

# La previsión a medio plazo de las necesidades energéticas del parque de vehículos eléctricos

**Francesc Astals**

Profesor Titular

**Francisco Martínez Serra**

Profesor Asociado, UPC/ETSEIAT, España

**Joan Pallisé**

Director de Relaciones Institucionales, Circutor, S.A., España

## Resumen

Si bien el vehículo eléctrico (VE) no hace (casi) ruido, a lo largo de los últimos dos o tres años está generando un enorme ruido su “inminente” eclosión comercial. Actualmente el principal obstáculo no es ya de tipo tecnológico sino económico. El precio, aún con sustanciales ayudas, es todavía el factor limitante. Sin embargo, el aspecto fundamental, relativo al coste de las baterías va disminuyendo casi de forma paralela al aumento de la potencia y la capacidad de almacenaje, por lo tanto, el precio de los VE disminuirá en mayor medida habida cuenta de las economías de escala que significarán su producción en serie cada vez más importantes.

Entre los retos importantes a solucionar destaca en primer lugar la cuestión de si hay o no disponibilidad suficiente de energía eléctrica para hacer frente a una flota significativa de VE y si una eclosión de la demanda pudiera representar el colapso del sistema eléctrico.

Las estimaciones de los requerimientos energéticos globales señalan ‘a priori’ que la implantación del VE no debería constituir un problema relevante para el sistema eléctrico nacional tanto en la generación, como en el transporte en alta tensión, si bien deberá tomarse buena nota de los problemas que podrían aparecer en las redes de distribución en baja tensión.

En el presente trabajo se analizan someramente las demandas energéticas globales debidas a los vehículos eléctricos, en diferentes escenarios de crecimiento comercial de los VE, especialmente en el caso de España, y se estudian las distintas alternativas de carga en lo que a parámetros eléctricos se refiere, es decir ¿**cómo** se efectúa la carga? ¿Cuáles son las características que deberían poseer las estaciones de recarga? ¿Cuál debe ser la distribución y la disponibilidad geográfica de los puntos de carga?, esto es ¿**dónde** debería efectuarse esta carga? y en qué franja horaria debe orientarse la recarga, es decir ¿**cuándo**?

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 El vehículo eléctrico**

El vehículo eléctrico (VE) es anterior a los vehículos convencionales con motor de combustión interna (VCI). A finales del siglo XIX se fabricaban vehículos eléctricos en diferentes países, pero las mejoras alcanzadas por los fabricantes de vehículos de combustión interna y, en especial, la limitada autonomía impuesta por las baterías disponibles en la época, relegaron el VE a usos muy particulares, de bajas velocidades y alcance muy limitado.

Los VE pasaron un largo período prácticamente olvidados hasta la década de los 70 que, con la primera crisis del petróleo, renace el interés hacia vehículos de motorización alternativa a la convencional. La dificultad de disponer de baterías con capacidad suficiente y la decidida apuesta de los fabricantes de VCI en diseñar y construir motores convencionales más eficientes, frenaron este renacido interés.

Sin embargo, el progresivo encarecimiento del petróleo y el aumento de la sensibilidad medioambiental, con los compromisos de Kioto, conducen a replantear la alternativa de los VE. A mediados de la década de los 90 aparecen diferentes modelos comerciales de VE, básicamente para transporte y distribución urbana de mercancías en ciudades o zonas de acceso restringido a los VCI y en 1997 sale al mercado el Toyota Prius, primer turismo híbrido moderno.

### **1.2 Clasificación de los VE**

Dejando aparte algunos vehículos especiales y los trolebuses, los VE pueden agruparse en dos grandes apartados: los vehículos íntegramente eléctricos o vehículos eléctricos de baterías (VEB) y los vehículos eléctricos híbridos (VEH) o de motorización mixta, de combustión interna y eléctrica.

Los VEB consisten, esencialmente, en un dispositivo de almacenaje de energía (batería o ultracondensador) que permite alimentar el sistema motor que actúa sobre las ruedas. Los motores pueden ser de corriente continua o alterna. Los primeros proporcionan un par de arranque elevado y un sistema de regulación relativamente sencillo y conocido. Los de alterna (síncronos o asíncronos) son más robustos, de mantenimiento más sencillo y proporcionan mejor rendimiento que los de continua.

El aspecto más atractivo del VEB es su sencillez y fiabilidad mecánica, junto con la elevada eficiencia energética, así como su ausencia total de emisiones en el lugar de utilización (otra cosa son las emisiones en los puntos de generación de la energía eléctrica). El factor limitante de los VEB es, todavía, el coste y la limitada capacidad de autonomía que se sitúa en el rango de 100 a 200 km.

Los vehículos eléctricos híbridos (VEH) representan un estadio intermedio entre los VEB y

los VCI convencionales. La función de la motorización eléctrica puede ser doble: por un lado evitar el funcionamiento del motor de combustión en tramos urbanos cortos y por otra parte servir de refuerzo a la motorización convencional y facilitar el ahorro de combustible aprovechando la energía de frenado para cargar las baterías.

Atendiendo a su arquitectura, los VEH pueden ser en serie (el motor eléctrico es el que acciona directamente las ruedas), en paralelo (el motor de combustión y el motor eléctrico actúan sobre las ruedas) y mixto (pueden actuar como un híbrido serie o paralelo, según si la acción del motor se aplica directamente sobre las ruedas motrices –funcionamiento en paralelo, o si actúa sobre el generador –funcionamiento en serie). Las baterías del VEH pueden recargarse a través de un generador accionado por el motor de combustión o bien conectándolas directamente a la red eléctrica. La principal ventaja de los VEH respecto de los VEB reside en su autonomía; el inconveniente es la doble motorización y el incremento de complejidad y de costes que representa. Figura 1.

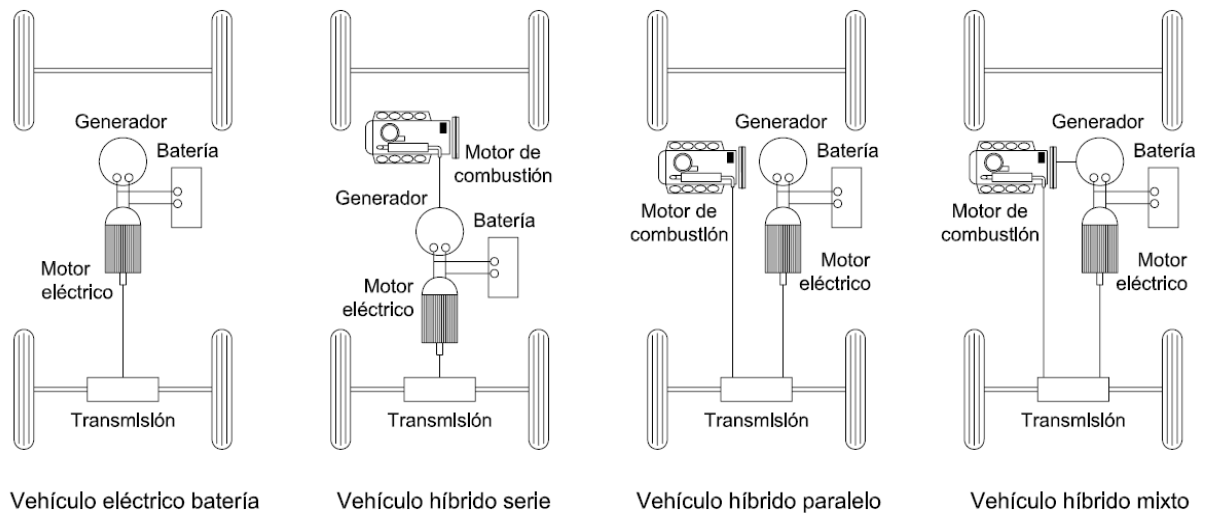


Fig. 1. Las diferentes configuraciones de los VE

### 1.3 Las baterías

El elemento clave del VE es la batería. Las baterías susceptibles de ser empleadas en VE deben responder a un conjunto de exigencias básicas: su capacidad de almacenaje de energía eléctrica, [C] –en el sector industrial, la capacidad de las baterías suele expresarse en A·h (1 A·h = 3600 C) –, su energía específica [Wh/kg], la potencia específica [W/kg], el ciclo de vida, expresado en número de ciclos de carga/descarga y la autodescarga.

La figura 2 muestra en un diagrama Potencia/Energía las principales baterías empleadas en VE (Kalhammer, et al., 2007) conocido como diagrama de Ragone. La tabla 1 muestra las características más relevantes de distintos tipos de baterías susceptibles de ser empleadas para VE.

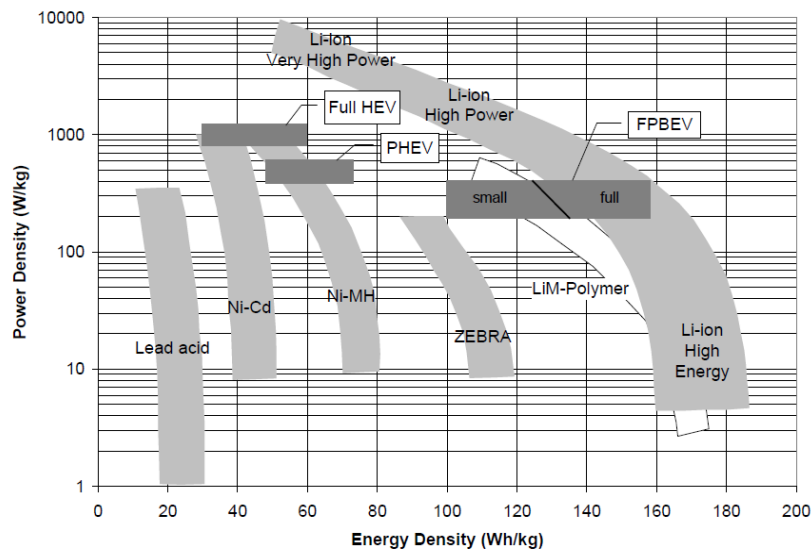


Fig. 2. Diagrama de Ragone para baterías de VE. (Kalhammer *et al.*, 2007)

**Tabla 1 Características de energía y potencia específica de algunas de las baterías para VE. Fuente: Adaptado de Schwarz, 2005**

	Plomo	Ni/Cd	Ni/MH	ZEBRA	Li fosfato	Li ión	Li polímero
<b>Energía específica (Wh/kg)</b>	30—50	45—80	60—110	120	120—140	150—190	150—190
<b>Densidad de energía (Wh/litro)</b>	75—120	80—150	220—330	180	190—220	220—330	220—330
<b>Potencia de punta (W/kg)</b>	Hasta 700		Hasta 900	200	Hasta 800	Hasta 1500	Hasta 250
<b>Número de ciclos (carga/descarga)</b>	400—600	2000	1500	800	>2000	500—1000	200—300
<b>Autodescarga por mes</b>	5%	20%	30%	12 % por día	5%	10%	10%
<b>Ventajas</b>	Bajo coste	Fiable Buen rendimiento en frío	Muy buena densidad de energía	Muy buena densidad de energía	Muy buena densidad de energía, seguridad, coste	Excelente energía y potencia	Baterías finas posibles
<b>Inconvenientes</b>	Baja energía, muerte súbita	Relativamente baja energía, toxicidad	Coste materiales de base.	Potencia limitada, auto—consumición	Carga a baja temp.	Seguridad de los elementos grandes, coste	Rendimiento en frío, Coste

## 2. ESTIMACIONES DE LA DEMANDA

El parque automovilístico en España, a finales de 2008, se muestra en la tabla 2. Por lo que al uso de carburantes se refiere, aproximadamente 2/3 del total utilizaban motores de gasoil y de gasolina el tercio restante.

Total	Motocicletas	Turismos	Camiones y furgonetas	Autobuses	Tractores industriales	Otros vehículos
<b>30.969.224</b>	2.500.819	22.145.364	5.192.219	62.196	213.366	855.260

**Tabla 2. Fuente Mfom, 2008**

### 3.

A pesar de encontrarnos en un escenario particularmente complejo debido a la situación económica general y con bastantes incertidumbres, en lo relativo a la prospectiva tecnológica, partiendo de los compromisos adquiridos por Gobierno –ratificados al asumir la presidencia de turno de la Comunidad, (Sebastián, M., 2010)– como las previsiones de diferentes estudios internacionales de prospectiva (Frost & Sullivan ), se han efectuado dos estimaciones sobre la previsible evolución del VE en España, a corto plazo, dentro del horizonte hasta el año 2015. La primera, más optimista, en línea de los objetivos del MITYC, significaría un parque de un millón de vehículos para 2014, literalmente:

*“Este proyecto, consensuado con el sector de automoción, se marcará como objetivo disponer de un **millón de vehículos** eléctricos e híbridos en 2014, primando en la medida de lo posible la producción en el interior...”(IDAE, 2008).*

Una segunda hipótesis, más modesta, tendría por objetivo alcanzar para el 2015 un 1,5 % del parque actual de turismos (aproximadamente 330.000 vehículos), un 4% del de motocicletas (unas 100.000) y el 1% del de furgonetas, camiones y otros vehículos (60.000). Esta hipótesis, sigue siendo muy ambiciosa y está por encima de las previsiones de diferentes estudios –p.e., VW, estima que la cuota de mercado de los VE será de 1,5% en 2020, o Global Insight, que establece que las previsiones serían del orden de 1,3 % (0,7 % VEB y 0,6 % VEH *plug-in*) en 2020 (Jaegher, 2009).

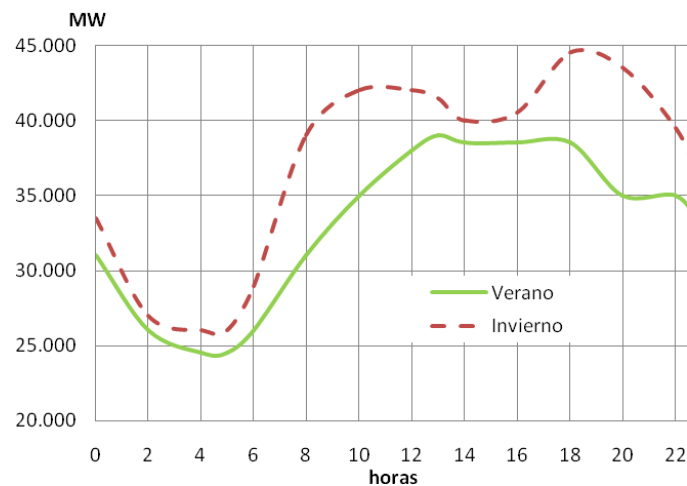
A partir de los datos de la potencia eléctrica media de motos, turismos y furgonetas tanto para los VEB como para VHE (un resumen sucinto se puede ver, por ejemplo, en el catálogo Movele, IDAE, 2009) proyectados en el horizonte 2015, con un aumento de la potencia media del orden del 20-30% respecto de los vehículos actualmente en el mercado, así como los consumos medios por kilómetro y de la estimación del recorrido medio de los vehículos –que para un automóvil de turismo en España es de unos 13.500 km/año y para una furgoneta, 50.000 km–, suponiendo que los hábitos de movilidad no cambien, se puede determinar la potencias necesaria y el consumo de electricidad que la presencia de vehículos eléctricos representará al final del período considerado. Ver tabla 3.

La cifra total de 2,2 TWh equivaldría aproximadamente al 0,8 % del consumo total de electricidad de España, que en 2009 fue de 279 TWh (REE, 2010). Estos valores corresponden al caso, más desfavorable desde el punto de vista de consumos, de que toda la energía consumida por los vehículos híbridos fuera eléctrica; en el caso que los vehículos híbridos funcionaran en parte con el motor de combustión interna, los consumos serían proporcionalmente inferiores.

	<b>Motos</b>	<b>Turismos</b>	<b>Furgonetas</b>	
Estimación vehículos eléctricos (año 2015)	100.000	330.000	60.000	
Potencia eléctrica media (kW)	15	40	60	
Consumo (Wh/km)	80	300	450	
Recorrido medio anual (km)	7.500	13.500	30.000	
Recorrido medio diario (km)	25	45	120	
Consumo medio diario (kWh/día)	2,0	13,5	54	
Energía consumida (kWh/año)	600	4.050	13.500	<b>Total</b>
Energía total consumida diaria (MWh/día)	200	4.455	3.240	7.895
Energía total consumida anual (GWh/año)	60	1.337	810	2.207

**Tabla. 3. Estimación de la demanda de energía para VE. Horizonte 2015.**

Sin embargo, esta estimación cuantitativa es insuficiente y deberá tener en cuenta dónde, cuándo y cómo se consumirá esta energía, puesto que tendrá repercusiones sobre el parque de generación, sobre las redes eléctricas de transporte y de distribución en BT, así como sobre las propias infraestructuras de los usuarios finales y, habrá que tener en cuenta la fluctuante demanda del sistema eléctrico, que varía a lo largo del día (horas *punta* al anochecer y primeras horas de la noche, y horas *valle*, a partir de la medianoche y hasta el amanecer), de la semana (días laborables y festivos) y del año (estacionalidad de la demanda). Fig. 3.



**Fig. 3. Curvas de demanda de potencia (MW). Fuente: REE**

### 1.3.1 Cómo

Los tiempos de carga dependen de la capacidad de la batería, de la profundidad de descarga y de la potencia disponible en el punto de recarga. Teóricamente es posible optar por tres alternativas distintas de recarga: ultrarrápida, rápida o lenta.

Una carga ultra-rápida de la batería de un VE de turismo debería poder realizarse en menos de 10 minutos, pero requerirá tensiones elevadas y potencias considerables –de 80 a 150

kW, no siempre fácilmente disponibles. Otro aspecto todavía pendiente de dilucidar sería la posible afectación a la vida útil de las baterías.

La situación parece distinta en la denominada carga rápida, pues son muchos los modelos de VE que se han dotado de una doble toma de carga, previéndose una media hora de recarga con potencias del orden de la mitad de las anteriores. Finalmente la recarga lenta, con períodos de 6 a 8 horas de duración, puede efectuarse con tomas de conexión de tipo doméstico y potencias de conexión situadas alrededor de los 3,6 kW.

En todos los casos y con independencia de que se dote de las protecciones eléctricas necesarias a los puntos de recarga (diferencial, magnetotérmico, puesta a tierra, sobretensiones,...), deberá prestarse una atención especial a las posibles afectaciones a la red que sin duda provocarían algunos VE por el hecho de comportarse como cargas no lineales, generando armónicos y corrientes de neutro que deberán medirse y compensarse con los dispositivos adecuados: analizadores de redes y filtros activos.

### 1.3.2 Cuándo

Se presentan tres escenarios límite para las estrategias de carga (aunque en la realidad cotidiana, las situaciones serán siempre intermedias entre ambos).

Escenario 1. Carga ultrarrápida repartida a lo largo de la jornada laboral; cuya situación más desfavorable sería cuando una fracción importante de dicha carga coincidiera con los picos de demanda.

Escenario 2. Carga rápida al finalizar la jornada laboral –que coincide con la hora punta de consumo (entre las 18.30 y las 22.30 h). Suponiendo que el 40 o 50 % de los vehículos realizaran este tipo de carga y que su duración fuera de 60 minutos, la potencia de punta adicional podría ser de 6 a 10 GW, es decir, del orden del 15 % de la potencia consumida actualmente.

Escenario 3. Carga distribuida en horas valle. En este caso caben dos alternativas: carga distribuida sin y con gestión inteligente. En el primer caso, los vehículos se cargan directamente a la red a partir de una hora –valle– determinada. En el segundo caso, la carga se realiza, asimismo, en horas valle pero la conexión a la red se adelanta o demora en función de la demanda global.

Si, mediante una adecuada política tarifaria se consiguiera que el 80% de la carga fuera lenta (7h) y que el rendimiento del cargador fuera del 90 %, el aumento de potencia que representaría sería de:

$$P = \frac{E}{\eta \cdot t} = \frac{0,8 \cdot 7,895}{0,9 \cdot 7} \approx 1 \text{ GW}$$

Esta potencia es del orden del 2,2 % de la potencia media horaria máxima consumida en España en 2009, que fue de 44.440 MW (REE, 2010) y claramente inferior al diferencial de potencias *punta* y *valle* tanto en verano como en invierno (Fig. 3).

### 1.3.3 Dónde

Las alternativas de ubicación de las instalaciones de carga de baterías son:

- Vía pública. Postes de recarga asociados a una plaza de estacionamiento en vía pública de corta duración a lo largo de la jornada laboral, con acceso y prepago mediante tarjeta. Generalmente se tratará de recargas parciales, asociadas al tiempo máximo de aparcamiento; carga rápida y potencias de hasta 10 kW.
- Parking doméstico unifamiliar. La opción más interesante es la de recarga inteligente, con tarificación nocturna. Potencias máximas del orden de 3,6 kW por punto de recarga (1, 2 ó 3 según el tipo de garaje).
- Aparcamientos privados (comunidad de vecinos) o públicos de larga duración (aeropuertos, empresas de alquiler de vehículos, etc.) en locales cubiertos o en áreas cerradas al aire libre. Se trata de sistemas de recarga multipunto con gestión inteligente sin o con tarjetas de prepago. El equipo de control puede optimizar la instalación, gestionando las cargas de los distintos vehículos y la capacidad de la línea.
- Estaciones de servicio. Se trata, por lo general, de equipos de carga ultrarrápida (hasta 15 minutos) o sistemas de intercambio de baterías.

## 4. REFERENCIAS

CHAN, C.C. (2007), *The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles*, Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No. 4, April

IDAE, 2007, *Plan de ahorro de energía 2008-2012*, MICYT /IDEA

IDAE, 2009, Resolución del 26 de junio de 2009, *Proyecto piloto de movilidad Eléctrica, MOVELE*, BOE nº 160, 03 julio 2009.

JAEGHER, T. (2009), *Voiture électrique: prévisions très optimistes*, [www.industrie.com](http://www.industrie.com), consulta el 17.02.10

KALHAMMER, F.R., KOPF, B.M., SWAN, D.H., ROAN, V.R., WALSH, M.P., (2007), *Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology*, Report of the ARB Independent Expert Panel, State of California Air Resources Board, Sacramento

MFOM, 2008, *Anuario Estadístico*, Ministerio de Fomento

MORROW, K., KARNER, D., FRANCFORT, J., (2008), *Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review*, Vehicle Technologies Program, Advanced Vehicle Testing Activity, US DOE

REE, 2010, *Avance del informe 2009*, [www.ree.es/sistema\\_electrico/pdf/infosis/Avance\\_REE\\_2009\\_v2.pdf](http://www.ree.es/sistema_electrico/pdf/infosis/Avance_REE_2009_v2.pdf), consulta el 15.02.2010

SEBASTIÁN, M., 2010, Nota de prensa sobre la Comparecencia de Miguel Sebastián ante el Parlamento Europeo, MICYT, 27/01/2010 , [www.micyt.es](http://www.micyt.es)