamente, las baterías de NiHM son capaces de admitir cargas rápidas con una duración entre 1 y 3 horas. En vehículos eléctricos híbridos (VEHs) este parámetro es muy importante para poder aprovechar la energía generada durante la frenada regenerativa.
- *Menor impacto medioambiental.* La sustitución del cadmio del ánodo por el hidruro metálico reduce significativamente el impacto medioambiental de la batería, ya que el catión  $\text{Cd}^{2+}$  se considera tóxico incluso para concentraciones del orden de las partes por billón.
- *No requieren mantenimiento.*

En lo que respecta a las limitaciones de las baterías de NiHM, las más significativas son:

- *Moderado número de ciclos de vida.* Los hidruros metálicos sufren una severa corrosión en el medio alcalino del electrolito, reduciéndose significativamente la recargabilidad del acumulador. Así, el número de ciclos que se pueden llevar a cabo con una batería de NiHM oscila entre 300 y 600 ciclos.
- *Elevado coste.* Las baterías de NiHM pueden alcanzar un precio cuatro veces superior al de los acumuladores de Pb-ácido.
- *Menores prestaciones electroquímicas a alta corriente.* En comparación con los acumuladores de NiCd, las prestaciones de las baterías de NiHM disminuyen más acusadamente cuando se utilizan altas intensidades de corriente.
- *Moderado “efecto memoria”.* Aunque en menor extensión que para las baterías de NiCd, las de NiHM también tienen efecto memoria. Diversas investigaciones apuntan a que dicho efecto



se debe a cambios estructurales que tienen lugar en el electrodo positivo de oxihidróxido de níquel cuando la batería es sobrecargada.

#### 6.3.4. Baterías de NiMH con aplicación en vehículos eléctricos híbridos (VEHs)

Está generalmente admitido que la transición de los actuales coches de combustión interna a los futuros coches eléctricos de emisiones cero no va a ser directa, sino que ésta va a pasar necesariamente por los vehículos eléctricos híbridos.

Los VEHs, además del motor térmico, tienen un pequeño motor eléctrico movido por baterías. Este motor es el encargado de poner en marcha el vehículo tras una parada corta, p.e. arrancar en los semáforos, y a su vez complementa al motor térmico en las aceleraciones. La gran ventaja de utilizar baterías en estos vehículos es que éstas permiten almacenar la energía eléctrica que se genera durante la frenada regenerativa. Esta energía será utilizada por el vehículo en las situaciones antes indicadas.

Los VEHs se caracterizan por ser más eficientes, tener consumos más moderados y ser más respetuosos con el medio ambiente que los coches movidos únicamente por un motor térmico. Estas ventajas son especialmente significativas en las grandes ciudades. En la actualidad, los VEHs que se comercializan cuentan con baterías de NiHM para impulsar el motor eléctrico. Este hecho se explica porque en los años en que se diseñaron estos vehículos, las baterías de NiHM eran los acumuladores que mejor cumplían los requisitos exigidos por los VEHs.

El híbrido que más éxito comercial está teniendo es el Toyota Prius, Foto 6.2, con más de un millón de coches vendidos en todo el mundo. Esta cifra ha superado ampliamente las previsiones de los responsables de Toyota. El sistema de baterías del Prius incluye 38 módulos de baterías prismáticas de NiHM de 7,2 V, Foto 6.2. Cada uno de los módulos está a su vez formado por seis celdas. Tanto los 38 módulos como los 6 elementos de cada uno de ellos, están conectados en serie. El voltaje nominal del sistema de baterías es de 274 V, su capacidad específica es 6,5 Ah y la energía eléctrica almacenada de 1,78 kWh. Las ventajas más significativas de este vehículo son su bajo consumo



## Guía del Vehículo Eléctrico



(~3,5 litros a los 100 km) y su reducido nivel de emisiones (107 g de CO<sub>2</sub>/km). Estas prestaciones del Toyota Prius están convenciendo a un número cada vez mayor de taxistas de todo el mundo para su uso. Sin duda, esta es otra prueba de la buena acogida que los vehículos eléctricos híbridos, más eficientes y respetuosos con el medio ambiente, están teniendo por parte de nuestra sociedad.



## Batería de NiMH 274V , 1.78kWh



**Foto 6.2.** Fotografías del Prius, vehículo eléctrico híbrido comercializado por la empresa japonesa Toyota, y de su sistema de baterías alcalinas de níquel-hidruro metálico.

## 6.4. Baterías de ión-litio

### 6.4.1. Historia

En las décadas de los setenta y ochenta, las investigaciones desarrolladas en laboratorios de EEUU, Japón y Europa demostraron que era posible insertar y desinsertar iones litio en/desde distintos compuestos químicos. Fruto de estos trabajos pioneros, en el año 1991, la empresa japonesa Sony comercializó la primera batería de ión-litio (batería Lion).

La configuración de esta batería era C//LiCoO<sub>2</sub>, esto es, el ánodo era un material de carbono, en concreto grafito, y el cátodo estaba formado por el óxido mixto laminar de litio y cobalto LiCoO<sub>2</sub>. Aún en la actualidad, esta configuración es la más ampliamente utilizada en las baterías Lion comerciales, sobre todo en equipos electrónicos portátiles como los teléfonos móviles.

En la actualidad, se están llevando a cabo numerosas investigaciones con el objetivo de desarrollar nuevas baterías Lion con mejores características que la batería C//LiCoO<sub>2</sub>, especialmente para su aplicación en VEBs y VEHs. Las líneas de investigación más seguidas son aquellas que buscan nuevos materiales y que, por tanto, darán lugar a nuevas configuraciones de baterías Lion. A modo de ejemplo, indicar que en la última década se está investigando intensamente en compuestos pertenecientes a las familias de la espinela LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> y del fosfato LiFePO<sub>4</sub>.

Las principales ventajas de estos nuevos materiales es que su coste es sensiblemente menor que el del LiCoO<sub>2</sub> y su impacto medioambiental más reducido. Por ello, estos nuevos materiales son candidatos muy prometedores para su uso como cátodos de las próximas generaciones de baterías Lion.

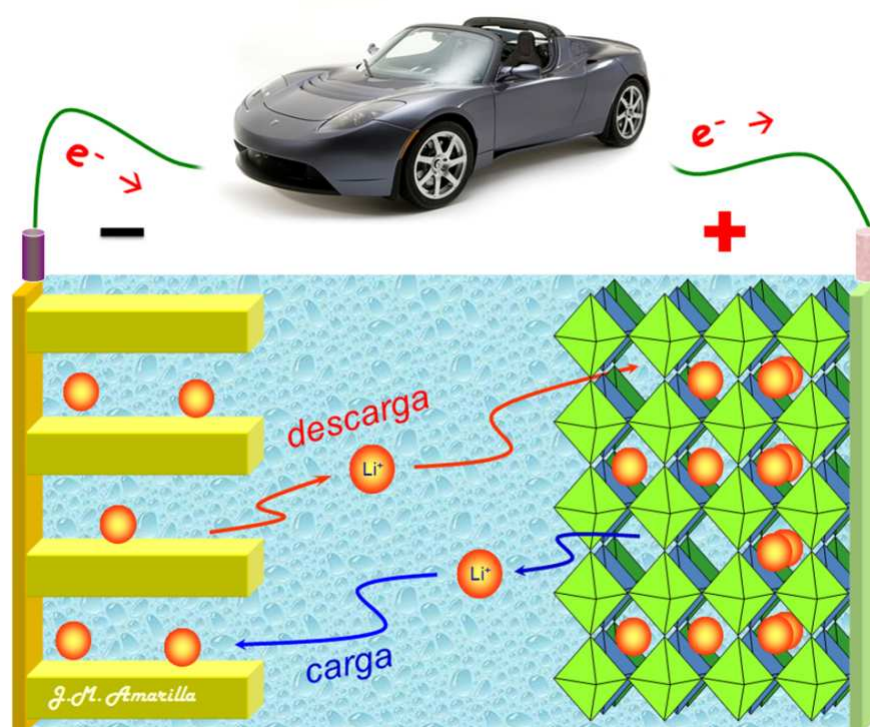
### 6.4.2. Reacciones electroquímicas

Las baterías Lion se caracterizan porque los materiales activos de ambos electrodos son compuestos de intercalaciones capaces de insertar y desinsertar iones litio reversiblemente. Además, es necesario que uno de los materiales activos de electrodo contenga litio en su composición inicial. En la totalidad de las baterías Lion comerciales, los materiales de cátodo (LiCoO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, LiFePO<sub>4</sub>) son los que cumplen este requisito.

A modo de ejemplo, en la Fig. 6.3 se presenta el esquema de una batería Lion, en concreto, aquélla cuya configuración es C//LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Como se ha indicado en el apartado anterior, las baterías Lion basadas en la espinela LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> son una firme alternativa al acumulador C//LiCoO<sub>2</sub>. Respecto a la estructura del grafito utilizado como ánodo, los átomos de carbono están dispuestos en láminas entre las cuales pueden insertarse los iones Li<sup>+</sup> reversiblemente. El material de cátodo LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> presenta una estructura espinela que se caracteriza por tener canales en las tres direcciones del espacio. En estos canales están situados los iones Li<sup>+</sup> y, a través de ellos, el Li<sup>+</sup> se puede extraer/insertar desde/en el material.

Las reacciones electroquímicas que tienen lugar en la batería Lion C//LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> son:





**Figura 6.3.** Esquema de una celda electroquímica de ión-litio.

Electrodo positivo:  $\text{LiMn}^{3+}\text{Mn}^{4+}\text{O}_4 \leftrightarrow 2\text{Mn}^{4+}\text{O}_2 + 1(\text{Li}^+ + \text{e}^-)$

Electrodo negativo:  $6\text{C} + 1(\text{Li}^+ + \text{e}^-) \leftrightarrow \text{LiC}_6$

Reacción global:  $\text{LiMn}_2\text{O}_4 + 6\text{C} \leftrightarrow \text{LiC}_6 + 2\text{MnO}_2$

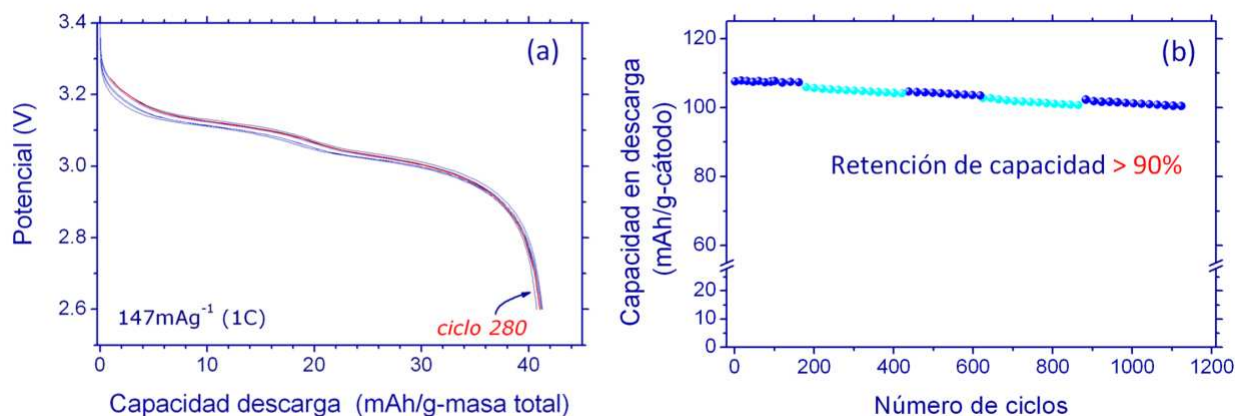
En la etapa de carga, los iones  $\text{Li}^+$  se desinsertan a través de los canales de la espinela  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , Fig. 6.3. Simultáneamente, el manganeso se oxida de  $\text{Mn}^{3+}$  a  $\text{Mn}^{4+}$  cediendo un electrón. Los iones  $\text{Li}^+$  extraídos del  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  se transportan a través del electrolito hacia el electrodo negativo donde se insertan entre las láminas de grafito. A su vez, el grafito acepta un electrón y se reduce. Al final de la etapa de carga, los materiales activos de la batería Lion que se han formado son: **(i)** la fase litiada del grafito ( $\text{LiC}_6$ ) como ánodo y **(ii)** el polimorfo  $\text{I-MnO}_2$  como cátodo. El voltaje de la batería  $\text{C//LiMn}_2\text{O}_4$  es elevado ( $E \approx 4 \text{ V}$ ) siendo éste similar al del acumulador comercial  $\text{C//LiCoO}_2$ . Los valores teóricos de capacidad y energía específicas son  $105 \text{ Ahkg}^{-1}$  y  $425 \text{ Whkg}^{-1}$ , respectivamente.

Respecto al electrolito de las baterías Lion, en general, éste es una disolución de una sal de litio en un disolvente orgánico. Uno de los electrolitos más utilizados es la disolución 1M de  $\text{LiPF}_6$  en una mezcla 1:1 de los disolventes carbonato de etileno (EC) y carbonato de dimetilo (DMC).

### 6.4.3. Ventajas y limitaciones

Las baterías de ión-litio son la tecnología más avanzada en acumuladores electroquímicos gracias a las siguientes ventajas:

- **Alto voltaje.** Las baterías Lion poseen el mayor voltaje nominal, con valores típicos entre 3 y 4 V (Fig. 6.4a). El uso de un electrolito no acuoso permite alcanzar estos elevados valores del potencial, que pueden llegar a ser hasta tres veces superiores a los mostrados por las baterías de NiHM.



**Figura 6.4.** Resultados de la caracterización electroquímica de la batería de ión-litio  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{LiCr}_{0.2}\text{Ni}_{0.4}\text{Mn}_{1.4}\text{O}_4$  que se desarrolla en el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (CSIC). (a) Selección de curvas de descarga registradas durante el ciclaje a alta corriente y (b) evolución de la capacidad en función del número de ciclos.

- **Elevada energía específica.** De las tres tecnologías de baterías que se utilizan en los VEBs y VEHs comerciales, las baterías Lion son las que presentan los mayores valores de energía específica, tanto másica ( $80\text{-}170 \text{ Whkg}^{-1}$ ) como volumétrica ( $170\text{-}450 \text{ Whl}^{-1}$ ). Estos valores de energía eléctrica almacenada son casi el doble de los de las baterías de NiHM y más de cuatro veces el valor de los acumuladores de Pb-ácido.
- **Elevado número de ciclos de vida.** Las diferentes configuraciones de baterías Lion comerciales, así como gran parte de las nuevas configuraciones en desarrollo, presentan una excelente recargabilidad. A modo de ejemplo, en la Fig. 6.4a se recoge



una selección de curvas de descarga registradas durante el ciclaje de la batería Lion  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{LiCr}_{0.2}\text{Ni}_{0.4}\text{Mn}_{1.4}\text{O}_4$  que se está desarrollando en el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y en la Fig. 6.4b se muestra la evolución de la capacidad de dicha batería con el número de ciclos de carga/descarga. En esta nueva configuración de batería Lion se ha sustituido el ánodo de grafito por la espinela de litio y titanio  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ . Con esta espinela, que trabaja a un potencial superior al grafito (1,5 V y ~0,2 V, respectivamente) se busca aumentar la seguridad de la batería. El material activo de cátodo es el  $\text{LiCr}_{0.2}\text{Ni}_{0.4}\text{Mn}_{1.4}\text{O}_4$ , que es una espinela derivada del  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  con muy elevado potencial ( $E \approx 4,7$  V). Como se deduce de las curvas de descarga, Fig. 6.4a, el voltaje de trabajo de esta batería Lion es de ~3 V, su capacidad normalizada a la masa total de ambos electrodos es de  $40 \text{ mAhg}^{-1}$  y su energía es de  $120 \text{ mWhg}^{-1}$ . Sin duda, la prestación más sobresaliente de la batería en desarrollo es su excelente ciclabilidad. Como se deduce de la Fig. 6.4b, la batería retiene más del 90% de su capacidad después de 1.000 ciclos de carga/descarga.

- *Moderado o bajo impacto medioambiental.* Al igual que ocurre con las baterías de NiHM, estas baterías están libres de materiales con alta toxicidad como el plomo, el cadmio o el mercurio.

En referencia a las limitaciones más significativas que presentan las actuales baterías Lion, éstas son:

- *Elevado coste.* El coste de las baterías Lion es elevado, pudiendo llegar hasta 800 €/kWh. Sin embargo, se espera que este precio se reduzca de una manera significativa con el aumento de la demanda y la introducción de nuevos materiales catódicos ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_4$  y sus derivados).
- *Pérdida de prestaciones a alta temperatura.* Muchas de las configuraciones de baterías Lion comerciales muestran una disminución significativa de sus propiedades electroquímicas cuando éstas trabajan a temperaturas superiores a 50 °C.
- *Baja tolerancia al abuso.* Las baterías Lion se degradan cuando se someten a condiciones de abuso, es decir, cuando se sobrecargan o se sobrecargan. Así, cuando una batería Lion se



descarga por debajo de 2 V, ésta se degrada rápidamente. Igualmente, cuando se somete a sobrecarga se produce pérdida de capacidad de la batería. También puede sufrir procesos de calentamiento descontrolado (“thermal runaway”), que en casos extremos, puede provocar el incendio de la batería.

#### 6.4.4. Baterías de ión-litio con aplicación en vehículos eléctricos

Las baterías Lion, por sus elevadas prestaciones electroquímicas, están llamadas a ser la tecnología más utilizadas tanto en los coches eléctricos de baterías como en los vehículos híbridos enchufables. De hecho, ya se están utilizando en VEBs comerciales de alta autonomía como el Tesla Roadster, Foto 6.3.



**Foto 6.3.** Esquema y fotografía del Tesla Roadster, vehículo eléctrico impulsado por baterías de ión-litio.

Este VEB es un deportivo con 288 CV, capaz de acelerar de 0 a 100 km en 3,7 s. Una de las prestaciones más interesantes de este coche es su elevada autonomía. El Tesla es capaz de recorrer 360 km en autovía y 372 km en ciudad, con una sola carga. Para alcanzar estas características tan sobresalientes, los ingenieros de Tesla han trabajado intensamente en el desarrollo de un sistema de baterías Lion que han denominado TH!NK. El sistema de baterías consta de 6.831 celdas con un formato 18650. Estas celdas son semejantes a las utilizadas en las baterías de los ordenadores portátiles. Los 6.831 elementos están conectados en serie y en paralelo según el esquema: 11S-9S-69P. El sistema opera con un voltaje nominal de 375 V, es capaz de almacenar 56 kWh de electricidad y su peso total es de 450 kg.

Los responsables de Tesla han prestado una atención especial a la





## Guía del Vehículo Eléctrico

seguridad de la batería. Para ello, han incluido numerosos sistemas de control tales como limitadores de corriente, detectores de presión en cada elemento, etc. También han puesto a punto un cargador que permite la recarga de las baterías en tres horas y media. El precio del Tesla Roadster es de 100.000 \$, ya se han entregado 150 coches y el número de reservas se eleva a 1.100 unidades.

## 6.5. Conclusiones

Las tres tecnologías de acumuladores que están siendo utilizadas actualmente en los VEBs y VEHs comerciales son las baterías de plomo-ácido, níquel-hidruro metálico e ión-litio. En la Tabla 6.1 se comparan los parámetros electroquímicos más relevantes para VEs, el impacto medioambiental y el coste de las tres tecnologías indicadas.

**Tabla 6.1.** Comparación de prestaciones de las baterías de plomo-ácido, de níquel-hidruro metálico y de ión-litio.

| BATERÍA                | Pb-ácido  | NiMH      | Lion          |
|------------------------|-----------|-----------|---------------|
| Voltaje (V)            | 2.0       | 1.2       | 3.0 – 4.5     |
| Energía (Wh/kg)        | 10 – 40   | 60 - 80   | 80 - 170      |
| Energía (Wh/l)         | 50 – 100  | 250       | 170 - 450     |
| Número de ciclos (80%) | 400 - 800 | 300 - 600 | 500 - 3.000   |
| Coste (\$/kWh)         | 100 - 125 | 220 - 400 | 250 - 800     |
| Impacto medioambiental | Alto      | Bajo      | Moderado-Bajo |

Las baterías de plomo-ácido tienen las más bajas prestaciones electroquímicas y su impacto medioambiental es importante, aunque éste se puede reducir, gracias al eficiente reciclado de estas baterías. Sin duda, su principal ventaja radica en su bajo precio que difícilmente va ser alcanzado por otras tecnologías de acumuladores. Esta característica justifica que las baterías de Pb-ácido se estén utilizando actualmente en VEBs con autonomía reducida y bajas velocidades de circulación como el Reva-i, Foto 6.1. Es probable que los acumuladores de plomo puedan tener aplicación en futuros VEBs en los que su bajo precio constituya su principal aliciente.

Las baterías de níquel-hidruro metálico, con unas prestaciones electroquímicas superiores a las baterías de Pb-ácido, Tabla 6.1, han sido las elegidas para impulsar el pequeño motor eléctrico de los actuales



VEHs comerciales. Sin embargo, el fuerte desarrollo de las baterías Lion hace presagiar que, al igual que ya ocurrió con los equipos electrónicos portátiles, esta tecnología sustituya a las baterías de NiHM en los futuros VEHs, en especial, en los vehículos híbridos enchufables que contarán con un motor eléctrico más potente y una mayor autonomía en modo eléctrico. Incluso actualmente, las baterías Lion han sido las elegidas para los VEBs de altas prestaciones, como el deportivo Tesla Roadster, Foto 6.3. Dadas sus notables prestaciones electroquímicas, Tabla 6.1, existe ya consenso en afirmar que las baterías Lion son las mejor situadas para suministrar la energía eléctrica a las próximas generaciones de EVBs, los cuales serán ya asequibles al gran público.

A pesar de sus altas prestaciones, para que los VEBs puedan seguir evolucionando, es prioritario seguir mejorando las baterías Lion. Por ello, es necesario: **(i)** aumentar la energía almacenada en las baterías **(ii)** aumentar su vida media, **(iii)** reducir el coste y **(iv)** desarrollar baterías respetuosas con el medio ambiente.

## 6.6. Bibliografía

- AKLALOUCH M., AMARILLA J.M., ROJAS R.M., SAADOUNE I., ROJO J.M., (2008) "Chromium doping as a new approach to improve the cycling performance at high temperature of 5V  $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ -based positive electrode" *Journal of Power Sources* 185, 501.
- BESENHARD J.O. (1999) "Handbook of Battery Materials", Ed. Wiley-VCH.
- CEÑA A., SANTAMARTA J. (2009) "Coche eléctrico, el futuro del transporte". *Energías Renovables*, 75.
- FULLEA J. (1994) "Acumuladores Electroquímicos. Fundamentos, nuevos desarrollos y aplicaciones". Ed. Mac Graw-Hill.
- <http://www.teslamotors.com/>
- <http://www.elcocheecoelectrico.com/>
- KARNER D., FRANCFORT J., (2007) "Hybrid and plug-in hybrid electric vehicle performance testing by the US Department of Energy Advanced Vehicle Testing Activity". *Journal of Power Sources* 174, 69.





## Guía del Vehículo Eléctrico

- LINDEN D., REDDY T.B. (2002) “Handbook of Batteries. Third Edition”, Ed. McGraw-Hill.
- NAZRI G.A., PISTOIA G. (2004) “Lithium Batteries. Science and technology”. Ed. Kluwer.
- PAINE C., Documental: “Who Killed the Electric Car?”. Sony Classical Pictures (USA).
- TARASCON J.M., ARMAND M., (2001) “Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries”. Nature 414, 359.
- VALENCIANO J., FERNÁNDEZ M., TRINIDAD F., SANZ L., (2009) “Lead-acid batteries for micro- and mild-hybrid applications”. Journal of Power Sources 187, 599.
- WHITTINGHAM M.S. (2004) “Lithium Batteries and Cathode Materials”. Chemical Review, 104, 4271.

# 7 INTEGRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL. VISION DEL OPERADOR DEL SISTEMA

## 7.1. Introducción

Esta contribución corresponde a la presentación que Red Eléctrica de España SAU (REE) realizó el pasado 29 de abril de 2009, en la Jornada “El Vehículo Eléctrico: Realidad o Ficción” que organizó la Comunidad de Madrid.

REE, creada en 1985, fue la primera empresa en el mundo dedicada en exclusividad al transporte de electricidad y a la operación de sistemas eléctricos. En su condición de operador del sistema, garantiza la continuidad del suministro eléctrico y la correcta coordinación del sistema de producción y transporte, ejerciendo sus funciones bajo los principios de transparencia, objetividad e independencia. Por otro lado, REE es el gestor de la red transporte (red de 400 y 220 kV) y actúa como transportista único, desarrollando esta actividad en régimen de exclusividad.



**Foto 7.1.** Centro de Control de REE.

Como garante de la seguridad de suministro, REE debe anticipar las necesidades de futuro del sistema eléctrico estando al tanto de los posibles cambios que se avecinen en el sector. Esta labor de vigilan-





cia es la que ha permitido que se realicen con éxito algunos cambios clave del sector eléctrico como la integración del consumo derivado de la implantación de los trenes de alta velocidad, así como de las fuentes de generación de origen renovable. A día de hoy, resulta clave el seguimiento de los importantes retos de sostenibilidad, adquiridos recientemente en la Unión Europea en términos de política energética. En el caso del transporte rodado, la volatilidad del precio del petróleo, así como la creciente concienciación medioambiental de la sociedad han subrayado la necesidad de buscar soluciones que permitan reducir el consumo de petróleo y las emisiones, tanto regionales como de gases de efecto invernadero (GEI). Entre las opciones barajadas no sólo se encuentra la mejora de la eficiencia de los vehículos (motores de mayor rendimiento y vehículos híbridos), sino también el fomento de combustibles alternativos (biocombustibles y combustibles sintéticos), así como la búsqueda de tecnologías alternativas al motor de combustión (vehículos eléctricos o con pila de combustible).



Frente a estos planteamientos, Red Eléctrica de España, en su función de operador del sistema eléctrico español, ha elaborado una evaluación de los efectos que sobre el sistema eléctrico peninsular provocaría una introducción sustancial de vehículos eléctricos<sup>1</sup> en sustitución de vehículos convencionales. En dicha evaluación, de carácter teórico, se estudian las implicaciones que tendría una importante penetración de vehículos eléctricos en el funcionamiento de un sistema eléctrico genérico. Se trata de responder a preguntas del tipo de:

- ¿Qué retos y dificultades plantea dicha integración? ¿Qué oportunidades y ventajas puede aportar?
- ¿Se necesitan nuevas infraestructuras de transporte o de distribución? ¿Requiere desarrollos tecnológicos?
- ¿Es necesaria la instalación de nueva generación? ¿Podría suponer un cambio de la estructura de generación? ¿Qué impacto podría tener en la integración de renovables?

El presente capítulo, aporta brevemente respuestas a las preguntas anteriores.

## 7.2. Capacidad de adaptación del sistema eléctrico español

La introducción masiva de vehículos eléctricos podría suponer un cambio sustancial de las características de la demanda eléctrica para el que los distintos agentes del sector, entre los que se encuentra REE como operador del sistema, se están ya preparando, realizando los pertinentes estudios y previsiones.

Al repasar la historia reciente del sector eléctrico, se comprueba que retos de similar relevancia han sido afrontados exitosamente por el sector, demostrando su capacidad de adaptación y sentando valiosos precedentes de actuación. Cabe destacar los siguientes cambios de relevancia producidos con la contribución, entre otros, de REE:

<sup>1</sup> En el ámbito de este estudio se incluye en la categoría de vehículos eléctricos todos aquellos que requieran para la recarga de la batería de una fuente de alimentación de electricidad externa al vehículo. Por tanto, entran en esta categoría tanto los vehículos híbridos enchufables (PHEV en sus siglas inglesas), como los vehículos puramente eléctricos que se recarguen a través de la red (EV). No entran los vehículos híbridos ya que, a pesar de disponer de motor eléctrico y baterías, éstas no se recargan a través de la red eléctrica.





### 7.2.1. Desarrollo del tren de alta velocidad en España

La introducción del tren de alta velocidad como consumidor eléctrico supuso un reto importante en el sector debido a sus especiales características: demandas conectadas directamente a la red de transporte, de cuantías importantes, intermitentes y móviles, que introducen perturbaciones en el sistema y que requieren una alta calidad y seguridad de abastecimiento. Todo ello fue resuelto con éxito de forma que en 1992 se puso en servicio el primer tren de alta velocidad (AVE) entre Madrid y Sevilla, coincidiendo con la Exposición Universal de Sevilla. Desde esa fecha se han puesto en servicio distintas líneas de alta velocidad, entre otras, Madrid-Zaragoza-Barcelona, Madrid-Toledo y Madrid-Segovia-Valladolid, todas ellas alimentadas desde la red de transporte en sus niveles de 400 y 220 kV. La coordinación y colaboración establecida entre el Ministerio de Fomento, el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) y REE ha permitido que los trenes de alta velocidad sean una realidad, con una alta calidad del servicio apreciada por los usuarios. En la Fig. 7.1 se puede observar un mapa del Ministerio de Fomento, donde se detallan los desarrollos de la alta velocidad ferroviaria en España, resaltando en distintos colores las líneas que están en servicio, en construcción, en proyecto y en estudio.



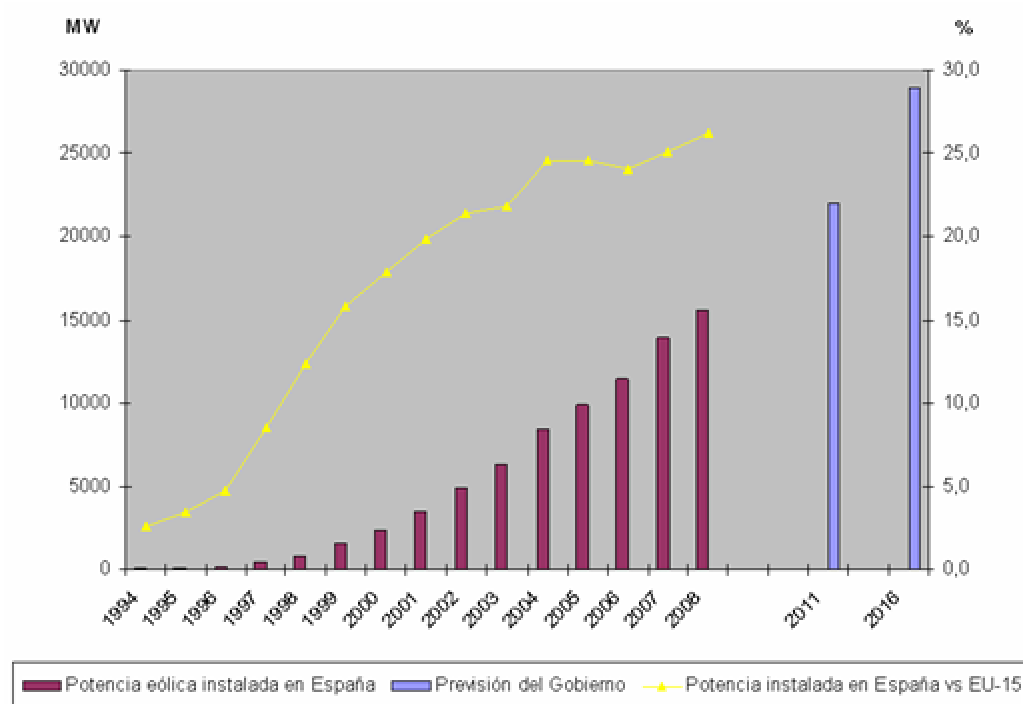
**Figura 7.1.** Red de alta velocidad ferroviaria en España. Fuente: Ministerio de Fomento.

## 7.2.2. Integración de las energías renovables como fuente masiva de generación

Los objetivos de reducción de la dependencia energética del exterior y de las emisiones de efecto invernadero produjeron a finales de los años 90 una incipiente instalación de parques eólicos, preludio del “boom” de las energías renovables que se ha producido en España en la última década. A finales de 2008, la potencia eólica instalada alcanzaba casi los 16.000 MW.

Para poder apreciar la magnitud de dicho “boom” renovable basta con observar la evolución al alza de las previsiones de potencia instalada realizadas por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio:

- En octubre de 2002, el documento de Planificación de los sectores de electricidad y gas 2002-2011, del Ministerio de Economía, recogía la **previsión** de que en **2011** se podrían instalar un máximo de **13.000 MW** eólicos.
- En marzo de 2006, el documento de Revisión 2005-2011 de la Planificación 2002-2011 de acuerdo con los nuevos requisitos exigibles a la generación eólica en cuanto a soportar huecos de tensión (ver P.O. 12.3), revisa para **2011** la cifra de potencia máxima a instalar que se fija en **20.000 MW** eólicos.



**Figura 7.2.** Evolución de la energía eólica en España (MW).



## Guía del Vehículo Eléctrico

- En mayo de 2008, el nuevo documento de Planificación de los sectores de electricidad y gas 2008-2016, recoge para **2016** una potencia máxima a instalar de **29.000 MW eólicos** y **4.500 MW de solar**.

Este significativo incremento de las energías renovables, así como su adecuada integración en el sistema eléctrico (en condiciones de calidad y seguridad de abastecimiento) han sido posibles gracias a una decidida apuesta del Gobierno Estatal y de las Comunidades Autónomas, junto con el trabajo conjunto y continuado de REE, fabricantes de aerogeneradores, empresas eléctricas, promotores, asociaciones, etc. Todo ello ha permitido establecer un sistema de primas adecuado, unas normativas que conjugasen el estado de la tecnología con las necesidades de seguridad y el desarrollo de nuevas herramientas y procedimientos. Entre los logros obtenidos cabe destacar la puesta en servicio por parte de REE en 2007 del Centro de Control de Energías Renovables (CECRE), que facilita la integración de las energías renovables y la comunicación entre el Operador del Sistema y los productores de renovables. El esfuerzo común ha permitido situar a España entre los países punteros en términos de integración de renovables, permitiendo no sólo la creación de miles de puestos de trabajo, sino también de oportunidades de negocio y el fomento de la exportación de nuestros productos y “know-how”.

Ante el nuevo reto de introducción de vehículos eléctricos en el sistema eléctrico español, se deben seguir las huellas y aprendizajes de los ejemplos anteriores. De esta forma, una apuesta decidida y un esfuerzo común de los agentes implicados, unidos a un proceso exhaustivo de vigilancia, estudio, desarrollo e implantación de herramientas, permitirán no sólo una integración eficiente, segura y exitosa, sino también situar a España como país sobresaliente en dicha tecnología. REE estará, como ya lo está haciendo, contribuyendo con sus estudios y desarrollos a facilitar la consecución de este objetivo.

### 7.3. El sistema eléctrico peninsular español: presente y futuro

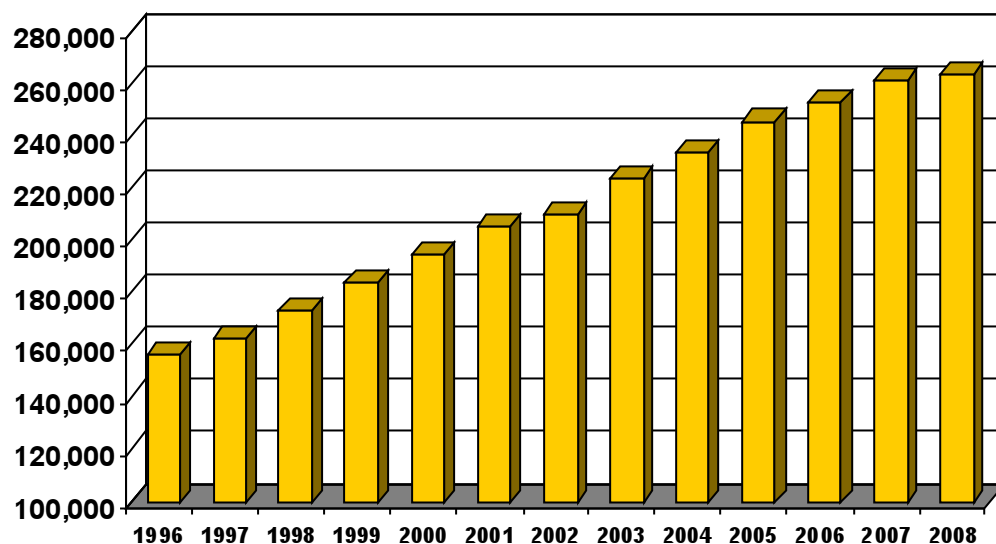
Con vistas a evaluar el impacto que la penetración de vehículos eléctricos podría tener en el sistema eléctrico español, conviene realizar previamente un breve repaso de sus principales características, tanto actuales como previstas.



### 7.3.1. Sistema eléctrico en la actualidad

#### 7.3.1.1. Demanda de energía eléctrica

En los últimos años, el consumo de energía eléctrica en España se ha caracterizado por un aumento significativo: en el periodo 1996-2008 la demanda de energía eléctrica en barras de central (b.c.)<sup>2</sup> a nivel peninsular ha crecido a un ritmo medio interanual de 4,4%. Estos niveles de crecimiento, muy por encima de los de nuestros vecinos europeos, se deben al fuerte crecimiento experimentado por la economía española, superior a la media europea, lo que, a su vez, ha repercutido en una mayor actividad del tejido productivo y un incremento de la riqueza de los españoles. Todo ello, unido a la inexistencia de medidas de gestión de demanda y de señales de precios adecuadas, ha contribuido a mantener unos elevados crecimientos de demanda. Sin embargo, la crisis económica y financiera se dejó notar ya en 2008: el crecimiento de la demanda de 2008 respecto de 2007 se situó en niveles inferiores al 1%. En 2009, la situación es más grave, esperándose incluso reducciones de demanda respecto de 2008 (se espera llegar una demanda en 2009 un 4,5% inferior a la de 2008).



**Figura 7.3.** Gráfico de demanda anual (TWh).

2 A lo largo del documento se utiliza el término "barras de central" para definir la demanda eléctrica del sistema eléctrico, que incluye la energía vertida en la red procedente de las centrales de régimen ordinario, régimen especial y del saldo de los intercambios internacionales; no incluye, por tanto, el autoconsumo (consumo directamente abastecido por producción propia). Para el traslado de esta energía hasta los puntos de consumo habría que detraer las pérdidas originadas en la red de transporte y distribución.





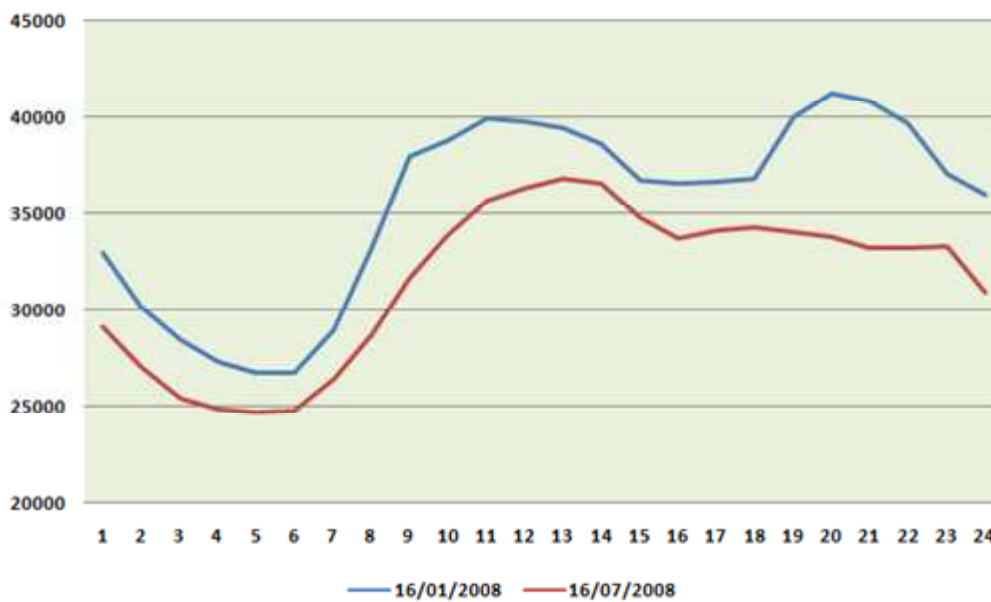
## Guía del Vehículo Eléctrico

Por otro lado, la demanda de energía eléctrica se caracteriza por una fuerte variabilidad temporal no sólo a nivel de evolución anual a largo plazo sino también a nivel mensual, semanal y diario. Esta característica, unida al hecho de que la generación y demanda deben ser equilibradas de forma instantánea, otorga una mayor complejidad a la gestión y operación del sistema eléctrico.

La distribución de la demanda anual a lo largo de los meses se caracteriza por una fuerte estacionalidad determinada principalmente por tres componentes: temperatura, laboralidad (número de días laborales en un mes) y actividad económica. Este último componente está a su vez marcado tanto por los componentes macroeconómicos de largo plazo como por la coyuntura económica y por la propia estacionalidad de la actividad (turismo, etc.). Por su lado, la distribución semanal de la demanda de electricidad depende principalmente del día de la semana y de la existencia o no de festivos, es decir, de lo que se denomina laboralidad.

La combinación de todos los aspectos anteriormente mencionados provoca que la curva de carga diaria de un día laborable tipo se caracterice en el periodo de invierno por un mayor consumo en las horas del mediodía y de la tarde, y un menor consumo en las horas de la madrugada. Dicho perfil se acentúa en los días donde se produce la punta anual del sistema: en estos días la demanda punta representa entre 1,6-1,8 veces la demanda mínima. En el periodo de verano, la curva de carga se caracteriza por un mayor consumo en el mediodía, siendo la punta 1,5-1,6 veces la demanda mínima en los días de máxima demanda del periodo estival.

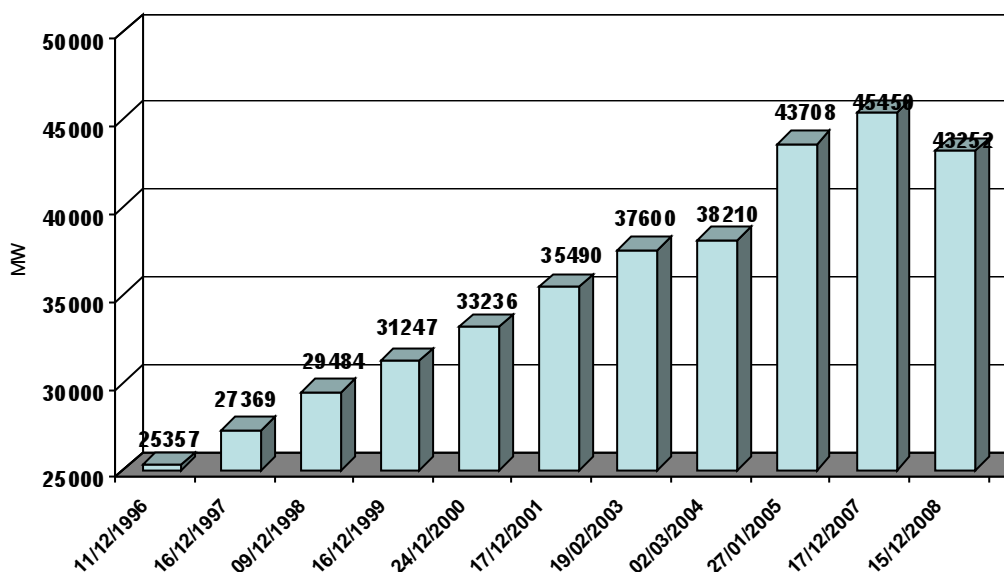
El apuntamiento (o diferencia entre el máximo y el mínimo) de la curva de carga diaria es un parámetro clave en la determinación tanto de la estructura óptima de las centrales de generación como de su tipo de funcionamiento. En efecto, en sistemas con apuntamientos importantes como el español, existirá una magnitud considerable de centrales de generación que tendrán que producir un perfil de electricidad muy variable a lo largo del día e incluso tendrán que parar y volver a arrancar, y podrán estar paradas en gran parte de las horas del año. Ello afecta tanto a la eficiencia económica del sistema de generación, como a las emisiones de gases de efecto invernadero y a la vida útil de las plantas.



**Figura 7.4.** Curva de carga de un día laborable medio de invierno y verano.

gestión de demanda encaminadas a “aplanar la curva de carga” del sistema y a derivar consumos en punta hacia periodos de menor consumo (valle). En este sentido, el aumento de la demanda en valle que podría suponer la recarga nocturna de las baterías de los vehículos eléctricos resultaría muy ventajosa.

Otro de los parámetros clave a la hora de dimensionar un sistema eléctrico es la demanda máxima del sistema, es decir, la punta del sistema. Esta es la magnitud que determina, en último término, la ne-



**Figura 7.5.** Puntas de demanda en MW en el periodo 1996-2008.



## Guía del Vehículo Eléctrico

cesidad de instalación de un nuevo equipo generador, así como el desarrollo de las redes de transporte y distribución.

En los últimos años se han alcanzado sucesivamente récords de punta de demanda. El 15 de diciembre de 2008 se alcanzó una punta de potencia media horaria de 42.920 MW (43.252 MW de potencia instantánea), un 4,4% inferior a la registrada en 2007 (un -4,8% en el caso de punta instantánea), a pesar de registrarse temperaturas similares en dicho periodo.

### 7.3.1.2. Equipo de generación y cobertura de la demanda

Para el correcto funcionamiento del sistema, en todo momento se debe mantener el equilibrio entre la demanda de electricidad y la generación. La curva de carga de demanda de cada día debe cubrirse con las tecnologías de producción disponibles, asegurándose que en ningún momento vaya a faltar generación. Así pues, el incremento de demanda experimentado se ha acompañado de un incremento de la potencia de generación instalada.

Históricamente, el sistema eléctrico español ha tenido un componente hidráulico muy importante como instrumento básico de cobertura. No obstante, con el crecimiento de la demanda se fue incrementando el componente térmico en la cobertura de la demanda, inicialmente mediante grupos de fuel, después con un importante parque generador de carbón y, finalmente en la década de los 80, con el parque de grupos nucleares.

Después de una parada casi total en los años 90 de incorporación de nueva generación, en los últimos años el sistema de generación de electricidad está creciendo fundamentalmente mediante el aumento del régimen especial<sup>4</sup> (fundamentalmente generación eólica, con un

---

4 Producción de energía eléctrica, acogida a un régimen económico singular, procedente de instalaciones con potencia instalada no superior a 50 MW cuya generación proceda bien de la cogeneración o de otras formas de producción de electricidad asociadas a actividades no eléctricas, siempre que supongan un alto rendimiento energético, bien de grupos que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa o cualquier tipo de biocarburante, o de los que utilicen como energía primaria residuos no renovables o residuos de los sectores agrícola, ganadero y de servicios, con una potencia instalada igual o inferior a 25 MW, cuando supongan un alto rendimiento energético.

crecimiento de unos 16.000 MW en el periodo 1996-2008) y la instalación de ciclos combinados (régimen ordinario)<sup>5</sup>. Desde que en el año 2002 se pusiera en servicio el primer ciclo combinado de gas natural en España hasta la actualidad se han instalado unos 21.000 MW de nueva generación con esta tecnología.

Todo ello ha llevado a una potencia total de generación instalada en el sistema eléctrico en 2008<sup>6</sup> de 90.878 MW, cuya tecnología mayoritaria es el ciclo combinado a gas natural (con un 24%) y con un peso importante del régimen especial (32%).

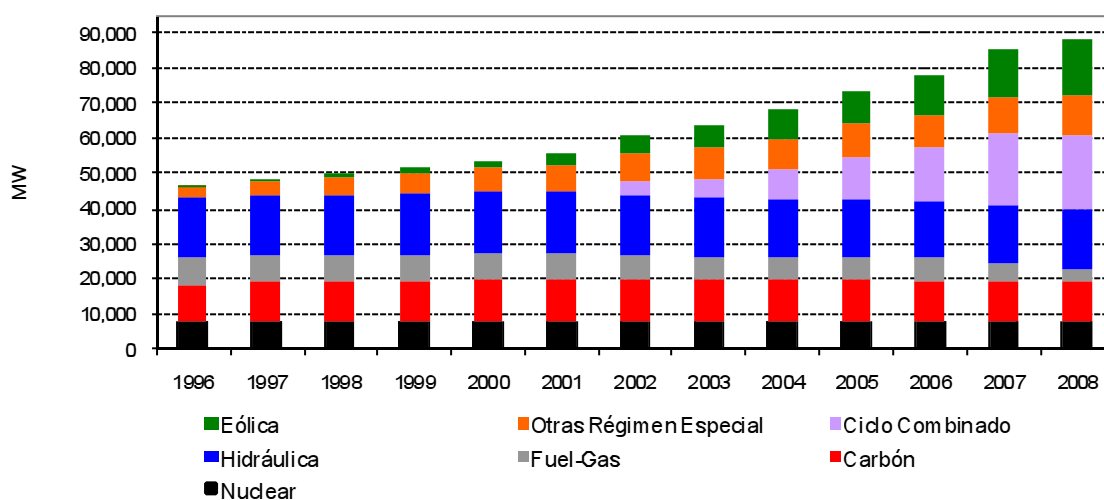


Figura 7.6. Capacidad instalada 1996-2008.

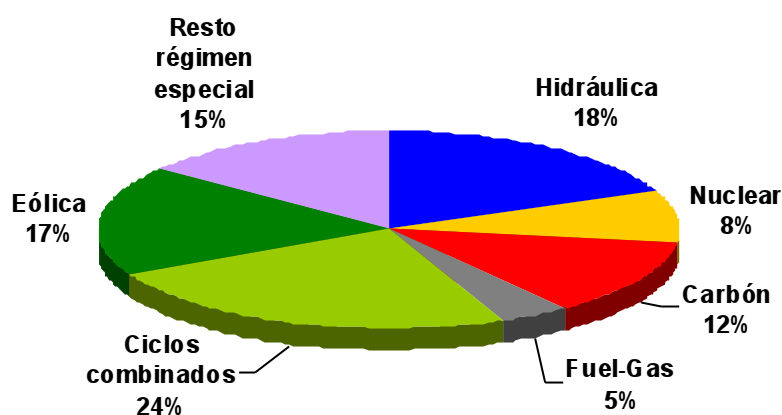


Figura 7.7. Capacidad instalada 2008.

5 Producción de energía eléctrica procedente de todas aquellas instalaciones no acogidas al régimen especial.

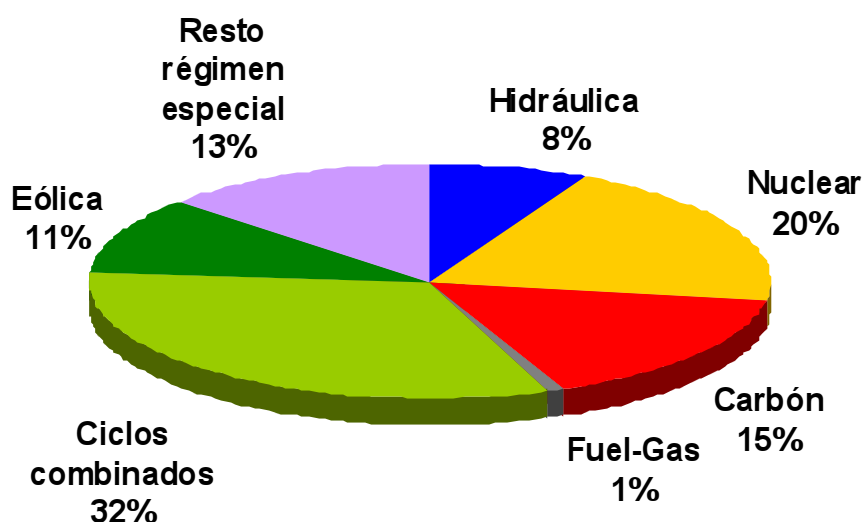
6 Datos del avance del informe del sistema eléctrico 2008, REE.



En cuanto a la contribución de cada tecnología a la cobertura de la demanda anual, es decir, la energía realmente producida en el año 2008 por cada categoría de generación, lo más destacable del año ha sido el progresivo aumento de la oferta de generación del ciclo combinado y de la energía eólica, que han cubierto, respectivamente, el 32% y el 11% de la demanda (un 25% y un 10% en 2007). Las centrales de ciclo combinado a gas natural se han convertido en España en la tecnología mayoritaria, tanto en términos de potencia (24%) como en energía producida (32%). En general, todas las tecnologías de régimen ordinario térmicas tienen un mayor peso en términos de energía que en términos de potencia. Por ejemplo, el parque nuclear aportó un 20% de la electricidad producida a pesar de contribuir sólo en un 8% al total de potencia instalada.

Por su lado, las tecnologías de régimen especial y la gran hidráulica suponen en su conjunto un 49% de la potencia instalada, mientras que su aportación a la producción se limitó a un 31% de la energía. Cabe destacar, sin embargo, que el año 2008 fue un año hidrológicamente relativamente seco y que, dentro del régimen especial, el balance de energía presentado no contabiliza los autoconsumos de los cogeneradores como energía realmente aportada.

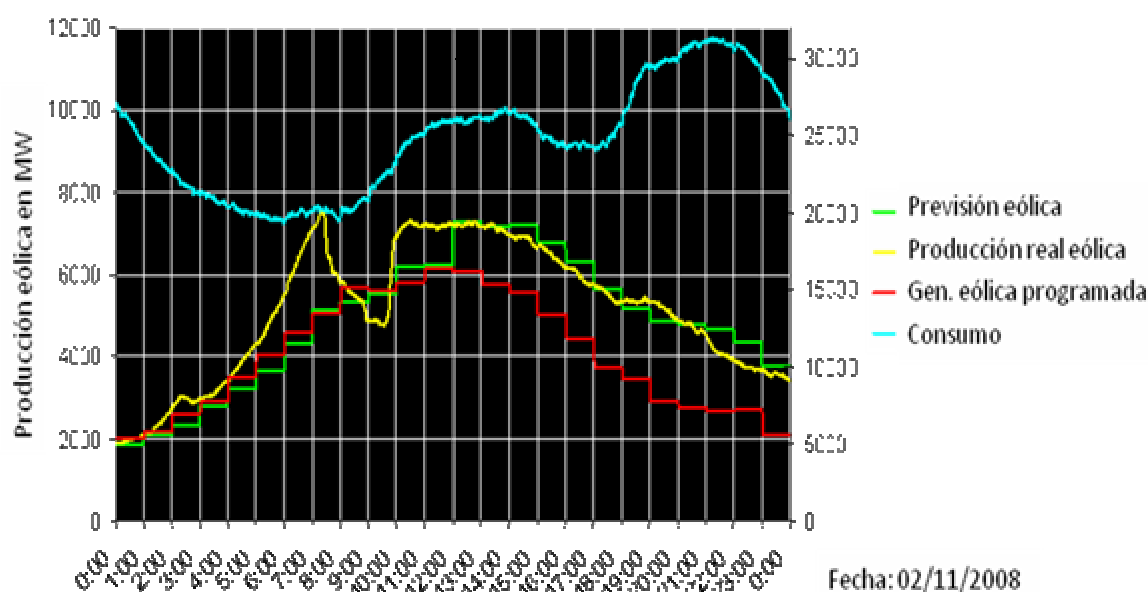
Con las particularidades propias de cada una de ellas, todas las tecnologías son necesarias para la consecución de un *mix* energético equilibrado. Además, de cara a la seguridad de abastecimiento, es deseable que no exista ninguna tecnología con una penetración excesiva.



**Figura 7.8.** Mix de generación eléctrica 2008.

El creciente peso de la generación no gestionable (aquella cuya producción depende de la fuente de energía primaria y, por tanto, no es del todo controlable, como la eólica o la solar) plantea nuevos retos a resolver por el sistema. Por ejemplo, en condiciones de baja demanda (valles) es necesario restringir la generación no gestionable (eólica), ya que puede suponer una parte sustancial de la cobertura de la demanda que no aporta firmeza. Por ello, resulta cada vez más necesario aplicar medidas de control de la producción eólica en horas valle. Tal y como se muestra en la Fig. 7.9, esta situación se produjo el domingo 2 de noviembre de 2008 en el sistema eléctrico español: se dio la orden de reducir la producción eólica, con la consiguiente pérdida de recurso primario renovable.

Ante estas situaciones, resultan cada vez más valiosas adoptar medidas en el sistema que tiendan a aumentar la demanda en periodos valle.



**Figura 7.9.** Valle de demanda con alta producción eólica (2 de noviembre de 2008).

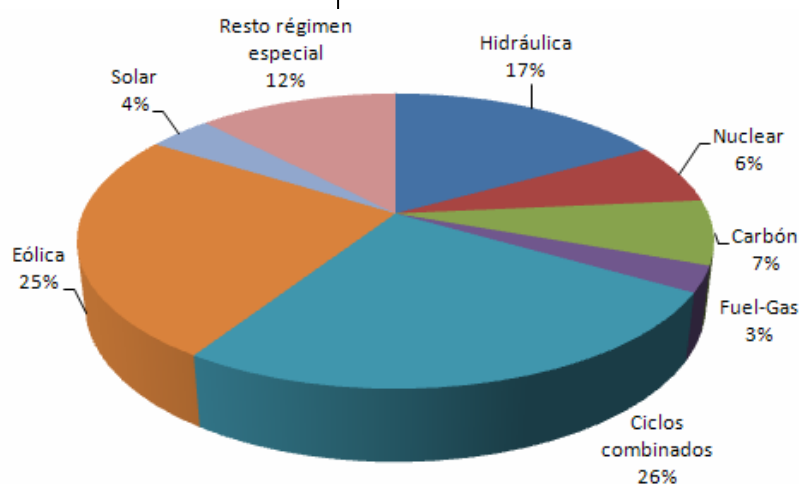
### 7.3.2. Sistema eléctrico en 2016

El informe “Planificación de los Sectores de Electricidad y Gas 2008-2016. Desarrollo de las Redes de Transporte. Mayo 2008”, del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC) incluye una previsión de las características del sistema eléctrico en 2016. Según él, para garantizar la cobertura de demanda prevista en 2016, sería necesario dotar al



sistema de una capacidad de potencia instalada de unos 117.000 MW a nivel peninsular. La evolución prevista del equipo generador se caracterizaría por las siguientes hipótesis más significativos:

- Eólica: 29.000 MW de objetivo de potencia instalada en 2016.
- Solar: 4.500 MW estimados de potencia instalada en 2016.
- Régimen especial renovable (salvo eólica y solar): se estima una potencia instalada en 2011 ligeramente superior a los valores indicados en el PER 2005-2010 y una evolución tendencial hasta 2016, alcanzando los 14.170 MW.
- Hidráulica: 19.630 MW de objetivo para 2016, dato que incluye 5.700 MW de bombeo puro.
- Fuel/gas: 320 MW estimados, más 3.000 MW de equipos de punta (turbinas de gas).
- Ciclos combinados: 30.000 MW previstos para el horizonte analizado.



| Tecnología                | MW             | %  |
|---------------------------|----------------|----|
| Hidráulica                | 19.630         | 17 |
| Nuclear                   | 7.783          | 6  |
| Carbón                    | 8.240          | 7  |
| Fuel-Gas                  | 3.320          | 3  |
| Ciclos combinados         | 30.000         | 26 |
| Total (régimen ordinario) | 68.973         | 59 |
| Generación eólica         | 29.000         | 25 |
| Generación solar          | 4.500          | 4  |
| Resto régimen especial    | 14.170         | 12 |
| Total (régimen especial)  | 47.670         | 41 |
| <b>Total</b>              | <b>116.643</b> |    |

**Figura 7.10.** Potencia instalada prevista a nivel peninsular para el horizonte 2016.

Ello conducirá a los siguientes cambios más significativos en el mix de producción:

- Equipo nuclear: suponiendo el mantenimiento de la potencia instalada, el aumento de la demanda hace que su participación pase del 24% en 2006 a un valor estimado del 17% en 2016.
- Equipo de carbón: hay una reducción progresiva de esta tecno-



logía de producción desde el 26% en 2006 hasta el 14% previsto en 2016.

- Ciclos combinados: siguiendo el escenario de eficiencia, su participación en el mix de generación se mantendría estable en torno al 25%. Según el escenario del operador del sistema eléctrico, pasaría del 25% en 2006 a un 29% en 2016.
- Equipo de arranque rápido (turbinas de gas y bombeo puro): se alcanza el 3% de participación en la cobertura de la demanda en 2016.
- Hidráulica (excepto bombeo puro): mantiene su participación en el mix en torno a un 8% del total.
- Generación eólica: se prevé un significativo aumento de este tipo de tecnología de generación, pasando del 9% en 2006 a un previsible 19% en 2016 (escenario de eficiencia).

La producción de origen renovable (incluida toda la generación hidráulica) pasa del 18% en 2006 a una cifra cercana al 32% en el horizonte 2016. Esta previsión de balance de energía futuro y, más concretamente, su estructura, implicaría una reducción media del orden del 17% en las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo de los años del horizonte de estudio, respecto de los valores del año 2005.

Para garantizar el transporte de la electricidad desde la producción al consumo en condiciones de calidad y fiabilidad, está previsto, asimismo hasta el año 2016, un gran número de actuaciones. Las instalaciones de la red de transporte del sistema eléctrico peninsular, que ha planificado el MITyC con este fin, se encuentran dentro de las siguientes categorías:

- Mallado de la red de transporte, que incluyen actuaciones que proporcionan un mallado estructural de la red.
- Desarrollo de las interconexiones internacionales.
- Apoyo a la demanda, que incluye las actuaciones asociadas al refuerzo del interfaz entre los distintos niveles de la red de transporte, el apoyo transporte-distribución y el suministro a consumidores singulares.
- Conexión local de nueva generación, de régimen ordinario y de régimen especial, que incluye las actuaciones imprescindibles para asegurar la conexión de cada uno de los generadores.

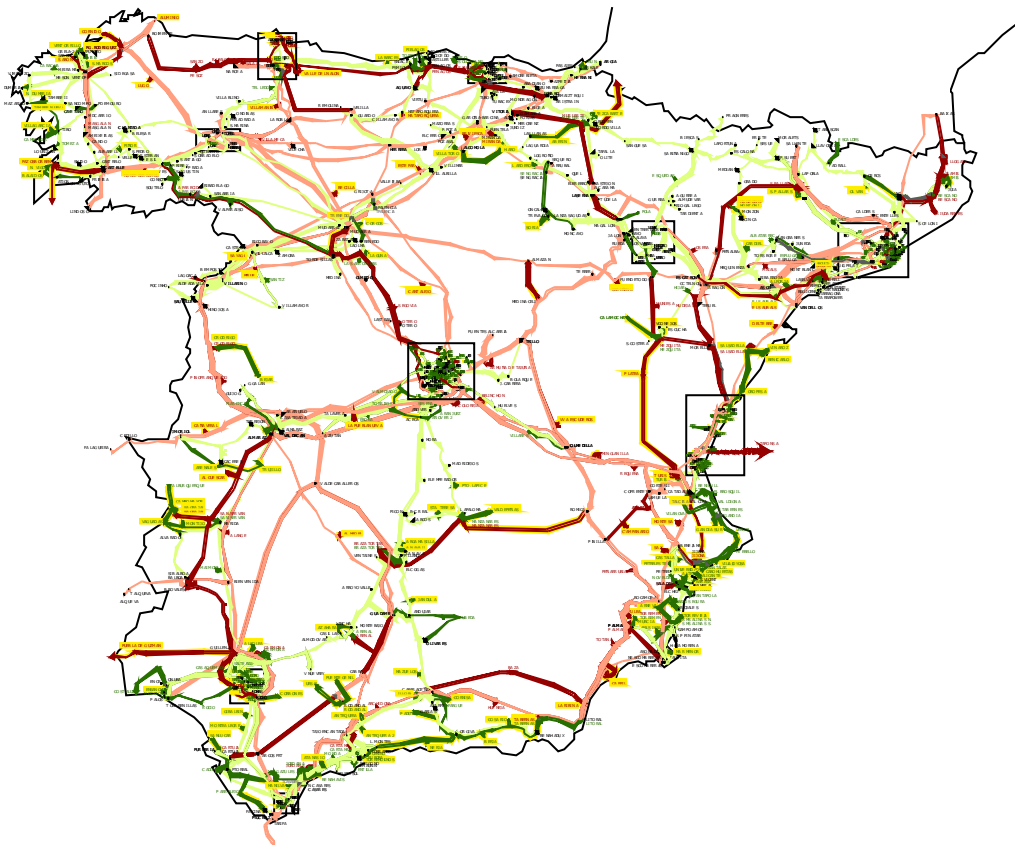
La Fig. 7.11 muestra el mapa de la red de transporte eléctrico planificado para 2016 y un resumen de las principales magnitudes en cuan-





## Guía del Vehículo Eléctrico

to al incremento de longitud de circuitos, posiciones de subestación y de potencia de transformación.



### Planificación 2016

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| Δ Km de circuito                | 12.656 |
| Δ Posiciones de subestación     | 3.476  |
| Δ Potencia transformación (MVA) | 52.450 |

**Figura 7.11.** Sistema eléctrico peninsular para el horizonte 2016.

## 7.4. Impacto de la integración de vehículos eléctricos en un sistema eléctrico

### 7.4.1. Impacto en la demanda eléctrica

En términos de energía anual consumida (o a abastecer), el impacto de una integración progresiva de vehículos en el sistema eléctrico se estima *a priori* reducido. A título de ejemplo, basta con indicar que la existencia de un millón de vehículos eléctricos en 2014 supondría sola-

mente un aumento de la demanda anual de un 1%. Sin embargo, la forma en que se produzca dicho consumo (cuándo y cómo) sí que puede impactar de forma determinante en el perfil de demanda del sistema y, por ende, en las características de éste.

El consumo eléctrico tanto de los vehículos híbridos enchufables como de los exclusivamente eléctricos depende de las características de la(s) batería(s) que se instalen. Por ello, para evaluar el impacto que un aumento de vehículos eléctricos tendría en un sistema eléctrico, es imprescindible responder primero a las siguientes preguntas clave:

### **¿Cuánto tiempo durará la recarga de la batería? ¿Cuándo va a realizarse la recarga?**

Si bien es cierto que existen vías de investigación que apuntan hacia otras soluciones, la mayor parte de los desarrollos de prototipos, tanto de vehículos de baterías como de híbridos enchufables, incluyen baterías con tiempos de recarga que oscilan entre 4 y 6 horas.

Desde el punto de vista del abastecimiento eléctrico, unos tiempos de recarga cortos podrían resultar exigentes, ya que no se adaptarían a las condiciones de funcionamiento en baja tensión y podrían originar puntas de demanda eléctrica considerables en aquellos momentos en los que se produzca una importante simultaneidad de usuarios recargando.

Para ilustrar este punto basten dos ejemplos:

Teniendo en cuenta las magnitudes que manejan las investigaciones sobre las baterías de los vehículos enchufables (energía acumulada de ~10 kWh), una recarga de 5 minutos no podría realizarse desde un enchufe doméstico (220 V), ya que exigiría intensidades de corriente inadmisibles (~ 550 A). Sin embargo, la recarga en unas 5 horas podría realizarse sin problemas (~10 A).

Asimismo, si se toma esa misma energía y un sistema de recarga de 5 minutos, bastaría con que un 3% del parque actual de automóviles recargase simultáneamente para que la demanda de potencia alcanzase unos 80.000 MW; es decir, una potencia que, en magnitud, se acerca a la potencia total instalada actualmente en el sistema eléctrico español peninsular.





**El tiempo de recarga de la batería es un factor clave del diseño. Para que la recarga se realice a nivel doméstico los tiempos deben ser superiores a 4 horas (valores en torno a 8 horas son preferibles).**

Así pues, para que la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos pueda realizarse mediante el uso de las infraestructuras a nivel doméstico, es necesario que los tiempos de recarga sean superiores a las 4 horas. De hecho, cuanto mayor sea el tiempo de recarga, menores serán las exigencias en términos de potencia necesaria y menor el impacto en el sistema.

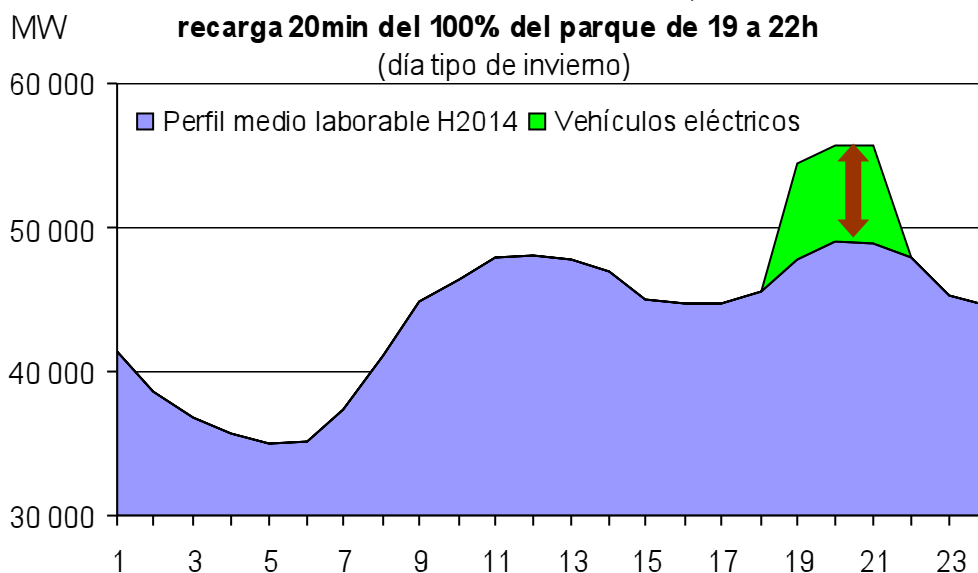
Una vez fijado el periodo de recarga de la batería, en principio sería el propio usuario quien decide el momento del día en que la va a realizar. Si bien podría ser a cualquier hora, desde el punto de vista del sistema eléctrico existen una serie de argumentos para incentivar fuertemente que se produzca durante el periodo nocturno, por lo menos en una primera fase de la integración de vehículos eléctricos.

Dado que el sistema eléctrico se dimensiona para hacer frente a la máxima demanda y que, sin embargo, la demanda no es constante a lo largo del día (Fig. 7.4), las infraestructuras están infrutilizadas una buena parte del día, principalmente durante la noche.

#### Perfil de demanda para una penetración de un millón de vehículos eléctricos en 2014,

**recarga 20min del 100% del parque de 19 a 22h**

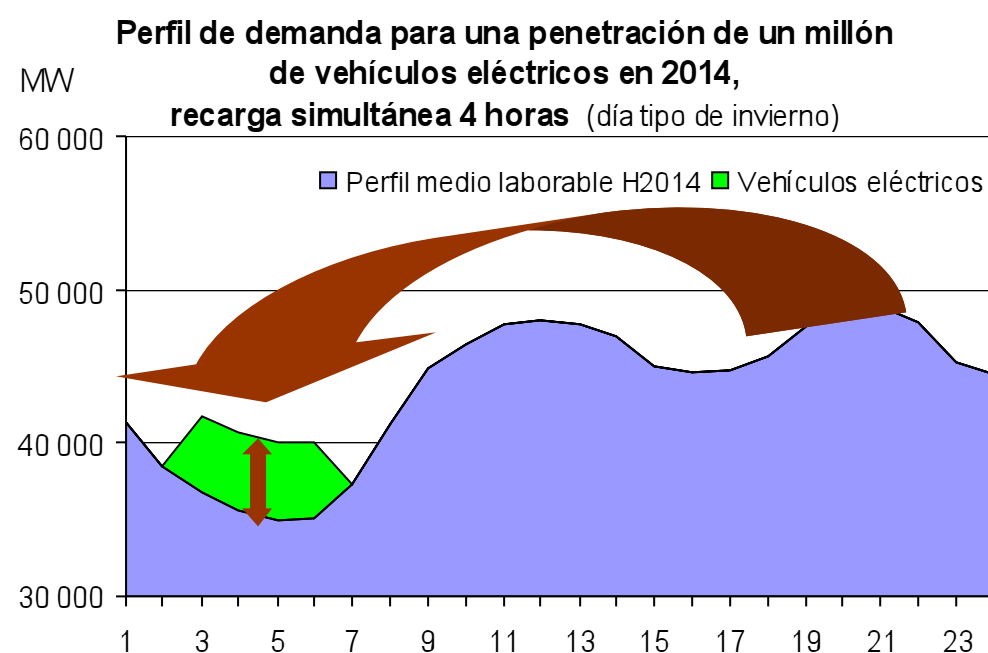
(día tipo de invierno)



**Figura 7.12.** Perfil de demanda con recarga de las baterías en horas punta de demanda.

Una recarga de las baterías en horas punta obligaría a mayores inversiones tanto en las redes de transporte y distribución como en el sistema generador, aumentaría el nivel de infrautilización de las infraestructuras, disminuiría aún más la rentabilidad de éstas y aumentaría el coste del sistema.

Por el contrario, un aumento de la demanda nocturna permitiría aplanar la curva de demanda con el consiguiente aumento en la utilización y rentabilidad de las infraestructuras eléctricas, tanto de las redes como de los generadores.

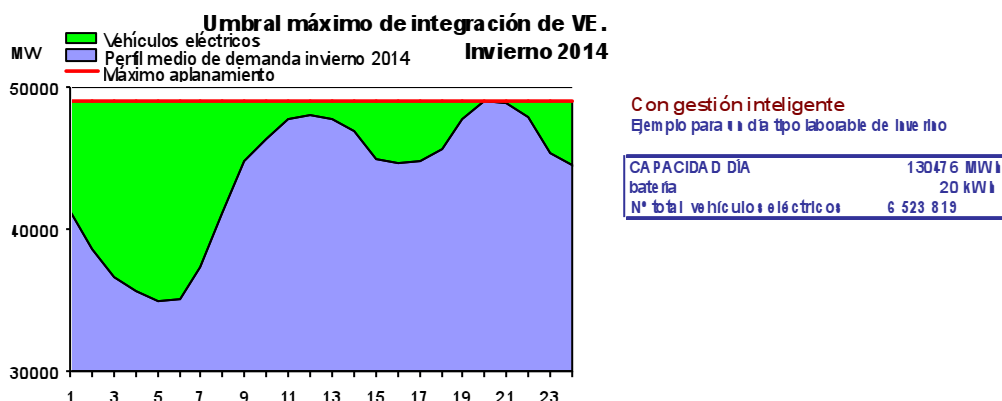


**Figura 7.13.** Perfil de demanda con recarga nocturna de las baterías.

Cabe destacar que este argumento es válido hasta un cierto incremento de demanda nocturna. En efecto, por encima del incremento límite que hace que los niveles de demanda en noche y día sean similares, umbral propio de cada sistema eléctrico, se requerirían inversiones en infraestructuras, tanto de generación como en redes. El sistema se seguiría beneficiando de un mejor uso de las infraestructuras en general, pero el coste sería mayor.

Por otro lado, un aumento de la demanda en valle, es decir, por la noche, permitiría una mayor integración de renovables en el sistema. Esto es así, ya que se podrían aprovechar mejor aquellos momentos de alta producción renovable que, al coincidir con momentos de ba-





**Con un sistema de gestión inteligente coordinado óptimo, el sistema podría integrar en 2014 hasta 6,5 millones de vehículos eléctricos sin necesidad de inversiones en generación ni en red de transporte**

**Figura 7.14.** Umbral máximo de integración de VEs sin inversiones extras.  
Invierno 2014.

la demanda y/o de grandes exigencias de firmeza de generación, originan reducciones de producción renovable por necesidades de seguridad del sistema. Asimismo, algunos investigadores apuntan que, a muy largo plazo, una gestión activa de la capacidad de almacenamiento de los vehículos eléctricos (cargas y descargas de las baterías controladas por un gestor de forma coordinada con la generación distribuida) podría igualmente ayudar a mejorar la integración de la generación renovable en el sistema.

Desde el punto de vista del cliente, aparecen también una serie de incentivos para recargar las baterías en horario nocturno:

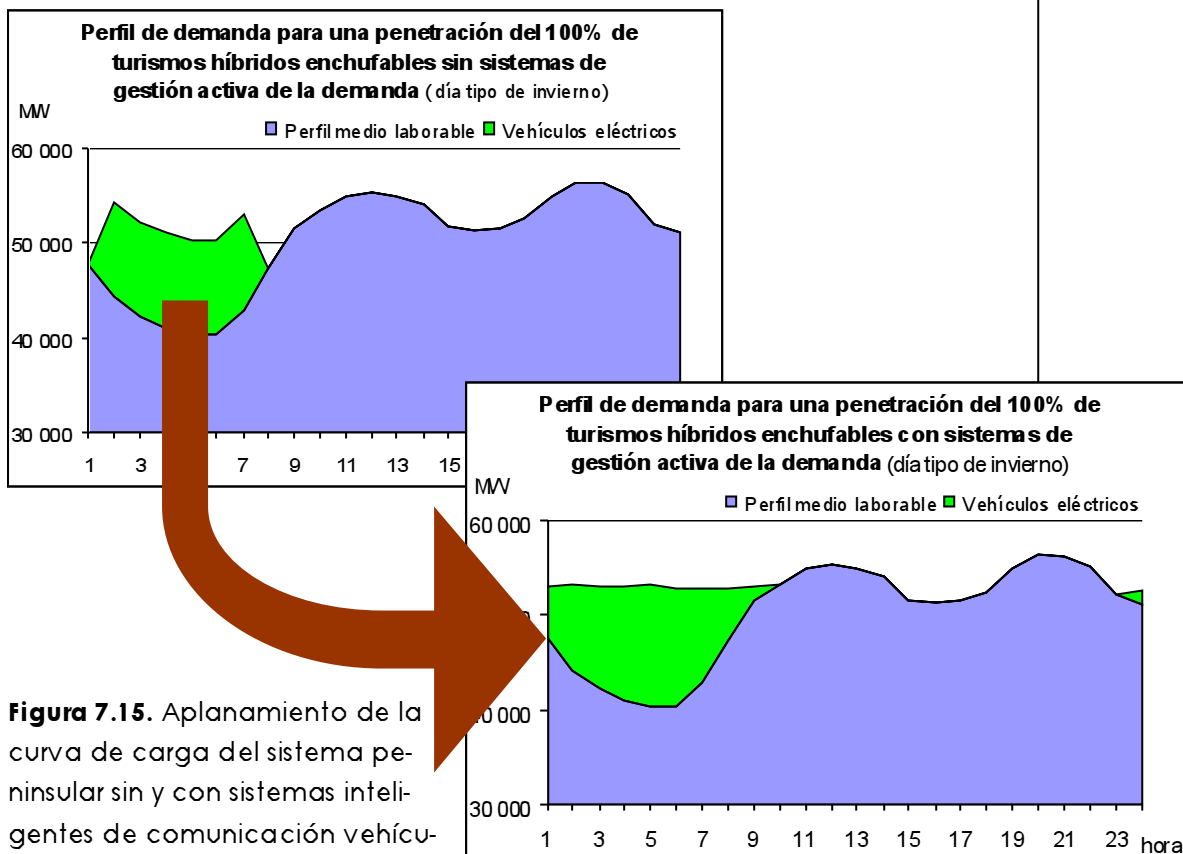
- La mayor parte de la población no utiliza el coche durante la noche mientras que, de día, se requiere una mayor disponibilidad del vehículo.
- Siempre que exista una diferencia de coste entre el consumo diario y el nocturno, el cliente tiene un claro incentivo para recargar por la noche.

Sin embargo, cabe destacar que, a medida que se incremente la demanda nocturna, el diferencial de precios de la electricidad entre no-

che y día disminuirá, provocando una reducción del estímulo para consumir preferentemente de noche.

Por todo lo dicho, para que la integración de los vehículos eléctricos en el sistema eléctrico sea eficiente, resulta de vital importancia fomentar la recarga nocturna mediante todas las vías posibles: campañas de sensibilización, contadores con discriminación de precios, tarifas nocturnas especiales, etc. Estas medidas deberían también estar encaminadas a fomentar que la recarga se produzca durante toda la noche y no sólo en las primeras horas, de forma que la nueva demanda quede distribuida a lo largo de toda la noche.

Por último, debe mencionarse asimismo la importancia de dotar al sistema de un control inteligente de la recarga. Penetraciones importantes de vehículos eléctricos, Fig. 7.15, en sistemas que no dispongan de dichos mecanismos de control coordinado de las recargas de vehículos podrían implicar la existencia de incrementos y decrementos bruscos de la demanda que desestabilicen el sistema. En estos casos, resultará necesaria la implantación de sistemas inteligentes de comunicación vehículo-red que permitan un aplanamiento eficiente de la curva de carga.



**Figura 7.15.** Aplanamiento de la curva de carga del sistema peninsular sin y con sistemas inteligentes de comunicación vehículo-red.





### 7.4.2. Impacto en las infraestructuras de transporte y distribución

Por todo lo argumentado anteriormente, existen fuertes incentivos para que el consumo eléctrico debido a la penetración de vehículos eléctricos en un futuro se produzca mayoritariamente de noche, sin aumentar la demanda pico diaria del sistema. Por otro lado, dado su origen, dicho consumo se localizará principalmente en los grandes núcleos urbanos y zonas residenciales. Así pues, el transporte de electricidad para abastecer esta nueva demanda nocturna deberá efectuarse desde las centrales de producción hacia los núcleos urbanos, provocando flujos en las redes de transporte similares a los diurnos y, por lo tanto, no requiriéndose inversiones en dicha red.

Bajo la hipótesis de demanda pico diaria constante, tampoco se requerirá un refuerzo generalizado de las infraestructuras de la red de distribución, aunque sí es previsible que se requieran inversiones moderadas en baja tensión orientadas a reforzar la alimentación de alguna zona residencial. El principal reto para la distribución consistirá en acercar los puntos de alimentación de electricidad hasta los lugares donde se aparcen los coches y establecer una logística de funcionamiento (asignación y cobro).

El conjunto de cambios e inversiones enumeradas hasta el momento no suponen ningún reto tecnológico importante. Sin embargo, sí supondría un desafío la instalación de contadores inteligentes que aporten otra serie de utilidades adicionales. Mediante estos contadores se podría establecer una comunicación entre el coche-consumidor y el gestor de la red de distribución de forma que, por ejemplo:

- La recarga de las baterías no se produzca desde el principio a potencia máxima, sino que la potencia vaya aumentando gradualmente, permitiendo una gestión suave de las variaciones de demanda. De igual modo se realizaría con el final de la recarga. Esta gestión podría realizarse bien a nivel de batería individual o bien controlando un conjunto de coches que se irían conectando paulatinamente uno detrás de otro.
- El gestor de la red pueda, en situaciones críticas (picos de demanda, contingencias en redes), cortar el suministro e incluso comprar la energía almacenada en las baterías de los vehículos, en función de lo acordado con el cliente. Esto último resultaría



viable con vehículos híbridos enchufables ya que, aunque el coche no cargue por la noche, al día siguiente el usuario dispondría de movilidad gracias al combustible convencional.

### 7.4.3. Impacto en la estructura de generación

Al igual que ocurre con el resto de infraestructuras, el aplanamiento de la curva de carga diaria aumenta el grado de utilización de las centrales de producción. Esto conduce a un aumento del rendimiento global del parque generador (funcionamiento cercano a los puntos de máximo rendimiento, reducción de transitorios, etc.) y de la rentabilidad de estas instalaciones.

Por otro lado, como ya se ha comentado anteriormente, un aumento de la demanda en valle puede derivar en una mejor integración de la generación renovable y, en particular, de la eólica, que, igualmente, derivará en un mayor uso de estas instalaciones (aumento del número de horas de funcionamiento). El sistema de generación en su conjunto se volvería más eficiente al aprovechar en mayor medida los recursos renovables.

### 7.4.4. Impacto en la operación del sistema

Supuesta una penetración de vehículos eléctricos con consumo por las noches, el efecto más importante que se observaría desde el punto de vista del operador del sistema sería el aplanamiento de la curva de carga. Esto facilitaría la operación del sistema, ya que no deberían afrontarse diariamente variaciones importantes de la demanda y el sistema funcionaría prácticamente en un estado estacionario. Asimismo, al mejorar la integración en valle de la generación eólica, la operación sería menos tensa, ya que podrían evitarse muchas de las situaciones en las que la seguridad de abastecimiento se vería comprometida por falta de firmeza en la generación y que derivarían en cortes de producción de renovables.

Sin embargo, en sistemas con una penetración masiva de vehículos eléctricos, la conexión de éstos a la red deberá realizarse de forma coordinada mediante sistemas de comunicación vehículo-red para evitar que, debido a la simultaneidad en la conexión/desconexión a la red de muchos usuarios, se produzcan variaciones bruscas y de





## Guía del Vehículo Eléctrico

cuantía importante de la demanda que podrían afectar al buen funcionamiento del sistema.

Asimismo, en sistemas con una carga importante de las infraestructuras (tanto de transporte como de generación), podría aumentar el número de indisponibilidades, ya sean forzosas o fortuitas, dificultaría la planificación de los descargos y se reduciría el margen de seguridad del sistema. Por todo ello, en sistemas con una gran carga en continuo, podría resultar útil el fomento de contadores inteligentes, de forma que el gestor de la red de distribución, e incluso el operador del sistema a través de éste, pueda disponer de una herramienta más de operación. Con ella se podría modular suministro, interrumpir suministro e incluso, llegado el caso, volcar a la red parte de la energía almacenada en los vehículos. El uso de este tipo de herramientas exigiría previamente importantes desarrollos en comunicaciones y logística, en definitiva, en lo que se denomina “*smart grids*”.

## 7.5. Conclusiones

Del análisis presentado se desprende que, en términos de consumo de electricidad anual, el impacto de la integración progresiva de vehículos eléctricos resulta limitado. Sin embargo, el cómo y cuándo se realice la recarga de las baterías resultan factores determinantes en el impacto de la eficiencia y operación del sistema eléctrico.

Es deseable que las recargas sean de larga duración, así como que el consumo futuro de los vehículos eléctricos se produzca principalmente en horas nocturnas, es decir, horas en que la demanda de electricidad para el resto de usos es baja. El propio consumidor disfrutaría, por un lado, del menor coste de la electricidad característico de las horas de demanda reducida y, por otro lado, tendría una mayor disponibilidad del vehículo en horario diurno, el de mayor actividad. Asimismo, se produciría un aplanamiento de la curva de carga diaria que derivaría en un mayor uso y rentabilidad de las infraestructuras existentes tanto de transporte como de generación, sin coste de inversiones adicional, así como en una mejor integración de las energías renovables. La operación del sistema se vería también facilitada siempre y cuando se adoptasen las medidas adecuadas para evitar saltos bruscos de demanda de cuantía importante. Para ello, resultará necesario desarrollar sistemas de carga inteligentes con comunicación vehículo-red.

En lo que respecta a la distribución, también se produciría un mayor uso de las instalaciones aunque, adicionalmente, se prevé la necesidad de realizar inversiones para hacer frente a congestiones puntuales, desarrollar el acceso de los vehículos a la red de baja tensión, instalar contadores con discriminación horaria, implantar una nueva logística de facturación y un sistema inteligente de comunicación. Todas éstas son necesidades que requieren esfuerzos en investigación y desarrollo; sin embargo, ninguna supone un reto tecnológico insalvable.

En definitiva, la integración de vehículos en el sistema eléctrico representa un reto atractivo que puede aportar grandes beneficios en términos medioambientales y de eficiencia. Merece la pena, por lo tanto, que unamos nuestros esfuerzos, imaginación e ilusión para abordarlo con éxito.





## 8

## LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA Y LA CARGA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## 8.1. Introducción

El presente capítulo responde a la iniciativa tomada por la Comunidad de Madrid, a través de su Dirección General de Industria, Energía y Minas, de publicar un documento monográfico sobre el vehículo eléctrico. Dicha iniciativa es particularmente oportuna por el tema elegido y su momento.

El vehículo eléctrico será una realidad en breve (1) y España y, en concreto, una de sus regiones más activas, debe formar parte del grupo que lidere su implantación y explotación en el mundo.

El vehículo eléctrico en la actualidad recoge más de cien años de desarrollo tecnológico en numerosos campos, y bien gestionado puede convertirse en un elemento clave en la respuesta racional ante el cambio climático. La reducción directa en la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente CO<sub>2</sub>, así como la progresiva sustitución del petróleo como materia prima energética son los ingredientes básicos de esa respuesta.

El vehículo eléctrico se resume en dos componentes esenciales de diferente evolución tecnológica. Por un lado, está el sistema motriz, que con el motor eléctrico aprovecha su eficiencia mejor que la del motor de explosión, así como la recuperación de la energía en los procesos dinámicos, tales como el de frenado, cuya eficiencia también mejora. Por otro lado, la batería, que permite usar la energía eléctrica como primaria en la movilidad mediante su proceso electroquímico. Si bien la tecnología de las baterías ha registrado un gran desarrollo en las últimas décadas (recordemos los ordenadores portátiles y los teléfonos móviles), es en este componente donde se prevé una mayor intensidad y rapidez en su evolución. Se necesita aumentar su densidad de potencia, disminuyendo su volumen, así como facilitar procesos de carga y descarga más dinámicos asegurando una vida útil adecuada.

Teóricamente, es posible suponer que un vehículo eléctrico, a través de su batería, podrá comportarse como un generador eléctrico que aporte su energía almacenada a la red eléctrica. Sin embargo, ese





## Guía del Vehículo Eléctrico

menor desarrollo tecnológico no confirma todavía una aplicación práctica. Por ello, este capítulo se refiere mayoritariamente al vehículo eléctrico como carga eléctrica. La innovación y el desarrollo tecnológico son básicos para el proceso y no hay duda de que, cuando se den las circunstancias oportunas, el vehículo eléctrico podrá también actuar como generador.

Por último, para esta introducción, es importante resaltar la conveniencia de aprovechar el desarrollo de las “*smart grids*” eléctricas para una integración coherente de los vehículos eléctricos. El desarrollo de la generación distribuida de origen renovable, así como de la eficiencia energética a través de la gestión de la demanda eléctrica, necesitan del uso intensivo de las tecnologías de información y comunicaciones para convertir las redes convencionales del siglo XX en redes inteligentes con las que distribuir la electricidad en el siglo XXI. Como se verá, la incorporación del vehículo eléctrico en nuestra sociedad será más fácil con las redes inteligentes.

## 8.2. La demanda eléctrica de los vehículos eléctricos

La carga de la batería demanda una energía eléctrica con unas características que pueden considerarse distintas frente a otro tipo de cargas:

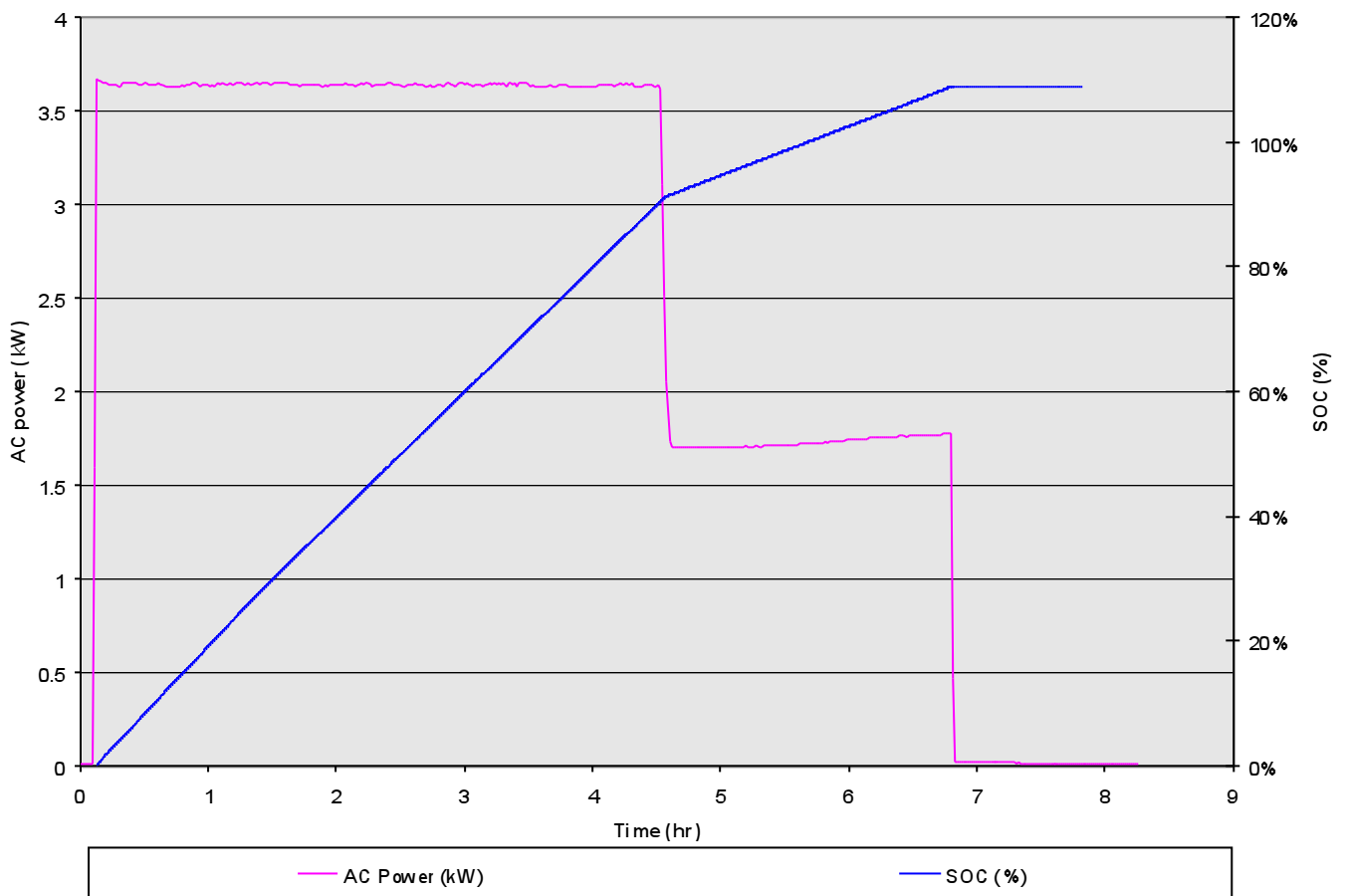
- Es un almacenamiento directo de energía.
- Puede estar conectado al sistema eléctrico durante un tiempo prolongado.
- Su relación de potencia de carga / energía almacenada puede ser muy alta.
- Incorpora electrónica de potencia, lo que permite un mejor control de la potencia reactiva contribuyendo, en consecuencia, al control de tensiones en la red.

### 8.2.1. Tipos de carga

En la Fig. 8.1 se observa un régimen típico de carga de una batería de ión de litio en un vehículo híbrido enchufable en el que se consigue

una carga completa en unas cinco horas con una potencia de 3,3 kW.

Se trata de un ejemplo de lo que se conoce como **carga lenta**, que puede realizarse perfectamente en corriente monofásica y que será la mayoritaria si el control del que se habla más adelante se aplica adecuadamente.

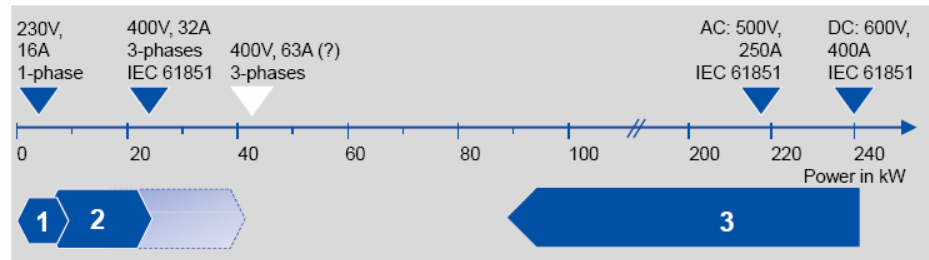


**Figura 8.1.** Régimen de carga de una batería de ión de litio.

La **carga rápida**, Fig. 8.2, en corriente alterna requiere potencias de un orden de magnitud superior, en el entorno de los 20-40 kW, si se quiere completar en unas decenas de minutos, y de dos órdenes de magnitud, en el entorno de los 220 kW, si se quiere completar en unos 5 minutos, tiempo ya similar al de la recarga de un vehículo convencional en una gasolinera. En estos casos, se trata de potencias que deben facilitarse en corriente trifásica.



#### DEFINITION FAST CHARGING



|                    | 1. Default (home) charging | 2. Normal charging | 3. Fast charging                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>How do we define fast charging?</li> <li>What does it mean in terms of power?</li> </ul> |
|--------------------|----------------------------|--------------------|---|---|
| Maximum power      | up to 3.7 kW               | up to 22/43 kW     | up to 240 kW (DC)<br>up to ~220 kW (AC) |   |
| Charging duration* | 10 kWh                     | ca. 3 h            | 15-30 min                               |   |
|                    | 20 kWh                     | ca. 5.5 h          | 30-60 min                               |   |
|                    | 40 kWh                     | ca. 11 h           | 60-120 min                              |   |
|                    |                            |                    | <5 min                                  |   |
|                    |                            |                    | ca. 5 min                               |   |
|                    |                            |                    | ca. 10 min                              |   |

\* simplified, basic calculation for duration: Capacity / Power

PAGE 5

**Figura 8.2.** Definición de la carga rápida de una batería.

El hecho de poder cargar con mayor intensidad y, por lo tanto, mayor energía o menos tiempo hace que también se considere la carga en corriente continua. En este caso, se precisa un nuevo componente con el que, normalmente, no estará equipado el vehículo: un rectificador que, además, deberá controlar la intensidad de carga.

De cualquier forma, la carga rápida requiere mayor potencia que la carga lenta y, por lo tanto, posible ampliación de la red existente, ya sea en el entorno doméstico como fuera de él. Al tener mayor potencia y, en definitiva, operar con mayores intensidades, se requieren mayores medidas de protección y, en el caso de puntos públicos de carga, de un entorno muy controlado.

Por otra parte, la previsible diferencia de precio en la energía suministrada para los dos tipos de carga, hace que un vehículo preparado para la carga rápida deberá también estarlo para la lenta y, en definitiva, con dos tomas diferentes de corriente.

Técnicamente, y salvo lo mencionado sobre su efecto en las baterías, principalmente en su vida útil, ambos tipos de carga están resueltos por el lado de la red eléctrica y por el lado del vehículo. La normalización de los conectores se encuentra muy avanzada; de hecho, a lo largo de este año 2009 se viene trabajando de forma intensiva para incorporar el diseño recomendado en la publicación del 2010 de la norma IEC62196.



### MENNEKES Vehicle Coupler

**MENNEKES®**  
Plugs for the world

- ✓ Charging current from 16A up to 63A.
- ✓ For single-phase 230V and three-phase 400V use.
- ✓ Isolated power pins for bidirectional use (grid to vehicle / vehicle to grid)
- ✓ With locked plug while the charging process is running.
- ✓ "plug present contact" for example for immobilizer.
- ✓ "control pilot" for communication.

Charging performance:

|     | 230V    | 400V    |
|-----|---------|---------|
| 16A | 3,7 kW  | 11,0 kW |
| 32A | 7,4 kW  | 22,0 kW |
| 63A | 14,5 kW | 43,5 kW |



**Figura 8.3.** Ejemplo del conector de la casa MENNEKES.

### 8.2.2. Demanda agregada

Una vez visto el consumo por vehículo, se debe considerar, a efectos de analizar el impacto en el sistema eléctrico, la demanda agregada que supone un parque de vehículos eléctricos.

La integración en el sistema desde la perspectiva de la generación y el transporte ha sido suficientemente tratada en otro capítulo de esta monografía, concluyéndose en que el sistema actual sería capaz de cargar sin problemas varios millones de vehículos eléctricos, sin necesidad de inversiones adicionales, con la condición de **gestionar** su carga.

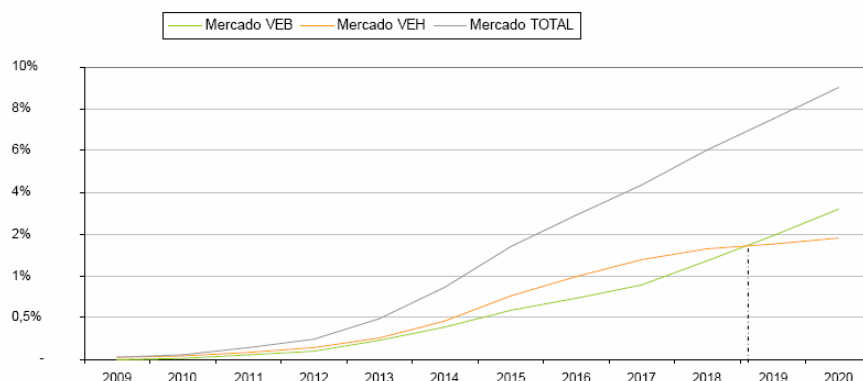
Con ello se contesta a las previsiones más optimistas de penetración del vehículo en el mercado nacional. Es bien conocida la intención recientemente anunciada por la Administración del Estado de alcanzar un parque de 1 millón de vehículos eléctricos de todo tipo, incluyendo en dicha cifra a los híbridos enchufables, a lo largo del año 2014. Se trata de un 5% del parque español de vehículos. Otras previsiones más detalladas estiman que ese 5% no se alcanzará hasta el 2017, si bien en el 2020 habrá un acumulado del 10% del parque total. Esta cifra es perfectamente coherente con la reflejada en un estudio del M.I.T. (2).

En cualquier caso, es el mercado el que dará la última respuesta. A las ofertas más o menos atractivas de los fabricantes, que ya todos,





## Vehículo Eléctrico (VEB + VEH) Mercado Potencial



**Figura 8.4.** Penetración de vehículos eléctricos en el mercado nacional.

sin excepción, se han embarcado en ambiciosos programas de desarrollo y producción, se unirá las actuaciones de la Administración en el campo de subvenciones, impuestos, etc., para configurar una oferta que tendrá la adecuada respuesta de la demanda. Por todo ello, un 5% del parque nacional no parece una cifra difícil de alcanzar, si bien su año de cumplimiento esté sometido a mayor incertidumbre.

La carga de un millón de vehículos no será simultánea ni del mismo tipo a los efectos aquí considerados. Si se tratase de una carga rápida de 40 kW simultánea, se tendría una potencia que, exigida en horas punta, podría llevar a consecuencias inaceptables, mientras que, si se tratase de una carga lenta de 4 kW en horas valle, no plantearía problema alguno. Obviamente, esos son los extremos. La situación real dependerá de muchas cosas, pero las variables fundamentales serán tipo de carga y grado de simultaneidad que, a su vez, estarán directamente influidas por el grado de control de la carga. Grado de control que estará determinado básicamente por una Regulación que establezca unas señales de precio adecuadas para estimular la carga en los momentos mejores para el sistema y, por otro lado, el necesario control técnico que imponga restricciones de algún tipo de carga (normalmente las rápidas) en función de determinadas situaciones comprometidas para el sistema.

Como se verá más adelante, las redes de distribución eléctrica no son homogéneas ni en cuanto a su capacidad de potencia disponible ni

en cuanto a sus posibilidades reales de ampliación. El año en que se establecieron, las zonas que suministran, con sus diferentes crecimientos y usos, los diferentes efectos de las estaciones climatológicas, confluyen en la necesidad de planificar pero, sobre todo, de controlar.

La planificación, que no se diferencia para nada de la necesaria en el desarrollo urbanístico e industrial, será imprescindible en las estaciones de recargas rápida o de carga lenta masiva que exijan unas potencias localizadas que, al final, requieran de nuevas instalaciones de transformación.

En las cargas lentas distribuidas, es semejante a los consumos domésticos o de pequeñas empresas que no plantean problemas en general. Pero en todos los casos, el control es imprescindible para mantener el sistema dentro de sus requisitos de estabilidad.

### 8.3. El control de la carga de los vehículos eléctricos

¿Cómo se puede controlar la carga de los vehículos eléctricos? Para empezar, es el usuario quien debe decidir y, para ello, debe contar con la información precisa y correcta: directamente o a través de un tercero que le aporte el valor de asesoría en un asunto que en sí mismo no es complejo, pero que puede complicarse si se tienen en cuenta el resto de sus consumos y posibilidades energéticas (por ejemplo, una generación doméstica).

Pero también hay que tener en cuenta que el usuario o tercero no ve la estabilidad del sistema. Es la empresa distribuidora, en relación permanente con el Operador del sistema, la que debe vigilar esa estabilidad y la que debe actuar para preservarla llegando incluso a poder evitar la carga solicitada por condiciones técnicas. Ya se ha visto que es en una agregación numerosa de vehículos y, sobre todo, de cargas rápidas, donde pueden aparecer problemas para el sistema.

Con esas dos funciones presentes, la decisión del usuario y la vigilancia por el distribuidor, se indican a continuación los dos tipos principales de requisitos del control de carga.

#### 8.3.1. Requisitos técnicos

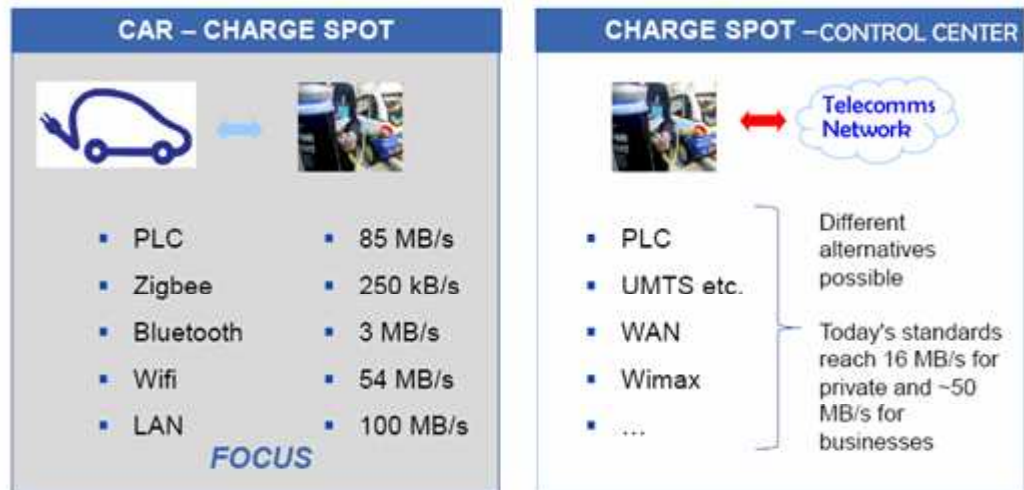
Dejando a un lado los sistemas propios de control y supervisión de la





carga de la batería incorporada en el vehículo, es obvio que se necesita un sistema de comunicaciones y un sistema de medida y control, este último para establecer o interrumpir el paso de corriente.

El sistema de comunicaciones deberá establecer la comunicación desde el punto de carga con el vehículo y desde el punto de carga con el centro de gestión de la distribuidora. Cualquiera de las tecnologías disponibles pueden emplearse, si bien el PLC (*Power Line Communications*) parece ser la opción que cuenta con más ventajas por la facilidad que representa utilizar el mismo cable de recarga desde el vehículo al punto de carga e incluso desde aquí, sobre todo en los subterráneos, hasta un punto donde se disponga ya de una red de comunicaciones.



**Figura 8.5.** Solución de comunicación a medio plazo.

Es fundamental que los protocolos de comunicaciones sean estándar, con objeto de asegurar la interoperabilidad y, sobre todo, la carga del vehículo en cualquier punto. Esta normalización, ya mencionada antes para el caso del cargador, es imprescindible y debe concluirse con urgencia. En EE.UU. se encuentra bastante avanzada y el protocolo ya se ha definido contando, en cualquier caso, con la seguridad de emplear el TCP/IP. En Europa también se está trabajando intensamente en un foro integrado por la industria y las principales empresas eléctricas con la lógica participación de los institutos responsables (3).

Es muy importante tener en cuenta el detalle de los datos a transmitir y la secuencia de comprobaciones y órdenes a enviar. Como es lógico

co, el proceso de medida de la energía consumida, su facturación y cobro, deben así mismo tenerse muy en cuenta. La identificación del punto de carga, e incluso del vehículo si fuera necesario, la sincronización, los tiempos de comienzo y su duración, la potencia de carga, la energía consumida, etc., son algunos de los datos que deben intercambiarse.

Respecto del sistema de medida y control, en principio basta con un contador para cada punto de carga con capacidad de telegestión y sus comunicaciones, de forma que se configure como el elemento “inteligente” de la recarga desde el lado de la red. Una alternativa es el contador instalado en el propio vehículo, que plantea ventajas e inconvenientes al contador fijo en el punto de carga y, en cualquier caso, forma parte del análisis y desarrollo en curso.

Así pues, contador y comunicaciones, en definitiva, telegestión. Y la telegestión, o “*smart metering*”, no es sino el sistema en desarrollo en numerosas empresas eléctricas en todo el mundo, entendiendo por ese desarrollo todo el ciclo completo desde la planificación hasta la operación una vez instalado.

La telegestión debe entenderse como una parte de un concepto más amplio: las *smart grids*, o redes inteligentes que se aceptan generalmente como las redes eléctricas dotadas de telecomunicaciones y sistemas de información, que permiten mejorar la eficiencia operativa y, sobre todo, la participación de los usuarios. El concepto no es improvisado, sino el fruto de muchos años de reflexión y trabajo liderado por EE.UU. (4) y Europa (5).

El hecho de que en muchos países, entre ellos España (país que se adelanta a la Directiva Europea que va a requerirla), exista un mandato legal para la implantación de la telegestión, ofrece la oportunidad de avanzar en el despliegue de las *smart grids*.

Para el caso que nos ocupa del vehículo eléctrico, su integración en un sistema con telegestión será mucho más fácil que sin ella. Si ya hay contadores inteligentes, con sus comunicaciones, gran parte del problema está resuelto.

Las *smart grids* se están entendiendo cada vez más como la herramienta necesaria para cumplir objetivos establecidos tanto por la política como los necesarios para la sociedad:



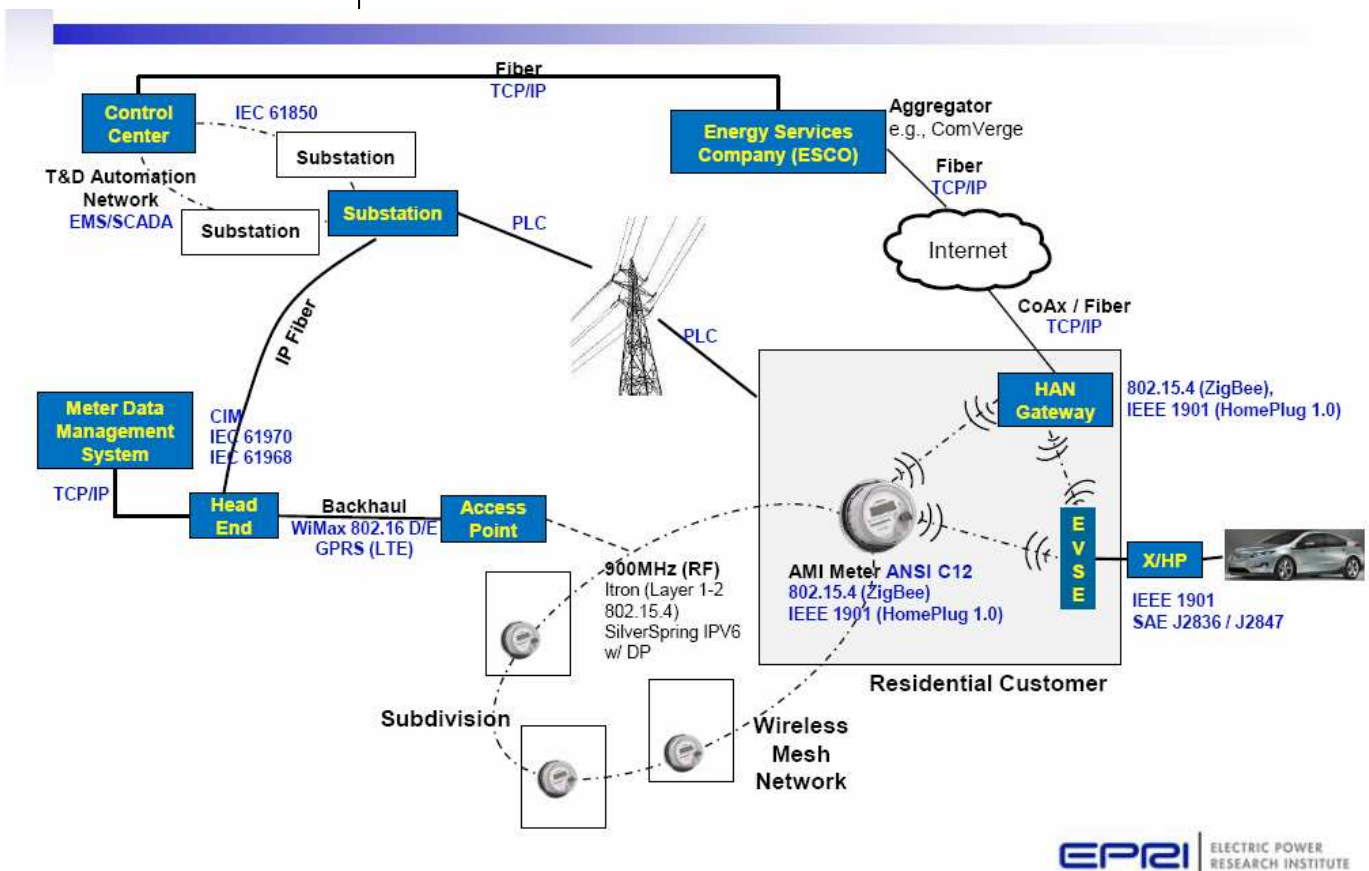


## Guía del Vehículo Eléctrico

- Eficiencia energética, a través de la gestión de la demanda eléctrica.
- Integración masiva de generación distribuida de origen renovable.
- Integración masiva de vehículos eléctricos.

Objetivos todos ellos integrados en otros más amplios como la reducción, con mayor eficiencia, del consumo energético, la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, el aumento de generación de origen renovable y la seguridad del suministro eléctrico.

En suma, es el momento de entender el control de carga del vehículo como una función más del *smart grid*. En la Fig. 8.6 se concreta este concepto, indicándose además las principales normas que resumen los requisitos técnicos en el caso de los EE.UU.



**Figura 8.6.**Control de carga del vehículo como parte del *smart grid*.

### 8.3.2. Requisitos regulatorios

La distribución de energía eléctrica es una actividad regulada en cuanto a que la red, única, de distribución debe asegurar una calidad del servicio que puede ser prestado al usuario final por cualquier comercializador de acuerdo con la normativa en vigor ya en numerosos países, entre ellos, España. Es decir, se trata de una actividad liberalizada en el precio y características finales del servicio, basada en el uso regulado de una infraestructura de red.

Para empezar, hay que indicar que el desarrollo de las *smart grids* sobre todo en las redes de distribución, cuya retribución es todavía un asunto de consideración y debate en España, no está contemplado en la Regulación en vigor.

Tan sólo en algunos países y, principalmente, en numerosos estados de EE.UU. hay una regulación más precisa para la telegestión en la que se garantiza la necesaria recuperación de la inversión incurrida. En España, si bien ya existe una normativa que exige la telegestión, en este momento no está garantizada la recuperación de la inversión necesaria.

Entrando ya en el caso concreto de la función de carga del vehículo eléctrico, es de desear que, mediante el mecanismo de mercado o mediante regulación específica, se consigan precios muy diferentes para la carga en horas valle frente a las de horas punta con objeto de dirigir el mayor consumo hacia aquellas.

Por último, resulta imprescindible permitir la actuación por motivos técnicos del distribuidor, e incluso del Operador del sistema, a través del distribuidor, con objeto de impedir la carga ante determinadas condiciones que hagan peligrar la estabilidad.

## 8.4. La red de distribución eléctrica

### 8.4.1. Características

En España, la red eléctrica está compuesta por las siguientes redes:

- Red de transporte: en términos generales, comprende los niveles





## Guía del Vehículo Eléctrico

de tensión de 220 kV y 400 kV (incluye como casos especiales, y aunque se exploten en un nivel de tensión inferior, las interconexiones internacionales y el nivel de tensión superior en las islas). También en términos generales, es a esta red a la que se conecta la gran generación centralizada.

- Red de distribución: conectada a la red anterior en las subestaciones de transporte a través de grandes transformadores. Comprende los niveles de tensión inferiores hasta, e incluyendo, la media y baja tensión (MT y BT). Es en esta red donde se encuentran los puntos de suministro, que son la frontera con los usuarios.

La red de distribución está estructurada en varios niveles de tensión conectados entre sí mediante transformadores ubicados en subestaciones. Los niveles superiores (tales como el 132 kV y el 66 kV) son típicamente mallados, es decir, las líneas conectan entre sí las subestaciones del mismo nivel de tensión. Los niveles inferiores (tales como el 45 kV, 30 kV, 20 kV, 13 kV) son típicamente radiales, esto es, las líneas de salida de la subestación sólo distribuyen energía a niveles inferiores de tensión hasta la BT. No suelen estar presentes todos los niveles de tensión indicados, habiendo, por lo general, en una zona concreta un nivel mallado y otro radial.

Los niveles de tensión se deciden según la función; dado que a mayor tensión se dispone de más capacidad y menos pérdidas, los niveles superiores se emplean para distribuir mayores potencias y a mayor distancia. En el caso inferior, la BT, las distancias son inferiores al kilómetro o pocos kilómetros y las potencias transmitidas de un máximo de varios cientos de kW.

Los usuarios, igualmente, se conectan según su potencia demandada, situándose los grandes consumidores (normalmente industrias) en las tensiones más elevadas, hasta los clientes domésticos que se suministran en BT. Es precisamente en este nivel de tensión donde se cargarán los vehículos eléctricos

Lo explicado anteriormente se representa en la Fig. 8.7, tratándose de una red real. La secuencia de imágenes representa un “zoom” desde una porción de la red de transporte hasta varias manzanas de Madrid capital. Puede observarse cómo aumenta la capilaridad conforme se disminuye en nivel de tensión.

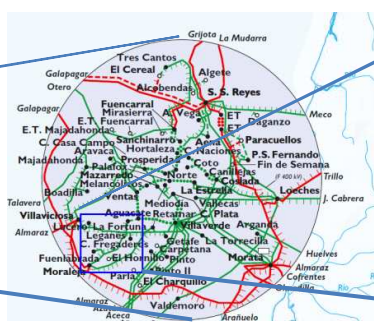


En resumen, la red de distribución, que se ha desarrollado a lo largo de muchos años con enorme esfuerzo inversor, presta una cobertura generalizada a las cargas con una estructura de niveles de tensión adecuada.

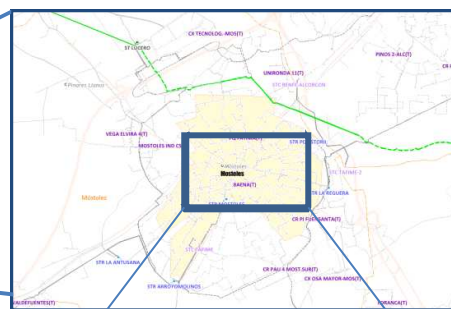
Los vehículos eléctricos se benefician del despliegue de la red actual, ya que serán puntos de carga ubicados en general donde ya existen consumidores (viviendas, empresas), para los que ya se desplegó red y con determinados márgenes de explotación; las denominadas estaciones de servicio o “electrolineras” serían una excepción, en tanto que se podrían ubicar en lugares con insuficiente capacidad de red de distribución (por ejemplo, en medio de una autopista entre dos ciudades), y dado que ofrecerían carga rápida, podrían llegar a requerir nuevas subestaciones.



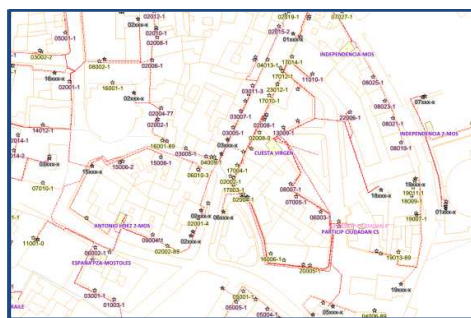
Red de Transporte centro (400 kV y 220 kV)



Red de Transporte Madrid (400 kV y 220 kV)



Red de Distribución Móstoles (45 kV y 15 kV)



Red de Distribución Baja Tensión



Red de Distribución (15 kV)

**Figura 8.7.** Mallado de la red de distribución.

En cuanto a la explotación de las redes, la distribución debe mantener unas magnitudes de explotación seguras, entregando una energía eléctrica a los usuarios según los parámetros establecidos (tensiones, calidad de onda y continuidad de suministro), lo que exige una supervisión y operación constante.



### 8.4.2. Desarrollos necesarios

El desarrollo de la red de distribución para albergar los vehículos eléctricos dependerá de cómo y cuándo se carguen éstos, siendo su efecto mayor que en la red de transporte (ya que esta red soporta las cargas agregadas en grandes cantidades), lo que enmascara concentraciones puntuales de vehículos, por ejemplo, un barrio, que, en cambio, afectaría enormemente a la red de distribución local.

Según estudios preliminares realizados sobre la red de BT y transformaciones MT/BT, y asumiendo que la carga de los vehículos eléctricos se ubique en el valle nocturno, la capacidad remanente de dicha red podría albergar del orden de 5 millones de VE (si los vehículos se distribuyesen donde hay capacidad actualmente). Este resultado arroja una cifra similar a la que permite albergar el sistema eléctrico en cuanto a su generación y transporte, según indica REE. En ambos casos, obviamente, se omite el crecimiento vegetativo de la carga existente y el margen de reserva. Sin embargo, en la red de distribución los vehículos no se conectarán necesariamente donde hay capacidad, sino en función de criterios de movilidad, con lo que será necesario desarrollar red en algún caso.

### 8.5. ¿Un nuevo negocio?

La carga de los vehículos eléctricos exigirá las siguientes inversiones:

- La instalación de los puntos de carga, y su posible gestión centralizada en caso de instalaciones colectivas.
- Los sistemas de medida y facturación, que pueden llegar a ser complejos si incluyen identificación de usuarios, suscripciones, *roaming* entre operadores, las necesarias liquidaciones, etc.
- El refuerzo y/o eventual extensión de la red de distribución.
- La incorporación de gestión activa de la carga a la red de distribución.

Los dos últimos puntos, junto con la medida, correrán a cargo de las distribuidoras eléctricas, propietarias de la red, y su cobertura econó-

mica se realizará dentro de los marcos retributivos, con las actualizaciones que procedan. Los dos primeros puntos abren la posibilidad de soluciones diversas y eventualmente podrán aparecer nuevos agentes en la cadena de valor.

### 8.5.1. Agentes posibles

Aparte de los agentes habituales: empresas distribuidoras, empresas comercializadoras, operador del sistema y operador del mercado, la oportunidad de los nuevos agentes debe tener muy en cuenta la propiedad de las infraestructuras, para lo que cabría distinguir:

1. Puntos de carga en garajes o propiedades particulares, donde la plaza de aparcamiento es de uso continuado por su propietario. El modelo más sencillo sería:
  - La instalación correrá a cargo de dicho propietario, instalándose equipamiento homologado por un instalador cualificado.
  - En el caso muy habitual de garajes colectivos (con plazas en propiedad), la instalación podría hacerse de común acuerdo entre los propietarios y más estructurada, con un contrato de mantenimiento futuro.
  - En todos estos casos, los propietarios pagan la electricidad consumida, de forma desacoplada del posible servicio de mantenimiento.
2. Garajes privados de flotas (de empresas o de instituciones).
  - La instalación y gestión correría a cargo de la empresa propietaria, con la eventual contratación de servicios de mantenimiento.
3. Puntos de estacionamiento público colectivos, de uso eventual (estacionamiento en la calle, garajes públicos, parking de centros comerciales, aeropuertos y estaciones, etc.)
  - Son en primer lugar estacionamientos, que en segundo lugar pueden incorporar la función de carga eléctrica, lo que será muy necesario para los VE no híbridos.





## Guía del Vehículo Eléctrico

4. Puntos de carga específicos (estaciones de servicio o “electrolineras”).
  - A diferencia del caso anterior, su principal función es la carga del vehículo. Por tanto, sólo se entiende una carga rápida, que puede ser parcial (debido al tiempo de espera).

A partir de aquí, caben muchos modelos y, en consecuencia, una gran variedad de agentes posibles: desde los **licenciatarios de redes públicas** de recarga, entendiendo por esas redes la mera agregación de un conjunto de puntos públicos de recarga, hasta los **comercializadores-gestores** del servicio de carga, pasando, como es lógico, por las **empresas de instalación y mantenimiento**. Es fundamental que se tenga muy presente la situación actual de las infraestructuras de distribución eléctrica, así como su regulación. Así mismo, la actividad de recarga debe realizarse sin restricciones a la competencia y debería confirmarse como una actividad plenamente liberalizada, sin perjuicio del respeto a la normativa que regule la utilización de los espacios públicos para cargas.

En cualquier caso, el objetivo debe ser la comodidad del usuario y la reducción del coste de la recarga, derivado tanto del uso como de la gestión de su infraestructura.

### 8.5.2. Regulación

La regulación y reglamentación subsiguiente deberían ser favorables al vehículo eléctrico si se quiere que tenga éxito su penetración, al menos en el inicio, donde existen barreras económicas de entrada, siendo la principal su elevado coste de adquisición. Se pueden citar varias áreas en las que se debería incidir:

- En el ámbito de las comunidades de vecinos (propiedad horizontal), facilitando la instalación de puntos de carga sin requerir aprobación de los demás vecinos.
- En el ámbito urbano, dando facilidad de acceso a los vehículos eléctricos a las grandes urbes, uso de vías prioritarias, ventajas para el aparcamiento donde éste está regulado, etc.
- En el ámbito de la regulación eléctrica, facilitando la libre elec-

ción del comercializador e incluso la prestación de servicios de estacionamiento y carga eléctrica conjuntos a los usuarios. Debe preservarse el principio de red única de distribución, con libre acceso a la misma por parte de los agentes, para evitar ineficiencias ya probadas en algún caso donde se desarrollaron redes paralelas.

## 8.6. Conclusiones

Para finalizar, y como resumen de lo anteriormente expuesto, caben resaltarse las siguientes conclusiones:

1. Al igual que en el resto del sistema eléctrico nacional, es decir, generación y red de transporte, la red de distribución está preparada, en su mayor parte, para la carga de los vehículos eléctricos, siempre que dicha carga sea controlada.
2. La carga lenta no presenta grandes dificultades, confirmándose que la red existente servirá, con pocas excepciones, sin más que incorporar los dispositivos necesarios de medida y control.
3. La carga rápida requerirá, normalmente, de extensiones de la red de distribución que deberán gestionarse, también sin gran dificultad, con la normativa en vigor, exigiéndose así mismo la instalación de medida y control.
4. El desarrollo de la telegestión y las “*smart grids*” facilitará la adecuada gestión de la carga de los vehículos eléctricos al desplegar de forma masiva elementos de medida y sus comunicaciones asociadas.
5. La regulación debe adaptarse para permitir que las señales de precio sean un componente esencial en la gestión de la carga del vehículo eléctrico, de manera que se dirija a los periodos de menor consumo (horas valle).
6. La regulación y reglamentación deberán adaptarse para facilitar la instalación y gestión de los puntos y zonas de recarga, fomentando la libre competencia en los servicios y la eficiencia de la red de distribución.





## 8.7. Bibliografía

- (1) REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA. La Contribución de las TIC a las Sostenibilidad del Transporte en España. Capítulo 11: una nueva generación de vehículos: los eléctricos. Junio 2009.
- (2) M.I.T. Sloam Automotive Laboratory for Energy and Environment. Electric Powertrains: Opportunities and challenges in the U.S. light-duty vehicle fleet. May 2.007.
- (3) “Defacto” European Standardization group for electric mobility.
- (4) ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, USA. INTELLIGRID. Architective Report, 2005.
- (5) European SMART GRIDS Technology Platform: Vision and Strategy for Europe’s Electricity Network of the Future. <http://www.smartgrids.eu>.
- (6) Tratado de Regulación del Sector Eléctrico. IBERDROLA – Thomson Aranzadi. Tomo II. Aspectos Económicos. Gestión de la Demanda. Generación distribuida y redes inteligentes.

## 9

## IMPACTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

## 9.1. Introducción: ¿por qué el interés actual por el vehículo eléctrico?

Todas las grandes marcas de automóviles se están preparando para lanzar modelos de vehículos con recarga en la red eléctrica, tanto híbridos como propiamente eléctricos, a partir del año 2010. Hubo un primer intento de lanzar la propulsión eléctrica dentro del sector de la automoción a finales de los 90 que no obtuvo éxito. Parece que ahora es cuando se dan las condiciones más favorables.

Actualmente, el sector de transporte depende del petróleo en, aproximadamente, un 95%. Esta dependencia casi absoluta de esta energía fósil tiene un doble efecto: supone una balanza energética desfavorable en países con escasos o nulos recursos petrolíferos y emisiones difícilmente controlables de contaminantes y, sobre todo, de CO<sub>2</sub>, principal responsable del cambio climático. En la actualidad, existen diversas iniciativas para aminorar ambos efectos, tanto en el terreno de la eficiencia energética, con mejoras en los consumos en el motor de combustión, como en la incorporación de energía renovable a través del uso de biocombustibles. Junto a estas dos estrategias surge el vehículo eléctrico como una tercera vía: la del cambio en la tecnología de propulsión para permitir el acceso del transporte a otros tipos de energía.

La dependencia del petróleo y de los recursos fósiles, en general, plantea dos riesgos importantes, uno relativo a la seguridad de suministro y otro a la carestía del mismo. Las reservas mundiales del petróleo son limitadas y sus costes de extracción crecen con el tiempo, lo que conlleva una previsión de crecimiento de precios como la ya vivida en 2008. Ambas cuestiones son de especial importancia para Europa, con una alta dependencia energética externa, y aún más para España, país en el que dicha dependencia alcanza ya el nivel del 80%.

El vehículo eléctrico permite desplazar el abastecimiento de petróleo al de las energías del sector de la generación eléctrica. Un buen porcentaje de estas energías son de origen autóctono, energías sobre las que, obviamente, los países tienen un mayor control. Es el caso de Es-





## Guía del Vehículo Eléctrico

paña en el que se produjo en 2008 más del 25% de la energía procedente de estas fuentes autóctonas, dato que, sin duda, crecerá debido al plan de fomento de renovables.

El sector del transporte es responsable de alrededor del 25% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Debido a las políticas de reducción de emisiones de este gas efecto invernadero, se han fijado objetivos de niveles de reducción a nivel europeo, en concreto 120 g de CO<sub>2</sub>/km para el año 2020. Esto conlleva que los vehículos ecológicos que actualmente existen en el mercado y que emiten una media de 179 g de CO<sub>2</sub>/km, tendrán que reducir sus emisiones en torno al 33% para alcanzar tal fin. El desplazamiento de la producción de energía al sector de generación eléctrica ayudará a este objetivo y, en general, a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Las emisiones del sistema de generación eléctrica dependen del *mix* de generación que se analice, pero, por ejemplo, en España en 2008 se produjo el 44% de energía eléctrica mediante fuentes no dependientes de combustibles fósiles (nuclear, hidráulica y otras renovables).

Además, se prevé que hacia el año 2020 se disponga de tecnología en Europa para capturar, transportar y almacenar el CO<sub>2</sub> proveniente de los grandes focos de emisión de las centrales de energía fósil con lo que, en un futuro, las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector eléctrico se verán todavía más aminoradas y, con ello, las emisiones del *mix* eléctrico atribuibles a los vehículos eléctricos.

Otro factor importante de impulso del coche eléctrico radica en el desplazamiento del foco de contaminación, desplazamiento que tiene una doble componente. Por un lado, la contaminación del aire por emisiones y por el ruido del motor de combustión desaparece de los núcleos urbanos, lo que implica una mejora de la calidad de vida en las ciudades<sup>1</sup>. Por otro lado, al generar la electricidad necesaria para los vehículos eléctricos en grandes centrales y poder concentrar así los focos de emisión, se hace mucho más fácil controlar tales emisiones, control que se realiza bajo normativas muy estrictas.

Adicionalmente, el vehículo eléctrico se percibe como un factor que

---

<sup>1</sup> Una central de ciclo combinado de 400 MW sustituye las emisiones de 750.000 vehículos (consumo medio coche eléctrico 15 kWh cada 100 km, recorrido medio diario 70 km o 10,5 kWh, pérdidas de transmisión eléctrica 5% y de carga de baterías 14% y producción de una central de 400 MW que genera 9.600 MWh diarios).



permitirá revitalizar el sector automovilístico, sector de gran competitividad y en el que un cambio de este tipo puede producir nuevas oportunidades de negocio. Dos factores técnicos a destacar a favor suyo son su alta eficiencia (2,5 veces mayor que el coche de combustión interna<sup>2</sup>) y su sencillez, tanto por el número de componentes (no hay embrague, cambios, circuito de refrigeración del motor, bomba de agua, etc.) como por la menor complejidad de los mismos (menos partes móviles, etc.).

Dado el uso intensivo en estos vehículos de baterías para la recarga de electricidad y la acumulación de energía que las mismas permiten, el vehículo eléctrico está llamado a jugar un papel no sólo pasivo, sino activo, en las nuevas redes inteligentes. En el contexto de estas redes avanzadas, se contempla, al menos en el medio plazo, al vehículo eléctrico no como una mera carga eléctrica que abastecer sino como un elemento móvil de red<sup>3</sup> que contribuirá a una gestión más eficiente de los recursos de la red eléctrica.

Todas estas circunstancias hacen que el desarrollo del coche eléctrico cuente con apoyo de los gobiernos, que, en mayor o menor medida, se están involucrando para potenciar la implantación real de esta tecnología.

Sin embargo, el desarrollo del vehículo eléctrico presenta actualmente una serie de dificultades, como son la escasa oferta de vehículos y el alto coste de los mismos. Así, por ejemplo, el modelo Mitsubishi iMiEV se comercializa desde este año en Japón por un precio superior a los 30.000 €, cuando el vehículo de combustión equivalente está por debajo de los 12.000 €. Esta situación está motivada, entre otros factores, por la fabricación de series pequeñas de vehículos y, en mayor medida, por el alto coste de las baterías actualmente disponibles.

El desarrollo actual del coche eléctrico es posible debido a la aparición de las baterías de litio de alta densidad, ya que la capacidad de la batería limita la autonomía de los vehículos. A día de hoy, las autonomías se encuentran en torno a los 150 km, por lo que se prevé que inicialmente el coche puramente eléctrico ocupará un nicho de vehículos que realicen trayectos cortos (flotas, 2º vehículo para ir de casa



2 Rendimiento desde la planta de refinado o de generación hasta la rueda del vehículo ("Plant to Wheel") ICE 15% y BEV (dependiendo del mix de generación) de un 38%.

3 Concepto V2G (vehicle to grid).



## Guía del Vehículo Eléctrico

al trabajo). No obstante, se está realizando una importante investigación en cuanto a las baterías para conseguir equipos de mayor densidad energética<sup>4</sup> que permitan aumentar la autonomía del vehículo eléctrico. De esta forma, se pasa de 50 Wh/kg de la conocida batería de plomo a los 150 Wh/kg de la batería de Li-ion que se están usando actualmente, para superar los 200 Wh/kg de la futura batería de Li-polímero.

Relacionados con la autonomía, están el tiempo de carga y la infraestructura para efectuar la carga. Existen tres posibilidades básicas: carga lenta (5 a 7 horas), carga rápida (10-30 minutos) y cambio de baterías (varios minutos). La carga lenta se asocia principalmente a ciclos nocturnos domésticos o a los lugares de trabajo; esto es, situaciones en las que el vehículo no será necesario durante el tiempo en que se realiza la carga y en las que se disponga de un enchufe cercano y controlado. Ambas condiciones limitan la extensión del vehículo eléctrico. Por otra parte, tanto la carga rápida como el cambio de baterías suponen la necesidad de desarrollar una infraestructura específica y responde a modelos de desarrollo del vehículo eléctrico que no están claros, existiendo actualmente modelos de desarrollo distintos en varias iniciativas mundiales. Lo que sí parece claro es la necesidad de una estandarización que permita la universalidad del uso del vehículo eléctrico.

### 9.2. La pregunta clave: ¿qué ritmo de entrada tendrá el vehículo eléctrico?

Debido a los factores que se han citado anteriormente, es razonable pensar que la tecnología del coche eléctrico y del híbrido “enchufable” tenga un impulso en los próximos años. A partir de ahí surgen las preguntas clave: ¿cuál es el ritmo de entrada?, ¿cuándo y cuántos vehículos “enchufables” van a estar circulando por las calles?. Estas preguntas no tienen fácil respuesta, siendo, por otra parte, claves en la preparación de las infraestructuras y en el desarrollo de modelos de negocio basados en el coche eléctrico.

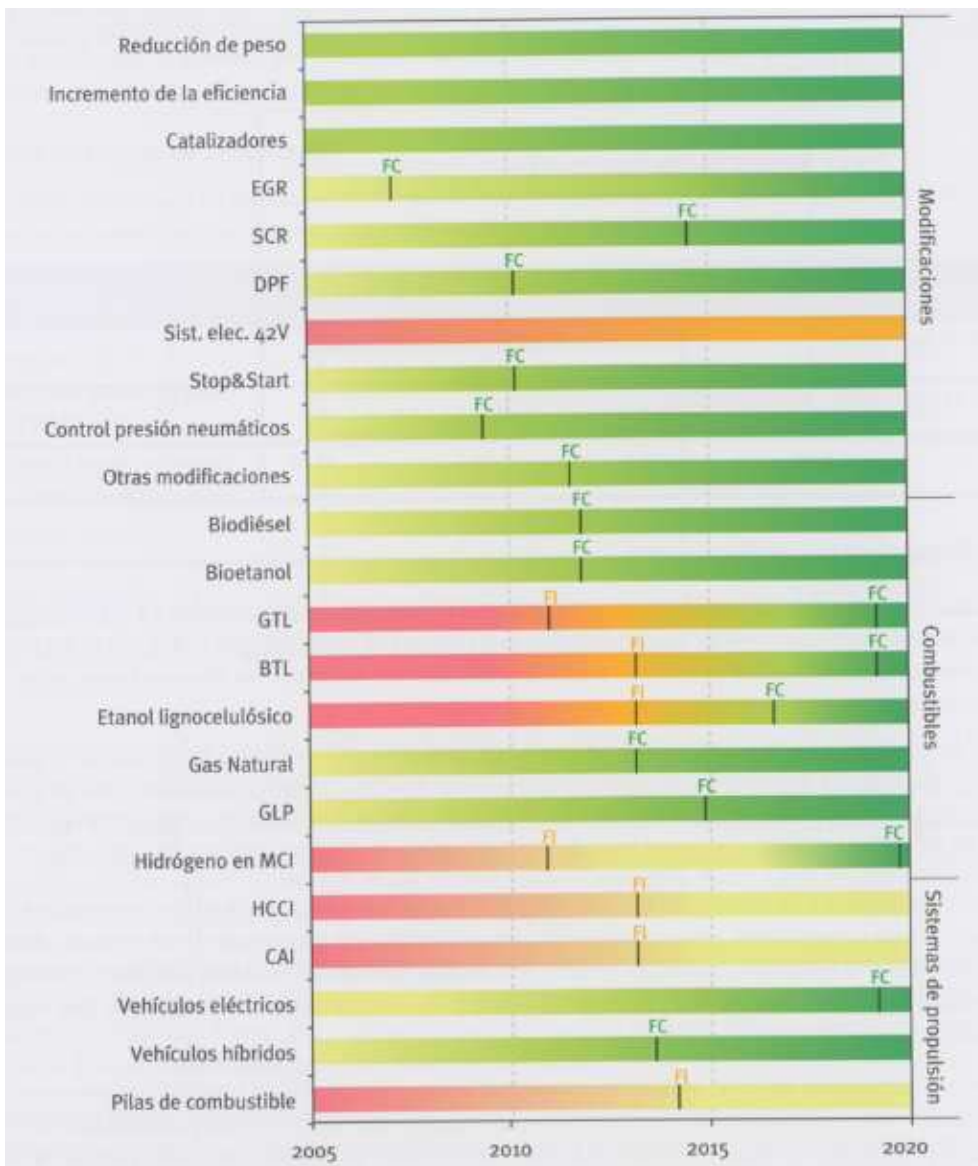
Son numerosos los estudios realizados al respecto. Sin embargo, existen muchas incertidumbres acerca de cómo se llevará a cabo la pe-

---

4 Al ser el peso uno de los factores importantes en el rendimiento energético del vehículo, la densidad energética o energía acumulada por unidad de peso es uno de los parámetros claves de las baterías.

netración del vehículo eléctrico. El año 2010 parece ser el año de comienzo de una comercialización global del coche híbrido y eléctrico y se esperan unas ventas de cerca de 1 millón de vehículos en el mundo según el estudio prospectivo de *Global Industry Analysts*. A partir de estos momentos, debido a la carestía del coche, el crecimiento del mercado se ralentizará e irá ligado a la reducción de los precios de los vehículos. A continuación se muestran varios estudios sobre la penetración del vehículo eléctrico.

La Fig. 9.1 representa las perspectivas de penetración a nivel europeo de los diferentes tipos de vehículos en función de su tecnología de propulsión, entre ellos el vehículo eléctrico. El estudio ha sido realizado por FITSA en el 2008.



**Figura 9.1.** Perspectivas de penetración (disponibilidad de venta y alcance por parte del público en general) de los diferentes tipos de vehículos en función de su sistema de propulsión. FITSA 2008.

Periodo I+D (rojo)  
Disponibilidad completa (verde)  
Crecimiento del mercado (amarillo)

FI: fecha introducción en el mercado  
FC: fecha de consolidación

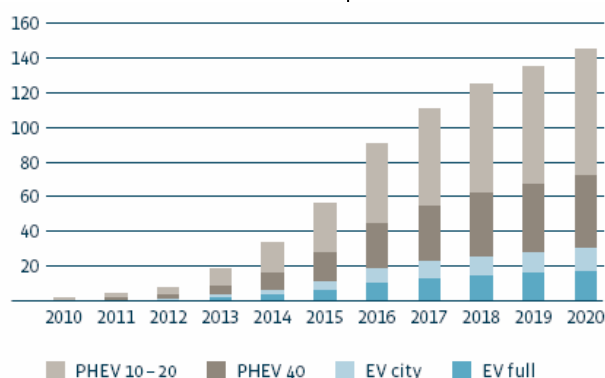
## Guía del Vehículo Eléctrico



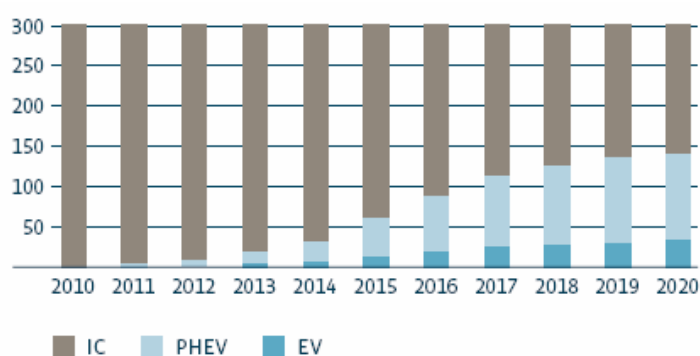
Tal y como muestra la Fig. 9.1, se prevé una disponibilidad de venta y de alcance para todo el público del mercado del vehículo eléctrico hacia el año 2020. Aproximadamente seis años antes a dicha fecha, el vehículo híbrido se tendría completamente disponible y al alcance del público en el mercado.

Un estudio sobre el grado de penetración del vehículo eléctrico en Suiza ha sido realizado por la empresa Protoscar para el rango comprendido entre los años 2010-2020. Para ello, se han considerado los siguientes tipos de vehículos híbridos y eléctricos:

- PHEV 10-20: vehículo híbrido con el 50% de su autonomía propulsada mediante el motor eléctrico.
- PHEV 40: vehículo híbrido con el 80% de su autonomía propulsada mediante el motor eléctrico.
- EV city: vehículo eléctrico orientado su uso a la ciudad por su baja autonomía y baja potencia.
- EV full: vehículo eléctrico orientado su uso para largas distancias por su alta autonomía y alta potencia.



Source: Protoscar



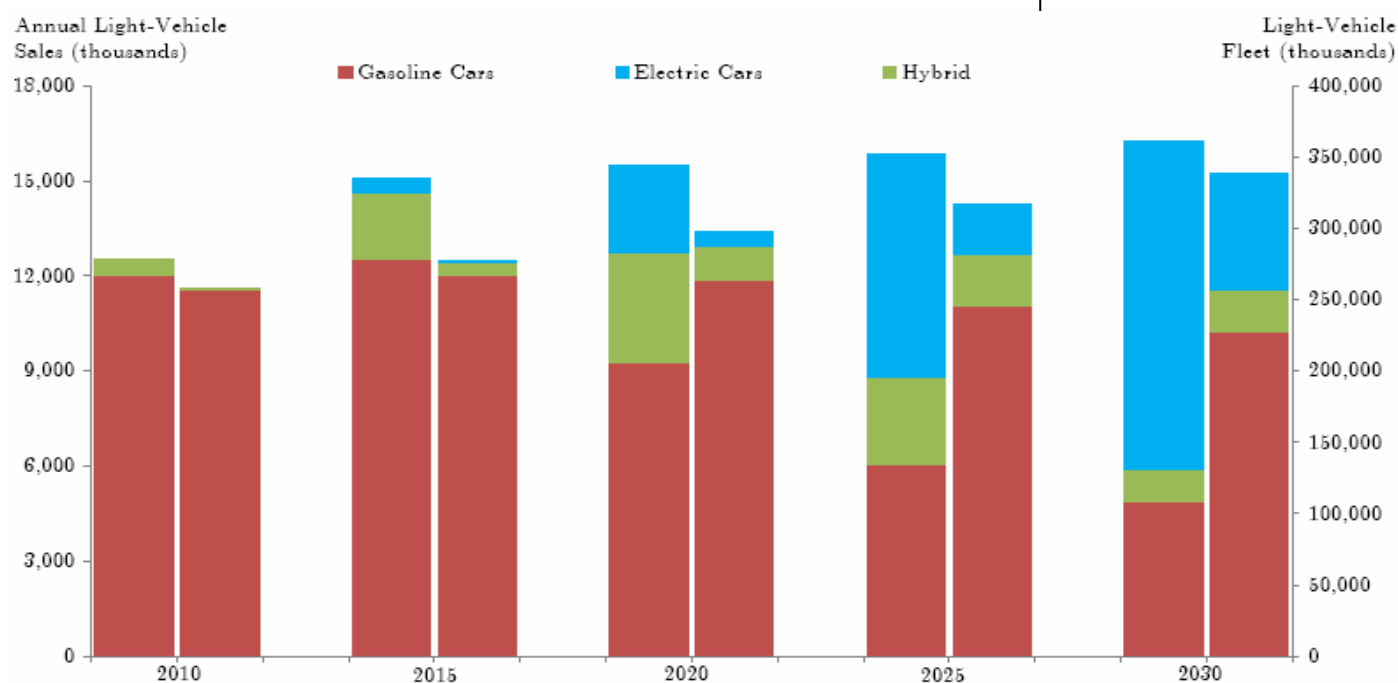
Source: Protoscar

**Figura 9.2.** Penetración de vehículos híbridos y eléctricos en Suiza (miles de vehículos) según estudios realizados por la empresa Protoscar.

Como puede observarse en la Fig. 9.2, la velocidad de entrada del vehículo híbrido será de mayor orden que la del vehículo eléctrico, siendo creciente en ambos casos.

Según un estudio realizado por la Universidad de California, Berkeley, la previsión de penetración del vehículo eléctrico e híbrido en Estados Unidos es la mostrada en la Fig. 9.3.

En la Fig. 9.3 la barra de la izquierda representa el volumen de ventas de automóviles en Estados Unidos según la base del precio del petróleo estimada por la EIA (*Energy Information Administration*), y la barra de la derecha representa la flota de vehículos en circulación. Se observa cómo se prevé una gran penetración del vehículo eléctrico en torno al 2030, teniendo un mayor número de ventas que el de gasolina e híbrido juntos.



**Figura 9.3.** Estimación de ventas del coche eléctrico, híbrido y de combustión en Estados Unidos.

En lo que se refiere a España, no hay estadísticas del crecimiento de demanda de coches eléctricos. Sí existe un objetivo político de alcanzar la cifra de 1.000.000 de vehículos híbridos y eléctricos para el año 2014. También se espera que para el año 2012 se disponga de una oferta de 20 a 30 modelos diferentes híbridos y eléctricos en el mercado español.

Para alcanzar el citado objetivo, se han puesto en marcha varios programas nacionales, autonómicos y locales para la promoción de los vehículos eléctricos. Una primera medida general es la exención del impuesto de matriculación para estos vehículos. El IDAE ha lanzado el



## Guía del Vehículo Eléctrico

proyecto MOVELE para la puesta en circulación de 2.000 vehículos eléctricos en el año 2010 con ayudas para su adquisición. Adicionalmente, existen iniciativas en diferentes comunidades autónomas, como, por ejemplo, las ayudas que concede la Consejería de Transportes e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid dentro de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética a particulares y profesionales, las cuales pueden llegar hasta el 15% del precio de mercado de vehículos ecológicos. Estas medidas se verán complementadas con los proyectos de innovación que están o se van a poner en marcha con apoyo oficial, y a iniciativas como FOREVE (Foro Español del Vehículo Eléctrico), encaminadas a investigar soluciones que faciliten la entrada del vehículo eléctrico.

### 9.3. Definición de escenarios

Según el panorama actual, sí que parece cierta la implantación del vehículo eléctrico, por lo que se suele plantear la pregunta: ¿está preparada la red eléctrica para soportar la carga de sus baterías? Dentro de esta pregunta se engloban todos los pasos, desde la generación hasta el transporte y la distribución. Todo depende de cómo, dónde y en qué momento del día se recarguen estas baterías, además del volumen de los vehículos eléctricos que se encuentren en servicio. Por ello, se realiza, en primer lugar, un análisis de los **escenarios de repostaje** para, posteriormente, estudiar casos reales del efecto de las recargas en las infraestructuras eléctricas.

Se presentan tres modos de repostaje de automóviles eléctricos, quedando el término “repostaje de automóvil” como una de las siguientes acciones:

1. *Carga lenta*: se realiza en un enchufe monofásico convencional a 230 V y que absorbe una potencia de entre 4 y 7 kW en su demanda máxima. El tiempo de recarga oscila entre 5 y 7 horas según modelos de vehículos.
2. *Carga rápida*: las baterías no se recargan en su totalidad sino a un 80% aproximadamente. Precisan de un enchufe trifásico y absorbe entre 20 y 50 kW de potencia máxima (pudiendo en determinados casos llegar a 300 kW). El tiempo de recarga es de 10 a 30 minutos.
3. *Cambio de batería*: consiste en cambiar la batería completa

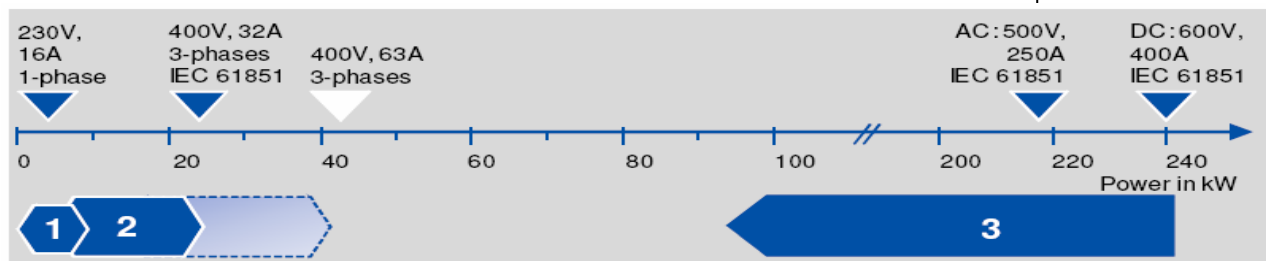
mediante un proceso automatizado por la parte inferior de vehículo. El proceso dura aproximadamente dos minutos en estaciones de servicio y supone una estandarización de las baterías y de los sistemas mecánicos.



Como se puede observar en la Tabla 9.1, y más detalladamente en la Fig. 9.4, comparando los tres modos de repostaje se aprecia una diferencia muy significativa en el tiempo de repostaje y en la potencia demandada.

**Tabla 9.1.** Características de los tipos de carga de baterías. (Fuente: elaboración propia).

|                      | Tipo de enchufe         | Tensión | Potencia    | Tiempo de recarga | % recarga |
|----------------------|-------------------------|---------|-------------|-------------------|-----------|
| <b>C. lenta</b>      | Monofásico convencional | 230 V   | 4 - 8 kW    | 5 - 7 horas       | 100%      |
| <b>C. rápida</b>     | Trifásico convencional  | 400 V   | 20 - 300 kW | 10-30 minutos     | 50 - 80%  |
| <b>Camb. batería</b> | -                       | -       | -           | 2 minutos         | 100 %     |



|                           | 1. Default (home) charging | 2. Normal charging | 3. Fast charging                        |  |
|---------------------------|----------------------------|--------------------|---|--|
| <b>Maximum power</b>      | up to 3.7 kW               | up to 22/43 kW     | up to 240 kW (DC)<br>up to ~220 kW (AC) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fast charging defined by charging duration (~10 min)</li> <li>In terms of power, fast charging should be ~200 kW</li> </ul> |
| <b>Charging duration*</b> | 10 kWh                     | ca. 3 h            | 15-30 min                               |  |
|                           | 20 kWh                     | ca. 5.5 h          | 30-60 min                               |  |
|                           | 40 kWh                     | ca. 11 h           | 60-120 min                              |  |
|                           |                            |                    | ca. 5 min                               |  |
|                           |                            |                    | ca. 10 min                              |  |

**Figura 9.4.** Tiempo de repostaje de las baterías. (Fuente: Euroelectric).

Adicionalmente a estos modos de repostaje, hay que considerar el del funcionamiento bidireccional del vehículo como apoyo a la red. Esta tecnología, conocida como V2G ("vehicle to grid"), abre interesantes perspectivas para la optimización del sistema eléctrico tanto en la generación y operación del sistema (menor necesidad de gene-



## Guía del Vehículo Eléctrico

ración gestionable) como en las infraestructuras de red. Al aportar energía las baterías de los vehículos a la red en los momentos de picos de consumo, hacen que la misma red pueda dar servicio a una mayor cantidad de usuarios. Por otro lado, la acumulación se ve un complemento ideal para integrar las energías renovables, dado que el control de la carga/descarga de las baterías de los vehículos permitiría “suavizar” la generación renovable y, por lo tanto, permitir una mayor cantidad de este tipo de generación. En último lugar, el almacenamiento es también beneficioso para prolongar el funcionamiento de las denominadas centrales base, centrales de bajo coste de producción de electricidad y de gran inercia de funcionamiento (centrales nucleares y térmicas). Se podría, en suma, facilitar tanto la producción de electricidad proveniente de energía renovable como una mayor producción de electricidad de bajo coste.

A partir de las características de la autonomía de los vehículos, del modo de repostaje y teniendo en cuenta los usos previsibles que se den a los vehículos eléctricos surgen, en primera instancia, los distintos escenarios para el repostaje de automóvil, cada uno con características propias que se reflejan en la Tabla 9.2. Los escenarios identificados son:

- *Aparcamiento centro comercial.* En los cada vez más numerosos centros comerciales, se establecerán sistemas de carga en cada una de las plazas de aparcamiento para que las baterías puedan ser cargadas.
- *Garaje centro de trabajo.* Por ejemplo oficinas u hospitales. En el tiempo en que se está trabajando se puede cargar el automóvil.
- *Garaje de hoteles.* Es un punto adecuado para instalar puntos de carga para los clientes de los hoteles.
- *Parking.* En los parking también se podrán cargar los automóviles con un sistema de carga por cada plaza de parking.
- *Aparcamiento en la vía pública.* En las plazas de aparcamiento que existen en la vía pública se pueden establecer puntos de carga al igual que en los parking.
- *Garaje comunidad de vecinos.* En los garajes que existen en las comunidades de vecinos donde cada vecino tiene su plaza o



plazas fijas se establecerá uno de los modos de repostaje con más demanda.

- *Garaje individual.* En el garaje de una casa propia se usará como punto de carga propia los enchufes convencionales para carga lenta.
- *Estaciones de repostaje.* Se establecerán las también llamadas “electrolineras”, situadas en ubicaciones estratégicas de la red de vías urbanas o de carreteras, en las cuales se ofrecerá cambio de batería y/o carga rápida.
- *Flotas de vehículos.* Las flotas de vehículos de diferentes empresas, como pueden ser las empresas de envío de paquetería, dispondrán de modos de repostaje propios a la medida. Algunas de ellas tendrán incluso los tres modos de repostaje de automóvil en sus centros de vehículos.



**Tabla 9.2.** Características de los escenarios de repostaje. (Fuente: elaboración propia).

|   | Modo de repostaje                    | Horario de repostaje                    | Tiempo de permanencia | Propiedad conexión |
|---|--------------------------------------|---|-----------------------|--------------------|
| <b>Centro comercial</b>                       | C. rápida/C. lenta                   | Laborable 19 h - 22 h y fines de semana | 1,2 h                 | Público            |
| <b>Centro de trabajo</b>                      | C. lenta                             | Laborable 7 h - 19 h y fines de semana  | 9 h                   | Público/Privado    |
| <b>Parking</b>                                | C. lenta                             | 24 h                                    | 2 h                   | Público            |
| <b>Vía pública</b>                            | C. rápida/C. lenta                   | 24 h                                    | 1 - 12 h              | Público            |
| <b>Comunidad de vecinos</b>                   | C. lenta                             | 8 h - 20 h                              | 12 h                  | Privado            |
| <b>Garaje individual</b>                      | C. lenta                             | 24 h                                    | 12 h                  | Privado            |
| <b>Estaciones de Repostaje</b>                | C. rápida / Camb. batería            | 24 h                                    | 10 min                | Público            |
| <b>Estacionamiento de flotas de vehículos</b> | C. rápida / C. lenta / Camb. batería | 24 h                                    | 15 min-12 h           | Privado            |

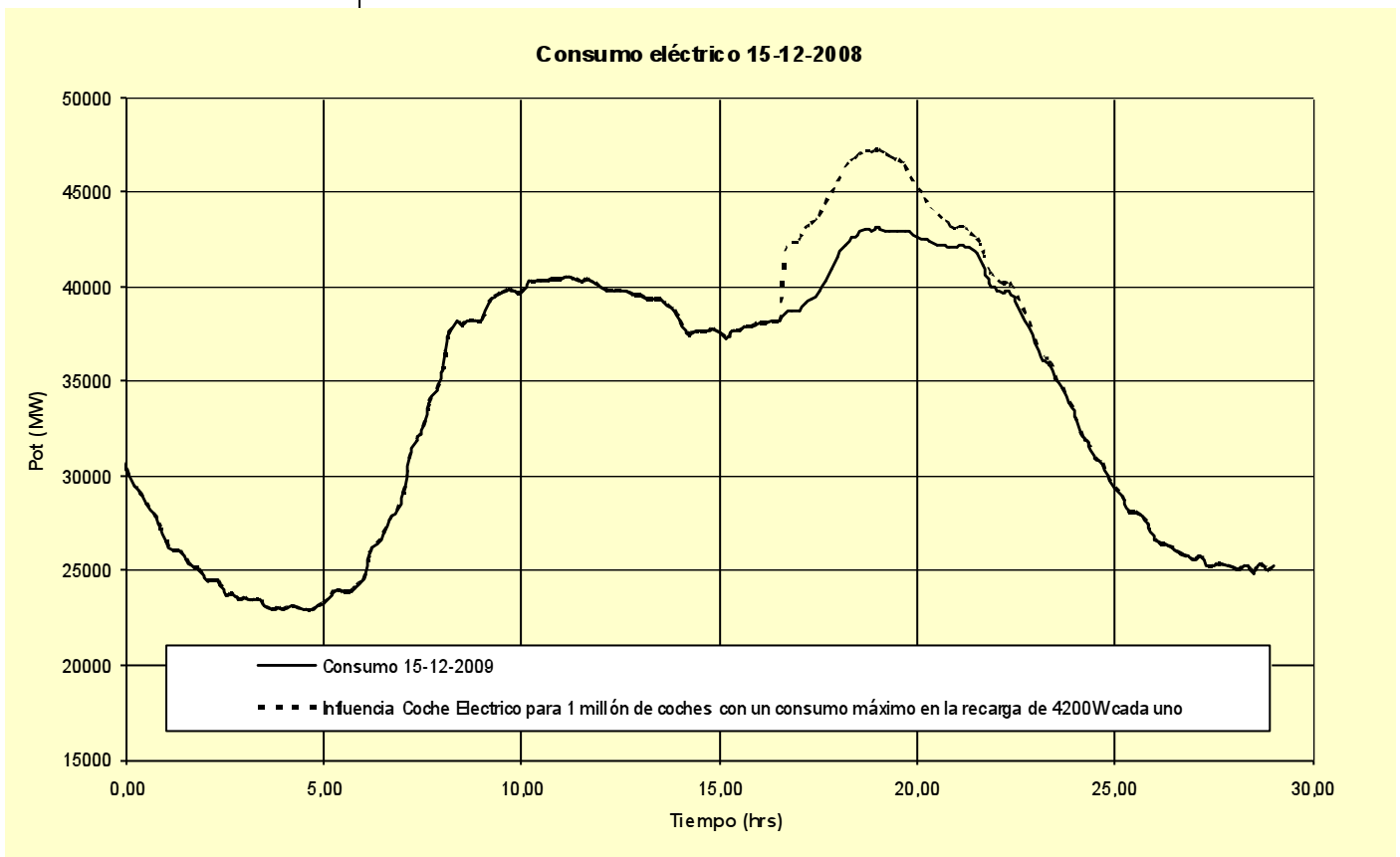
Los refuerzos de red necesarios dependerán del grado de desarrollo de cada uno de estos tipos de escenario y de los modos de repostaje-descarga que se vayan demandando. En el próximo apartado se analizan algunos ejemplos basados en datos reales de la red.



## 9.4. Impacto en la red de distribución

En el estudio comparativo presentado por REE en el ciclo de jornadas sobre sistemas eléctricos de Canarias, se llegó a la conclusión de que, a día de hoy, el sistema eléctrico es capaz de abastecer la demanda eléctrica de 21 millones de vehículos, lo que supondría el 12,3% de la producción eléctrica del país<sup>5</sup>. Por lo tanto, la clave no parece estar en el abastecimiento de la energía en sí, sino en cómo se abastece esta demanda; esto es, en qué puntos de la red, cuándo y en qué medida se van a demandar las potencias de abastecimiento.

El efecto de carga simultánea en modo de repostaje lento de un millón de vehículos coincidiendo con el pico de demanda nacional de 2008 se puede ver en la Fig. 9.5.



**Figura 9.5.** Efecto de un millón de vehículos coincidentes con el pico de demanda nacional. (Fuente: elaboración propia).

Suponiendo una carga lenta del vehículo, el pico máximo de deman-

5 Producción nacional 2007: 261.273 GWh y consumo estimado de 21 millones de vehículos eléctricos de 36.750 GWh.

da se incrementaría en un 9%. En modo de carga rápida, el pico se elevaría en un 116%.

Esta circunstancia implica que una carga lenta e inteligente es la que va a permitir que la red soporte una mayor cantidad de vehículos. Así, como indica REE<sup>6</sup>, dos millones de vehículos cargados durante la noche supondrían un incremento de 4.000 MW que, sumados a los 23.000 MW correspondientes al valle de energía de la gráfica anterior, quedan muy lejos de los 43.000 MW de máxima demanda.

Por lo tanto, se podría pensar que la red está preparada para soportar una gran cantidad de vehículos, pero esta afirmación va a depender de los lugares concretos donde se conecten los vehículos, es decir, de la red eléctrica capilar que llega a los clientes, y de los requisitos de carga de los mismos.

A continuación se describen algunos escenarios a modo de ejemplo.

#### 9.4.1. Estacionamiento de centro comercial

Las plazas de aparcamiento de los centros comerciales podrán disponer de carga rápida y carga normal. Estas cargas se llevarán a cabo principalmente en las horas en las que mayor demanda de clientes exista, es decir, los días laborables a partir de las 19 h y los fines de semana.

La curva de consumo eléctrico de un centro comercial suele ser casi plana a lo largo del día, ya que los dispositivos de consumo eléctrico (climatización, iluminación) están funcionando de forma constante.

Se ha tomado como ejemplo un centro comercial en Madrid que dispone de centro de transformador propio y cuyo estacionamiento tiene capacidad para 2.000 vehículos. La potencia contratada por este centro comercial es 4.100 kW y la potencia instalada de 6.030 kVA<sup>7</sup>. Como se ha comentado anteriormente, la potencia consumida es homogénea y se encuentra cerca del 90% de la contratada, es decir, en torno a 3.700 kW.



6 Conferencia sobre el coche eléctrico en las V Jornadas organizadas por El Nuevo Lunes y REE del 22 de junio 2009.

7 El factor de potencia (relación entre potencia activa y potencia aparente) es cercano a 1.



## Guía del Vehículo Eléctrico

Con estas características hay un margen de 2.300 kW hasta llegar a la potencia del centro de transformación, con lo que se podrían cargar simultáneamente unos 450 vehículos (cada uno demandando 5 kW); esto es, el 22,5% con respecto al total de vehículos existentes.

Pero es posible que los centros comerciales ofrezcan carga rápida y, en este caso, se podrían cargar simultáneamente 46 vehículos, demandando 50 kW cada uno; es decir, un 2,3% de las plazas. Con los nuevos desarrollos de carga rápida en los que se pueden cargar las baterías en minutos absorbiendo 300 kW de la red, se limitaría la carga a tan sólo 8 vehículos.

Un factor a tener en cuenta es que las cargas rápidas se sitúan entre 10 y 30 minutos y que el tiempo medio que se suele emplear en los centros comerciales es de 1,2 horas. Así, controlando los tiempos de carga se podrían cargar de forma rápida 188 vehículos (50 kW durante 20 minutos).

### 9.4.2. Estacionamiento comunitario

El garaje comunitario es otro de los puntos donde se ofrecerán puntos de carga de vehículos. Para este caso se ha elegido un estacionamiento que dispone igualmente de centro de transformación propio y de 690 plazas. El centro de transformación tiene una potencia instalada de 150 kVA y potencia contratada de 140 kW. El factor de potencia está cercano a la unidad y el consumo es bastante constante, situándose en torno al 90% de la potencia contratada (136 kW). Para este caso, se podrían cargar simultáneamente 5 vehículos de carga normal, lo que supone un 7% de la capacidad de vehículos, pero no se podría cargar ningún vehículo mediante carga rápida.

### 9.4.3. Garaje comunidad de vecinos

Para estudiar este caso se ha elegido un centro de transformación en una zona residencial. Tiene una potencia instalada de 630 kVA, con una potencia demandada durante la noche de 250 kW que alimenta a 543 clientes. El número de plazas de garaje está en torno a las 800.

En este caso, se admitiría una carga lenta simultánea de 76 vehículos (9,5% de las plazas) y de 7 vehículos para una carga rápida (1%).

#### 9.4.4. Garaje individual

Este escenario consiste en recargar el vehículo en el garaje de una vivienda unifamiliar mediante carga normal (con un enchufe convencional) sin tener que realizar ningún tipo de instalación adicional en la vivienda. La curva de consumo eléctrico de una vivienda suele llegar a su máximo entre las 19 h y las 21 h y normalmente se encuentra en un mínimo entre las 00 h y las 6 h. En este estudio se considera que los vehículos se cargarán por la noche en horas de menor consumo para aprovechar la potencia contratada.

Como ya se ha citado anteriormente, un vehículo con carga normal consume entre 4 y 8 kW de potencia máxima. La potencia contratada en una vivienda unifamiliar suele estar entre 4 y 5 kW, por lo que, normalmente, va a tener que ampliarse la potencia contratada.

En este caso, se ha elegido un centro de transformación de una población cercana a Madrid, centro de transformación que sólo suministra a viviendas unifamiliares y que está situado en una zona madura; es decir, con todas las viviendas construidas y habitadas. La potencia instalada del centro de transformación es de 1.030 kVA y tiene una potencia total contratada de 831,55 kW. Este centro suministra a 172 viviendas. Por lo tanto, en promedio, cada vivienda tiene una potencia contratada de 4,83 kW.

Si se tiene un consumo nocturno del 10%, es decir, 0,5 kW y el coche demanda 5 kW, se tendría un consumo homogéneo (con carga lenta) durante la noche de 5,5 kW, permitiendo cargar 187,72 vehículos; es decir, 1 vehículo por vivienda.

#### 9.4.5. Estaciones de repostaje

Uno de los escenarios que se están considerando son las electrolineras o versión eléctrica de las gasolineras actuales. Las electrolineras tienen dos versiones, las de cambio de las baterías y las de carga rápida de las baterías.

Las del primer tipo no supondrían un problema para la red, ya que la carga de las baterías puede realizarse en un punto diferente a la electrolinera, donde exista capacidad suficiente de distribución eléctrica. Más aún, gestionadas convenientemente podrán aportar un elemento de apoyo a la misma, tal y como se ha comentado con anterioridad.





## Guía del Vehículo Eléctrico

Lo que sí es un reto son las electrolíneas de cargas rápidas. Las recargas rápidas actuales (20-50 kW) no son asumibles para las electrolíneas, ya que el tiempo de recarga (20-30 minutos) es largo para los estándares de repostaje actuales. Pero se está trabajando en cargas ultrarrápidas con tiempos de varios minutos y con demandas de hasta 300 kW de potencia. Teniendo en cuenta que en una gasolinera puede haber 8 puntos de recarga, si se quiere dar servicio simultáneo a los 8 puntos se tendrían demandas de 2,4 MW<sup>8</sup>. Además, considerando que tal necesidad no existe a día de hoy (las gasolineras tienen un consumo eléctrico irrelevante respecto a las cifras que se manejan), supone la necesidad de un refuerzo importante de la red de distribución de forma que se permita dar este servicio.

## 9.5. Conclusiones

El vehículo híbrido “enchufable” y el vehículo eléctrico son una realidad que está llegando al mercado en este mismo año 2009 y que tendrá un efecto mucho más visible a partir del año 2010. Este desarrollo se está viendo potenciado por una serie de factores entre los que se pueden citar los riesgos en abastecimiento y precio por la gran dependencia actual del petróleo que se da en el sector del transporte, la necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, los mayores niveles de calidad en las grandes urbes y la revitalización del sector del automóvil como respuesta a la desfavorable situación económica actual.

Como toda tecnología emergente, los vehículos eléctricos suponen nuevos retos y oportunidades. Retos debido a las dificultades que tiene implantar esta nueva tecnología y oportunidades en la creación de nuevos modelos de negocio que permitan obtener ventaja competitiva a empresas de sectores tan maduros como el de la fabricación de vehículos o el de la electricidad.

Para el sector eléctrico, un sector básico para permitir el desarrollo de estos vehículos eléctricos, se plantean retos y oportunidades. Los retos se traducen en desarrollar y desplegar toda la infraestructura e inteligencia necesarias para garantizar el suministro eléctrico para la carga de los vehículos y permitir el desarrollo de los modelos de negocio correspondientes. La oportunidad aparece en la posibilidad de utilizar

---

<sup>8</sup> 2,4 MW equivalente a la potencia instalada para dar servicio a cerca de 1.200 domicilios (factor de simultaneidad del 40%, potencia contratada 5 kW).

los propios vehículos como un método de almacenamiento, lo que permite optimizar la operación del sistema, contribuye a una penetración efectiva de un mayor nivel de energía renovable no gestionable y hace más eficientes las inversiones del propio sistema eléctrico.

El sistema eléctrico está dimensionado para suministrar la máxima demanda de sus clientes. Esta demanda no es constante durante el día, y la capacidad no aprovechada permitiría cargar la totalidad del parque de vehículos de España si fueran eléctricos. No pasa lo mismo con la potencia demandada, factor que supone el principal reto del vehículo eléctrico para la red. Dependiendo de la situación concreta de la red donde se prevea realizar la carga del vehículo y del modo de repostaje del mismo, las limitaciones serán más o menos severas y ello exigirá, en muchos casos, un desarrollo complementario de la red.

De las tres modalidades de repostaje que se plantean -carga lenta, rápida y cambio de baterías- la carga rápida, que va de 50 kW a más de 300 kW, es la que peor encaje tiene. Por ejemplo, con 3 vehículos cargando a 300 kW se saturaría un centro de transformación típico de 1.000 kVA que puede dar suministro a más de 400 hogares.

Debido a las implicaciones que tiene la carga de las baterías en cuanto a la potencia que se demanda, en la práctica va a ser obligatorio un control de dicha carga. De esta forma, se racionalizarán las inversiones necesarias en red con el aumento del número de coches eléctricos previsibles en el futuro.

Finalmente, una de las posibilidades más interesantes para la optimización de los sectores eléctrico y de transporte en conjunto es la posibilidad de que los vehículos cedan la energía acumulada en las baterías a la red, o la propia implantación del modelo de repostaje por cambio de baterías. De esta forma, se empleará el nuevo recurso de vehículo eléctrico no sólo como un elemento de transporte sino también como elemento de acumulación, que será un complemento ideal a la producción energética de fuentes renovables y a la de centrales de bajo coste de producción y altas inercias en su funcionamiento (nucleares y térmicas).

## 9.6. Bibliografía

- WWF. (2008). “*Plugged in. The end of the Oil Age*”.





#### Guía del Vehículo Eléctrico

- CERA. (2008). *“Taking up the charge: plug-in hybrid electric vehicles in Europe”*.
- FITSA e idea. (2008). *“Nuevos combustibles y tecnologías de propulsión: situación y perspectivas para automoción”*.
- REE. (2008). *“Informe del sistema eléctrico español 2008”*.



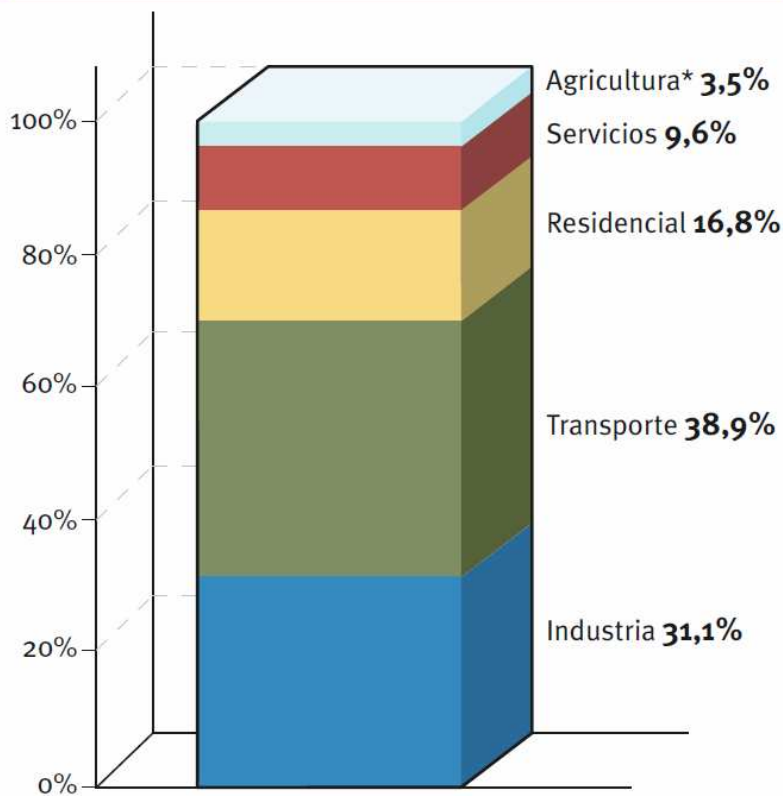
# 10

## EL PROYECTO MOVELE: UNA INICIATIVA DEL IDAE PARA LA PROMOCIÓN DE LA MOVILIDAD SOSTENIBLE EN LAS CIUDADES MEDIANTE EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

### 10.1. Introducción

El sector del transporte supone más del 40% del consumo de energía en España, siendo desde la década de los años 90 el mayor consumidor. Su absoluta dependencia de los combustibles fósiles derivados del petróleo conlleva un efecto muy importante en la enorme dependencia energética externa de nuestro país y, en consecuencia, una posición de vulnerabilidad de nuestra economía mayor, frente a subidas de los precios internacionales del crudo, que en otros países de nuestro entorno.

El 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero son generadas por el transporte, siendo del 80% del consumo energético en este sector debido al transporte por carretera. Los productos derivados del petróleo suponen más del 98% de las fuentes empleadas en el transporte.



**Nota:** Excluidos consumos no energéticos.

**Fuente:** Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

\* Incluidas diferencias estadísticas.



**Figura 10.1.** Consumo de energía final por sectores en España, 2004.

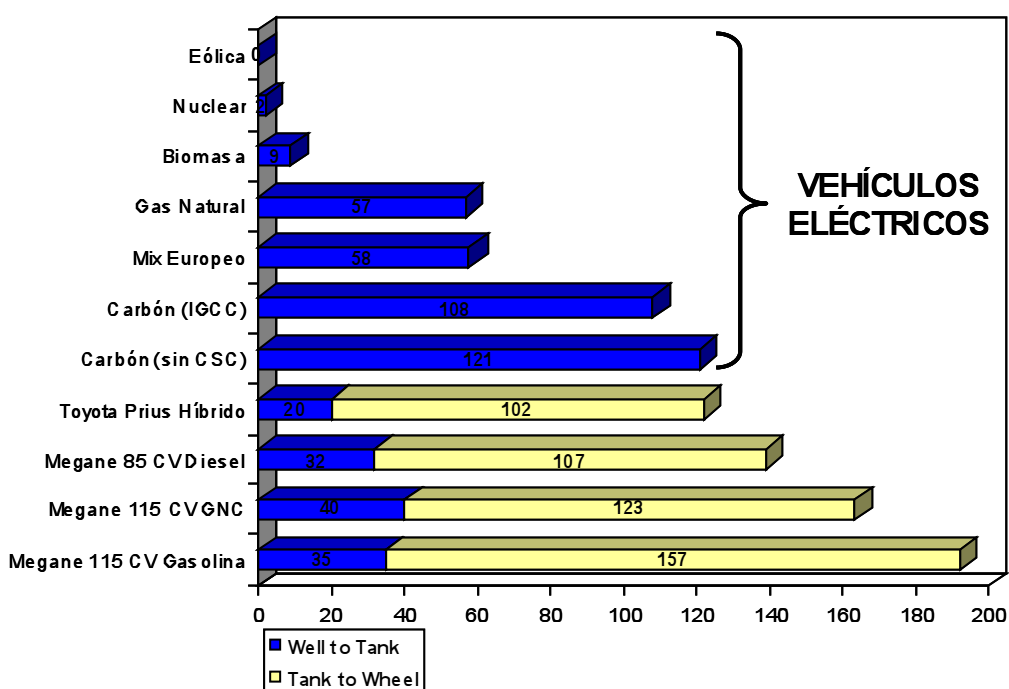


Además, dentro de los diferentes elementos que conforman el consumo de energía en el transporte, la movilidad en los entornos urbanos e interurbanos es el factor que ha tenido mayor crecimiento en los últimos años, de modo que gran parte del consumo de energía del sector transporte se produce en las ciudades provocando diferentes efectos negativos, como contaminación atmosférica, ruidos, costes de congestión, etc.

Dentro de las diferentes alternativas que se plantean en la mejora de la eficiencia energética en el transporte, se distinguen aquellas relativas a la introducción de nuevos vehículos en el parque, que permitan, por una parte, reducir los consumos energéticos y, por otra, sustituir combustibles para reducir la dependencia y los impactos medioambientales.

En este sentido, los diferentes planes de ayudas públicas inmersos en la E4 (Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2012) han venido apoyando la introducción de nuevos vehículos más eficientes (eléctricos e híbridos) o que utilizan combustibles alternativos (gas natural, autogas-GLP e hidrógeno). Como puede verse en el gráfico de la Fig. 10.2, las tecnologías de movilidad eléctrica suponen un impacto positivo en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, y, por tanto, en la eficiencia energética, incluso, aunque en mucho menor grado, en aquellos escenarios de generación de energía eléctrica más apoyados en centrales de carbón sin captura y secuestro de CO<sub>2</sub>. En el grá-

**Figura 10.2.** Comparativa de emisiones en función de tecnologías.



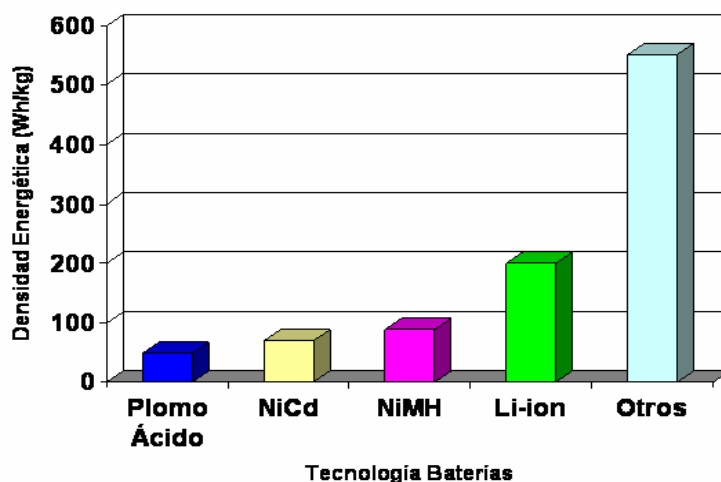
fico de la Fig. 10.2 se valora el origen del CO<sub>2</sub> generado para las distintas tecnologías de movilidad, distinguiendo entre la generación del combustible (Wheel to Tank) y el uso en el propio vehículo (Tank to Wheel).

En el caso razonable de utilizar un conjunto de tecnologías de generación eléctrica similar al mix europeo, las emisiones de CO<sub>2</sub> para un vehículo eléctrico de prestaciones medias (58 g/km) supone una reducción del 70% de las emisiones de un vehículo medio de gasolina.

La movilidad eléctrica mejora la eficiencia energética del transporte en su conjunto y la eficiencia del sistema eléctrico, al incorporar fuentes de energía renovable y reducir las diferencias puntas/valle en la curva de demanda. De igual forma, reduce la dependencia energética de los productos derivados del petróleo, además de reducir igualmente los contaminantes derivados del transporte en los ámbitos urbanos.

La tecnología de movilidad eléctrica es una tecnología conocida desde hace tiempo, pero cuenta con un conjunto de obstáculos que le impiden ser competitivas con las tecnologías convencionales soportadas en motores de combustión interna y combustibles derivados del petróleo. La principal dificultad de estas tecnologías se centra en la capacidad de acumulación de energía en los vehículos que garanticen una autonomía acorde con las demandas de movilidad actual.

Las tecnologías de acumulación de energía (baterías) existentes en la



FUENTE: RENAULT

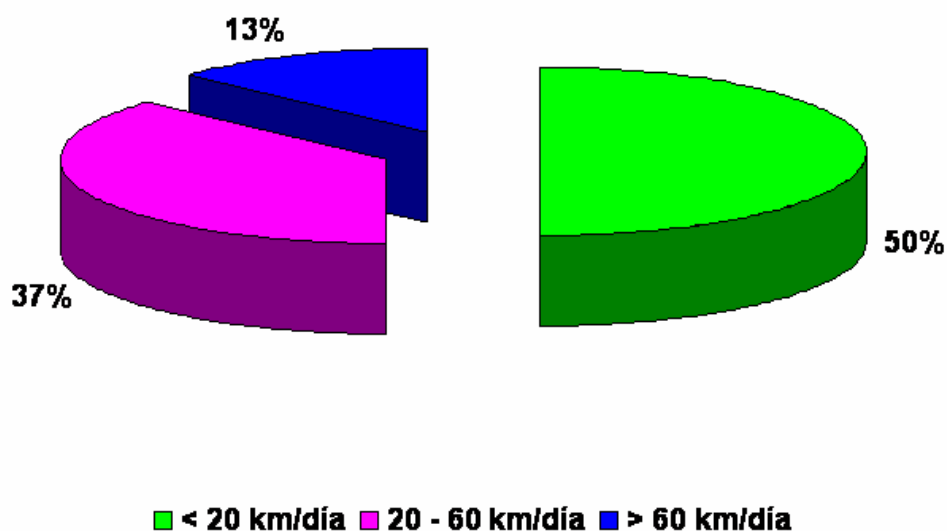
**Figura 10.3.** Capacidad de acumulación de energía en función de las distintas tecnologías.





actualidad disponen de una capacidad de acumulación muy reducida, lo que implica que garantizar ciertas autonomías exige un volumen y peso en el vehículo que penaliza su uso y prestaciones. Los avances actuales en tecnologías como ión-litio, cebra, etc., provenientes en gran medida de la industria de telecomunicaciones, hacen prever una serie de avances tecnológicos en esta materia con efectos directos en la industria de los vehículos eléctricos.

Este hecho, unido a la aplicación donde las exigencias de autonomía sean menores como la movilidad urbana, permite empezar a ser optimistas sobre la posible introducción de estos vehículos en el mercado para estas demandas de movilidad. En general, se puede afirmar que las empresas del sector de la automoción han previsto estos avances y disponen de proyectos de desarrollo de vehículos eléctricos que responderán a una demanda social cada vez más amplia.



FUENTE: RENAULT

**Figura 10.4.** Distribución de la distancia recorrida por conductores urbanos en el área de Isla de Francia.

El proyecto MOVELE es una experiencia piloto, gestionada y coordinada desde el IDAE, que persigue demostrar la viabilidad técnica y energética de la movilidad eléctrica en los entornos urbanos y periurbanos mediante la adopción de un conjunto de acciones que suavicen los obstáculos detectados para su desarrollo.

Del mismo modo, el proyecto va dirigido a activar dentro de las administraciones locales implicadas, medidas impulsoras que permitan generar una infraestructura de recarga y circulación de estos vehículos, con la creación de puntos de suministro público en las calles, reserva de plazas de aparcamiento y aparcamientos públicos. En esta línea, el proyecto deberá contar con el apoyo de las empresas capacitadas para hacer este suministro con garantías (empresas eléctricas) y la participación de otros agentes implicados en el sector, como empresas de seguros y de financiación.

Finalmente, este proyecto deberá servir como base para el impulso de medidas normativas que favorezcan estas tecnologías, como medidas fiscales en la compra o uso de los vehículos, tarifas especiales de suministro y modificación de normas que impidan su evolución (acceso a puntos de recarga en viviendas comunitarias, homologación, etc.).

### 10.2. Justificación y objetivos

El Plan de Activación del Ahorro y la Eficiencia Energética 2008-2011 aprobado por el Consejo de Ministros del 1/8/2008 incluye como medida específica de movilidad el desarrollo de un proyecto piloto de introducción de vehículos eléctricos con el objetivo de demostrar la viabilidad técnica, energética y económica de esta alternativa de movilidad.

El proyecto MOVELE consiste en la introducción en un plazo de dos años (2009 - 2010), dentro de entornos urbanos, de un mínimo de 2.000 vehículos eléctricos de diversas categorías, prestaciones y tecnologías, en un colectivo amplio de empresas, instituciones y particulares, así como en la instalación de, al menos, 500 puntos de recarga para estos vehículos en las ciudades de Sevilla, Madrid y Barcelona, con los siguientes objetivos:

- Demostrar la viabilidad técnica y energética de la movilidad eléctrica en los entornos urbanos y periurbanos, posicionando a España entre las escasas experiencias reales de demostración de las tecnologías de movilidad con energía eléctrica.
- Activar dentro de las administraciones locales implicadas medidas impulsoras de este tipo de vehículos: infraestructura pública





## Guía del Vehículo Eléctrico

de recarga, reserva de plazas de aparcamiento, circulación por carriles bus-taxi, etc.

- Implicar a empresas del sector privado en la introducción del vehículo eléctrico: empresas eléctricas, empresas de seguros y de financiación (*renting, leasing* y otros), etc.
- Servir como base para la identificación e impulso de medidas normativas que favorezcan esta tecnología: medidas fiscales en la compra o uso de los vehículos, tarifas de suministro, modificación de normas que impidan su evolución (acceso a puntos de recarga en viviendas comunitarias, homologación), etc.

### 10.3. Descripción del proyecto

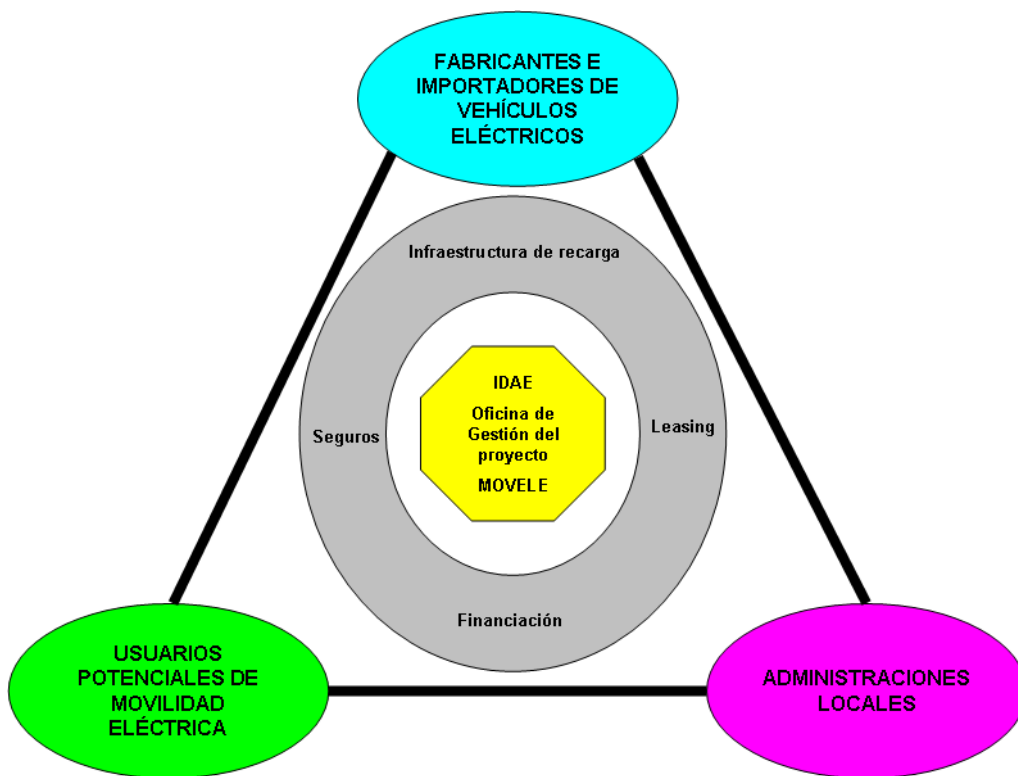
El proyecto consiste en poner a disposición de un conjunto de usuarios específicos los medios y la infraestructura necesaria para acceder a la Movilidad Eléctrica Urbana con garantías y fiabilidad.

A partir de este objetivo básico, se persigue evaluar la experiencia de estos usuarios e identificar las principales barreras para un futuro desarrollo a mayor escala.

Por otra parte, el proyecto y su monitorización, obtendrá un conjunto de valores informativos que permitirán una difusión posterior de resultados, con un claro valor de promoción institucional de la eficiencia energética del transporte en entornos urbanos y metropolitanos.

El proyecto está abierto a todo tipo de usuarios, aunque los objetivos básicos del mismo determinan la necesidad de centrar los esfuerzos en flotas:

- *Particulares* que realicen desplazamiento habituales durante la semana laboral, con recarga en garajes privados o estaciones públicas de recarga.
- *Empresas privadas*, con aplicaciones en reparto urbano y uso general del vehículo, con recarga en recintos privados de la propia empresa. Entre las potenciales empresas privadas usuarias estarían las empresas de seguridad, servicios o reparto de mercancías.



**Figura 10.5.** Esquema de desarrollo del Proyecto.

- *Instituciones públicas*, con amplia diversidad de usos y aplicaciones y recarga en el emplazamiento de la propia institución, tales como el Parque Móvil del Estado, Policía Municipal, Correos, etc.

Para fomentar la participación de los usuarios en el proyecto, se ofrecen dos tipos de instrumentos económicos:

- *Ayudas para la adquisición de los vehículos.* Se procederá a elaborar un catálogo de vehículos incluidos en el Proyecto, basado en las especificaciones requeridas por los potenciales usuarios y contando con la mayor participación posible de fabricantes e importadores. Se pretende cubrir diversas categorías de vehículos, desde motocicletas eléctricas hasta furgonetas de reparto urbano, determinando la ayuda en función de la eficiencia energética del vehículo.
- *Ayudas para la creación de la infraestructura de recarga necesaria.* En el despliegue de la infraestructura intervendrán:
  - ⇒ Administración local, instalando infraestructura pública de recarga.





## Guía del Vehículo Eléctrico

- ⇒ Empresas privadas e instituciones públicas, instalando su propia infraestructura de recarga.
- ⇒ Empresas eléctricas, facilitando asistencia técnica para la instalación de puntos de recarga en lugares públicos y privados.

Asimismo, durante la ejecución del proyecto se considerará el apoyo de empresas de financiación de vehículos (*renting* o *leasing*), empresas de seguros del automóvil, clubes de conductores e instituciones de homologación de vehículos.

### 10.4. Bases del proyecto

El enfoque propuesto es cubrir los siguientes elementos:

1. Vehículos eléctricos.
2. Infraestructura y servicio de recarga.
3. Servicios de movilidad (usuarios potenciales).

Los vehículos que inicialmente se podrían incluir en el proyecto piloto son de diversas categorías; desde motocicletas eléctricas hasta furgonetas de reparto urbano, incluso microbuses. Todos se deberán caracterizar por su calidad y fiabilidad y, sobre todo, porque en prestaciones y capacidades permiten desplazar/sustituir un vehículo de combustión en condiciones normales de operación.

La definición de los vehículos susceptibles de ser incorporados al Proyecto (Catálogo MOVELE) será consecuencia del cumplimiento de unas especificaciones mínimas y máximas desarrolladas con el mayor consenso posible con los fabricantes y con las demandas de los potenciales usuarios, buscando también el mayor efecto energético posible.

Las ayudas previstas para la adquisición de estos vehículos serán acordes con criterios de eficiencia (prestaciones, autonomía, consumo, etc.) de forma que se incentive de forma efectiva la movilidad eléctrica frente a la convencional. Para ello, sobre la base de la capacidad de respuesta del mercado al proyecto, se definirá un marco de apoyos al efecto.

Dentro de la propuesta, con vistas a su mayor fiabilidad técnica, se incluirá la opción de adquirir los vehículos eléctricos y dejar el mante-



nimiento de baterías como elementos en alquiler, lo que puede garantizar un uso y gestión óptima del suministro.

Finalmente, como elemento básico e imprescindible del proyecto, se incluirá la instalación de diversos modelos de estaciones de recarga con capacidad en función de la demanda existente por parte del usuario de gestionar la propia recarga.

## 10.5. Partícipes del proyecto

Los diferentes intervinientes en el desarrollo del proyecto son:

- *IDAE*: responsable del proyecto y soporte institucional de la actuación como responsable de la política de eficiencia energética. Apoya económicamente en la adquisición de los vehículos a las empresas e instituciones, según criterios de iniciativas similares y la creación de una infraestructura de puntos de recarga públicos. Se dispondrá de una asistencia técnica para la gestión del proyecto dentro del Departamento de Transporte de IDAE.
- *Administración local*: soporte local que facilita la instalación de puntos de recarga y adquisición de vehículos como usuario.
- *Empresas eléctricas*: asistencia técnica y apoyo en la instalación de puntos de recarga en lugares públicos y privados, suministro de energía eléctrica en el periodo de prueba y adquisición de vehículos como usuarios.
- *Fabricantes e importadores de vehículos*: aprovisionamiento de vehículos y puntos de recarga, servicio posventa, mantenimiento y garantías.
- *Usuarios de vehículos*: a partir de la Convocatoria Pública de las ayudas asociada al Programa MOVELE, se identificarán un conjunto de potenciales usuarios interesados en utilizar los vehículos del proyecto en uso real. Estos usuarios asumirán determinados compromisos sobre las condiciones de utilización de los vehículos que serán definidos en la Convocatoria (incidencias, suministro de información sobre movilidad, consumos energéticos, etc.).
- *Otras empresas*: en este ámbito se deberían considerar los apoyos de empresas de financiación de vehículos (*renting, leasing*,





## Guía del Vehículo Eléctrico

etc.), empresas de seguros del automóvil, clubes de conductores e instituciones de homologación de vehículos.

### 10.6. Fases del proyecto

Para llevar a cabo esta iniciativa, cuyo desarrollo deberá responder a las capacidades y formas de actuación del IDAE, será necesario llevar a cabo un conjunto de tareas específicas que permitan lanzar la convocatoria de ayudas públicas a aquellas empresas, instituciones y particulares objetivo de estas formas de movilidad:

- **Fase I:** estudios, recopilación de información, reuniones con fabricantes de vehículos, coordinación con otras instituciones implicadas, etc., destinadas a conocer con mayor precisión las posibilidades de alcance del proyecto en el plazo temporal del mismo.
- **Fase II:** elaboración, publicación, presentación y evaluación de las distintas partes que van a componer la Convocatoria Pública de apoyos a este proyecto.
- **Fase III:** lanzamiento del proyecto, gestión de las ayudas acordadas por IDAE a los usuarios e instaladores de cargadores, recepción y valoración de la información recibida de los diferentes partícipes del proyecto, seguimiento de resultados, valoración de obstáculos, etc.
- **Fase IV:** análisis y evaluación de resultados, conclusiones y propuestas de desarrollo de normativas que apoyen esta movilidad.

### 10.7. Esquema organizativo

Para el seguimiento del proyecto se establecerá una unidad de gestión en IDAE. En las Fases I y II del proyecto, esta unidad de gestión técnica llevará a cabo la definición completa del proyecto sobre la base de las particulares características del mercado existente y los objetivos del proyecto. El resultado de estas fases será la publicación de la Convocatoria Pública de apoyos del proyecto y la evaluación de solicitudes y capacitación de los potenciales usuarios y ofertantes de equipos.

La unidad de gestión, en la Fase III, deberá disponer de los medios necesarios para cubrir las siguientes áreas específicas:

- *Área de Comunicación:* en este ámbito, desde la unidad de gestión se llevarán a cabo las tareas de coordinación de información y comunicación de resultados a los miembros colaboradores del proyecto y a terceros.
- *Área de Operaciones:* en este área de actividad se llevará a cabo el seguimiento de resultados, análisis de obstáculos, relaciones con fabricantes y adaptación de las condiciones del programa a posibles evoluciones tecnológicas.
- *Área de Usuarios:* en este área la misión principal de la unidad de gestión será la relación con los usuarios, obtención de información (encuestas, datos on-line, etc.), gestión de ayudas, etc.

En la Fase IV final, la información recogida del proyecto se elaborará con objeto de responder a los objetivos del mismo, con especial atención a los resultados energéticos y medioambientales y de valoración de los usuarios.

## 10.8. Presupuesto del proyecto

Con base en las escasas experiencias previas, el presupuesto define los diferentes conceptos que cubrirá el proyecto en su horizonte temporal.

El capítulo más destacado serán los apoyos públicos a la inversión para alcanzar un conjunto de, al menos, 2.000 vehículos eléctricos y un número mínimo de 500 puntos de recarga públicos. Estos apoyos públicos irán destinados a incentivar la creación de una oferta de estas tecnologías y generar una demanda por parte de los usuarios que permita alcanzar los objetivos estratégicos, energéticos y tecnológicos perseguidos por el proyecto.

Estas ayudas serán reguladas en el proyecto, mediante una fórmula de cálculo que recoja la mayor eficacia de los diferentes vehículos en función de la demanda de movilidad que se persigue cubrir con el proyecto piloto.





## Guía del Vehículo Eléctrico

Del mismo modo, dentro de los apoyos se recogerá la creación de unas condiciones favorables que permitan construir y operar una red de estaciones de suministro de energía eléctrica para hacer viables, técnicamente, el uso de los mismos.

Finalmente, dentro del presupuesto se incluyen los costes de gestión, seguimiento y evaluación de resultados, así como la posibilidad de desarrollar otros proyectos de menor rango, consecuencia de los citados resultados.

En resumen, se estima que los costes totales del proyecto para un periodo de 24 meses, se elevan a 10.000.000 € por estos diferentes conceptos.

### 10.9. Impacto energético y medioambiental

La puesta en circulación de 2.000 vehículos eléctricos en un entorno urbano, sustituyendo un número similar de vehículos impulsados con gasolina y gasóleo, supone la reducción del consumo en estos productos por valor de 4.672.000 litros/año, equivalente a 4.282 tep/año en energía primaria.

El consumo asociado a la movilidad eléctrica se estima en 7.008.000 kWh/año, con una equivalencia de 1.510 tep/año en energía primaria.

En consecuencia, de alcanzar los objetivos del proyecto MOVELE en el periodo planteado, se obtendría un ahorro energético total de 2.772 tep/año en energía primaria.

Por otra parte, el balance de emisiones de CO<sub>2</sub>, atendiendo a los valores de emisión media actual del mix eléctrico (411,5 g/kWh generado), supone la reducción de estos gases en 4.471 tCO<sub>2</sub>/año.

### 10.10. Extrapolación de resultados

La mayor eficiencia energética de los motores eléctricos frente a los motores de combustión interna, unido a la mejora de la eficiencia energética del mix de generación eléctrica en España con la incorporación de nuevas tecnologías renovables y ciclos combinados de

gas natural, permiten afirmar que la movilidad eléctrica sustitutiva de los vehículos convencionales impulsados con productos derivados del petróleo, genera un destacado ahorro energético, reduce la dependencia energética exterior y conlleva ventajas medioambientales en forma de reducción de emisiones contaminantes.

De acuerdo a los datos de un reciente estudio elaborado por el Departamento de Transporte de IDAE “Estimación del impacto energético y medioambiental de la introducción del vehículo eléctrico en los entornos urbanos de España” de fecha febrero de 2008, considerando la renovación de la flota en los términos expresados en la Tabla 10.1, se obtendría un ahorro energético de productos derivados del petróleo de 555 ktep/año (equivalente a 1.633.433 litros diarios) y una reducción de la emisiones de 866 ktCO<sub>2</sub>/año.

**Tabla 10.1.** Hipótesis de introducción de vehículos eléctricos.

| Año  | Coche | Furgoneta | Moto | Autobús |
|------|-------|-----------|------|---------|
| 2015 | 1%    | 1%        | 3%   | 5%      |
| 2020 | 5%    | 5%        | 8%   | 12%     |
| 2030 | 10%   | 10%       | 15%  | 20%     |

A partir de estas hipótesis de sustitución, se obtendrían los siguientes valores cuantitativos de vehículos, en los diferentes horizontes temporales, Tabla 10.2.

**Tabla 10.2.**

| Año  | Energía diaria demandada (kWh) | Nº de coches eléctricos | Nº de furgonetas eléctricas | Nº de motos eléctricas | Nº de autobuses eléctricos |
|------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|
| 2015 | 1.044.565                      | 68.564                  | 15.491                      | 16.678                 | 463                        |
| 2020 | 4.860.179                      | 354.019                 | 79.789                      | 45.927                 | 1.148                      |
| 2030 | 10.004.415                     | 733.418                 | 167.218                     | 89.200                 | 1.982                      |

Uno de los elementos más destacados de este cambio tecnológico favorable a la movilidad eléctrica es el hecho de que la carga nocturna de los vehículos incide de manera positiva en la estabilidad del sistema eléctrico, reduciendo las diferencias entre los periodos punta y valle, y permitiendo en consecuencia la introducción de mayor potencia de energías renovables en los momentos de menor demanda. Por tanto, se podría afirmar que este cambio hacia la movilidad eléc-





## Guía del Vehículo Eléctrico

trica, favorece la introducción de estas tecnologías renovables de generación, que, a su vez, suponen una mejora de la eficiencia energética global del sistema eléctrico, lo que beneficia la propia recarga de los vehículos.

### 10.11. Desarrollo de infraestructuras públicas de recarga

Uno de los elementos claves para el éxito del Proyecto MOVELE es la localización de aquellas ciudades que puedan ofrecer *a priori* mejores condiciones para el uso e implantación de los vehículos eléctricos, así como el apoyo para la creación de unas condiciones favorables que permitan construir y operar una red de estaciones de suministro de energía eléctrica que haga técnicamente viable el uso de los mismos.

La existencia de estas condiciones favorables se debe valorar desde varios puntos de vista:

- Disposición por parte de los municipios a crear una red de estaciones de recarga en su entorno urbano, siendo un elemento de selección geográfico la existencia de proyectos municipales de creación de esta red de suministros.
- Existencia de incentivos municipales a la movilidad eléctrica, con los que se compense los costes adicionales que pueda suponer la movilidad eléctrica frente a la convencional.
- Políticas de continuidad con apoyo municipal, con el fin de dar credibilidad a los beneficios económicos destinados a estas alternativas de movilidad.

Con estas premisas, IDAE procedió a invitar a aquellos municipios españoles con más de 300.000 habitantes, a darle a conocer su interés en este tipo de proyectos a fin de llevar a cabo Convenios de Colaboración para apoyar económicamente los proyectos que resultasen mejor valorados, con la intención de no sobrepasar el número de cuatro municipios y la dotación de 1,5 millones de Euros.

Tras el correspondiente envío de comunicación durante el mes de diciembre de 2008 a los 13 ayuntamientos españoles con población su-

terior a la señalada, 3 fueron las ciudades que manifestaron su interés en colaborar en esta experiencia piloto: Sevilla, Madrid y Barcelona.

Los apoyos que IDAE dirige a los municipios se concretarán mediante la firma de Convenios de Colaboración con estas instituciones municipales para la co-financiación de infraestructuras públicas de recarga. Los niveles de apoyo de IDAE responderán a las siguientes baremaciones:

- Obra civil: 10% hasta límite de 100.000 Euros por proyecto.
- Cargadores en vías públicas: 2.000 Euros/cargador.
- Cargadores en aparcamientos: 1.000 Euros/cargador.
- Ingeniería: máximo 20.000 Euros/proyecto o 20% del presupuesto en esta partida.
- Puntos de sustitución de baterías: máximo de 10.000 Euros por estación de sustitución.

Concluida esta fase del programa, se puede extraer que la puesta en marcha de los proyectos presentados por las ciudades de Sevilla, Madrid y Barcelona, supondrá la instalación de 546 puntos de recarga de vehículos eléctricos, 193 cubiertos y 353 en las vías públicas.

La inversión total asociada a estos tres proyectos se ha estimado en 2.559.164 Euros, con una aportación de IDAE total de 1.017.000 Euros.

No obstante, IDAE ha habilitado a través de sus Convenios con las CC.AA. la posibilidad de cofinanciar con fondos de la E4 proyectos piloto similares en otras ciudades españolas.

## 10.12. Vehículos incentivables

Los vehículos susceptibles de recibir apoyo económico serán aquellos vehículos nuevos que pertenezcan a alguna de las siguientes categorías: motocicletas, cuadriciclos pesados, turismos o comerciales de menos de 6.500 kg de MMA y microbuses.

Deberán igualmente equipar alguna de las siguientes tecnologías:

- **Vehículos Eléctricos (BEV):** alimentados a partir de baterías recargables de la red general eléctrica.





## Guía del Vehículo Eléctrico

- **Vehículos Híbridos Enchufable (PHEV):** se definen como tal aquellos vehículos que, entre sus distintos modos de funcionamiento, disponen de capacidad de tracción únicamente eléctrica con una capacidad de acumulación de energía en las baterías mediante alimentación de la red general eléctrica tal, que la autonomía en modo sólo eléctrico sea superior a los 32 km.
- **Vehículos Eléctricos de Autonomía Ampliada (REEV):** se definen como tal aquellos vehículos que disponen de capacidad de tracción únicamente eléctrica, con una capacidad de acumulación de energía en las baterías mediante alimentación de la red general eléctrica tal, que la autonomía en modo sólo eléctrico sea superior a los 32 km.

Los vehículos susceptibles de ser apoyados en el marco del Programa MOVELE, deberán figurar en un Catálogo de Vehículos (Catálogo MOVELE) publicado en la página web de IDAE.

### 10.13. Cuantía de las ayudas

La intensidad bruta máxima de las ayudas que se pueden conceder para las actuaciones objeto del Programa MOVELE, será determinada en función de la tipología tecnológica y la categoría de vehículos a la que pertenezca.

El importe final de la ayuda unitaria por vehículo para las actuaciones previstas de adquisición de vehículos y las de arrendamiento en la convocatoria del MOVELE, será el señalado para cada vehículo en el Catálogo MOVELE publicado en la página web de IDAE, en el momento de la realización de la actuación, y vendrá determinado por un porcentaje del precio del vehículo con un límite absoluto según categorías. Este porcentaje será del 15% o del 20% del precio del vehículo, según los datos técnicos del vehículo se sitúen por debajo o por encima de una curva de eficiencia energética.

En la Tabla 10.3 se resumen los límites superiores de ayudas según categorías.

La incorporación de sistemas “a bordo” de seguimiento y monitorización de datos de consumo energético en los vehículos objeto de ayudas, supondrá la ampliación de valor de la ayuda señalado en el Catálogo en un 15%.



**Tabla 10.3.** Límites de ayudas según categorías.

| <b>CATEGORÍA</b><br>(Según Directivas 2002/24/CE<br>y 70/156/CEE, anexo II) | <b>SUPERIOR</b><br>(20% del Precio de<br>Venta del Vehículo) | <b>INFERIOR</b><br>(15% del Precio de<br>Venta del Vehículo) |
|---|--|--|
| <b>Motocicletas (L3e)</b>   | 1.200 €  | 750 €  |
| <b>Cuadriciclos (L7e)</b>   | 3.500 €  | 2.000 €  |
| <b>Turismos/ Comerciales</b><br>(M1 y N1)                                   | 7.000 €  | 5.000 €  |
| <b>Microbuses/ Comerciales</b><br>(M2 y N2<6.500 kg)                        | 20.000 €   | 15.000 €   |
| <b>Híbridos enchufables</b><br>(M1 y N1)                                    | 7.000 €  | 5.000 €  |

Los sistemas de gestión de la demanda, monitorización y análisis de datos en los puntos de recarga de las flotas de vehículos eléctricos objeto de ayudas del programa, tendrán una ayuda máxima de 300 Euros por punto de recarga o el 20% de la inversión asociada a estos sistemas.

En las actuaciones mediante arrendamiento, los niveles de ayuda destinados a cada vehículo serán los señalados en el Catálogo para cada modelo, y el objeto de la ayuda será la reducción del esfuerzo financiero de las cuotas de arrendamiento para los arrendatarios.

Las ayudas previstas en este programa no serán acumulables con aquellas otras ayudas, para el mismo concepto, que se desarrollen en virtud de actuaciones del IDAE y de las Comunidades Autónomas de acuerdo a los Convenios de colaboración que implementan medidas de ahorro y eficiencia energética dentro del Plan de Acción 2008-2012 de la E4, en particular en lo referido a las diversas órdenes de ayudas de las Comunidades Autónomas para la renovación de flotas de vehículos turismo.

#### 10.14. Beneficiarios

Podrán acogerse a estas ayudas cualquier entidad o persona física o jurídica, de naturaleza pública o privada. No podrán obtener la condición de beneficiarios los solicitantes en los que concurra alguna de las circunstancias previstas en el artículo 13 de la Ley 38/2003, de 17 de noviembre, General de Subvenciones.





## 10.15. Plazos de presentación

A los efectos de que los potenciales solicitantes puedan establecer la planificación de sus actuaciones, se establecen las siguientes fechas:

### **Inicio del Programa:**

Se tomará como origen de los plazos para la solicitud de las ayudas la fecha de publicación en el Boletín Oficial del Estado de la resolución de la convocatoria, que será la fecha de inicio del programa.

### **Conclusión del Programa:**

El plazo para la presentación de solicitudes de ayudas concluirá el 31 de diciembre de 2010 o una vez agotado el presupuesto disponible para el programa. Si tal circunstancia se produjera con anterioridad a la duración temporal citada, se suspenderá la concesión de ayudas mediante publicación en la página web de IDAE.

# 11

## VEHÍCULOS A HIDRÓGENO

### 11.1. Introducción

El hidrógeno es un combustible, es decir, es un elemento que puede liberar energía al reaccionar químicamente. La principal peculiaridad del hidrógeno es que es el único combustible que al combinarse con el oxígeno genera agua como subproducto de su combustión, no emitiendo absolutamente nada de  $\text{CO}_2$ .

Cabe destacar también que es el combustible que tiene, con diferencia, el mayor poder calorífico. Un kilogramo de hidrógeno es capaz de liberar casi el triple de energía que un kilogramo de gasolina, gasóleo o gas natural, por ejemplo. El principal inconveniente del hidrógeno es su baja densidad, lo que complica su almacenamiento [1].

El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo. Las estrellas como nuestro Sol, están compuestas mayoritariamente de hidrógeno, que es el combustible de las reacciones nucleares de fisión que hacen que emitan energía, por lo que es el hidrógeno el elemento responsable de que en la Tierra sea posible la vida. Pero en la Tierra no es posible encontrar hidrógeno en estado libre. El hidrógeno se puede encontrar combinado con el oxígeno en forma de agua (de donde no se puede extraer ya energía) o combinado con carbono y oxígeno en la biomasa y en los combustibles fósiles.

El uso del hidrógeno como combustible en automoción no es nuevo, todo lo contrario: el primer vehículo con motor de combustión interna que fue construido en el mundo (en 1807 por el suizo François Isaac de Rivaz) estaba alimentado por hidrógeno. Considerando ya los vehículos modernos, BMW empezó a construir turismos de hidrógeno en 1978, y actualmente la inmensa mayoría de los fabricantes ha desarrollado ya algún prototipo de coche alimentado con hidrógeno.

### 11.2. Producción de hidrógeno

Aunque, hasta la fecha, el uso de hidrógeno como combustible para automoción es anecdótico en comparación con el de los derivados





**Foto 11.1.** a) Primer coche de hidrógeno (1807) b) BMW serie 7 a hidrógeno (1978).

del petróleo, la industria de producción de hidrógeno, aunque poco conocida, es una industria importante y tecnológicamente madura. El hidrógeno se utiliza principalmente para la producción de gasolinas en refinerías, para la fabricación de amoníaco y en otros procesos, como, por ejemplo, en la industria alimentaria (para tratamiento de grasas).

Al hidrógeno no se le puede considerar una fuente energética sino un portador o vector energético, es decir, una forma intermedia de transformar la energía. El hidrógeno puede ser producido a partir de distintas fuentes energéticas, posteriormente puede ser transportado y almacenado, y finalmente utilizado para liberar la energía que contiene. Fundamentalmente, el hidrógeno puede obtenerse mediante reacciones químicas a partir de otros combustibles, o mediante procesos electroquímicos a partir de agua y electricidad. Existen otros métodos de producción, como puede ser la termólisis (rotura de la molécula del agua por temperatura), otras reacciones químicas de compuestos que contienen hidrógeno o como subproducto de algunas industrias (como la del cloro-sosa), pero son métodos aún en desarrollo o que no son competitivos económicamente.

### 11.2.1. Hidrógeno "químico"

A día de hoy, la práctica totalidad del hidrógeno que se produce a escala industrial es por el método de reformado en fase vapor de gas natural, ya que es el método económicamente más rentable en la mayoría de las aplicaciones.

carburos y de alcoholes, o por procesos de gasificado de carbón, de biomasa o de residuos. Todos estos procesos tienen en común que están basados en reacciones químicas en varios pasos, que se producen a altas temperaturas en presencia de catalizadores, que, además del hidrógeno, liberan  $\text{CO}_2$  (y en menor medida otras emisiones contaminantes), y que la energía almacenada en el hidrógeno producido es lógicamente menor a la energía consumida del combustible de partida.

### 11.2.2. Hidrógeno "electrolítico"

La molécula de agua puede descomponerse en oxígeno e hidrógeno aplicando electricidad en determinadas condiciones. Un electrolizador está compuesto por una serie de celdas electroquímicas, donde se aplica una diferencia de potencial entre dos electrodos (que al mismo tiempo actúan de electrocatalizadores) separados por un medio electrolítico (una solución alcalina o una membrana de intercambio iónico, por ejemplo). Al hacer circular intensidad por el circuito, se produce la separación del agua en sus componentes (mediante semirreacciones en cada uno de los electrodos), pudiendo separar y purificar el hidrógeno y el oxígeno producidos.

Si la electricidad que se usa en la electrólisis es de origen renovable, se puede decir que el hidrógeno producido es un combustible renovable. El hidrógeno producido por electrólisis, además, tiene una pureza superior al producido por procesos químicos.

### 11.3. Almacenamiento de hidrógeno

El hidrógeno es un elemento tremendamente ligero. La densidad del hidrógeno gas es catorce veces menor que la del aire, y la densidad del hidrógeno líquido es catorce veces menor que la del agua. Debido a esta baja densidad, a pesar de su elevado poder calorífico, el hidrógeno no ofrece una buena densidad energética en términos de volumen. Por ejemplo, un depósito de gas natural comprimido puede almacenar más del cuádruple de energía que ese mismo depósito con hidrógeno en las mismas condiciones de presión y temperatura, y un litro de gasolina tiene casi el cuádruple de energía que un litro de hidrógeno líquido [1].

El hidrógeno, que a temperatura ambiente es un gas, se puede alma-





## Guía del Vehículo Eléctrico

cenar de distintas formas: comprimido, licuado a temperaturas criogénicas o fijado en otros compuestos. Estos tres tipos de almacenamiento son adecuados tanto para aplicaciones estacionarias como para aplicaciones al transporte.

### 11.3.1. Hidrógeno comprimido

El hidrógeno, como cualquier gas, puede comprimirse para almacenarlo. Tradicionalmente, el hidrógeno se ha almacenado en botellas de acero a una presión máxima de 200 bares, pero en los últimos años se ha ido sustituyendo el acero por plásticos, y la presión se ha aumentado a 350 bares y, últimamente, hasta los 700 bares, de forma que se han ido consiguiendo unos depósitos para hidrógeno cada vez más ligeros y compactos.

### 11.3.2. Hidrógeno licuado

El hidrógeno alcanza su estado líquido por debajo de 20 K (-253 °C). Alcanzar y mantener estas temperaturas requiere una tecnología compleja y un consumo energético importante. El proceso de licuefacción consume aproximadamente el 30% de la energía del combustible, y mantenerlo licuado en el depósito puede consumir hasta un 3% de la energía almacenada cada día. Los depósitos suelen ser metálicos, tienen que estar muy bien aislados (mediante doble recubrimiento, con vacío entre ambos) y son mucho más pesados que el hidrógeno que pueden contener.

### 11.3.3. Métodos alternativos de almacenamiento de hidrógeno

Existen métodos alternativos de almacenamiento de hidrógeno en los que el hidrógeno se fija en otros compuestos. El caso más utilizado es el de los hidruros metálicos, donde el hidrógeno es absorbido por compuestos metálicos en función de la presión y la temperatura, formando hidruros metálicos. Para cargar los depósitos se inyecta hidrógeno a alta presión y/o, reduciendo la temperatura, se forma el hidruro. Para que el hidrógeno se libere basta con reducir la presión y/o aumentar la temperatura. Para cada composición de hidruro los niveles de presión y temperatura de carga y descarga son distintos. Típicamente el hidrógeno que contiene un hidruro metálico no suele superar el 5% en peso. Existen otros compuestos que potencialmente pue-

den fijar el hidrógeno, como los nanotubos de carbono y otros, pero todavía están en fase de desarrollo y no tienen aplicación práctica.

### 11.4. Utilización del hidrógeno

El hidrógeno, como el resto de los combustibles, puede ser utilizado para aprovechar la energía química que almacena. Como la palabra combustible indica, puede reaccionar con el oxígeno del aire (reacción de combustión) liberando en forma de calor la energía. Esta energía puede aprovecharse en forma de energía térmica en una caldera, o en forma de energía mecánica en un motor de combustión interna o en una turbina. Debido a las propiedades del hidrógeno (poder calorífico y densidad), el tamaño de las cámaras de combustión y la relación de caudales combustible/aire varían frente a las de otros combustibles, pero un motor de hidrógeno es muy parecido a uno de gasolina, algo más grande para la misma potencia pero la tecnología es la misma.

El hidrógeno es un combustible especialmente adecuado para la combustión catalítica (combustión sin llama) y para su uso en pilas de combustible.

### 11.5. Las pilas de combustible

Las pilas de combustible son unos dispositivos electroquímicos que transforman directamente la energía química de un combustible en electricidad. Dentro de la pila de combustible hay varias celdas electroquímicas en las que cada una consta de dos electrodos (en uno de ellos reacciona el hidrógeno y en el otro el oxígeno) separados por un electrolito (a través del cual circulan los iones que completan las dos semirreacciones de los dos electrodos). Las distintas celdas están conectadas eléctricamente unas con otras y existen canalizaciones que aseguran que los gases alimenten apropiadamente a los electrodos, además de sistemas de refrigeración que se encargan de mantener la temperatura dentro de operación. Una pila de combustible, por su forma de funcionamiento, es muy parecida a una batería, pero en lo que se diferencia (y la pila de combustible se asemeja más a un motor de combustión) es que el combustible no se almacena en su interior, sino que se va suministrando desde el exterior, pudiéndose mantener continuamente en operación si se mantiene la alimentación de combustible.





## Guía del Vehículo Eléctrico

Entre las ventajas de las pilas de combustible frente a los motores de combustión interna cabe destacar:

- Al ser una reacción electroquímica en lugar de un proceso termodinámico el rendimiento no se ve limitado al del ciclo de Carnot, pudiéndose conseguir eficiencias energéticas más elevadas, lo que implica un menor consumo de combustible y, consecuentemente, un menor impacto medioambiental.
- Dentro de la pila de combustible no existen piezas móviles, por lo que los niveles de ruido y vibraciones son menores en su operación, no existe desgaste mecánico de las piezas y requiere menos operaciones de mantenimiento.
- La pila de combustible opera a una temperatura muy inferior a la de un motor, lo que simplifica los circuitos de refrigeración y reduce los niveles de corrosión.

Aunque, por otro lado, existen una serie de inconvenientes:

- La tecnología de las pilas de combustible está todavía en fase de desarrollo, y todavía no se han alcanzado los niveles de fiabilidad y de vida útil necesarios para competir con el motor de combustión interna.
- En el estado actual de avance de la tecnología, la densidad energética de las pilas de combustible es menor que la de los motores de combustión interna, es decir, que para conseguir una misma potencia es necesaria una pila de combustible más grande y más pesada que el motor de combustión interna correspondiente. Además, una pila de combustible aplicada al transporte necesita también de un motor eléctrico, que supone un volumen y un peso adicional.
- Los costes de las pilas de combustible son, a día de hoy, muy superiores a los de los motores de combustión interna. Se está trabajando en reducción de costes (disminuyendo la concentración de platino, mejorando el diseño, automatizando la fabricación, etc.), y en un futuro es posible que puedan ser económicamente competitivas.

## 11.6. ¿Por qué vehículos de hidrógeno?

El sector automovilístico se está enfrentando a una necesaria revolución que debe solventar en los próximos años. El actual modelo basado en los combustibles fósiles no es sostenible por dos motivos: por un



lado, porque el nivel de contaminación que genera pone en peligro el mantenimiento del medio ambiente y, por otro lado, porque hace uso de unas reservas que no tardarán en agotarse. Es indudable que el vehículo del futuro (en un futuro relativamente cercano) debe ser mucho más respetuoso con el medio ambiente y no debe hacer uso de fuentes energéticas en extinción. Para alcanzar este objetivo existen tres líneas de trabajo principales: biocombustibles, vehículo eléctrico con baterías e hidrógeno.

Los vehículos que utilizan biocombustibles emiten dióxido de carbono, pero con la particularidad de que previamente las plantas utilizadas para la fabricación del biocombustible han absorbido de la atmósfera todo el  $\text{CO}_2$  que posteriormente se emite. El principal problema al que se enfrentan los biocombustibles es que en muchas zonas del mundo la utilización de cultivos para biocombustibles está encareciendo los alimentos hasta el nivel de causar hambrunas. Este hecho está frenando en gran medida el uso masivo de los biocombustibles.

Los vehículos eléctricos con baterías y los vehículos de hidrógeno comparten el hecho de hacer uso de energías diversificadas. Tanto la electricidad que necesitan los vehículos eléctricos con baterías, como el hidrógeno en sí mismo, pueden ser obtenidos de cualquier fuente energética (renovables, nuclear o combustibles fósiles haciendo uso de técnicas de captura y secuestro de  $\text{CO}_2$ ). Ambos tipos de vehículos son completamente limpios, ya que en su operación no emiten  $\text{CO}_2$  (aunque es cierto que los vehículos de hidrógeno con motor de combustión interna emiten óxidos de nitrógeno).

En las Tablas 11.1 y 11.2 se detallan a modo comparativo las ventajas y las desventajas de los vehículos de hidrógeno frente a los eléctricos a baterías, así como frente a los vehículos convencionales de gasóleo/gasolina.

### 11.7. ¿Cabe un sistema de hidrógeno en un vehículo?

El hidrógeno es un combustible muy “energético”, ya que un kilogramo de hidrógeno tiene en torno al triple de energía que los combustibles convencionales. Pero es un elemento muy poco denso, por lo que se almacena en depósitos muy grandes y muy pesados. En la Tabla 11.3 se muestra el peso y el volumen de depósitos que tendría que llevar un turismo para conseguir una autonomía de 700 km. Los datos están sacados de un estudio de BMW dentro del proyecto StorHy





**Tabla 11.1.** Vehículos de hidrógeno frente a vehículos eléctricos a baterías.

| Vehículos de hidrógeno  | Vehículos eléctricos a baterías  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>La densidad energética del hidrógeno es mucho mayor que la de las baterías, por eso se puede conseguir unas autonomías muy superiores (en torno a 700 km, en lugar de 100-200 km).</li> <li>El tiempo de recarga es de unos pocos minutos, en lugar de las horas necesarias para recargar baterías.</li> <li>La vida útil de las baterías es bastante inferior a la de los motores de hidrógeno, y de lo que se espera para las pilas de combustible.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Suponiendo que la fuente energética de partida sea la electricidad, la eficiencia energética del proceso de carga/descarga de la batería es claramente superior a la del proceso de generación de hidrógeno por electrólisis, almacenamiento de hidrógeno y transformación del hidrógeno.</li> <li>La infraestructura necesaria para estaciones de recarga de baterías es más sencilla que la de distribución/generación <i>in situ</i> de hidrógeno, por lo que la fase de despliegue puede ser más temprana.</li> </ul> |

**Tabla 11.2.** Vehículos de hidrógeno frente a vehículos tradicionales.

| Vehículos de hidrógeno   | Vehículos convencionales  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Son vehículos no contaminantes.</li> <li>El hidrógeno permite diversificación energética, ya que puede ser obtenido de renovables, energía nuclear, gas natural, petróleo, carbón, residuos, biomasa, etc.</li> <li>Los sistemas de generación de hidrógeno a partir de energías renovables pueden contribuir a acoplar la curva de demanda al recurso renovable (produciendo hidrógeno, por ejemplo, cuando exista viento y la red no demande mucho consumo). Esto también puede ser aplicable, aunque en menor grado, a los vehículos eléctricos a baterías.</li> <li>Los vehículos eléctricos (con pila de combustible) de hidrógeno tienen una eficiencia energética mayor que los de combustión interna (independientemente del combustible).</li> <li>El hidrógeno puede llegar a ser un combustible barato (más incluso que los derivados del petróleo), en aquellos lugares que dispongan de recursos renovables en abundancia, y donde el transporte y distribución de gasolinas sean caros (por ejemplo, en islas o lugares con poca densidad de población).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>La densidad energética del gasóleo y la gasolina son muy superiores a la del hidrógeno. No obstante, los últimos modelos de vehículos a hidrógeno consiguen unas autonomías equivalentes sin sacrificar habitabilidad ni espacio de maletero.</li> <li>Es una tecnología madura, bien conocida, y que dispone ya de una perfecta red de estaciones de suministro de combustible.</li> <li>A día de hoy, es más sensato aumentar el porcentaje de penetración de energías renovables en la red eléctrica y seguir utilizando petróleo en los vehículos, que dedicar energías renovables en vehículos (vía hidrógeno o electricidad).</li> </ul> |

(para gasolina, hidrógeno comprimido e hidrógeno líquido) [2], complementado con bibliografía básica de hidruros metálicos y baterías.

**Tabla 11.3.** Peso y volumen de distintos combustibles.

|                       | Gasolina | Hidrógeno 350 bar | Hidrógeno 700 bar | Hidrógeno líquido | Hidruros metálicos | Batería Li-lón |
|-----------------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| Volumen (l)           | 35       | 430               | 256               | 160               | 200                | 1300           |
| Peso combustible (kg) | 27       | 10                | 10                | 10                | 200                | 2190           |
| Peso depósito (kg)    | 15       | 165               | 170               | 40-126            | 20                 | -              |

Es destacable que cualquier sistema de almacenamiento de hidrógeno ocupa y pesa mucho más que el equivalente en gasolina o gasóleo (salvo el caso de los depósitos de hidrógeno líquido con aislamiento polimérico reforzados con fibra de carbón, que alcanzan pesos similares aunque volúmenes claramente mayores). Aún así, a diferencia de los primeros vehículos de hidrógeno, donde todo el maletero y una buena parte del habitáculo estaban ocupados por los sistemas de hidrógeno, los prototipos actuales consiguen autonomías semejantes a los vehículos de gasolina/gasóleo sin tener que sacrificar espacio del habitáculo o del maletero. Por otro lado, el hidrógeno destaca claramente por densidad de energía por masa y volumen frente a las baterías más avanzadas, por lo que ningún vehículo de baterías podría conseguir autonomías cercanas a 700 km.

Por otro lado, un vehículo de hidrógeno necesita bien un motor de combustión interna adaptado para hidrógeno que es sensiblemente más grande que uno de combustible líquido, o una pila de combustible que es como cuatro o cinco veces más pesada que el motor térmico equivalente, y al que además hay que añadir el correspondiente motor eléctrico.

La mayoría de los vehículos con pila de combustible son híbridos (pila de combustible más baterías). Esto permite reducir el tamaño de la pila de combustible (ya que necesitaría una potencia ligeramente superior a la potencia media demandada, que es muy inferior a la potencia máxima demandada, que es la que debería cubrir la pila de combustible si no fuera un vehículo híbrido con baterías). El hecho de que la pila de combustible genere directamente electricidad en corriente continua facilita mucho la conexión con la batería, así co-





mo la alimentación de los cada vez más frecuentes sistemas eléctricos en el vehículo (tendencia a electrificación de los vehículos).

Un estudio de General Motors [3], cuya tabla resumen aparece a continuación (Tabla 11.4), ilustra el comportamiento de un mismo vehículo (un Opel Zafira) alimentado por distintos combustibles, con motor de combustión y con pila de combustible, y con y sin baterías (híbridos/no híbridos) en términos de consumo (en litros equivalentes de gasolina, es decir, en unidades de energía correspondiente a un litro de gasolina) y de emisiones.

**Tabla 11.4.** Consumo y emisiones según tipología de vehículo.

| Propulsión               | Híbrido | Combustible | Eq.litro /100 km | g CO <sub>2</sub> /km | mg CH <sub>4</sub> /km | mg NO <sub>x</sub> /km | Eq.g CO <sub>2</sub> /km |
|--------------------------|---------|-------------|------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| Motor combustión interna | no      | Gasóleo     | 6,03             | 139                   | 10                     | 10                     | 142                      |
|                          |         | Gasolina    | 6,59             | 153                   | 20                     | 17                     | 159                      |
|                          |         | Gas natural | 7,00             | 125                   | 124                    | 9                      | 130                      |
|                          |         | Hidrógeno   | 6,37             | 0                     | 0                      | 10                     | 3                        |
|                          | sí      | Gasóleo     | 5,19             | 120                   | 10                     | 10                     | 123                      |
|                          |         | Gasolina    | 5,18             | 121                   | 20                     | 17                     | 127                      |
|                          |         | Gas natural | 5,42             | 97                    | 124                    | 9                      | 102                      |
|                          |         | Hidrógeno   | 4,70             | 0                     | 0                      | 10                     | 3                        |
| Pila de combustible      | no      | Gasolina    | 5,56             | 129                   | 124                    | 3,5                    | 133                      |
|                          |         | Hidrógeno   | 3,55             | 0                     | 0                      | 0                      | 0                        |
|                          | sí      | Gasolina    | 4,84             | 113                   | 124                    | 3,5                    | 117                      |
|                          |         | Hidrógeno   | 3,28             | 0                     | 0                      | 0                      | 0                        |

Se constata que los vehículos con pila de combustible e hidrógeno son los que menos energía consumen y los que no tienen emisiones de efecto invernadero. No obstante, hay que tener en cuenta que los procesos de obtención y almacenamiento (compresión o licuefacción) de hidrógeno consumen energía, por lo que el balance total no sería tan positivo, o incluso podría resultar negativo.

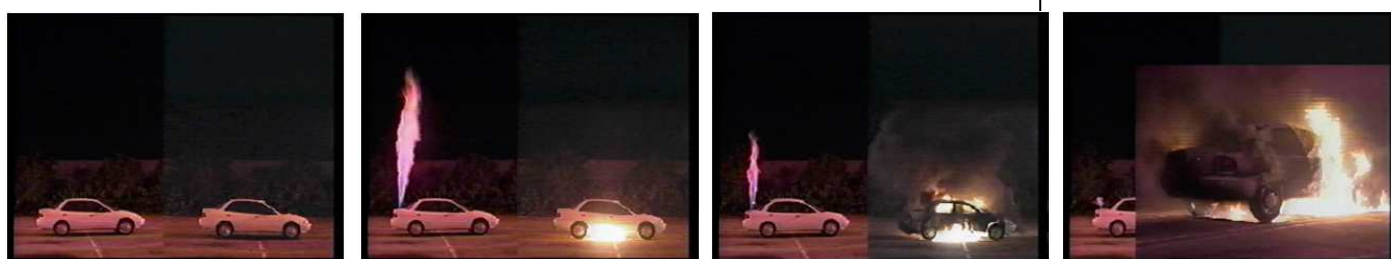
### 11.8. ¿Seguro, qué es seguro?

El hidrógeno es un combustible distinto a lo habitualmente utilizado y por eso despierta ciertos recelos en lo que se refiere a seguridad. Lógicamente, todo combustible tiene ciertos riesgos de inflamabilidad y

de detonación, y en el caso del hidrógeno comprimido existen riesgos asociados a los envases presurizados.

No obstante, los depósitos de hidrógeno que se utilizan en vehículos han superado exitosamente ensayos de impacto y de disparo, habiendo demostrado una seguridad igual o superior a la de los depósitos de combustibles líquidos.

En caso de la existencia de fugas, el hidrógeno tiene una volatilidad muy alta, lo que hace que escape a la atmósfera a gran velocidad, mientras que los combustibles líquidos se vierten y pueden provocar accidentes de gran magnitud, como demuestra un experimento de 2001 de la Universidad de Miami, en el que se provocó una rotura del depósito y se provocó el incendio a dos vehículos. El de hidrógeno sufrió daños menores en el minuto que tardó el hidrógeno en consumirse, mientras que el vehículo de gasolina fue calcinado por culpa del charco de gasolina que ardió debajo del vehículo durante dos minutos y medio [4].



**Foto 11.2.** Experimento accidente similar en coche de hidrógeno (izquierda) y de gasolina (derecha).

No es de extrañar que cuerpos de bomberos en Francia y California estén probando vehículos alimentados con hidrógeno, precisamente para llevarlos y operarlos en las condiciones más adversas (allí donde ya hay un incendio), teniendo en cuenta que precisamente son ellos los expertos en seguridad.

Desde luego que ya quedaron atrás los tiempos en los que a raíz del accidente del dirigible Hindenburg (1937), el hidrógeno empezó a ser considerado un combustible de alto riesgo. Estudios recientes han concluido que el motivo del accidente no fue el hidrógeno, sino el material con el que estaba recubierto el globo [5].

Una implantación del hidrógeno en el sector transporte implicaría, eso sí, la necesidad de adaptar (o regular) los garajes y los túneles



**Foto 11.3.** Vehículos de bomberos a hidrógeno en Francia (izquierda) y California (derecha).

(lugares de utilización de hidrógeno en recintos cerrados, donde se puede dificultar la evacuación natural del hidrógeno a la atmósfera). Se debería reforzar la ventilación con salida superior, y evitar colocar las luminarias en los techos, colocándolas a menor altura.

### 11.9. Experiencias existentes

Si bien se está haciendo referencia a una tecnología muy innovadora, se ha recorrido ya un importante camino. Existen listados de vehículos que usan hidrógeno [6] en la que se recogen más de 200 modelos distintos de coches, más de 50 modelos distintos de autobuses, así como un centenar de otros tipos de vehículos. La práctica totalidad de los fabricantes de vehículos ha desarrollado algún tipo de vehículo con hidrógeno. Por supuesto, algunos fabricantes han demostrado un especial interés con una actividad mucho más sostenida en el tiempo, como BMW con vehículos de hidrógeno líquido con motor de combustión interna, y General Motors y Mercedes Benz / Daimler Chrysler en vehículos con pila de combustible con hidrógeno comprimido.

En la parte nacional son de destacar la moto y el vehículo ligero desarrollados por la empresa española AJUSA, así como la operación de 6 autobuses de Mercedes Benz dentro del proyecto CUTE en Madrid y Barcelona; un autobús de Irisbus dentro del proyecto CITYCELL en Madrid; un autobús, varios minibuses y varias motos con motivo de la EX-PO ZARAGOZA 2009, y la próxima operación de varios vehículos pequeños en la ciudad de Soria dentro del proyecto HyChain.

### 11.10. Visión de futuro

sostenible, y que es un sector en el que el camino hacia la sostenibilidad es más complejo (por una dependencia casi absoluta del petróleo y un gran derroche en la utilización). Para mejorar las tendencias existen varias medidas complementarias entre sí, que se deben ir adoptando en la medida de lo posible:

1. Medidas para una movilidad más sostenible: uso de transporte público o compartido, vehículos adecuados para distancias urbanas como bicicletas o mini-utilitarios, medidas que puedan evitar atascos o tiempo de búsqueda de aparcamiento, etc.
2. Medidas que mejoren la eficiencia de los vehículos (convencionales y alternativos).
3. Medidas que disminuyan la dependencia del petróleo, aumentando la explotación de las energías renovables, primero en el sector eléctrico, y cuando esté superado, pasando al sector transporte.

En este escenario futuro, la entrada en el mercado de vehículos de hidrógeno y pila de combustible no va a ser sencilla, ya que siempre va a tener una dura competencia: con los vehículos convencionales hoy en día, y en un futuro próximo, con los híbridos y los de gas natural (a medio plazo), y con los vehículos eléctricos con baterías (el largo plazo), aunque probablemente acaben siendo vehículos complementarios (a baterías para uso urbano, e hidrógeno para uso interurbano).

A pesar de ello, es necesario seguir profundizando en la investigación y desarrollo tecnológico de vehículos de hidrógeno y/o pilas de combustible en espera de obtener un desarrollo “rompedor” que acelere su entrada en el mercado, además de para uso en aplicaciones concretas (en atmósferas muy sensibles a la contaminación), y también para estar preparados cuando llegue el momento de su explotación.

A nivel político, en Europa se apuesta por el hidrógeno, y la Iniciativa Tecnológica Conjunta Europea del Hidrógeno y las Pilas de Combustible [7] está convencida de un escenario 2050 con un sistema energético basado en el hidrógeno, y una medida concreta del libro verde para el abastecimiento energético que exige que el 2% de los vehículos fabricados sea de hidrógeno en 2015 y se amplíe el porcentaje al 5% en 2020 [8]. La Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y





## Guía del Vehículo Eléctrico

las Pilas de Combustible [9] está coordinando las actividades de I+D para que nuestro país esté preparado para competir en el mercado en los sectores del hidrógeno y las pilas de combustible, y contribuya a un rápido desarrollo tecnológico que favorezca un pronto despegue de las aplicaciones tanto estacionarias como en el sector transporte.

### 11.11. Bibliografía

- [1] [www.aeh2.org/datos2.htm](http://www.aeh2.org/datos2.htm)
- [2] [www.storhy.net](http://www.storhy.net)
- [3] [www.lbst.de/ressources/docs2002/TheReport\\_Euro-WTW\\_27092002.pdf](http://www.lbst.de/ressources/docs2002/TheReport_Euro-WTW_27092002.pdf)
- [4] [www.hydrogenandfuelcellsafety.info/resources/Swain-H2-Car-Video-Description.pdf](http://www.hydrogenandfuelcellsafety.info/resources/Swain-H2-Car-Video-Description.pdf)
- [5] [en.wikipedia.org/wiki/Hindenburg\\_disaster](http://en.wikipedia.org/wiki/Hindenburg_disaster)
- [6] [www.h2mobility.org](http://www.h2mobility.org)
- [7] [ec.europa.eu/research/fch/index\\_en.cfm](http://ec.europa.eu/research/fch/index_en.cfm)
- [8] [eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52000DC0769:EN:HTML](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52000DC0769:EN:HTML)
- [9] [www.ptehpc.org](http://www.ptehpc.org)







Fundación de la Energía de  
la Comunidad de Madrid

[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)

Energy Management Agency

Intelligent Energy



Europe



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, TURISMO  
Y COMERCIO



Instituto para la  
Diversificación y  
Ahorro de la Energía



ahorra energía