

HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO: ELEMENTOS Y USOS

Dr. D. Manuel Felipe Rosa Iglesias. Jefe del Laboratorio Sistemas de Energía Terrestre,
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se han anunciado diferentes iniciativas tendentes a propiciar el desarrollo y despegue de tecnologías asociadas al uso del hidrógeno como vector energético (Iniciativa Tecnológica Conjunta en Estados Unidos, Grupo de Alto Nivel en la Unión Europea, etc.). Todas estas iniciativas han tenido una repercusión mediática amplia y han conducido a la definición de programas y propuesta de trabajo muy ambiciosas, siendo destacables la Strategic Research Agenda de la Unión Europea que ha inspirado la redacción de los programas de Hidrógeno y Pilas de Combustible del VII Programa Marco, los contenidos técnicos de la Plataforma Europea del Hidrógeno y la puesta en marcha de la Joint Technology Initiative en Hidrógeno y Pilas de Combustible.

Con demasiada frecuencia se nos presenta al hidrógeno (y las tecnologías asociadas) como elementos fundamentales y la panacea para solventar los problemas derivados de la escasez de recursos energéticos, olvidando con frecuencia que el hidrógeno no es ninguna fuente de energía (es preciso consumirla para producirlo). Igualmente se nos presenta como tecnologías novedosas y si bien es cierto lo son en su aspecto de aplicación terrestre, en el espacio se vienen utilizando desde hace unos 50 años como elementos integrantes de las Plantas de Potencia de Aplicación Espacial. El concepto que subyace es el de producir hidrógeno, el elemento más abundante en el universo (aunque no es estado elemental sino agrupado), partir de un ciclo energético cerrado e intrínsecamente limpio, el ciclo del agua.

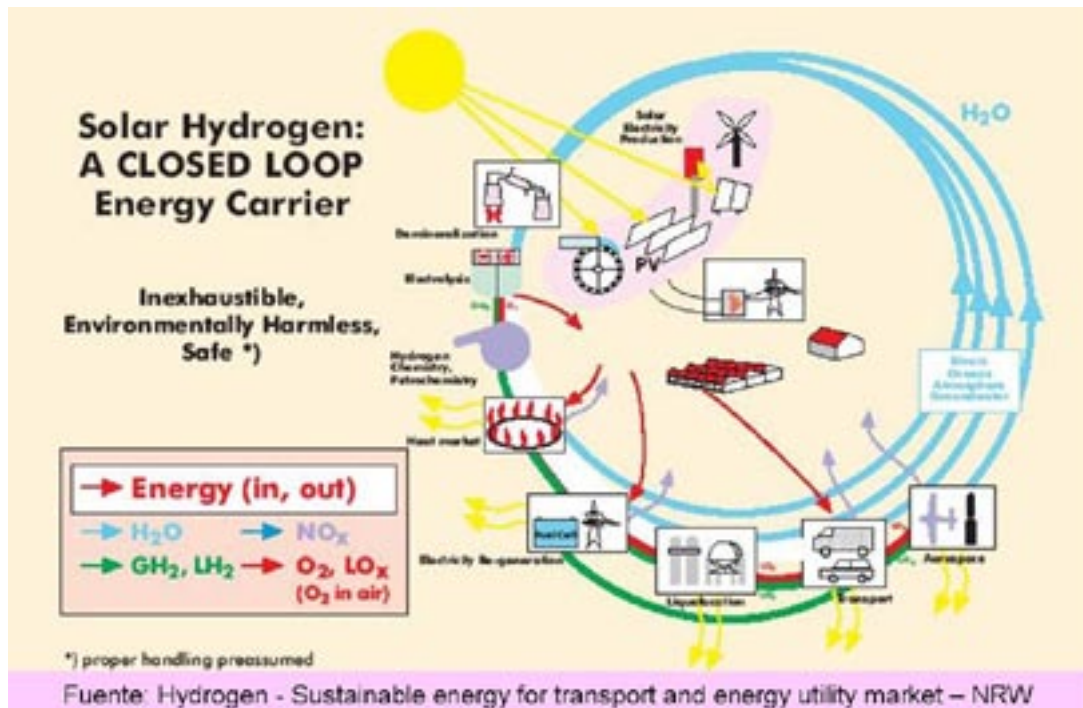


Fig. 1. Sistema regenerativo de hidrógeno

Se trata de tomar agua de la naturaleza, separar el agua en hidrógeno y oxígeno (por electrólisis) con electricidad de origen renovable, almacenar y transportar la energía en forma de hidrógeno y, finalmente, recombinar el hidrógeno con el oxígeno del aire utilizando pilas de combustible, para producir electricidad, calor y devolver a la naturaleza la misma cantidad de agua que previamente habíamos tomado de ella.

En la Fig. 1 se muestra de un modo conceptual todos los elementos y el ciclo que tiene lugar: producción de hidrógeno a partir de un recurso energético renovable, y de agua, para, tras ser convenientemente almacenado, es utilizado en múltiples usos (aplicaciones estacionarias y móviles) volviéndose a producir agua que cierra el ciclo.

La utilización de este sistema a nivel terrestre contribuiría a hacer frente a los desafíos del sistema energético actual:

- Sostenibilidad y lucha contra el cambio climático.
- Suministro y dependencia energética.
- Competitividad y estabilidad.

Para hacer frente a estos retos, las fuentes de energías renovables están llamadas a desempeñar un papel muy importante y la utilización del hidrógeno puede contribuir a la "gestionabilidad" de las mismas mediante la utilización de aquel como un medio de almacenamiento de energía.

La electricidad y el hidrógeno son dos portadores de energía que permitirían atender a todas las demandas energéticas, de manera que, en su uso final, prácticamente no se emitirían contaminantes. Indudablemente, en los procesos de producción del hidrógeno y de la electricidad a partir de recursos fósiles sí se emitirían contaminantes, pero, por un lado, en la medida que esta producción se realizara de forma centralizada estacionaria, se podrían utilizar técnicas para limitar la emisión, y por otro, si para la producción del hidrógeno o la electricidad se utilizan recursos renovables, las emisiones pueden ser nulas.

2. ELEMENTOS DE LA ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO

En la Fig. 2 se muestra de modo esquemático los elementos a considerar a la hora de analizar la economía del hidrógeno. Se muestran tres grandes bloques que corresponden a los sistemas de producción, almacenamiento y utilización del mismo. Se analizan igualmente los dispositivos potenciales de uso en función de un horizonte temporal de implantación (corto, medio y largo plazo).

Además de los elementos anteriormente considerados es preciso tener en cuenta la legislación aplicable (o falta de legislación) y los requisitos de seguridad inherentes.

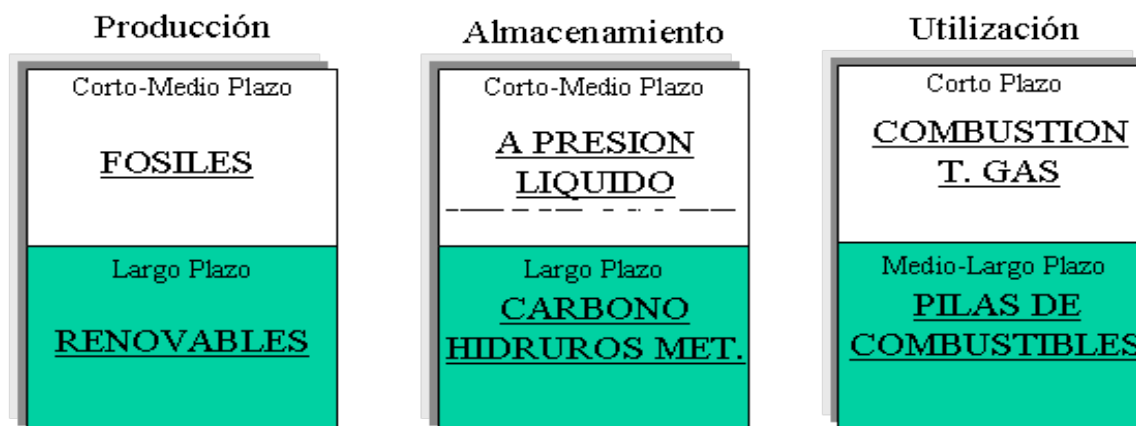


Fig. 2. Elementos de la economía del hidrógeno

2.1 Producción de hidrógeno

Si bien el hidrógeno es el elemento más abundante del Universo, en la Tierra se encuentra asociado a otros elementos formando compuestos, y es necesario producirlo lo cual conlleva un consumo energético. En consecuencia al hablar de hidrógeno debemos de considerarlo como un vector energético (al igual que la electricidad) y no como una fuente de energía. Los recursos naturales más abundantes a partir de los cuales se puede obtener el hidrógeno son el agua, la biomasa y los hidrocarburos. Con estos recursos y siguiendo una gran variedad de procesos, en los que es necesario consumir algún tipo de energía primaria (renovable, fósil o nuclear), puede obtenerse el hidrógeno.

La Fig. 3 muestra las distintas vías de producción de hidrógeno diferenciando los métodos de producción a partir de combustibles fósiles aquellos que utilizan fuentes de energía renovables.

En la actualidad casi el 96% del hidrógeno mundial se produce a partir de combustibles fósiles, principalmente por reformado de gas natural con vapor de agua y se consume como un componente que forma parte de multitud

de procesos convencionales, principalmente (en torno a un 72%) en la industria química y petroquímica (amoníaco, refino del petróleo, metanol, etc.). El resto, fundamentalmente, se utiliza en la industria del vidrio y metalurgia, electrónica y alimentaria. Desde un punto de vista energético, su utilización más significativa es como combustible en misiones espaciales.

La fuente principal de producción de hidrógeno industrial es el gas natural y el método más utilizado es el "steam reforming". Adicionalmente existen los procesos de oxidación parcial (residuos del refino de petróleo) y de gasificación (carbón y coque de petróleo). En cualquier caso parece claro que, a corto y medio plazo, la producción de hidrógeno más aceptable desde el punto de vista económico se realizará a partir de combustibles fósiles, en los que se irán incorporando técnicas de captura y confinamiento de CO₂.

La producción de hidrógeno a partir de fuentes de energías renovables permite solventar una de las carencias fundamentales de éstas: su almacenamiento (ha de tenerse en cuenta que, con la excepción de la biomasa o los biocombustibles, las energías renovables son, genéricamente, difíciles de almacenar).

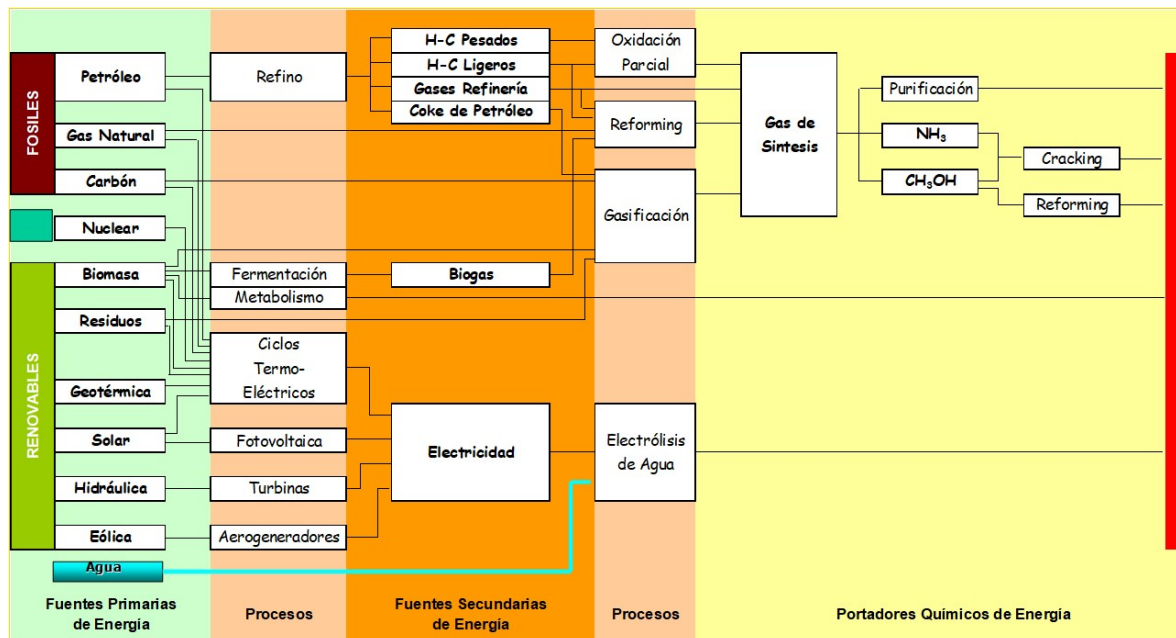


Fig. 3. Métodos de producción de hidrógeno

La consecuencia directa de todo ello es que se puede incrementar la capacidad instalada de fuentes de energías renovables sin perturbaciones sustanciales del factor de penetración, sin requerimientos adicionales de líneas de evacuación y un aumento sustancial de la energía anualmente producida de origen renovable.

La obtención de un combustible almacenable y transportable a partir de fuentes de energías renovables abre una vía para la penetración de éstas en un sector consumidor del 33% de la energía primaria: el sector transporte.

Para la producción de hidrógeno a partir de fuentes de energías renovables se pueden utilizar diversos procesos (químicos, termoquímicos y electroquímicos). A fin de sistematizar la realización del plan de acción, las tecnologías asociadas no se han agrupado por la naturaleza del proceso que tiene lugar sino por la fuente de energía renovable susceptible de poderse utilizar en cada caso:

- Energía solar térmica de alta temperatura (E.S.T. Alta Temperatura).
- Energías eólica y fotovoltaica.
- Biomasa/biocombustibles.

La tabla 1 presenta las tecnologías consideradas, reflejando las materias primas consumidas, el proceso utilizado para la obtención de hidrógeno y la forma de energía implicada.

La utilización de la **energía solar térmica a alta temperatura** para la producción de hidrógeno plantea diversas alternativas en cuanto al proceso utilizado: **proceso termolítico**

(rotura de la molécula de agua en sus elementos, oxígeno y hidrógeno, como consecuencia de la alta temperatura; superior a 2000 °C), **electrolítico** (rotura de la molécula de agua en fase vapor mediante el uso de energía eléctrica) y **químico** (reacción química promovida por la energía fotónica). Este tipo de procesos están a escala de laboratorio (termólisis y electrolisis en fase vapor) o de planta de experimentación (químicos), siendo preciso una intensificación de las actuaciones de I+D antes de su despegue precomercial.

La producción de **hidrógeno electrolítico** supone la rotura de la molécula de agua gracias a la acción de la corriente eléctrica (corriente continua) aplicada entre ánodo y cátodo, y separados por una membrana (diafragma) en un medio conductor iónico, electrolito (Fig. 4).

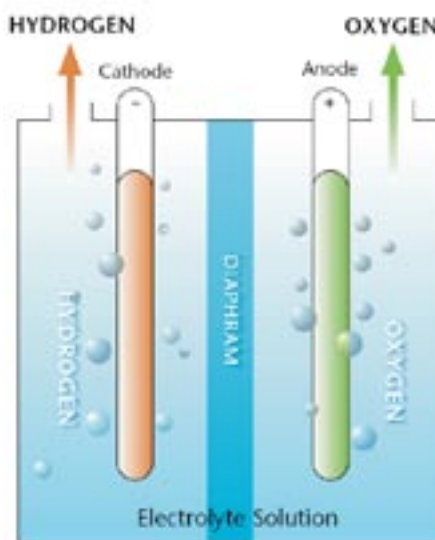


Fig. 4. Esquema electrolizado (Hydrogenics)

Tabla 1. Tecnologías de producción de hidrógeno

Tecnología	Materia prima utilizada	Proceso	Energía utilizada
Solar Alta Temperatura	Agua	Termólisis	Fotónica
	Agua	Electrolisis	Eléctrica
	Fósiles	Químico	Fotónica
Eólica/ Fotovoltaica	Agua	Electrolisis	Eléctrica
Biomasa/Biocombustibles	Biomasa/Biocombustible	Químico	Materia prima

El uso de energía eléctrica para la rotura de la molécula de agua, implica que cualquier fuente de energía renovable que implique la producción de la misma es susceptible de poderse acoplar a este proceso, en especial la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. La dinámica del proceso electrolítico lo hace especialmente adecuado para el uso combinado con la energía eólica, dado que permite (conjuntamente con las pilas de combustible):

- Almacenamiento de energía.
- Solventar parcialmente la debilidad de las líneas de evacuación de los campos eólicos.
- Aumentar el porcentaje de penetración en la red.
- Mejorar la calidad de la red eléctrica.
- Optimizar la previsión de entrega de energía a la red.
- Desacoplar producción y demanda, transfiriendo energía desde los periodos

de alta producción y baja demanda a los de alta demanda.

La obtención de **hidrógeno a partir de biomasa** se realiza (fundamentalmente) en base a dos procesos químicos: **gasificación** (combustión incompleta entre 700 y 1200 °C) y **pirólisis** (combustión incompleta en ausencia de oxígeno, a unos 500 °C). Puede obtenerse así mismo a partir de compuestos obtenidos previamente a partir de biomasa (biocombustibles) mediante reacciones químicas más complejas (reformado).

En la Fig. 5 se recogen las estimaciones de costes de producción de hidrógeno realizadas por la Agencia Internacional de la energía. Si bien, estos costes están fuertemente condicionados por el coste de los combustibles fósiles, desde un punto de vista cualitativo puede observarse como los costes de producción, en grandes instalaciones, conducen a menores costes de producción de hidrógeno.

Hydrogen production cost projection

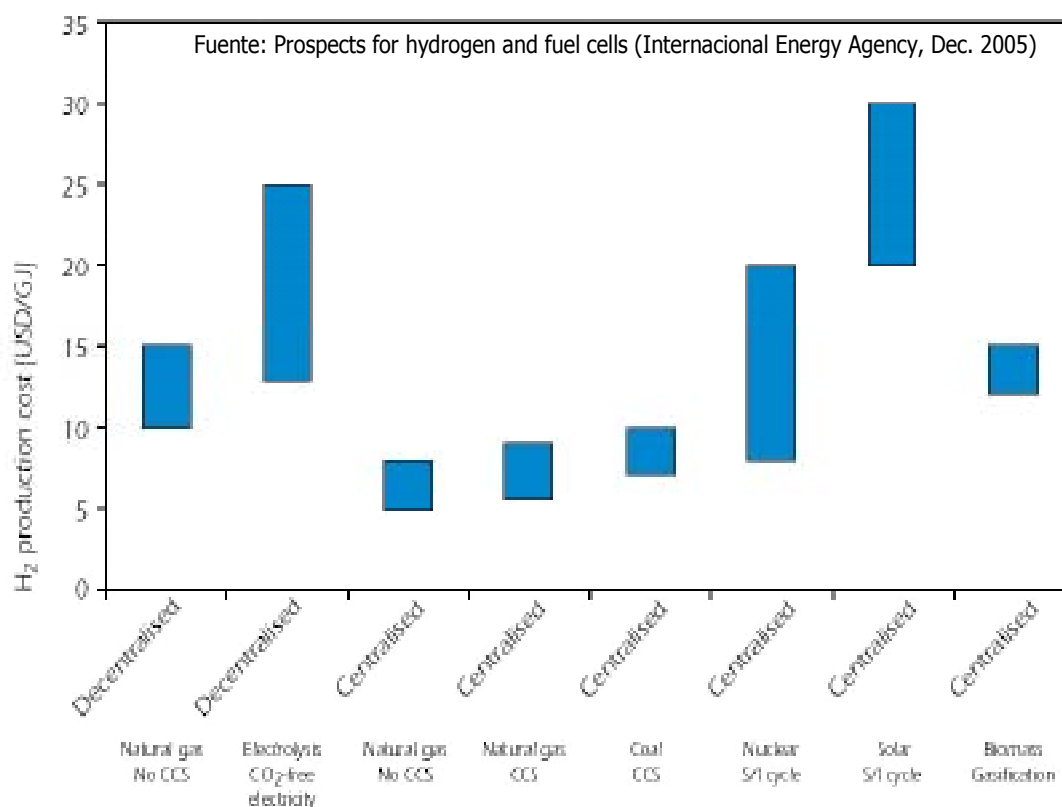


Fig. 5. Costes de producción de hidrógeno

2.2 Almacenamiento, transporte y suministro de hidrógeno

El hidrógeno permite almacenar la energía producida a partir de fuentes de energías renovables, y antes de su utilización, será preciso transportarlo y suministrarlo a los usuarios finales. A fin de competir con usos ya establecidos, por ejemplo automoción, es preciso desarrollar sistemas de almacenamiento con adecuadas prestaciones (densidad energética por unidad de masa y/o volumen), energéticamente eficientes y seguros (Fig. 6).

El almacenamiento de hidrógeno es una tecnología bien establecida a nivel mundial (tanto como gas comprimido a 200 bar como hidrógeno líquido). Sin embargo los usos previsibles implicarán su utilización a una presión mayor (entre 350 y 700 bar), en forma de hidruros metálicos (aleación metálica que puede contener mas de un 5 % de hidrógeno en peso) y otros sistemas avanzados (tendientes a conseguir una mayor densidad energética por unidad de masa y unidad de volumen).

Las alternativas existentes para el transporte de hidrógeno son:

- Transporte en contenedores criogénicos de hidrógeno líquido.
- Transporte de contenedores presurizados.
- Hidrogenoductos.

Estas alternativas vendrán condicionadas por el esquema utilizado en cada caso, producción centralizada o distribuida.

El suministro de hidrógeno, fundamentalmente en el sector transporte, implicará el desarrollo e implantación de sistemas de suministros (Fig. 7).

El esquema presentado no es más que una de las alternativas disponibles, todas ellas abiertas, sujetas a numerosos estudios y entre las que tienen cabida el reformado (o electrolisis) en la propia gasolinera y suministro directo al vehículo con un almacenamiento de hidrógeno mínimo a fin de minimizar riesgos.

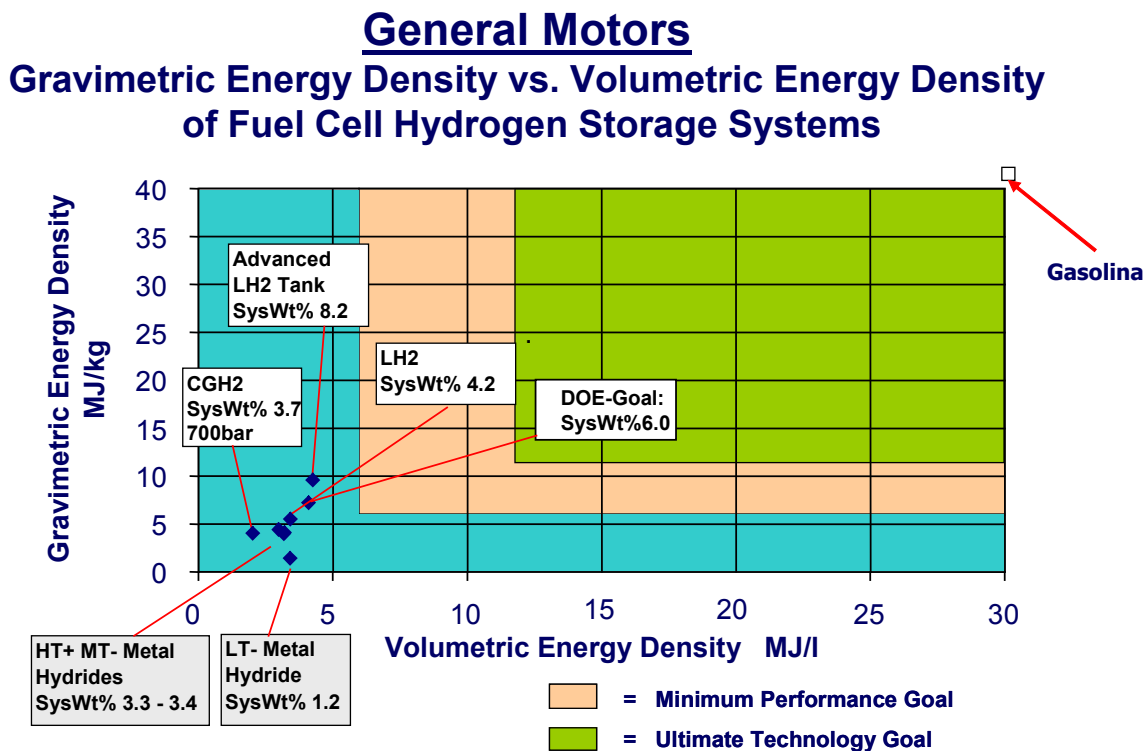


Fig. 6. Requerimientos mínimos de un sistema de almacenamiento de hidrógeno para su uso en automoción

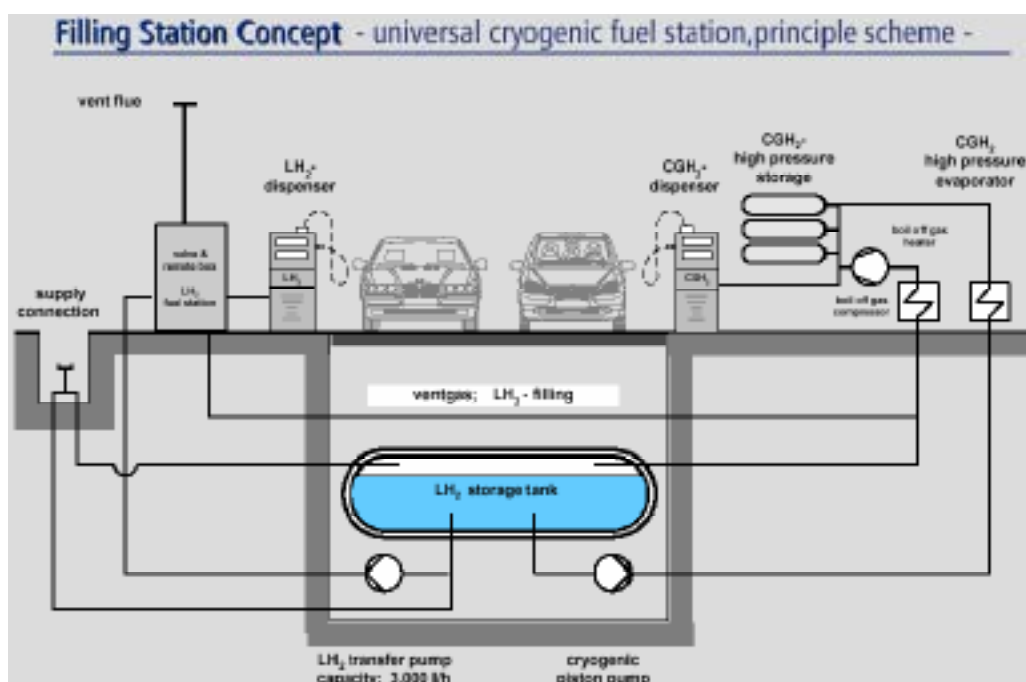


Fig. 7. Esquema de principio de una estación de suministro de hidrógeno

2.3 Pilas de combustible

2.3.1 Principio básico de funcionamiento

Las pilas o celdas de combustible son unos dispositivos electroquímicos que convierten la energía química de reacción directamente en energía eléctrica. Su diferencia fundamental con las baterías es que estas últimas son acumuladores de energía, dependiendo la máxima energía que son capaces de suministrar de la cantidad de reactivos químicos almacenados en ellas, dejando de producir energía cuando se consumen dichos reactivos. Las pilas de combustible son, por el contrario, dispositivos que tienen teóricamente la capacidad de producir energía eléctrica mientras que se suministre combustible y oxidante a los electrodos; sólo la degradación o mal funcionamiento de los componentes limitan la vida de operación práctica de las pilas de combustible.

Además del hidrógeno puro que pueda provenir de electrólisis a partir de una fuente renovable, pueden emplearse como combustibles otras fuentes tales como gasolina, gases licuados de petróleo, metanol, etanol, etc., que tan solo precisarían de un tratamiento adecuado (reformado, purificación) para adaptarlos a los diferentes tipos de pilas

de combustible. En este último caso, estos métodos de producción de hidrógeno pueden combinarse con procesos de "secuestro de CO_2 ", de cara a garantizar una producción sostenible.

La Figura 8 (derecha) presenta el esquema de funcionamiento de una celda de combustible (unidad elemental del sistema); puede observarse como se aporta el combustible (normalmente hidrógeno) en el ánodo y el oxidante (aire u oxígeno) en el cátodo, produciéndose electroquímicamente, energía eléctrica en forma de corriente continua, agua (como producto de la reacción), calor de proceso y, si se ha utilizado un combustible con carbono, CO_2 (mención especial merecen los biocombustibles; en este caso, ha de tenerse en cuenta de que el origen vegetal de los mismos hace que el "balance de CO_2 " sea neutro, es decir, que el dióxido de carbono que se devuelve a la atmósfera es el mismo que las plantas tomaron de ésta para constituirse a sí mismas a través de su crecimiento).

El voltaje total alcanzado será función del número de celdas que conectemos eléctricamente en serie (Fig. 8 derecha), mientras que la intensidad dependerá del tamaño del ánodo y cátodo.

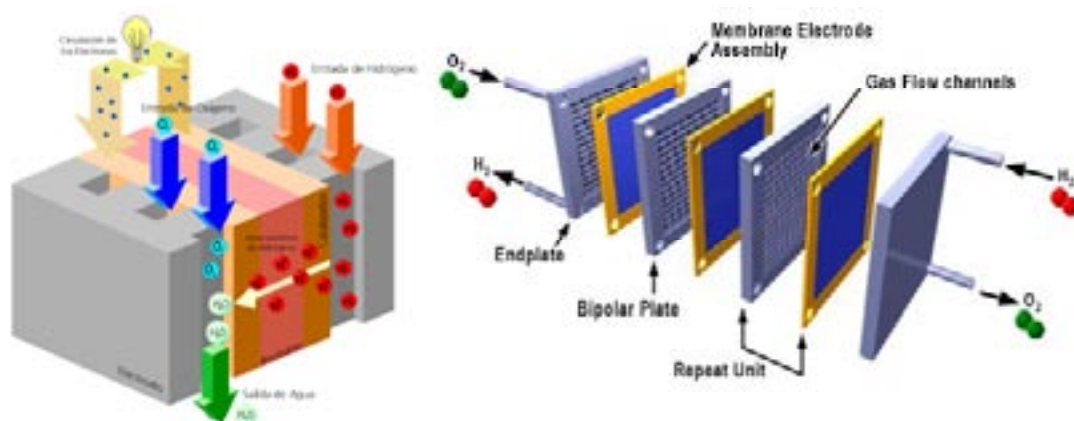


Fig. 8. Esquema de funcionamiento de una pila de combustible

Al montaje presentado a la derecha se le denomina “stack” de pila de combustible, estando el término pila de combustible reservado para el sistema global constituido por: procesador de combustible (en caso de no alimentarlo con hidrógeno puro), stack, sistema de potencia (para adecuar la energía eléctrica producida) y el balance de la planta (sistemas auxiliares y control precisos para el adecuado funcionamiento del sistema).

2.3.2 Clasificación

Una de las diferencias entre un tipo de pila de combustible y otro es la naturaleza del electrolito existente entre ánodo y cátodo, que permite optimizar el funcionamiento de la misma.

Dependiendo de la naturaleza del electrolito, la temperatura óptima de funcionamiento es una u otra, por lo que las pilas se clasifican en función de la naturaleza del electrolito (lo cual conlleva una temperatura de funcionamiento definida).

La tabla 2 recoge las principales características de cada tecnología de pila de combustible, mientras que en la tabla 3 se muestran los usos principales de cada uno de los tipos de combustible considerados. Ha de tenerse en cuenta que esta clasificación obedece sólo a un carácter orientativo, si bien hay algunas reglas fijas (por ejemplo, no es común emplear pilas de combustible de alta temperatura en aplicaciones portátiles, por razones obvias).

Tabla 2. Clasificación de las pilas de combustible

Tipo de pila	Denominación	Electrolito	Temperatura (°C)
Alcalina	AFC	Alcalino	80
Protónica	PEMF	Membrana Sólida	80-100
Ácido Fosfórico	PAFC	Ácido Fosfórico	200
Carbonatos fundidos	MCFC	Carbonatos	500-650
Óxidos Sólidos	SOFC	Zirconia	800-1000
Metanol directo	DMFC	Membrana Sólida	70-80

Tabla 3. Aplicaciones de las pilas de combustible

Tipo de pila	Usos
Alcalina	Espacial, militar, generación portátil, automoción
Protónica	Espacial, militar, generación portátil y distribuida, automoción
Ácido Fosfórico	Producción distribuida de electricidad, cogeneración
Carbonatos fundidos	Prod. Electricidad: Distribuida y Base, cogeneración
Óxidos Sólidos	Prod. Electricidad: Distribuida y Base, cogeneración
Metanol directo	Militar, generación portátil, automoción, electrónica

2.3.3 Aplicaciones de las pilas de combustible

Una de las características a destacar de los sistemas basados en pilas de combustible es el grado de independencia entre su eficiencia y su tamaño; es decir, que es posible desarrollar plantas de pequeña potencia (desde vatios) y también plantas de cientos de kilovatios o, incluso, de megavatios, con un rendimiento relativamente elevado. De este modo, las pilas de combustible se hallan presentes en aplicaciones portátiles, en automóviles, en el sector estacionario, etc. Sin embargo, en cada una de estas aplicaciones, las pilas de combustible se encuentran con unas barreras diferentes para su implantación en la actualidad.

2.3.3.1 Aplicaciones portátiles

Las pilas de combustible están revelándose como unas fuentes de energía eléctrica prometedoras en el ámbito portátil. La mayor parte de los sistemas construidos hasta el momento han venido usando la tecnología PEMFC (o DMFC para aplicaciones concretas), especialmente debido al hecho de que trabajan a bajas temperaturas (por debajo de los 100 °C) y de que la naturaleza de sus componentes es sólida, por lo que pueden adaptarse fácilmente a aplicaciones que no permanezcan fijas en un emplazamiento.

2.3.3.2 Aplicaciones en el ámbito del transporte

Cabe destacar especialmente las aplicaciones de propulsión orientadas al ámbito terrestre (automóviles, autobuses, etc.) que emplean, tradicionalmente, pilas de combustible tipo PEM que, además de las ventajas enumeradas anteriormente, en este sentido destacan también por los tiempos

de arranque reducidos. Prácticamente la totalidad de fabricantes de vehículos tienen ya algún prototipo funcionando con hidrógeno, e investigan a la par en sistemas de almacenamiento de este gas, estaciones de servicio específicas, o nuevos métodos para integrar baterías con pilas de combustible (sistemas híbridos). Estos vehículos se caracterizan en su mayoría por tener “emisión cero” (sólo emiten vapor de agua) y nula contaminación acústica (son vehículos eléctricos).

Fuera del ámbito de propulsión terrestre, existen también aplicaciones para las pilas de combustible de alta temperatura en el campo de las Unidades de Potencia Auxiliar, donde son especialmente útiles las SOFC, y en la propulsión naval, donde se contemplan diferentes alternativas, incluyendo las MCFC.

2.3.3.3 Aplicaciones estacionarias

Los sistemas basados en pilas de combustible de alta temperatura (por encima de los 200 °C) pueden ser empleados en aplicaciones de cogeneración, produciendo electricidad, agua caliente y una cierta cantidad de calor, pudiendo aprovecharse esta energía térmica, generada en aplicaciones domésticas o industriales, o incluso para efectuar trigeneración. Cobran especial relevancia las tecnologías PAFC y MCFC.

2.3.3.4 Tecnologías y aplicaciones

Como ya se ha puesto de manifiesto, existe una cierta correlación entre las diferentes tecnologías y las distintas aplicaciones, de modo que unos tipos de pila de combustible resultan, por lo general, más adecuados para unas aplicaciones que para otras (Tabla 4).

Tabla 4. Tecnologías de pilas de combustible y sus aplicaciones. V: válida, C: se considera actualmente

				PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Aplicación objetivo	Estacionaria	Conectado a red	Centralizado				V	V
			Distribuido				V	V
			Almacenamiento			V	V	V
		Generación aislada	Residencial	V	C		C	V
			Comercial	V	C	V	V	V
			Industrial	C	C	V	V	V
	Transporte	Propulsión	Ligero	V				
			Pesado	V		C	C	C
		Pot. auxiliar	Ligero y pesado	V				V
	Portátil	Pequeño	Recreativo y militar	V				V
Micro		Electrónica y militar	V					

3. LA INTEGRACIÓN DEL HIDRÓGENO Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Se habla con frecuencia de la bondad del hidrógeno como vector energético, o de las pilas de combustible como dispositivo para producción limpia de electricidad; de este modo, es habitual asociarlos al término de “energía renovable”, aunque esto no sea siempre del todo exacto.

Así, el hidrógeno será o no “limpio” en la medida en que lo sea su producción; y las pilas de combustible serán o no una fuente de energía renovable, en tanto que lo sea el combustible que las alimenta.

Por otra parte, algunas voces manifiestan el estado embrionario de las energías renovables en la actualidad, su escasa cuota de mercado y las dificultades que tienen para desarrollarse. ¿Es entonces adecuado penalizar estas fuentes energéticas empleando su electricidad para producir hidrógeno, con procedimientos todavía poco eficaces, para, al fin y al cabo, alimentar pilas de combustible? ¿No sería más provechoso y eficiente producir directamente energía eléctrica?

Los principales inconvenientes de las energías renovables, dentro de la red de generación de energía eléctrica a escala mundial, han sido, tradicionalmente, la limitación en

potencia nominal y la discontinuidad en la generación y suministro (gestionabilidad).

El primer factor va siendo neutralizado por dos efectos claros: por un lado el aumento en la potencia susceptible de ser generada en las nuevas plantas (parques eólicos, plantas fotovoltaicas y termosolares, etc.), debido a los correspondientes avances tecnológicos; y, por otro lado, la disminución de la centralización de la producción, derivada de la tendencia a la generación distribuida.

Evidentemente, en muchos casos (por ejemplo, el de España) ha jugado también un papel fundamental una adecuada política de incentivos, subvenciones y primas, que han hecho viable el desarrollo y la expansión de estas tecnologías.

En cuanto a la discontinuidad en la producción y en el suministro de las fuentes renovables, la solución a buscar ha sido siempre la de encontrar una forma de almacenar temporalmente, y de forma eficiente, la energía, con el objeto de desacoplar la citada discontinuidad en la producción propia del suministro. De esta forma, se ha considerado el almacenamiento intermedio (entre generación y consumo), en forma de volantes de inercia o de baterías eléctricas convencionales.

La introducción del hidrógeno como sistema de almacenamiento a gran escala, permitirá desacoplar la producción de energía renovable de la demanda de electricidad, disminuyendo los problemas derivados de la aleatoriedad de aquella, aumentando la predictibilidad y garantía de suministro, y en suma, incrementando el valor añadido y rentabilidad de las fuentes de energía renovable.

En estos momentos, se requiere una estrategia coherente dirigida tanto al suministro como a la demanda energética, que tenga presente el ciclo completo de la energía, incluyendo la producción, transmisión y distribución del combustible, la transformación de la energía y su impacto en los fabricantes de equipos energéticos y usuarios finales de los sistemas energéticos. A corto plazo, el objetivo debería ser la consecución de un uso más eficiente de la energía y un creciente suministro desde las fuentes de energía europeas, principalmente de las renovables. A largo plazo, una economía basada en el hidrógeno tendrá impacto en todos estos sectores.

A la vista de todo el desarrollo tecnológico en el ámbito del hidrógeno y de las pilas de combustible, los fabricantes de vehículos y componentes, los proveedores de transporte, la industria energética e incluso los propietarios particulares, están muy interesados en los combustibles y fuentes de energía alternativos, y en tecnologías más eficientes y limpias.

La integración de sistemas que empleen la tecnología de pila de combustible se presenta como una solución a la aleatoriedad en la producción (generalmente, de carácter intrínseco) de fuentes de energía renovable, como son la solar o la eólica, viniendo a convertirse en sistemas de almacenamiento intermedios.

La producción de hidrógeno “limpio” mediante fuentes de energía renovable puede ser una opción de producción de hidrógeno aislada o distribuida, aportando soluciones a la problemática de infraestructura necesaria para el transporte del mismo. Más aún, el concepto de “producción distribuida” del hidrógeno encaja perfectamente con la idea de desarrollo sostenible basado en las economías locales, dado que cada región o país podrá producir su hidrógeno (por ejemplo, el hidrógeno que, como combustible, necesite para el transporte) a partir de las fuentes renovables que se hallen disponibles en cada caso (solar, eólica, biomasa, etc.).

4. LA UTILIZACIÓN DEL HIDRÓGENO EN EL TRANSPORTE

Aunque existe una multiplicidad de aplicaciones del hidrógeno que se encuentran en desarrollo (generación de potencia estacionaria, residencial y servicios, electrónica portátil, integración de las energías renovables al sistema energético actual, telecomunicación, etc.), se

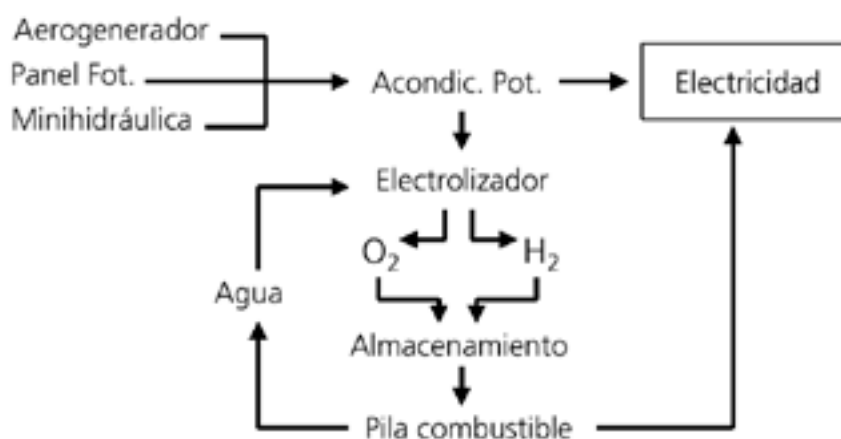


Fig. 9. Estrategia de almacenamiento de energía renovable en hidrógeno

desarrolla en este capítulo la utilización en el transporte, por presentar éste un mayor reto en el futuro dado el crecimiento de la demanda y la necesidad de reducir sus emisiones.

4.1 Vehículos de emisión nula

¿Se imaginan a un autobús urbano inmerso en el tráfico de hora punta de una de nuestras grandes ciudades, iniciando la marcha en una calle cuesta arriba y que, al pasar por nuestro lado, el único rastro que deje tras de sí sea vapor de agua y un ligero murmullo? ... Pues bien, hoy en día esto es posible gracias a la utilización del hidrógeno y de las pilas de combustible.

Durante los últimos años se está observando un interés creciente de los sectores industriales (transporte, generación estacionaria, residencial), por la aplicación de la tecnología del uso del hidrógeno en pilas de combustible. Esta tendencia se apoya fundamentalmente en tres hechos: el éxito técnico de varias compañías fabricantes de pilas de combustible, el movimiento creciente hacia el uso de vehículos más eficientes y limpios, que viene forzado por la imposición

de normas de emisiones de contaminantes, y el reconocimiento, por parte de las autoridades científicas y políticas, de que lo que se viene sugiriendo desde hace años sobre el impacto de los gases de efecto invernadero, es una posibilidad real que plantea unos serios interrogantes sobre nuestro futuro.

En lo referente a las aplicaciones del transporte, la configuración más innovadora de vehículo no contaminante que se desarrolla actualmente, consiste en sustituir el motor convencional de combustión interna (MCI) por una pila de combustible. De los distintos tipos de pila de combustible que existen en el sector automoción se utilizarán las pilas de membrana de intercambio protónico (PEM), dado que ofrecen una buena perspectiva de reducción de costes.

No obstante, la utilización del hidrógeno como combustible para el sector transporte tiene en consideración tanto su uso para fines de combustión en motor de combustión interna, como la utilización en pilas de combustible. En el primer caso es necesario adaptar los motores actuales de gasolina (de ciclo Otto) para que puedan admitir un combustible gaseoso con las características del hidrógeno (siguiendo un

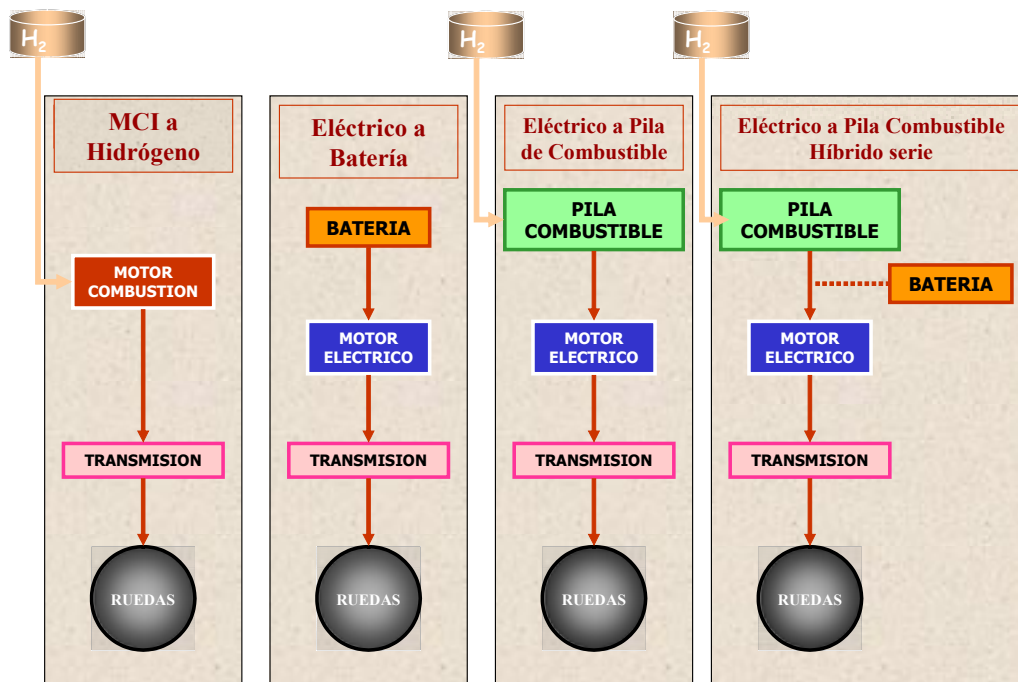


Fig. 10. Esquemas básicos de los sistemas de tracción

proceso similar al realizado con el gas natural), y en el segundo caso, el concepto propulsivo cambia, pasando a lo que se denomina propulsión eléctrica (vehículos eléctricos).

Con carácter general, todos los programas actuales sobre tecnología del hidrógeno suelen estar asociados también a las pilas de combustible. Esto se basa en que la utilización de hidrógeno en pilas de combustible puede llevar a una eficiencia doble de la obtenida con los motores de combustión interna. En la Figura 10 se muestran unos esquemas básicos de los sistemas de tracción, hoy en día en desarrollo y compitiendo, relacionados con el uso del hidrógeno.

Las pilas de combustible básicamente se alimentan de hidrógeno, por tanto el vehículo o bien debería disponer de un depósito con hidrógeno, o bien debe de embarcar un sistema que sea capaz de generar el hidrógeno a partir de otro combustible (a estos sistemas se les denomina reformadores). Hasta el momento presente se desarrollan varias configuraciones de vehículos no contaminantes sin que todavía se haya decantado la balanza por ninguna de ellas. Mientras algunos fabricantes de automóviles apuestan por seguir utilizando a

bordo los combustibles fósiles y otros orientan sus desarrollos al uso del metanol o el etanol, existen otros que piensan que es mejor diseñar el vehículo para que utilice directamente el hidrógeno. Indudablemente, todos estos trabajos están directamente relacionados y condicionados por el desarrollo de una infraestructura de producción, transporte y distribución del nuevo combustible al usuario final. La interdependencia es tal que, durante muchos años, se ha estado diciendo que se trata del típico problema del "huevo y la gallina", es decir, quién empieza primero, ¿el fabricante de automóviles pondrá vehículos en un mercado donde no existan puntos de suministro del nuevo combustible? ¿Serán las compañías de servicios energéticos (petróleo, gas, ...) las que establezcan una red de suministro de un nuevo combustible sin que se asegure que haya vehículos que van a repostar en los nuevos surtidores?

Tal como se muestra cualitativamente en el gráfico (Fig. 11), la utilización de la gasolina ofrece la ventaja del uso de una infraestructura de suministro ya existente, pero tiene la desventaja de que hay que disponer de reformadores lo suficientemente compactos y eficientes como para poder instalarlos a bordo

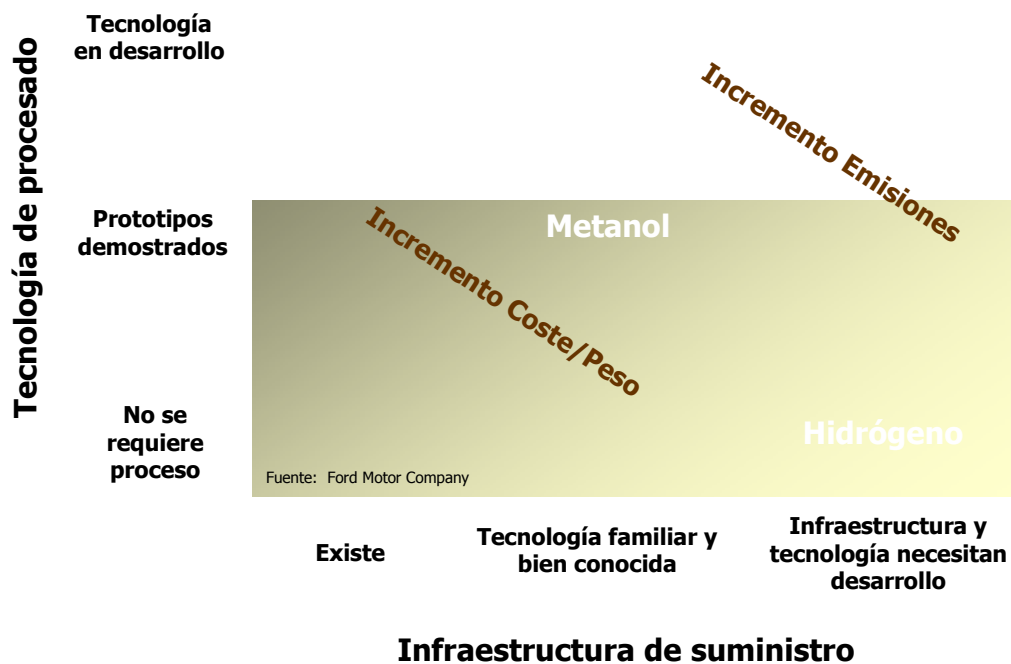


Fig. 11. Estado del Arte (Reformador e infraestructura) para el uso de Pilas de Combustible en automoción

de los vehículos sin limitar sus prestaciones, y ésta es una tecnología que no existe en la actualidad. El uso del metanol o el etanol como combustible en el automóvil, presenta la ventaja de manejo de combustibles líquidos y existe de una infraestructura de suministro, pero también requiere del desarrollo de reformadores adecuados. Frente a estos casos, el uso del hidrógeno directamente no requiere de ningún otro dispositivo de procesado, pero es necesario desarrollar toda la infraestructura de producción, transporte y suministro y, además,

su almacenamiento a bordo sigue siendo el principal problema que presentan los vehículos propulsados por hidrógeno.

Una situación intermedia se presenta en el caso de establecer estaciones de suministro en las que el hidrógeno se produzca "*in situ*" a partir de otros combustibles líquidos. Sin embargo, esta configuración presenta inconvenientes de menor eficiencia que los sistemas centralizados de producción y una muy baja posibilidad de limitar la emisión de contaminantes.