

- **ANTECEDENTES**

Con el objetivo de conocer la opinión de los miembros de la PTE HPC sobre el vehículo eléctrico, se distribuyó un cuestionario entre los miembros del Subgrupo de aplicación de las pilas de combustible al transporte del Grupo de Estrategia y Planificación.

El presente informe recoge las principales conclusiones obtenidas, incluyendo un aspecto inicial relacionado con la complementariedad de los desarrollos que pueden tener los vehículos eléctricos, los híbridos con motor térmico y motor eléctrico, y los híbridos con pila de combustible y motor eléctrico.

Los **vehículos eléctricos puros** constan básicamente de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica (batería) y un sistema de tracción basado en motores eléctricos, con los sistemas de regulación y control necesarios. La capacidad de almacenamiento determina la autonomía del vehículo, ya que el aprovisionamiento de energía se produce por recarga de la batería (lenta o rápida) por conexión a la red eléctrica o por sustitución del conjunto de la batería en puntos específicos. Estos vehículos pueden incluir también un elemento de recarga parcial de la batería para incrementar la autonomía (*range extender*), basado en un motor térmico con un generador o también una pila de combustible. Las ventajas de los vehículos eléctricos son básicamente su reducido impacto ambiental en utilización.

El concepto de **vehículo híbrido**, con la combinación de un **motor térmico**, un motor eléctrico y un generador (que puede ser el mismo motor eléctrico), junto con un adecuado sistema de gestión, regulación y control, presenta ventajas frente a los vehículos convencionales. El concepto de vehículo híbrido es compatible con los sistemas actuales de abastecimiento de combustibles, lo que facilita su introducción en el parque de vehículos. Además el **vehículo híbrido** presenta sinergias de desarrollo respecto a los vehículos equipados con pilas de combustible. También es posible que un vehículo híbrido se pueda conectar a la red eléctrica (*plug-in hybrid*), consiguiendo ventajas de los vehículos eléctricos puros, o incluso con sistemas auxiliares de recarga, basados en paneles fotovoltaicos, por ejemplo.

El **vehículo híbrido con pila de combustible** incluye un sistema de conversión de energía química en energía eléctrica que alimenta un motor eléctrico de tracción. Su gran atractivo consiste en un potencialmente mucho mayor rendimiento global y un menor impacto ambiental, aunque dependerá del origen, renovable o no renovable, del combustible.

Existen sin embargo todavía muchas áreas con necesidad de desarrollo específicas para el vehículo híbrido con pila de combustible.

Con ambos conceptos de híbridos los **rendimientos globales** de aprovechamiento de la energía de los combustibles pueden ser mayores que en los vehículos convencionales, junto con una reducción del impacto ambiental.

Los esfuerzos de I+D en vehículos eléctricos puros, en híbridos con motor de combustión interna o en pilas de combustible e hidrógeno para aplicaciones en transporte deberían afrontarse de forma conjunta ya que se trata de tecnologías complementarias. Y se resalta el hecho de que los vehículos de hidrógeno y pila de combustible son coches eléctricos que llevan una batería integrada, por lo que no es comprensible que exista una contraposición tan grande entre las baterías y las pilas de combustible, ya que se trata de tecnologías complementarias.

En cierto modo, la tracción por medio de motores eléctricos, usando energía eléctrica como recurso final condiciona una serie de aspectos comunes para esos tres tipos de vehículos, frente a los convencionales basados en motores térmicos y en los que el recurso final (previo a la energía mecánica) es un combustible más o menos habitual.

Esto justifica dedicar esfuerzos de desarrollo para acortar la implantación del conjunto de vehículos de tracción eléctrica. Entre esos aspectos hay que citar los siguientes:

- **Motores eléctricos.** Comparten características de elevado rendimiento, alta potencia específica. Además en algunos casos estos motores tienen que poder trabajar como generadores para aprovechar la energía de frenado del vehículo.

- **Convertidores de energía eléctrica.** Comparten características transformar corriente continua a otros niveles de tensión con elevado rendimiento, y en las condiciones necesarias de tensión y corriente necesarios para accionar los motores eléctricos, cargar o descargar las baterías, etc.
  - **Baterías eléctricas.** En todos los conceptos de vehículos eléctricos las baterías existen, bien como almacenamiento principal de la energía eléctrica (vehículos eléctricos puros), bien almacenamiento temporal y complementario de energía eléctrica, con un balance global nulo en los vehículos híbridos (con motor térmico o con pila de combustible). Las características deseables son las de **alta potencia** específica, **alta energía** específica, **elevado número de ciclos de vida** y otros aspectos, tales como reducido impacto ambiental. En ese sentido, además de las baterías más o menos conocidas, aparecen conceptos nuevos como los **supercondensadores**, que pueden almacenar pequeñas cantidades de energía, pero con altas potencias y muy elevadas corrientes.
  - **Sistemas de gestión, regulación y control.** La regulación y control se extiende a todos los modos de funcionamiento de los vehículos (arranque, aceleración, marcha constante, frenado, parada, etc.), así como al funcionamiento de los sistemas auxiliares (iluminación, confort). En el caso de **pilas de combustible**, el sistema es más complejo ya que incluye la gestión de los sistemas de gases y térmicos de la pila y el procesador de combustible.
  - **Sistemas de seguridad del vehículo.** En sentido amplio se deben incluir los sistemas de **seguridad activa** (dirección, suspensión, frenado), que se ven modificados o afectados por el cambio del sistema de propulsión), de **seguridad pasiva** (estructura del vehículo, sistemas de retención, cinturones, airbags), los sistemas de **ayuda a la conducción** (incluyendo comunicación vehículo-infraestructura, comunicación entre vehículos, sistemas inteligentes de transporte), y otros aspectos relacionados con la **seguridad** derivados del uso de combustibles no convencionales o fuentes de alta tensión.
  - **Sistemas auxiliares de los vehículos.** Los más importantes son los relacionados con el confort (climatización, incluso con el vehículo parado). Otros aspectos pueden ser los sistemas auxiliares de recarga de baterías bien a partir de la red eléctrica o con sistemas fotovoltaicos a bordo.
  - **Concepción de vehículos.** Este aspecto corresponde a la concepción mecánica del chasis, con nuevos repartos de pesos, dinámica vehicular diferente, sistemas de seguridad activa modificados, etc.
  - **Infraestructuras.** Desde otro punto de vista, los esfuerzos necesarios para el desarrollo de nuevas infraestructuras de aprovisionamiento pueden aportar sinergias, bien para conexiones de recarga eléctrica, sustitución de baterías, aprovisionamiento de hidrógeno o de combustibles no convencionales.
  - **Evaluaciones ambientales de los nuevos sistemas.** Es necesario realizar evaluaciones de los ciclos de vida y del impacto ambiental en todas las etapas del vehículo: fabricación, utilización, y final de vida útil, incluyendo los sistemas a bordo y los elementos repuestos o sustituidos (por ejemplo las baterías).
- **CONCLUSIONES**

Los vehículos eléctricos, híbridos con motor térmico y con pila de combustible presentan en la actualidad diversos grados de desarrollo:

- **Vehículos híbridos con motor térmico.** Se encuentran algunos modelos en el mercado, con predominio de los no conectables a la red eléctrica, y cuyo combustible principal es típicamente gasolina. Seguramente se desarrollarán más a corto plazo. En tráfico urbano presentan reducciones de consumo de combustible importantes (30%) frente a los vehículos convencionales.
- **Vehículos híbridos con pila de combustible.** Su gran atractivo es su mayor eficiencia global desde la energía primaria. Hay prototipos, pero no modelos comerciales. Los

aspectos específicos de desarrollo son la propia pila de combustible, con producción de hidrógeno a bordo, o alternativamente el desarrollo de las infraestructuras de distribución y aprovisionamiento.

Actualmente, existen ejemplos de flotas en transporte urbano (autobuses municipales), como por ejemplo Transport for London, que está realizando un despliegue de autobuses híbridos con un ahorro en combustible del 40%. (Se prevé que habrá 300 en operación para 2011 y 500 para 2012).

- **Vehículos eléctricos.** Posiblemente vengan a cubrir el nicho de los vehículos urbanos, compatible con sus moderadas autonomías. Existen muchísimos prototipos, cubriendo campos de utilización como el de los vehículos privados pequeños urbanos, las flotas de reparto (habitualmente también urbanas) y los vehículos deportivos. Hay proyectos de industrialización en marcha, para vehículos urbanos y también de tamaño medio, que originarán un cierto despliegue significativo de estos vehículos (en algunos casos con range extenders con motor térmico). Además de los propios sistemas del vehículo, hay que desarrollar la infraestructura de recarga, bien en domicilios, bien en sistemas públicos o bien mediante sustitución de baterías que permitan la recarga mientras no estén desarrolladas las infraestructuras necesarias.

➤ **A continuación se analizan con mayor profundidad estos aspectos:**

### VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Actualmente las empresas fabricantes de baterías están haciendo grandes progresos para aumentar su densidad energética y potencia específica, necesarias para aumentar la autonomía del vehículo eléctrico y mejorar sus prestaciones. Las baterías tienen todavía limitaciones, entre los que destacan: su coste elevado, su autonomía limitada, los tiempos de repostaje elevados y su vida útil real limitada, además de la necesidad de un cambio de percepción de la población en cuanto a su utilización de sistemas de aprovisionamiento eléctrico (por recarga o por sustitución).

La principal limitación de los **vehículos eléctricos puros** son las baterías, ya que determinan la autonomía del vehículo. Las características de energía específica determinan el peso de baterías para una cierta autonomía, por lo que en la práctica se suele limitar a menos de 100 km. También existe la limitación del tiempo de recarga. Adicionalmente, los costes son elevados (del orden de 500 €/kWh), que en la práctica se traduce en un sobrecoste de unos 10.000-12.500 € por vehículo.

Para un desarrollo generalizado de los vehículos eléctricos a medio plazo (2015), se tendrían que resolver los retos técnicos: **autonomía, tiempo de recarga y vida útil a un precio competitivo**. Si se consiguiesen superar estos retos, se cree que se aceleraría la introducción al mercado de estos vehículos, con presencia de los vehículos híbridos y sobre todo los vehículos híbridos recargables, ya que muestran mejores prestaciones en cuanto a autonomía, tiempo y posibilidad de recarga y vida útil de la batería

Se considera que los vehículos eléctricos podrían llegar a ser competitivos a medio plazo (2015) en segmentos de mercado muy reducidos ("nichos"), como por ejemplo en coches deportivos donde el coste de la batería no juega un papel decisivo, en centros logísticos, en vehículos de reparto y en transporte público ya que requieren autonomías diarias reducidas, y ello permitiría reducir el tamaño de las baterías y por tanto, el coste de los vehículos eléctricos. Otro nicho es el de los vehículos de carácter esencialmente urbano, de reducido tamaño y peso y con prestaciones sólo adecuadas para conducción urbana.

Otro nicho es el de los vehículos particulares o de alquiler público de carácter esencialmente urbano, de reducido tamaño y peso y con prestaciones adecuadas para conducción urbana. El reto para una generalización del uso de los vehículos eléctricos se encuentra en los vehículos turismo de tamaño medio.

En este momento la oferta de vehículos eléctricos a nivel mundial supone más de 100 modelos diferentes, cubriendo todas las categorías indicadas. Se ha anunciado por parte de Renault la posible fabricación en España de vehículos eléctricos, tanto de carácter exclusivamente urbano, como de tamaño medio, además del proyecto ya en marcha en Turquía y otros proyectos en Francia.

En los próximos años se irá produciendo un despliegue de puntos experimentales de recarga eléctrica para vehículos, en lugares seleccionados de las ciudades (como por ejemplo se anunciaba en abril 2009, que los nuevos aparcamientos que el Ayuntamiento de Madrid está construyendo bajo la calle Serrano contarán con puntos de recarga eléctrica para vehículos como experiencia piloto). Otras acciones de demostración se enmarcan en el Proyecto MOVELE, con implantación en tres ciudades españolas, junto con otras actuaciones en estudio.

### VEHÍCULOS ELÉCTRICOS FRENTE A VEHÍCULOS HÍBRIDOS

En relación a si se cree más viable la opción de **vehículos híbridos** (baterías más otra fuente de propulsión) que la de vehículos eléctricos puros, los miembros de la PTE HPC consideran que el hecho de disponer de otra fuente de propulsión hace esta opción más viable técnica y económicamente que la de los vehículos puramente eléctricos, a corto plazo.

Los vehículos puramente eléctricos implicarían un uso exclusivamente urbano, con unos recorridos máximos de unos 30-40 km/día y necesitarían disponer de un punto de carga en el propio domicilio, o en instalaciones públicas, o alternativamente mediante sustitución de packs de baterías. Por ello, para aplicaciones de largo recorrido tendría más sentido emplear vehículos híbridos en los que otra fuente de energía proporcionase la energía, a pesar de que haya frenado regenerativo u existan otras técnicas de ahorro.

Se considera que una opción más competitiva para el usuario, que podría estar disponible en el mercado a corto plazo (2011-2012), sería la de los vehículos eléctricos recargables híbridos, que utilicen un motor de combustión o una pila de combustible más pequeña para recargar la batería. Esta opción se considera más competitiva, con más prestaciones, e incluso se podrían alcanzar menores costes que para los vehículos eléctricos puros.

### VEHÍCULOS HÍBRIDOS RECARGABLES (CON MOTOR TÉRMICO O CON PILA DE COMBUSTIBLE)

Aunque se considera que los desarrollos en I+D en vehículos eléctricos puros, en híbridos con motor de combustión interna o en pilas de combustible e hidrógeno deberían ir en paralelo, se considera prioritario **el desarrollo de los vehículos híbridos, y principalmente los híbridos recargables.**

Los vehículos híbridos recargables, con una batería de tamaño reducido y una pila de combustible de tamaño reducido de aproximadamente 30 – 50 kW que recargase la batería y aumentase la autonomía del coche, permitirían un uso exclusivamente eléctrico para la ciudad, y una autonomía de unos 70- 90 km. En estas condiciones (reducido tamaño de la pila de combustible y utilizándola exclusivamente como generador eléctrico a bordo para aumentar la autonomía), se reduce bastante el coste (hasta un 60% - 70) y permite la utilización más eficiente de la pila de combustible, ya que se reduce el consumo de hidrógeno y se pueden llegar a conseguir autonomías de 600 hasta 800 km.

Si además se desarrollan vehículos híbridos recargables, con motor de combustión interna, se podría resolver el problema de la infraestructura y del alto coste actual del H<sub>2</sub>+pilas de combustible, aunque se frenaría el empleo de coches híbridos con pila de combustible ya que no se invertiría igual en infraestructura de H<sub>2</sub> y se mantendría la dependencia al petróleo.

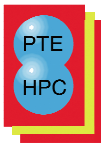
### **VENTAJAS DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS CON PILA DE COMBUSTIBLE**

Los miembros de la PTE HPC han resaltado las siguientes **ventajas de los vehículos híbridos con pila de combustible**:

- Tienen mayor rendimiento que los vehículos con motor de combustión interna. Con las pilas de combustible se puede alcanzar un rendimiento del orden del 40-45 %, lo que supone, al menos, duplicar la eficiencia energética respecto al motor de combustión interna y por tanto disminuir el consumo de combustible (eficiencia energética).
- Permiten disponer de vehículos con cero emisiones siempre que el hidrógeno provenga de EERR.
- El empleo de hidrógeno permite diversificar la dependencia energética, ya que el hidrógeno se puede producir a base de muchas fuentes de energía distintas, tanto renovables como convencionales, incluyendo la nuclear, y reduce la dependencia del petróleo.
- Permiten la integración de renovables en el sector de transporte, aumentando la penetración de las energías limpias en el sector eléctrico y otros sectores.
- Se eliminan los tiempos para recargar las baterías, puesto que se pueden recargar a bordo, con la electricidad generada por las pilas de combustible.
- Al tratarse de híbridos, las baterías ya no han de dimensionarse para proporcionar toda la tracción, con lo que no hay tantos problemas debidos al peso y volumen de las mismas.
- Se consiguen rangos de operación (autonomía) del orden de los vehículos convencionales.
- Permiten una mayor economía de operación, al recuperar la energía de frenado y aplicarla en condiciones de aceleración.
- Aportan portabilidad y son de fácil instalación.

Entre los **inconvenientes de los coches híbridos con pila de combustible**, se han resaltado los siguientes:

- Se trata de una tecnología menos madura.
- Existe menos infraestructura (sobre todo de repostaje).
- Existen intereses opuestos (petroleras) que ralentizan el desarrollo de estas tecnologías.
- Dependencia de platino como catalizador.
- Dada la baja densidad energética del hidrógeno por unidad de volumen, se requiere almacenarlo en depósitos grandes a altas presiones para conseguir una autonomía aceptable. Además existen ciertas complejidades técnicas debidas al sistema pila de combustible-almacenamiento de Hidrógeno: control, regulación térmica, humidificación, etc.
- Los costes del hidrógeno y de las pilas de combustible son más elevados, aunque sería un problema solucionable si se comenzase a producir masivamente.
- La durabilidad de las pilas de combustible, aunque a priori es baja, no parece ser un problema para los automóviles híbridos, ya que los fabricantes de pila de combustible cada vez consiguen pilas con mayores tiempos de vida, y el uso de las baterías aumenta la durabilidad de la pila de combustible.



## OPINIÓN DEL SUBGRUPO DE TRANSPORTES DE LA PTE HPC SOBRE EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

En relación a **cuándo podrían estar los vehículos híbridos con pila de combustible disponibles en el mercado**, se considera que a partir de 2015 empezarán a introducirse en ciertos sectores, pero que no será hasta 2020 cuando comiencen a introducirse en el mercado a gran escala, ya que será necesario que previamente se lleven a cabo numerosas demostraciones de flotas de vehículos y autobuses híbridos y se desarrolle la infraestructura necesaria. Además la mejora en costos, prestaciones y portabilidad de las tecnologías del hidrógeno y pilas de combustible también será necesaria para su aplicación en vehículos.