

El futuro del automóvil es eléctrico

JOSÉ SANTAMARTA

Las soluciones van desde los híbridos enchufables a los vehículos totalmente eléctricos con baterías de ión litio o de otros materiales



Aunque los primeros automóviles fueron eléctricos, el último siglo fue el siglo del motor de combustión interna. Hoy transporte es igual a petróleo. La primera (1973) y la segunda crisis del petróleo (1979) supusieron el desplazamiento del petróleo en la generación de electricidad. La tercera debe implicar su desplazamiento del transporte por carretera, un proceso que, al igual que el precedente de la generación de electricidad, llevará varias décadas, y habrá un largo periodo de coexistencia.

Una política de transporte sostenible debe promover la reducción de la demanda, los transportes no motorizados y el transporte público y por ferrocarril, tanto de pasajeros como de mercancías y el coche compartido, además de mejorar la eficiencia de los vehículos. Pero como ya existen unos 800 millones de vehículos y la aspiración a la movilidad motorizada individual está profundamente arraigada, a pesar de sus muchas externalidades y los costes de todo orden, y cada año habrá más por el desarrollo de China e India, entre otros países (en 2030 habrá más de 1.500 millones y hacia 2050, si se mantienen las tendencias previsibles, circularán 3.000 millones de vehículos), se hace necesario dar una solución viable y complementaria de las citadas, y esa es el automóvil eléctrico conectado a la red, siempre que la mayor parte de la electricidad provenga de energías renovables, y muy especialmente la eólica, por razones de coste y de recursos, e incluso en un futuro también de combustibles fósiles, cuando se desarrollen las tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂. Ni que decir tiene que tales tecnologías de captura y almacenamiento sólo pueden acometerse en grandes centrales termoeléctricas, y no son viables ni lo serán en los millones de vehículos.

Sólo la electrificación del transporte por carretera permitirá aprovechar la descarbonización de la generación de electricidad. Las otras alternativas, ante el previsible y enorme crecimiento del parque de vehículos en las próximas décadas, tras superarse la crisis actual, conducen a un callejón sin salida.

Economía del electrón

La descarbonización del sistema energético, y del transporte en particular, requiere la electrificación del transporte, y una nueva economía basada en el electrón, y no en un hipotético hidrógeno, abandonando espacio, pero sin pausa, la economía de los hidrocarburos. El ciudadano demanda kilómetros motorizados, no gasolina ni gasóleo. Esta simple lección de la demanda de servicios energéticos, que no de energía,

conviene aplicarla en todos los órdenes: iluminación, confort, agua caliente, productos y servicios de todo orden, pero también en la movilidad motorizada.

Hoy se puede hacer, porque por primera vez se dan todas las condiciones que lo hacen posible: en primer lugar el desarrollo de baterías de ión litio y otros materiales, que permiten la autonomía necesaria (de 60 a 400 km, según los modelos existentes), y en segundo lugar el desarrollo de las energías renovables, especialmente la eólica en el presente y la solar termoeléctrica en el futuro, que pueden suministrar la electricidad necesaria, sin emisiones de CO₂, y a un coste razonable e inferior al de la gasolina, el gasóleo y los biocombustibles.

Las razones para hacerlo son obvias: la inseguridad del abastecimiento del petró-

“SÓLO LA ELECTRIFICACIÓN DEL TRANSPORTE POR CARRETERA PERMITIRÁ APROVECHAR LA DESCARBONIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD”

leo (el 95% de la energía consumida en el transporte proviene del petróleo y hacia 2050 apenas cinco países monopolizarán el abastecimiento de petróleo y gas natural: Rusia, Irán, Arabia Saudí, Irak y Qatar), los altos precios y sus consecuencias sobre el déficit comercial, la inflación y la actividad económica en general, los conflictos militares (la mayor parte de los conflictos de las últimas décadas se deben al petróleo), las emisiones de CO₂, la contaminación atmosférica y el ruido.

El transporte por carretera supone la mayor amenaza al medio ambiente y a la seguridad energética, dada su dependencia del petróleo, por lo que urge su electrificación. La lámpara eléctrica de Edison sustituyó a las lámparas de queroseno en la iluminación a finales del siglo XIX, que a su vez habían sustituido a los “biocombustibles” (la grasa de ballena) y en la próxima década podemos asistir a un proceso similar de electrificación en el transporte al que tuvo lugar en la iluminación hace más de un siglo.

Otro factor a considerar es que los combustibles fósiles no convencionales, como las arenas alquitranadas, el gas natural

licuado (dos tercios de las reservas de gas natural están en Rusia, Irán y Qatar) o la licuefacción del carbón, son insostenibles, al igual que los biocombustibles a gran escala, que deben competir tanto con la producción de alimentos como con la conservación de la biodiversidad y el uso del agua, y el resultado neto en el ciclo del carbono puede ser muy desfavorable si se sustituyen bosques por cultivos, por lo que aumentarían las emisiones de CO₂.

Preguntas sobre el hidrógeno

Una posible alternativa es el hidrógeno, pero el hidrógeno es ineficiente y caro de producir, y no existe la infraestructura necesaria. Las preguntas sobre el hidrógeno que habría que hacerse son: ¿cuándo? ¿cuánto? ¿cómo? ¿con qué infraestructura? ¿a partir de qué fuente energética primaria? El desarrollo del hidrógeno y las pilas de combustible aún requiere mucha investigación. Los electrones son tres veces más eficientes y mucho menos costosos que una hipotética economía del hidrógeno. La *economía del electrón* es muy superior en todos los órdenes a la economía del hidrógeno. Como vector energético, la electricidad siempre será muy superior al hidrógeno, aunque el lugar de éste está en el almacenamiento, y sin duda tiene un futuro en la generación distribuida, pero su posible utilización masiva en el transporte por carretera es más dudosa.

El Protocolo de Kioto en España implica que el promedio de las emisiones de gases de invernadero en el periodo 2008-2012 no pueden superar en más de un 15% las del año base 1990. Pero las emisiones ya alcanzaron el 52,3% en 2007. En el transporte por carretera las emisiones están desbocadas, pues se han duplicado desde 1990 (crecieron un 97% entre 1990 y 2007). Una de las políticas viables para estabilizar y reducir las emisiones es el empleo de vehículos híbridos y eléctricos conectados a la red, siempre que la electricidad provenga en gran parte de energías renovables. Todos los análisis de ciclo de vida han demostrado que los vehículos eléctricos cuya electricidad provenga de energías renovables (los ReBEC, de *renewable energy battery electric*) emiten un 80% menos CO₂ que los vehículos tradicionales, y un 43% con el mix de generación existente en el Reino Unido, según el estudio elaborado por Ecolane Transport Consultancy en 2006.

La contaminación provoca la muerte prematura de unas 16.000 personas en España, cuatro veces más que las producidas en accidentes de tráfico. Los ReBEC contribuirán a reducir las emi-

siones de partículas PM₁₀, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y monóxido de carbono, mejorando la calidad del aire de nuestras ciudades.

La electrificación del transporte requiere implantar y aplicar las políticas y medidas que lo hagan posible, desde desgravaciones fiscales a la adquisición de vehículos eléctricos a compras verdes por las administraciones para su parque móvil, y el apoyo a las nuevas infraestructuras que serán necesarias (puntos de recarga, estaciones de cambio de baterías), además de normas y leyes. El despegue de un nuevo sector como el de los vehículos eléctricos, tan beneficioso para España en todos los órdenes, como lo son también las energías renovables, requiere de un importante apoyo inicial, y la colaboración con el sector privado que hará posible tal transformación.

El automóvil eléctrico

El motor eléctrico es cuatro veces más eficiente que el motor de combustión interna. La tecnología existe, y la única cuestión que queda por desarrollar son las baterías que proporcionen una autonomía adecuada entre recargas a un coste razonable. Las soluciones van desde los híbridos enchufables a los vehículos totalmente eléctricos, empleando baterías de ión litio o de otros materiales en desarrollo, como las baterías Zebra o de Zinc-aire, además de los desarrollos de la nanotecnología. De hecho, la práctica totalidad de las empresas del sector ya están desarrollando sus modelos, y cabe esperar que a partir de 2010-2012 el automóvil eléctrico irrumpa de forma masiva en el mercado.

Israel, Dinamarca, Portugal, Irlanda, Australia, Nueva Zelanda y Francia ya han presentado sus planes, además de programas piloto en Alemania, Japón y varios Estados (Hawái, California) de EE. UU., y en España el gobierno prevé su introducción para 2012, pero sin concreciones y presupuestos. En Estados Unidos la nueva administración del presidente Obama también va a promover el automóvil eléctrico y los híbridos conectados a la red, y pronto habrá noticias en esta dirección.

Pero tampoco se puede ser triunfalista ni se deben ignorar las dificultades. Los vehículos de gasolina y gasóleo han mantenido y conservan una hegemonía casi absoluta desde hace un siglo, debido a que superan a los vehículos eléctricos en tres cuestiones clave: mayor autonomía, el tiempo de recarga o de repostar y el coste del vehículo, determinado por el precio de la batería.

Un hecho es incontestable: la ga-

solina y el gasóleo proporcionan mayor densidad energética y flexibilidad que la más avanzada de las baterías: 13 kWh/kg en la gasolina (8,9 kWh por litro) y 12,7 kWh/kg en el gasóleo, frente a 0,16 kWh/kg de la última generación de baterías de iones de litio. La mayor densidad energética de los hidrocarburos garantiza una mayor autonomía, a pesar de su ineficiencia para convertir la energía química almacenada en kilómetros recorridos. Además, se requieren sólo unos minutos para llenar el depósito, frente a las varias horas necesarias para recargar los actuales vehículos eléctricos, y existe toda una infraestructura bien desarrollada de gasolineras, frente a su ausencia en el caso de los vehículos eléctricos.

Pero igualmente cierto es que el 80% de los desplazamientos diarios en Estados Unidos son inferiores a 80 kilómetros, y más de la mitad son inferiores a 40 kilómetros. En la Unión Europea en 2007, según Eurostat, 460 millones de ciudadanos realizan en promedio tres desplazamientos diarios, que totalizan 27 kilómetros diarios en coche. Cifras similares, o incluso inferiores, se registran en la mayoría de los países, incluida España, lo que lleva a concluir que los vehículos eléctricos, con todas sus limitaciones actuales, pueden satisfacer la inmensa mayoría de los requerimientos de movilidad personal motorizada que hoy cubren los coches de gasolina y diésel.

Los impedimentos, en realidad, son más psicológicos que tecnológicos, y se superarán cuando la percepción del límite de 200 kilómetros, o menos, de los vehículos eléctricos se vea contrarrestada por la ubicuidad de puntos de recarga en calles y garajes, por recargas que se cuentan en minutos y no en horas, y por estaciones de servicio donde se cambia la batería descargada por otra recargada en el mismo tiempo en que hoy se reposta, como propone *Project Better Place*.

Pero la gran novedad de la propuesta de *Project Better Place* es eliminar una de las grandes barreras a la generalización de los vehículos eléctricos: el coste de las baterías. Para ello se alquila o se cobra una cuota mensual por la batería o incluso al vehículo, a semejanza de lo que ocurre a menor escala con la telefonía móvil, pero el propietario del vehículo lo compra sin la batería, por lo que el coste inicial es muy reducido, y el coste de la batería se reparte a lo largo de su periodo de vida. Como el precio de la electricidad es mínimo, comparado con el combustible, el coste por kilómetro recorrido es similar o incluso inferior. Se vende un servicio, y no el vehí-

culo, utilizando formas innovadoras de financiación ya aplicadas por las empresas de telefonía móvil, entre otras. A cambio de una cuota mensual fija y conocida, se proporciona la batería o todo el vehículo, además de la electricidad y toda la infraestructura de recarga y cambio de baterías, mantenimiento y atención al cliente, que al final acabará pagando en cómodas cuotas mensuales una cifra similar o inferior a la que hoy gasta en los vehículos de gasolina o gasóleo, sin los sobresaltos de las subidas de precios.

Como señala Shai Agassi, fundador y director de *Project Better Place*, el coche medio europeo cuesta 12.000 euros y en sus 12 años de vida consume unos 30.000 litros de combustible, que costarán de 30.000 a 35.000 euros, dependiendo del país, y con tendencia creciente. El combustible cuesta el triple que el vehículo. Por comparación, la batería del automóvil eléctrico cuesta 7.000 euros, y la electricidad consumida en toda la vida ascenderá a sólo 2.000 euros; la suma de ambos conceptos es un tercio del combustible consumido por un coche de gasolina o gasóleo a lo largo de su vida. Pero el coste de las baterías y la electricidad de origen eólico o de otras energías renovables tienden a reducirse a lo largo de los años, mientras que la tendencia de los hidrocarburos es a subir, independientemente de bajadas circunstanciales, como la provocada por la crisis económica actual. La suma del coste de las baterías y la electricidad se reducirá a unos 5.000 euros hacia el año 2015, y unos 3.000 euros hacia 2020, mientras que para los vehículos tradicionales el coste del combustible superará los 30.000 euros, suponiendo una importante mejora de la eficiencia que compense el aumento de los precios. Un posible impuesto sobre el CO₂, como es previsible que sucederá tarde o temprano, haría aún más favorable la comparación para los vehículos que funcionen con electricidad de origen eólico. Shai Agassi señala que en algún momento en la próxima década el coste total de la batería y la electricidad a lo largo de todo el periodo de vida del vehículo igualarán al precio de la gasolina o el gasóleo durante un solo año.

Un coche eléctrico necesita hoy de 10 a 20 kilovatios/hora para recorrer 100 kilómetros, lo que supone un coste de 2 euros, frente a los 8 euros necesarios para que un coche de gasolina o gasóleo recorra la misma distancia. El menor coste variable compensa el mayor precio fijo de la batería, y de hecho se han propuesto nuevas fórmulas comerciales, como vender el auto sin la batería, y cobrar por los



Protesta de Greenpeace en Berlín contra el electro Smart y la eléctrica RWE, a quienes califican de “cerdos climáticos” (Klimaschwein), por obtener la mayoría de la electricidad de la combustión del carbón, con lo que simplemente se sustituye gasolina por carbón. / PICTELIA

kilómetros recorridos, de forma semejante a los móviles de tarjeta, utilizando fórmulas de *leasing*.

Pero para ello se requiere toda una nueva infraestructura ubicua de puntos de recarga en los lugares de aparcamiento (calles, garajes) y cambio de baterías, parecida a la de las gasolineras actuales, que no existe aún en ningún lugar, y producción en serie de vehículos eléctricos y sus baterías, frente a la producción pequeña y casi artesanal de la actualidad. Cualquier plan de electrificación del transporte debe contemplar la creación de esa infraestructura y la fabricación de los vehículos y componentes (incluidas las baterías), lo que requiere acuerdos entre administraciones y empresas. En esa línea ya se han dado pasos importantes en muchos países, a gran escala, como Israel, Dinamarca, Australia, Nueva Zelanda, Islandia, Irlanda, Portugal, Suiza, Hawái y San Francisco (EE. UU.), o a través de proyectos piloto en Alemania, Reino Unido, Francia, Italia y China, entre otros países. Los acontecimientos se suceden rápidamente y hacia 2010 cabe prever un importante despegue, que puede verse retrasado uno o dos años por la crisis económica y la caída del precio del petróleo.

Cómo se sabe por experiencias anteriores, y la eólica es un excelente ejemplo, cuanto antes se empiece a trabajar seriamente en España en esa dirección más se podrá participar de los beneficios y oportunidades que entraña el desarrollo de un sector que es una de las columnas vertebrales del sistema económico.

Híbridos conectados a la red

Los híbridos eléctricos enchufables funcionan de forma similar a los híbridos tradicionales, como el Toyota Prius o el Lexus pero, a diferencia de éstos, tienen baterías mayores (también más costosas) y se pueden enchufar a la red cuando están aparcados, siempre que exista la acometida, para aumentar los kilómetros que se pueden recorrer sólo con el motor eléctrico. En teoría reúnen las ventajas tanto de los híbridos como de los vehículos totalmente eléctricos, y pueden facilitar la transición hacia la electrificación del transporte por carretera.

Hay dos tipos de híbridos enchufables: en un caso, el motor de gasolina o gasóleo sustituye al eléctrico cuando se descarga la batería, y en otro sólo generan más electricidad para el motor eléctrico, aumentando su autonomía.

El motor eléctrico sirve para los pequeños desplazamientos diarios, la inmensa mayoría, con cero emisiones, y el motor convencional permite aumentar la autonomía entre recargas hasta los 450 kilómetros o más. A lo largo del año la inmensa mayoría de los kilómetros recorridos se haría utilizando el motor eléctrico con electricidad proveniente de la red; la recarga se haría en la mayoría de los casos durante la noche, utilizando las tarifas nocturnas, que en parte provendría de aerogeneradores eólicos. Al igual que los vehículos eléctricos “puros”, recuperan la energía de los frenados, que se pierde en los vehículos tradicionales, y no consumen en las continuas paradas, por lo que son ideales para los desplazamientos urbanos, con continuas frenadas y arranques.

En el caso del Volt de General Motors, la autonomía con el motor eléctrico es de unos 64 kilómetros, inferior al recorrido medio diario de la mayor parte de los desplazamientos diarios. Para recorridos largos, un pequeño motor de gasolina recarga la batería. GM calcula que conducir el Volt con la energía de la batería costará alrededor de dos céntimos de euro, comparados con los doce céntimos por kilómetro de un vehículo convencional que utilice



Punto de recarga de baterías de automóviles híbridos enchufables en San Francisco (Estados Unidos).

gasolina. Para un conductor medio que realiza 60 kilómetros al día o 22.000 km al año, se obtendría un ahorro de 2.200 euros al año, que compensaría el sobrecoste inicial de la batería. Utilizando las tarifas nocturnas, el fabricante calcula que un kilómetro conducido eléctricamente en un Volt será unas seis veces más barato que en un vehículo de gasolina convencional.

El automóvil medio vendido en Europa en 2006 consumía 6,5 litros por cada 100 kilómetros. Un híbrido conectado a la red, que haga la mitad de los kilómetros con electricidad de la red y el resto con combustible o generada con éste, consumiría 2,5 litros por cada 100 kilómetros. Dado que la mayoría de los recorridos diarios son inferiores a 60 km, tal cifra podría incluso mejorarse; el híbrido se recargaría mien-

tras el coche está aparcado (la mayor parte del tiempo) y sería necesario repostar gasolina o gasóleo en pocas ocasiones, tan sólo en largos trayectos de vacaciones o viajes largos, pero no en la inmensa mayoría, que son desplazamientos al trabajo, al centro comercial, por ocio o para llevar los niños al colegio o la guardería.

Las ventajas y las desventajas son similares a las de los vehículos eléctricos. En el haber, mayor autonomía que los vehículos eléctricos impulsados sólo por batería, la mayor eficiencia, la ausencia de emisiones y el menor coste del kilómetro recorrido. El balance total de las emisiones dependerá del origen del mix de la electricidad consumida, y será más favorable cuanto mayor sea el porcentaje procedente de la eólica y otras renovables, pero en

todos los casos las emisiones son inferiores a las de los vehículos tradicionales, incluso cuando la electricidad procede de centrales de carbón (unos 960 gramos de CO₂ por kWh) o de ciclo combinado de gas natural (unos 350 gramos de CO₂ por kWh).

En el debe, el alto coste de capital (los vehículos híbridos enchufables costarán más que los tradicionales), los escasos modelos existentes (sólo a partir de 2010 comenzarán a comercializarse los modelos hoy en desarrollo) y las emisiones de la generación de electricidad consumida, que dependerán del mix de generación. Igualmente cabe el debate sobre si son preferibles los vehículos eléctricos enchufables al 100%, los híbridos tradicionales o los híbridos enchufables con mayor autonomía.

Pero dado que apenas existen híbridos enchufables en el mercado, faltan elementos para acotar el debate, que podrá hacerse con más elementos cuando se presenten en 2009 y 2010 los modelos que ahora están desarrollando las principales empresas del sector. Entre las muchas incertidumbres queda por conocer el precio final de los vehículos, incluidas las desgravaciones fiscales y otros apoyos, un factor que sin duda contribuirá a su mayor o menor aceptación. En principio el coste inicial de los primeros modelos es superior en un 40% a los tradicionales de gasolina o gasóleo, debido al precio de la batería, pero se espera reducir la diferencia con la producción en serie y la innovación tecnológica.

Baterías recargables

Un vehículo eléctrico se alimenta de la electricidad almacenada en grandes baterías recargables en su interior, que permite su funcionamiento con cero emisiones en su punto de uso y sin apenas ruido, excepto el producido por los neumáticos. En la última década hemos asistido a una profunda mejora de las baterías, reduciendo su coste y permitiendo más ciclos de carga, a la vez que ha aumentado la capacidad de almacenamiento por unidad de peso y volumen, se ha eliminado el efecto memoria y ha aumentado su duración. La mejora de las baterías va a continuar, y un día sí y otro también los medios de comunicación (en inglés) anuncian nuevas baterías con nuevos materiales que mejoran las prestaciones de las ya existentes, y cada vez más empresas se lanzan a un sector que se prevé con un brillante futuro, porque las baterías sustentan y hacen posible los teléfonos móviles, los ordenadores portátiles y múltiples aparatos de consumo, y la electrificación del transporte por carretera hoy es ya más que una mera posibilidad.

El motor eléctrico aprovecha la energía de los frenados, que normalmente se perderían a través de la disipación del calor y la fricción, mejorando notablemente la eficiencia de los vehículos tradicionales, lo que lo hace ideal para los desplazamientos urbanos. Al tener menos partes mecánicas, sus costes de operación son inferiores. El coste del kilómetro recorrido por un vehículo eléctrico, por primera vez en la historia, es igual o inferior al de ese mismo kilómetro en un automóvil convencional de gasolina o gasóleo, lo que sienta las bases para iniciar un proceso de electrificación del transporte por carretera, proceso que va a ser largo y no exento de dificultades, y va a requerir imaginación, voluntad y constancia para plasmarlo, pero sin duda merece la pena, porque es una opción con muchos dividendos.

Los vehículos eléctricos pueden tener sólo un gran motor eléctrico conectado a la transmisión, o varios pequeños motores en cada una de las ruedas. Los vehículos eléctricos con sólo un motor se adaptan mejor al diseño tradicional y permiten un motor más potente, pero presentan algunas pérdidas de eficiencia a través de la fricción. Los vehículos eléctricos con motores en los neumáticos (Michelin ya ha presentado sus prototipos) evitan muchas de las pérdidas de transmisión frente a un único motor, pero en la actualidad son más apropiados para pequeños vehículos, debido a la necesidad de mayor potencia de los vehículos grandes.

Las baterías se alimentan de electricidad, que puede producirse de múltiples maneras, y su impacto fundamental es el de la propia generación de electricidad. Pueden recargarse en las horas valle, de menor demanda, e incluso en un futuro podrían verter electricidad a la red en horas punta de máxima demanda (V2G). La red de distribución existe, a diferencia del hidrógeno, y la infraestructura básica podría construirse en poco tiempo y sin grandes dificultades. Pero también hay importantes desventajas e inconvenientes. En primer lugar, la capacidad y el coste de las baterías. Las baterías de ión-litio mejoran la capacidad y la autonomía de los vehículos, pero son costosas, se recalientan y, sobre todo, existe un debate no resuelto sobre si hay recursos suficientes de litio para fabricar millones de nuevos automóviles. El precio de la tonelada de litio pasó de costar 350 dólares en 2003 a 3.000 dólares en 2008.

Otros inconvenientes son las limitaciones de tamaño y prestaciones de los vehículos eléctricos, el tiempo de recarga de las baterías, la ausencia actual de pun-

tos de recarga o de cambio de baterías, y los cambios que deberían producirse en la generación de electricidad y en la red de distribución. No obstante, las ventajas económicas, políticas, sociales y ambientales a medio y largo plazo son muy superiores a los inconvenientes reales, lo que explica el apoyo de numerosos gobiernos al desarrollo de los vehículos eléctricos recargables.

Tipos de baterías

La clave del futuro del vehículo eléctrico es la batería recargable, a la que se ha dedicado un esfuerzo muy pequeño de investigación, en relación con otras tecnologías: la capacidad de almacenamiento se ha duplicado cada diez años, cifra que padece ante el desarrollo de la informática u otras tecnologías. Sólo en los últimos años, con el desarrollo de la telefonía móvil, se han empezado a realizar inversiones importantes, aceleradas con la prevista generalización del automóvil eléctrico a partir de 2012.

El coste de un vehículo eléctrico o de un híbrido enchufable depende de la batería en un porcentaje determinante. El tipo y la capacidad de la batería condicionan la velocidad máxima, la autonomía entre recargas, el tiempo de recarga y la duración de la batería. Los precios de las baterías se han reducido en los últimos años, y lo harán aún más a medida que aumente la demanda y se produzcan en grandes series.

Las principales tecnologías son las siguientes:

– *Plomo-ácido*: Los acumuladores de plomo-ácido son las más antiguas y tienen una baja relación entre la electricidad acumulada y el peso y el volumen. Ocupan mucho espacio y pesan mucho, pero son duraderas y de bajo coste, y su tasa de reciclaje supera el 90%. Para conseguir una autonomía de 50 km con una velocidad punta de 70 km/h se necesitan más de 400 kg de baterías de plomo-ácido. El periodo de recarga puede oscilar entre 8 y 10 horas.

– *Níquel cadmio (NiCd)*: Utilizan un ánodo de níquel y un cátodo de cadmio. El cadmio es un metal pesado muy tóxico, por lo que han sido prohibidas por la Unión Europea. Tienen una gran duración (más de 1.500 recargas) pero una baja densidad energética (50 Wh/kg), además de verse afectadas por el efecto memoria.

– *Baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH)*: Las baterías recargables de níquel hidruro metálico son muy similares a las de níquel cadmio, pero sin el metal tóxico, por lo que su impacto ambiental es muy inferior. Las baterías recargables de níquel hidruro metálico almacenan de 2 a 3 veces más electricidad que sus equivalentes en peso de níquel cadmio, aunque también se ven afectadas por el efecto memoria, aunque en una proporción menor. Su densidad energética asciende a unos 80 Wh/kg.

– *Iones de litio (Li-ion)*: Las baterías de iones de litio deben su desarrollo a la telefonía móvil y su desarrollo es muy reciente. Su densidad energética asciende a unos 115 Wh/kg, y no sufren el efecto memoria. Las baterías de iones de litio se usan en teléfonos móviles, ordenadores portátiles,

Batería de iones de litio para un automóvil eléctrico, derivada de las que se utilizan en teléfonos y ordenadores.



Tipo de baterías recargables	Energía (Wh/kg)	Energía/volumen (Wh/litro)	Potencia/peso (W/kg)	Número de ciclos	Eficiencia energética %
Zebra (NaNiCl)	125	300		1.000	92,5
Polímero de litio	200	300	> 3.000	1.000	90,0
Iones de litio	125	270	1.800	1.000	90,0
Níquel hidrurometálico (NiMH)	70	140-300	250-1.000	1.350	70,0
Níquel cadmio (NiCd)	60	50-150	150	1.350	72,5
Plomo-ácido	40	60-75	180	500	82,5

Tabla 1. Eficiencia energética y otras características de las baterías actualmente disponibles. Fuente: www.buchmann.ca; www.battery-faq.com

reproductores de MP3 y cámaras, y probablemente alimentarán la siguiente generación de vehículos híbridos y eléctricos puros conectados a la red. A pesar de sus indudables ventajas, también presentan inconvenientes: sobrecalentamiento, alto coste y, sobre todo, las reservas de litio, sujetas a una gran controversia.

– *Baterías de polímero de litio*: Es una tecnología similar a la de iones de litio, pero con una mayor densidad de energía, diseño ultraligero (muy útil para equipos ultraligeros) y una tasa de descarga superior. Entre sus desventajas está la alta inestabilidad de las baterías si se sobrecargan y si la descarga se produce por debajo de cierto voltaje.

– *Baterías Zebra (NaNiCl)*: Una de las baterías recargables que más prometen son las conocidas como Zebra. Tienen una alta densidad energética, pero operan en un rango de temperaturas que va de 270 °C a 350 °C, lo que requiere un aislamiento. Son apropiadas en autobuses. En Stabio, en el sur del cantón del Tesino (Suiza), se está construyendo una fábrica para producir baterías en serie. Entre sus inconvenientes, además de la temperatura de trabajo, están las pérdidas térmicas cuando no se usa la batería. El automóvil eléctrico Think City va equipado con baterías Zebra Na-NiCl de 17,5 kWh (tabla 1).

La distancia que un vehículo eléctrico puede recorrer sin recargar la batería, en los modelos actuales o de próxima fabricación, va de 60 a 250 kilómetros. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de los desplazamientos diarios son inferiores a los 60 km. Un vehículo eléctrico consume de 0,12 kWh a 0,30 kWh por kilómetro; para recorrer 100 kilómetros haría falta una batería con una capacidad de 12 kWh a 30 kWh, dependiendo del modelo.

Aunque el mercado de los vehículos eléctricos está en sus inicios, ya se comercializan bicicletas eléctricas, motocicletas,

automóviles, vehículos de reparto e incluso pequeños autobuses, como los que circulan en Madrid, Málaga, Segovia y otras ciudades. Entre 2010 y 2012 habrá una verdadera eclosión, pues la práctica totalidad de las empresas automovilísticas están desarrollando vehículos totalmente eléctricos o híbridos eléctricos con conexión a la red, como el Volt de General Motors.

El alto coste de las baterías es uno de los mayores obstáculos para el éxito comercial de los vehículos eléctricos, aunque a lo largo de su periodo de vida sea inferior al de un vehículo diésel o de gasolina, al tomar en consideración todos los factores: los costes de capital, los costes de operación no energéticos, los costes energéticos (electricidad *versus* gasolina o gasóleo) y la fiscalidad del vehículo.

Ayudas fiscales

Para crear una demanda y atraer a los consumidores, se requieren políticas fiscales diferenciadas favorables a los vehículos eléctricos, y fórmulas comerciales específicas, como vender sólo el vehículo eléctrico sin la batería, que se alquila o se factura en función de los kilómetros recorridos, de forma que el coste final sea atractivo para los ciudadanos, lo suficientemente atractivo como para reemplazar los vehículos diésel o de gasolina por otros eléctricos. Al final, los números tienen que salir y ser favorables al vehículo eléctrico.

La generalización de las baterías recargables debe evitar los errores del pasado, y para ello se debe considerar todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas al reciclaje o eliminación, pasando por la fabricación y la operación, evitando o minimizando en todas las fases la contaminación y el vertido, y muy especialmente de metales pesados. Las tasas actuales de reciclaje de baterías de vehículos alcanzan o superan el 90%,

tasas mucho más elevadas que las pequeñas baterías empleadas en usos domésticos (menos del 10%), y que en gran parte acaban en los vertederos. Dado que el litio es totalmente reciclable, cabe esperar que las tasas del 90% se mantengan e incluso aumenten ligeramente.

Consumo de electricidad

Ya sea por ignorancia o por mala fe, desde algunos círculos se ha señalado las dificultades que supondrían la electrificación del transporte en España. Lo cierto es que los problemas serán mínimos, sobre todo si se tiene en cuenta que la electrificación será paulatina, arrancando hacia 2012, y sólo hacia 2020 empezará a representar un porcentaje significativo del parque de vehículos.

En Estados Unidos, con un parque 10 veces superior al de España y una tasa de motorización mucho más elevada, el Pacific Northwest National Laboratory realizó un análisis de la electrificación del transporte en las empresas eléctricas y en las redes regionales de distribución de electricidad, llegando a la conclusión de que si se recargan los vehículos en horas valle, no habría que instalar ninguna nueva capacidad de generación adicional para abastecer al 84% del parque (más de 198 millones de automóviles, furgonetas y todo-terrenos), que recorrerían una media de 53 kilómetros diarios. El consumo eléctrico, por supuesto, aumentaría, pero hay que tener en cuenta que el parque de generación y la red eléctrica están pensados para cubrir la demanda en horas punta durante el día, y permanecen ociosos durante las horas valle, en general por la noche, que es cuando la mayoría de los vehículos están aparcados.

Un parque de un millón de vehículos eléctricos que recorriesen 19.000 km al año consumirían 3 TWh (0,16 kWh/km, cifra superior al de los modelos en desarrollo), y si fueran híbridos enchufables que recorriesen el 50% con electricidad de la red y

el otro 50% con gasolina o gasóleo, el consumo ascendería a 1,5 TWh. A título de comparación, la demanda de electricidad en España en 2007 ascendió a 289 TWh, y la eólica generó 27 TWh. El consumo de un millón de vehículos eléctricos en España sería apenas el 11% de la generación eólica en 2007, y el 1% de la demanda de electricidad. La producción eólica de España en 2007 habría sido suficiente para abastecer a 9 millones de vehículos totalmente eléctricos, o 18 millones de híbridos enchufables, cifras que sin duda tardarán muchas décadas en alcanzarse, y para entonces la potencia eólica instalada será muy superior a la del año 2007.

Claro que ésta es una cifra hipotética, y que no se alcanzará hasta después de 2030. Las cifras reales serán mucho más modestas: en 2015 puede haber unos pocos miles de vehículos eléctricos, quizá se llegue a un millón de vehículos hacia 2020, y sólo a partir de entonces se producirá una eclosión, siempre que se den las condiciones adecuadas: avances tecnológicos, creación de las infraestructuras adecuadas de recarga y cambio de baterías, desarrollo de un tejido industrial, y voluntad política para acometer las inversiones necesarias y las políticas fiscales que hagan posible el desarrollo del vehículo eléctrico. El proceso de electrificación puede acelerarse, pero también se puede retrasar, dependiendo de múltiples factores, y a finales de 2008 lo cierto es que se parte prácticamente de cero y es muy aventurado hacer pronósticos con un mínimo de fiabilidad.

La conclusión es obvia: la electrificación paulatina del transporte por carretera en España no plantea ningún problema irresoluble tanto desde el punto de vista del consumo eléctrico como de la red y el parque de generación. Es más, tendría grandes ventajas, al consumir en horas valle una electricidad que de otra forma se perdería, por tener que desconectar los aerogeneradores, al no haber demanda, tener las centrales ociosas y funcionando pocas horas, o emplear la electricidad en bombeo.

Las energías renovables y el vehículo eléctrico

La electrificación del transporte puede suponer el gran salto que necesitan las energías renovables destinadas a la generación de electricidad para consolidarse y superar sus inconvenientes de no gestionabilidad y de no garantizar el suministro. La eólica es la que presenta, con mucho, el mayor potencial a corto y medio plazo, pero la fotovoltaica también puede

proporcionar electricidad en lugares aislados o no conectados a la red con sencillas pérgolas (ya hay modelos patentados) o en garajes con cubiertas fotovoltaicas, y la solar termoelectrica jugará un papel importante en determinadas regiones, como el sur de España y el suroeste de Estados Unidos, o Israel, donde el proyecto de electrificación del transporte va ligado a la instalación de 4.000 MW de termosolar en el desierto de Néguev.

La electrificación del transporte en las dos próximas décadas puede tener la misma fuerza impulsora para la eólica y otras renovables que la que tuvo el motor de combustión interna a principios del siglo XX para la industria petrolífera, tras perder su gran mercado: el queroseno sustituido por la bombilla de Edison y la electrificación de la iluminación.

Las baterías pueden recargarse cuando "sobra" electricidad de origen eólico, y en un futuro no muy lejano pueden verter la electricidad almacenada a la red en las

"LA DISTANCIA QUE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO PUEDE RECORRER SIN RECARGAR LA BATERÍA, EN LOS MODELOS ACTUALES O DE PRÓXIMA FABRICACIÓN, VA DE 60 A 250 KILÓMETROS"

horas punta, actuando como un sistema de almacenamiento distribuido, de forma similar a las centrales reversibles de bombeo, pero a una escala mucho mayor e implicando a miles o millones de vehículos que, además, pasan la mayor parte del tiempo aparcados. La integración bidireccional entre la red y los vehículos eléctricos crea las condiciones para integrar la generación de electricidad y el transporte, abriendo un nuevo horizonte a la energía eólica y otras renovables, que de esta forma podrán superar muchas de sus limitaciones actuales.

Hoy la producción de electricidad de origen eólico escapa al control de las empresas productoras o de las que gestionan la red, y lo mismo sucede con otras energías renovables. Por el contrario, las fuentes de energía química como el carbón, el petróleo y, sobre todo, el gas natural, son mucho más flexibles para adap-

tarse a la curva de demanda de la red, y pueden modularse en función de la demanda. La no gestionabilidad actual de la eólica y otras energías renovables se utiliza para atacar su desarrollo, y limitarlo a un arbitrario 10 o 20 por ciento de la demanda eléctrica, pues si se traspasase este límite las dificultades para gestionar la red serían insalvables.

El consumo eléctrico de una reconversión paulatina del parque de vehículos en España no plantea problemas irresolubles, e incluso puede contribuir a mejorar la gestión de la red (redes V2G). Un vehículo que consuma 14 kWh por cada 100 km (los consumos oscilan bastante, de 10 a 20 kWh por cada 100 km) y que recorriese unos 15.000 km anuales (una media aceptable), consumiría al año 2.100 kWh. El parque de vehículos, según los últimos datos de la D.G.T., asciende a 30,3 millones, de los que 21,8 millones son turismos. Su consumo anual total ascendería a unos 80.000 GWh. Esta electricidad la podrían producir, en teoría, unos 37.000 MW eólicos. Para 2020 habrá unos 40.000 MW eólicos en tierra, más otros 5.000 MW de eólica marina, y después del 2020 la potencia seguirá aumentando, además del desarrollo de la solar termoelectrica y la fotovoltaica, que pueden aportar cada una unos 20.000 MW en 2020.

La eólica, por sí sola, podría suministrar en teoría toda la electricidad necesaria para electrificar el parque de vehículos existente en España, aunque lo lógico será un mix equilibrado y variable, que habrá que determinar cuando empiece la electrificación del transporte.

Se puede y se debe, y hay sinergias entre la eólica y los vehículos eléctricos, sobre todo en la gestión de la red. Incluso en un horizonte no lejano se pueden contemplar redes eléctricas reversibles (V2G, de la red al vehículo en horas valle, y del vehículo a la red en horas punta), donde las baterías de litio de los vehículos pueden almacenar la electricidad producida por la noche o en horas de baja demanda, y venderla a la red a un buen precio en las horas punta.

Redes de distribución. La V2G

La V2G corresponde a las siglas inglesas de "Vehicle-to-Grid" (del vehículo a la red) y es la tecnología que permite el almacenamiento en las horas valle y la recuperación de la electricidad en las horas punta desde las baterías de los vehículos eléctricos a la red. La tecnología V2G permite cargar las baterías durante las horas valle, cuando el kWh es más barato, y venderlo a la red en horas punta, cuando el kWh es más caro. Con la V2G todos

Para saber más

1. Plugged in. The end of the oil age.

http://assets.panda.org/downloads/plugged_in_full_report_final.pdf

Excelente manual del WWF publicado en 2008 en inglés sobre la electrificación del transporte, con abundante bibliografía y referencias.

2. <http://www.betterplace.com/> La web de Better Place, fundamental para conocer las propuestas para instalar la infraestructura que puede hacer viable el vehículo eléctrico. Vídeo del proyecto:

http://www.youtube.com/watch?v=9Bfz_x9e2Fo&url=http://blog.wired.com/cars/2008/12/japan-becomes-a.html y

<http://www.infolive.tv/en/infolive.tv-34628-israelnews-green-future-israel-better-place-electric-cars>

3. <http://www.evworld.com/> Digital sobre el automóvil eléctrico en inglés, con algunos textos en castellano.

4. http://tyler.blogware.com/lithium_shortage.pdf y http://www.meridian-intres.com/Projects/Lithium_Microscope.pdf Trabajos de William Tahlil sobre la escasez de litio.

5. <http://lithiumabundance.blogspot.com/> Trabajo de Keith Evans donde intenta refutar la supuesta escasez de litio.

6. <http://www.ecolane.co.uk/projectspublications.php> Analiza desde el punto de vista ambiental las ventajas del vehículo eléctrico.

7. "Impacts Assessment Of Plug-In Hybrid Vehicles on Electric Utilities And Regional U.S. Grids". Pacific Northwest National Laboratory. Diciembre, 2007. Analiza la integración del vehículo eléctrico en la red en EE UU.

<http://www.ferc.gov/about/com-mem/wellinghoff/5-24-07-technical-analy-wellinghoff.pdf>

http://www.pnl.gov/energy/eed/etd/pdfs/phev_feasibility_analysis_combined.pdf

8. Medidas del gobierno irlandés http://www.sei.ie/News_Events/Press_Releases/Measures_to_Stimulate_uptake.pdf

9. Impacts of Electric Vehicles on Primary Energy Consumption and Petroleum Displacement y Driving Plug-In Hybrid Electric Vehicles: Reports from U.S. Drivers of HEVs converted to PHEVs http://pubs.its.ucdavis.edu/publication_detail.php?id=1193

10. A Preliminary Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles on Wind Energy Markets <http://catalogue.nla.gov.au/Record/4326926> y <http://www.afdc.energy.gov/afdc/pdfs/39729.pdf>

11. National Renewable Energy Laboratory, Battery Requirements for Plug-In Hybrid Electric Vehicles –Analysis and Rationale <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42469.pdf>

12. Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles, EPRI <http://mydocs.epri.com/docs/public/00000000001015326.pdf>
<http://mydocs.epri.com/docs/public/00000000001015325.pdf>

13. Perspective on ultracapacitors for electric vehicles

<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel2/3177/9002/00398546.pdf?temp=x>

14. A Cost Comparison of Fuel-Cell and Battery Electric Vehicles http://www.metricmind.com/data/bevs_vs_fcvs.pdf

15. Impact of Plug-in Hybrid Vehicles on the NZ Electric Grid <http://www.electricitycommission.govt.nz/opdev/modelling/EVs/>

16. The Tour of Flanders: an Effective Demonstration Programme of Electric Vehicles to Local Authorities <http://etecmc10.vub.ac.be/publications/evs14mg1.pdf>

17. Costs and Emissions Associated with Plug-In Hybrid Electric Vehicle <http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/41410.pdf>

18. Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles

http://www.cfr.org/publication/17230/eprinrdc.html?breadcrumb=%2Fissue%2F15%2Ftechnology_transfer

19. Ultracapacitors and Batteries for Energy Storage in Heavy-Duty Hybrid- Electric Vehicles

http://www.isecorp.com/hybrid_information_center/pdf/technical_paper_ultracaps.pdf

20. Batteries vs Ultracapacitors in Hybrid Electric Buses, http://www.isecorp.com/hybrid_information_center/pdf/BatteriesvsUltracapacitorsinHybridElectricBuses_2005.pdf

21. The 21st Century Electric Car <http://www.stanford.edu/group/greendorm/participate/cee124/TeslaReading.pdf>

22. V2G: Vehicle to Grid Power <http://www.udel.edu/V2G/> y <http://www.udel.edu/V2G/docs/V2G-Cal-ExecSum.pdf>

23. World's First V2G Demo: Xcel/Hybrids Plus/V2Green/US Lab+Ford Escape Hybrids <http://www.calcars.org/calcars-news/862.html>

24. V2G: All Roads Lead Through Batteries

<http://www.matternetwork.com/2008/10/v2g-all-roads-lead-through.cfm>

25. Peak Energy: V2G In Sweden, <http://peakenergy.blogspot.com/2007/10/v2g-in-sweden.html>

26. The Smart Garage (V2G): Guiding the Next Big Energy Solution

<http://ert.rmi.org/news/ert-news/the-smart-garage-v2g---guiding-the-next-big-energy-solution.html>

27. V2G Car Generates Electricity, and Cash in Your Pocket

http://www.cnmag.com/article/v2g_car_generates_electricity_and_cash_in_your_pocket

28. Zero Carbon Britain - Vehicle-to-Grid Power (V2G) <http://www.zerocarbonbritain.com/content/view/57/71/>

29. Clean Energy 2030. Google's Proposal for reducing U.S. dependence on fossil fuels <http://knol.google.com/k/-/15x31uzlqeo5n/1#>

30. Web de los vehículos eléctricos de Chrysler <https://www.chryslerllc.com/en/innovation/envi/overview/>

31. Blogs ingleses sobre vehículos eléctricos

<http://www.thegreencarwebsite.co.uk/> y <http://www.cleangreencars.co.uk/>

32. Information on hybrid electric vehicle (HEV) research and development at the National Renewable Energy Laboratory

<http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/hev/>

33. Web de BYD, uno de los principales fabricantes chinos de baterías y vehículos eléctricos

<http://www.byd.com/tech/F3etech.asp?show=t1&color=a>

34. Frequently Asked Questions about Lithium Ion (Li-ion) Batteries <http://www.greenbatteries.com/libafa.html>

35. Battery Development and Applications Milestones <http://www.mpoweruk.com/history.htm#zebra>

36. Informaciones técnicas sobre las baterías Zebra

http://en.wikipedia.org/wiki/Molten_salt_battery / <http://www.atea.it/pdf/Zebra-Battery-Z57.pdf>

http://www.rolls-royce.com/marine/downloads/submarine/zebra_fact.pdf

37. Lithium Batteries for Hybrid Cars <http://spectrum.ieee.org/jan07/4848>

38. Asociación del Transporte Eléctrico de EE. UU. <http://www.electricdrive.org/>

39. Advanced Batteries for Electric-Drive Vehicles: A Technology and Cost-Effectiveness Assessment for Battery Electric Vehicles, Power Assist Hybrid Electric Vehicles, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles, EPRI http://my.epri.com/portal/server.pt/gateway/PTARGS_0_2_1630_277_848_43/http%3B/myepri10%3B80/EPRI/DocumentAccess/popup.aspx/00000000001009299

40. Electric Cars Are the Key to Energy Independence, por David Morris

http://www.alternet.org/environment/93609/electric_cars_are_the_key_to_energy_independence/?page=entire

41. "Impacts Assessment of Plug-In Hybrid Vehicles on Electric Utilities and Regional U.S. Power Grids – Part 1: Technical Analysis", Pacific Northwest National Laboratory, November 2007 <http://www.ferc.gov/about/com-mem/wellinghoff/5-24-07-technical-analy-wellinghoff.pdf>

42. Wind-Powered Cars-Plug-in hybrids could mean even more growth for wind.-by Jeff Anthony, American Wind Energy Association

<http://www.renewwisconsin.org/Wind-powered%20cars.doc>

43. Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation, January 2008 Prepared by Stanton W. Hadley Alexandra Tsvetkova http://www.ornl.gov/info/ornlreview/v41_1_08/regional_phev_analysis.pdf

44. Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security, Mark Z. Jacobson, Energy & Environmental Science

http://www.rsc.org/delivery/_ArticleLinking/DisplayHTMLArticleforfree.cfm?JournalCode=EE&Year=2009&ManuscriptID=b809990c&Iss=Advance_Article

45. The Green Grid; Energy Savings and Carbon Emissions Reductions Enabled by a Smart Grid, EPRI <http://my.epri.com/portal/server.pt/>

46. DOE, Energy Storage Research and Development Vehicle Technologies Program

http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/program/2008_energy_storage.pdf

ganan: los propietarios de los vehículos, las empresas eléctricas, la sociedad y el planeta, aunque para ello se requiere crear toda una infraestructura hoy inexistente. Pero incluso sin la V2G, la electrificación del transporte tiene grandes beneficios para todos.

Por carecer de la clásica infraestructura de transporte basada en los hidrocarburos, se piensa que serán China e India los países que acometan la más profunda electrificación del transporte, en el clásico salto tecnológico, muy similar al de los países en desarrollo que se han pasado a la telefonía móvil sin pasar por la telefonía fija. China es el mayor fabricante de baterías de litio y cuenta con BYD Motors y otras empresas punteras en el desarrollo de los vehículos eléctricos, al igual que India con Reva y Tata, y en ambos países se espera un enorme crecimiento del parque de vehículos paralelo al surgimiento de una nueva clase media que por primera vez accederá a la motorización.

La recarga de los vehículos eléctricos puede ser conductiva o inductiva. El sistema conductivo es una conexión directa a la red, tan simple como enchufar el vehículo mediante cables especiales de alta capacidad con conectores que protejan al conductor de los altos voltajes. El acoplamiento inductivo tiene la ventaja de imposibilitar cualquier electrocución, pero es más caro y menos eficiente que el primero.

La electricidad de la red se suministra en corriente alterna al vehículo. Normalmente el cargador la convierte en corriente continua y la suministra al voltaje adecuado a la batería, desde donde se suministra al motor y a las ruedas. Algunos motores funcionan con corriente alterna, por lo que un inversor debe convertir la corriente continua de la batería.

Dado que en España, como en la mayoría de los países, la tarifa nocturna o valle es inferior a la normal, lo usual sería recargar las baterías por la noche. Una red "inteligente" de decenas de miles de puntos de recarga en calles y aparcamientos, con el *software* apropiado, diría al vehículo cuándo debe recargar, parar e incluso verter la electricidad a la red. Hay que tener en cuenta que la mayor parte del parque pasa gran parte del tiempo aparcado, utilizándose sólo una o dos horas al día en la mayoría de los casos. Por término medio el 95 por ciento de todos los automóviles están estacionados en un momento dado, utilizándose como media una hora al día.

Por esta razón los vehículos eléctricos pueden jugar un papel clave para empezar a gestionar mejor la red, aplanar la curva de carga, aprovechar la llamada reserva

activa que en gran parte se desaprovecha (la cantidad de electricidad disponible para garantizar la inmediata disponibilidad en caso de necesidad por un aumento inesperado de la demanda) y permitir un aumento de la aportación de la eólica y otras energías renovables, y quizás suponga una reconversión de los sectores eléctricos y de transporte, dando lugar a nuevas empresas especializadas, siguiendo un modelo similar al de la telefonía móvil.

La reserva activa podría suministrar la electricidad que consume un tercio del parque de vehículos en la mayoría de los países, siempre que exista la red adecuada, y evitaría tener que crear una capacidad de generación muy costosa que sólo se va a utilizar unas pocas horas al año, esas 30 o 40 horas que coinciden con olas de frío o de calor.

Un vehículo eléctrico tipo, que recorra unos 17.000 kilómetros al año y realice la recarga en un 80% con tarifa nocturna, gastaría unos 800 euros al año en electricidad. Recorrer esa misma distancia con gasolina o gasóleo costaría de 2.000 a 2.500 euros en combustible, dadas las pautas normales de conducción.

Para las empresas eléctricas, la electrificación del transporte no sólo supone abrir un nuevo mercado para su producto, la electricidad, sino también la posibilidad de optimizar el parque de generación y la red eléctrica, aplanando la curva de carga, al incentivar una nueva demanda en horas valle, mediante la recarga inteligente de las baterías, gestionada por ordenador, y que avise de cuándo cargar, interrumpir o verter electricidad a la red en horas punta. Tal sistema es óptimo para gestionar la creciente aportación de la energía eólica, y dar un paso de gigante hacia la sostenibilidad de la generación de electricidad.

¿Hay suficiente litio para el transporte por carretera basado en electricidad?

La mayoría de las baterías de los vehículos eléctricos actuales o previstos en los próximos dos años están fabricadas con litio, al igual que la de los móviles y portátiles. La electrificación del transporte supondrá un aumento importante de la extracción de litio, lo que ha dado origen a una gran polémica sobre los recursos del mineral, pues algunos autores como William Tahil sostienen que no habrá suficiente litio, por lo que habrá que utilizar otros materiales o baterías como la Zebra, mientras que la mayoría de los autores, como el geólogo Keith Evans sostienen que no hay problemas de recursos. En

cualquier caso, las mayores o menores reservas de litio no supondrán ningún obstáculo a la electrificación del transporte, al existir alternativas y otros materiales como el cinc-aire o las baterías Zebra (NaNiCl y NaFeCl).

El litio es un elemento moderadamente abundante y está presente en la corteza terrestre en 65 partes por millón (ppm). Se encuentra disperso en ciertas rocas, pero nunca libre, dada su gran reactividad, y está presente en rocas volcánicas y sales naturales, como en el lago salado de Chabyer en el Tíbet, en el Salar de Atacama en Chile y el Salar de Uyuni en Bolivia, que contiene el mayor yacimiento a nivel mundial. Chile extrae actualmente el 40% del litio contando con el 20% de las reservas conocidas, China el 14% (sus reservas del Tíbet representan el 18%) y Argentina el 10%, contando con el 13% de las reservas. A medio plazo el Salar de Uyuni en Bolivia, al contar con el 40% de las reservas mundiales conocidas, se convertirá en la gran zona extractora, lo que ya ha levantado cierta polémica en Bolivia, pues la extracción de minerales desde la plata de Potosí hasta hoy dejó muy pocos beneficios al país.

Las reservas conocidas de litio, como mínimo, ascienden a unos 20 millones de toneladas. La batería de un vehículo eléctrico medio es de unos 30 kWh, y hacen falta 275 gramos para almacenar 1 kWh. Un vehículo eléctrico medio, por tanto, necesita 8,25 kilos de litio. Un cálculo simple nos lleva a una clara conclusión: con las reservas conocidas de litio, se pueden fabricar unos 2.500 millones de vehículos eléctricos, cuatro veces más que todo el parque mundial de vehículos.

En 2008 se extrajeron 95.000 toneladas de litio, el doble que hace una década. El consumo de litio, según el United States Geological Survey, se reparte entre baterías (25%), cerámica y vidrio (18%), lubricantes (12%), fármacos y polímeros (7%), aire acondicionado (6%), producción de aluminio primario (4%), industria química (3%), y el 25% en otras aplicaciones. El mayor productor es la Sociedad Química y Minera de Chile S.A. El precio del carbonato de litio en marzo de 2009 ascendía a 6.613 dólares la tonelada. En una batería el litio sólo representa el 3% del coste de producción, por lo que un aumento del precio no tendrá grandes repercusiones.

José Santamarta es director de World Watch y actualmente colabora en el proyecto REVE (Regulación Eólica con Vehículos Eléctricos). Coordina la web <http://www.ewind.es/index.php>