

## Producción de H<sub>2</sub> a partir de energías renovables por vía distinta de la electrólisis

En el presente documento se refleja el informe que presenta el subgrupo de “Producción de H<sub>2</sub> a partir de energías renovables por vía distinta a la electrólisis” dentro del Grupo de Estrategia y planificación de la Plataforma Tecnológica española en Hidrógeno y Pilas de Combustible.

En la figura 1 se presenta un esquema de las distintas vías de producir hidrógeno, diferenciando aquellas tecnologías que ya se utilizan comercialmente y aquellas que se encuentran en desarrollo. Se estima que para el año 2020 más del 30% del hidrógeno se producirá a partir de energía procedente de fuentes renovables.

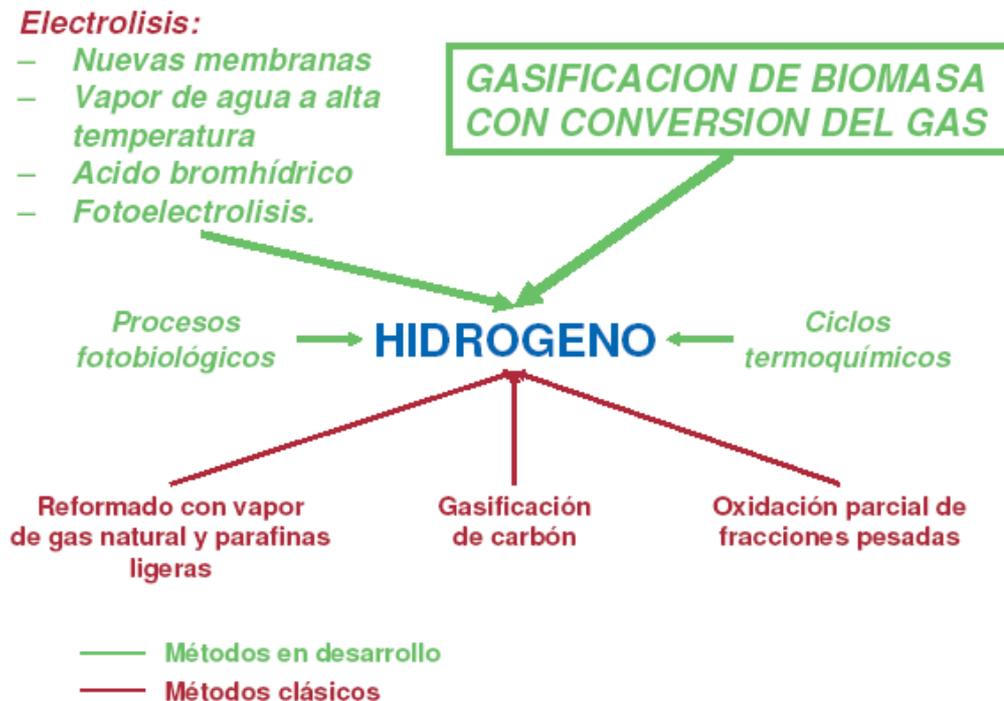


Figura 1. Esquema de las distintas vías de producción de hidrógeno. Fuente: Grupo de ingeniería química y ambiental. Universidad Rey Juan Carlos.

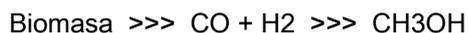
De esta manera los procesos implicados en la producción de hidrógeno a partir de energías renovables por vía distinta de la electrólisis son los siguientes:

1. Como un primer proceso, aunque todavía en desarrollo, contamos con la gasificación de biomasa, en la línea de independizar la obtención del hidrógeno de las materias primas fósiles, ya que la biomasa, al ser renovable, es una de las fuentes más prometedoras. Los estudios más avanzados se basan en su gasificación combinada con conversión basada en la reacción de gas de agua (water gas shift).



Desde nuestro punto de vista estos procesos representarían una opción interesante, teniendo en cuenta que el gas de síntesis ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ) puede transformarse alternativamente en la propia central de gasificación en una variedad de combustibles líquidos por medio de procesos tipo Fischer-Tropsch, lo que eliminaría los problemas derivados de la distribución y almacenamiento del hidrógeno gaseoso. Estos combustibles líquidos tienen el carácter "bio" y abarcan una variedad de sustancias como el bio-metanol y bio-gasolinas, pudiendo ser utilizadas directamente en motores de combustión interna o, de forma más eficiente, en sistemas combinados de reformado y pilas de combustible.

Entre ellos, por su peculiaridad, destacamos la síntesis de biometanol a partir de la gasificación de biomasa.



El biometanol así generado necesita mucha menos biomasa que la utilizada para producir bioetanol o biodiésel por los procesos convencionales de fermentación y esterificación.

Dentro de este punto de gasificación se incluyen los procesos de pirólisis (aunque éstos se realizan en ausencia de gases de reacción, mientras que la gasificación se realiza con vapor de agua u otro agente oxidante). Desde nuestro punto de vista estos procesos representarían una opción interesante sobre todo si se tienen en cuenta los problemas de transporte y distribución que presenta el hidrógeno. Con la pirólisis de la biomasa se obtendrían productos líquidos que se podría transportar fácilmente hacia los lugares donde se utilizarían para producir hidrógeno.

2. Producción de hidrógeno por vía biológica. Entre estos se encuentra la biofotólisis directa o indirecta, la foto-fermentación, la producción a partir de la reacción de water-shift por vía biológica y la fermentación oscura. Por otra parte, ciertas algas y bacterias fotosintéticas pueden producir hidrógeno bajo determinadas condiciones. Los pigmentos en las algas absorben la energía del sol y las enzimas de la célula actúan como catalizadores para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno. Por ejemplo, la cianobacteria y las algas verdes pueden producir hidrógeno, utilizando únicamente luz solar, agua e hidrogenasa como una enzima. Actualmente, esta tecnología está en periodo de investigación y desarrollo con eficiencias de conversión estimadas superiores al 24%. Se han identificado más de 400 variedades de plantas primitivas candidatas para

producir hidrógeno. En el caso de la fermentación el porcentaje puede ser entre un 10-30%.

3. Otra vía en desarrollo son los ciclos termoquímicos que consisten en una combinación de reacciones químicas a alta temperatura que producen la rotura de la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno. Las eficacias que se han alcanzado rondan el 40%. En cuanto a los procesos térmicos, los enlaces O-H de la molécula de H<sub>2</sub>O son muy energéticos. Los cálculos termodinámicos indican que los rendimientos son aceptables a temperaturas entre 2500 y 3000°C.



Esto se produce debido a que la constante de disociación es relativamente pequeña de manera que sólo se compensa a temperaturas elevadas. Los ciclos termoquímicos (TCWSCs) son reacciones muy endotérmicas que usan el calor de reacción de una fuente externa. En la actualidad se conocen del orden de 120 ciclos termoquímicos diferentes, siendo su orden de rendimiento del 40%. Ejemplos de TCWSC: ciclo de Rubber, Ciclo UT-3, Ciclo SynMet.

4. Otra alternativa sería la fotólisis, que consiste en utilizar la energía del sol como fuente primaria para disociar el agua directamente, bien mediante procesos puramente fotolíticos o mediante procesos fotoelectroquímicos. En este caso el material semiconductor de la célula absorbe la luz solar y utiliza su energía para disociar el agua electroquímicamente. Estudios preliminares de laboratorio han conseguido eficiencias en torno al 12%.

1. Asimismo se describen las tecnologías basadas en el ciclo de carbón: metanol/etanol. Esto es debido a la facilidad de los alcoholes primarios para descomponerse en presencia de agua y oxígeno generando corrientes gaseosas ricas en hidrógeno. Obtención de hidrógeno a partir de bioalcohol, fundamentalmente bioetanol y en menor medida glicerina, mediante el desarrollo de catalizadores sólidos en la reacción de reformado con vapor de agua.

6. Una opción altamente atractiva es el uso de bio-combustibles líquidos como fuente de H<sub>2</sub> en sistemas combinados de reformado + pila de combustible (p.ej. reformado a bordo del automóvil), lo que evitaría los problemas y costes asociados a la

distribución y almacenamiento del hidrógeno gaseoso. Entre los combustibles líquidos que pueden ser reformados en estos sistemas destacan los obtenidos a partir de fermentación y esterificación de biomasa, como bio-alcoholes (bio-etanol y bio-glicerina) y bio-diesel, así como los producidos a partir de la gasificación de biomasa, especialmente bio-metanol, cuya eficacia de transformación de biomasa en energía es muy superior a la del bio-etanol. Los bio-alcoholes (bio-etanol, bio-glicerina y bio-metanol) pueden descomponerse fácilmente en presencia de agua y oxígeno generando corrientes gaseosas ricas en hidrógeno (reformado).

Esta opción implica el desarrollo de catalizadores sólidos activos, selectivos y estables en la reacción de reformado con vapor de agua, así como en el acondicionamiento de la corriente de H<sub>2</sub> producida (eliminación de CO) para su uso final en la pila de combustible.

7. Por último, de acuerdo con lo propuesto en la última reunión del subgrupo, se incluye el aprovechamiento del hidrógeno como subproducto.

A continuación en la Figura 2 se describe un análisis común de las diferentes tecnologías, donde se enumeran sus fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades.

Análisis de los factores externos	Análisis de los factores internos
<b>Oportunidades</b>	<b>Fortalezas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia renovable</li> <li>• Fuente limpia</li> <li>• Neutro respecto al CO<sub>2</sub></li> <li>• Tecnología apoyada por las distintas administraciones (VIIPM, PROFIT, Plan Nacional,...).</li> <li>• Utilización de la biomasa (beneficios económicos, sociales, medioambientales).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendimientos aceptables en la mayoría de los procesos.</li> <li>• En procesos termoquímicos están fuera del ciclo del carbón.</li> <li>• La gasificación de la biomasa se presenta como un proceso competitivo.</li> <li>• El hidrógeno obtenido a partir de biomasa no es una tecnología "cara" comparada con el resto (por ejemplo electrólisis).</li> <li>• En la síntesis de biometanol se necesita menos biomasa.</li> </ul>
<b>Amenazas</b>	<b>Debilidades</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La biomasa depende de condicionantes externos (política</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesos termoquímicos muy corrosivos.</li> <li>• Coste de planta en procesos termoquímicos</li> </ul>

<p>agraria común, variabilidad, etc.).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El mercado asociado al desarrollo sostenible es, por ahora, promesa de futuro asociada al desarrollo de las energías renovables.</li> </ul>	<p>elevados.</p> <p>Determinados procesos (fotobiológicos) de difícil aplicación comercial.</p> <p>Determinados procesos (fotólisis) todavía son muy caros hasta conseguir materiales adecuados.</p> <p>Determinados procesos en estadios iniciales de desarrollo.</p> <p>Pocos grupos de investigación nacional y necesidad de mayor integración.</p>
---	--

Figura 2. Análisis DAFO de la producción de hidrógeno

### Propuesta de acciones futuras: general

En la figura 3 se presentan el grado de desarrollo esperado para los distintos procesos de producción de hidrógeno presentados.

	2010	2020
<b>Gasificación de la biomasa</b>	Desarrollos tecnológicos	Proyectos de demostración
<b>Ciclos termoquímicos</b>	Desarrollos tecnológicos	Proyectos de demostración
<b>Fotólisis</b>	Investigación básica	Desarrollos tecnológicos
<b>Procesos fotobiológicos</b>	Investigación básica	Desarrollos tecnológicos
<b>Aprovechamiento de H<sub>2</sub> como subproducto</b>	Investigación básica	Desarrollos tecnológicos

Figura 3: Propuesta de acciones futuras

La producción de hidrógeno a partir de energías renovables por vía distinta de la electrólisis se presenta en el caso español como una oportunidad muy atractiva, pero que necesita todavía de un mayor grado de desarrollo. Destacar, que la representación española del Ministerio de educación y Ciencia en el proyecto europeo HY-CO ERA NET apoyo como punto prioritario para España la producción de hidrógeno a partir de energías renovables (y entre ellas otras vías diferentes a la electrolisis se tendrán en cuenta).

Ejemplo de actuaciones.

- Obtención de hidrógeno a partir de bioalcohol, fundamentalmente bioetanol y en menor medida glicerina, mediante el desarrollo de catalizadores sólidos en la reacción de reformado con vapor de agua (CIDAUT, Universidad de Valladolid).
- Desplazamiento de la reacción de agua (URJC).

- Descomposición fotoelectroquímica del agua (UAM).
- Valorización de hidrógeno generado como subproducto en procesos electroquímicos (UCLM).
- Conversión de bioetanol a hidrógeno mediante reactor de plasma de baja temperatura (Inabensa).
- Reformado catalítico de bioetanol (URJC, Greencell, ICP-CSIC).
- Producción de hidrógeno mediante reformado catalítico de líquidos de pirólisis de biomasa (Universidad de Zaragoza).
- Obtención de H<sub>2</sub> por reformado catalítico de bio-metanol (Instituto Nacional del Carbón - CSIC).
- Producción de H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> a partir de diferentes tipos de residuos (Universidad de León).

Método de producción	Eficiencia energética	Ventajas	Inconvenientes
Gasificación Biomasa	40 - 50%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renovable.</li> <li>- No es dependiente de los combustibles fósiles.</li> <li>- Neutro respecto a la producción de CO<sub>2</sub>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendimiento a H<sub>2</sub> dependiente del tipo de biomasa.</li> <li>- Limitaciones: tipo de biomasa, disponibilidad, localización y transporte, tamaño del proceso...etc.</li> </ul>
Pirólisis Biomasa	55%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renovable.</li> <li>- No es dependiente de los combustibles fósiles.</li> <li>- Neutro respecto a la producción de CO<sub>2</sub>.</li> <li>- Fácil transporte y distribución.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitaciones: tipo de biomasa, disponibilidad, localización y transporte, tamaño del proceso...etc.</li> </ul>
Ciclos termoquímicos	40 - 50%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renovable</li> <li>- Libre de emisiones contaminantes.</li> <li>- No es dependiente de los combustibles fósiles.</li> <li>- Útil para la producción centralizada de H<sub>2</sub> a gran escala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesos muy corrosivos.</li> <li>- Problemas en la separación del H<sub>2</sub>.</li> <li>- Elevados costes de inversión.</li> <li>- Problemas de seguridad asociados a aquellos ciclos que utilizan energía nuclear.</li> </ul>
Descomposición fotobiológica del agua	24%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renovable.</li> <li>- No es dependiente de los combustibles fósiles.</li> <li>- CO<sub>2</sub> puede ser usado como fuente de carbono.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja eficiencia.</li> <li>- Capacidad de producción dependiente de la luz.</li> <li>- Costo elevado de los bio-reactores.</li> </ul>
Descomposición fotoquímica del agua	10 - 15%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renovable.</li> <li>- Libre de emisiones contaminantes.</li> <li>- No es dependiente de los combustibles fósiles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proceso complicado.</li> <li>- Alto costo de los catalizadores utilizados.</li> <li>- Baja eficiencia.</li> </ul>

Figura 4: ventajas e inconvenientes de las diferentes formas de producción

## **Acciones transversales en curso**

En este punto hay que reseñar el importante rol que debe jugar la Plataforma Española de Hidrógeno y Pilas de Combustible de cara a aunar esfuerzos en la consecución de objetivos.

Por su parte, queremos destacar la iniciativa llevada a cabo por las OTRIs de la Universidad Rey Juan Carlos, del CIEMAT, OTT-CSIC y del INTA que han recibido apoyo para la realización de un Plan de Actuación Coordinado en Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible. El objetivo final del plan es incrementar la competitividad de la industria española en este sector de la tecnología y para ello apoya cualquier iniciativa para el lanzamiento de proyectos de cooperación entre empresas, centros tecnológicos y universidades y organismos públicos de investigación. En este sentido, el PAC H2 se ha presentado a la creación de una red temática al Programa CYTED de cooperación con Iberoamérica, que se considera como ejemplo de buena práctica de las acciones transversales a realizar de cara a incrementar la competitividad de la industria española en este sector, así como el desarrollo tecnológico. En el mismo sentido, se deberían ejercer este tipo de acciones a nivel europeo.

Otras acciones son la participación en las redes estratégicas en estos ámbitos tecnológicos, ya sea a nivel local, nacional o internacional. Del mismo modo es importante la participación en proyectos estratégicos del tipo CENIT.

## Estimación de costes de las acciones propuestas

De acuerdo con la agenda estratégica europea del hidrógeno, el % del presupuesto asignado a financiar la producción de hidrógeno lo sitúa en un 22%, según se aprecia en la figura 5.

Research Area	Budget share in %	Main consideration for
Hydrogen production	22	Prerequisite for technological development of the whole sector. Increase of CO <sub>2</sub> -free production is needed including capture CO <sub>2</sub> and sequestration.
Hydrogen storage & distribution	18	Storage density is crucial for effective storage particularly in transport and for portables.
Stationary applications	20	Important for CO <sub>2</sub> reduction via cogeneration. Provides chance for early markets
Transport applications	27	Technologically crucial for environmentally friendly transport solutions. It has become the driving force of fuel cell development
Portable applications	10	Important for early markets. Fit ever increasing markets needs to fuel gadgets and small transport applications.
Socio-economics	3	Long-term guidance of technological development
Total hydrogen & fuel cells	100%	

Figura 5: Presupuesto de las áreas de investigación. Fuente: Strategic Research Agenda

Por otra parte, todos los estudios vaticinan que tanto la energía como la producción de hidrógeno en un futuro a corto y medio plazo se corresponderán a un “puzzle” de diferentes métodos de producción. En este pastel tendrá cabida la energía nuclear, los combustibles fósiles, la producción de hidrógeno por electrolisis a partir de energías renovables y, también, la producción de hidrógeno a partir de energías renovables por vía distinta de la electrólisis.

Del mismo modo, dentro de la producción de hidrógeno a partir de energías renovables por vía distinta de la electrólisis, en menor o mayor medida intervendrán a nivel industrial la mayoría de los procesos descritos, aunque para algunos de ellos el plazo para conseguir valores de eficiencia será mayor.

## Líneas de actuación

A continuación, en la figura 6, se enumeran las diferentes líneas de acción propuestas por el grupo, categorizadas por tipo de acción propuesta (investigación, desarrollo de tecnología, desarrollo de infraestructuras y acciones transversales), tanto a corto como a medio plazo y priorizadas según su importancia.

**SUBGRUPO DE PRODUCCIÓN DE H2 A PARTIR DE EE.RR. POR VÍA DISTINTA A LA ELECTROLISIS**

Acción	Subgrupo de trabajo proponente	Tipo	Plazo	Prioridad	Coste (€)	Notas aclaratorias
<b>Acción 1.</b> Identificación, preparación y estudio de materiales con propiedades físicas adecuadas para la absorción de radiación solar y posterior transferencia de la energía a la reacción de descomposición del agua (semiconductores, catalizadores, colorantes, óxidos metálicos...)	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Investigación básica	Corto Plazo (2010)	Primaria	Acción 1. 1.500.000	<b>Acción 1.</b> La utilización masiva de hidrógeno en aplicaciones energéticas exige una producción a gran escala del mismo por métodos baratos y medioambientalmente sostenibles. El que aquí se propone (utilizar energía solar para descomponer el agua mediante reacciones fotoelectroquímicas y fotocatalíticas) requiere el desarrollo de materiales que catalicen esta reacción. Asimismo, La previsible introducción en masa a largo plazo de automóviles dotados de sistemas de producción catalítica de hidrógeno a partir de bio-metanol obliga al desarrollo de catalizadores baratos, tanto en términos de composición, evitando el uso de metales como platino, oro, etc., como en lo concerniente a los métodos industriales de preparación, que han de procurar superficies activas elevadas (aspecto relacionado con la no utilización de metales nobles) a partir de precursores asequibles mediante el uso de técnicas sencillas.
<b>Acción 2.</b> Desarrollo de catalizadores para la producción (reformado de biometanol) y purificación (oxidación selectiva de CO) de hidrógeno. <b>Acción 2.1.</b> Empleo de métodos nanotecnológicos basados en técnicas de moldeo para la obtención de catalizadores activos y baratos con énfasis en: a. La fabricación de catalizadores basados en metales no nobles b. El uso de precursores baratos c. La posibilidad de obtener superficies activas por encima de 100 m2/g. <b>Acción 2.2.</b> Uso de técnicas de multi-caracterización de catalizadores (p.ej. reactores multicanal de análisis de actividad catalítica) para la obtención de catalizadores estables atendiendo a su composición química (fases activas y sustancias dopantes). <b>Acción 3.</b> Ciclos Termoquímicos de descomposición de agua en reactor solar de alta temperatura <b>Acción 4.</b> Descarbonización de metano en reactor solar de alta temperatura	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Investigación básica	Corto Plazo (2010)	Primaria	Acción 2.1. 1.000.000 Acción 2.2. 1.000.000 Acción 3. 700.000 Acción 4. 500.000 Acción 5. 5.000.000 Acción 6. 300.000 Acción 7. 600.000	<b>Acción 2.</b> Uno de los grandes problemas asociados al uso de catalizadores basados en mezclas de óxidos de cobre, cinc, manganeso, etc., típicos en los procesos de síntesis y reformado de metanol, así como en los procesos de purificación de hidrógeno (oxidación de CO) es su baja estabilidad catalítica (durabilidad). Con esta acción se pretende estudiar distintas mezclas de óxidos y sustancias dopantes (p.ej. óxidos alcalinos) por medio de técnicas de multi-caracterización (reactores multicanal). <b>Acción 3.</b> Esta actividad se basaría en la Acción 4 y haría uso en parte de los equipamientos desarrollados. <b>Acción 4.</b> En España existe una industria propia bien asentada de equipamiento para la captación, seguimiento y control de energía solar a alta temperatura. Es una actividad de alto valor añadido que implica a diversos sectores con un gran potencial de crecimiento. Implicarían además una estrecha colaboración entre la industria y los centros de investigación.
<b>Acción 5.</b> Nuevos procesos de gasificación (agua supercrítica; lecho fluido con CaO; etc.) de biomasa húmeda <b>Acción 6.</b> Obtención de hidrogeno a partir de bioetanol y glicerina <b>Acción 7.</b> Desarrollo membranas para un reactor de membrana densa de paladio para realizar la reacción de producción de hidrógeno simultáneamente con su separación.						<b>Acción 5.</b> Todavía se requiere mucha investigación en esos tipos de procesos prometedores. Pero los primeros resultados demuestran que hay mucho potencial de crear un gas rico en H2 en 1 solo paso de conversión e incluso separar el CO2 en un paso de conversión. <b>Acción 7</b> problema asociado a la producción de hidrógeno mediante reformado con vapor de diferentes materias primas con carbono es la
<b>Acción 1.</b> Combinación y efectos sinérgicos entre producción de biogas y gasificadoras de biomasa húmeda <b>Acción 2.</b> Procesos fotobiológicos y fotoólisis	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Investigación básica	Corto Plazo (2010)	Secundaria	Acción1. 800.000 Acción 2. 600.000	Estudio de microorganismos y condiciones
<b>Acción 1.</b> Definición del proceso industrial de fabricación de distintos materiales y estructuras.	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Investigación básica	Corto Plazo (2010)	Terciaria	800.000	
<b>Acción 1.</b> Desarrollo de plantas prototipo nuevos procesos de gasificación <b>Acción 2.</b> Producción de hidrógeno a partir de agua mediante procesos solar-térmicos basados en ciclos termoquímicos <b>Acción 3.</b> Desarrollo de un sistema integral de producción de hidrógeno a partir del reformado de etanol. Diseño de reactores, catalizadores y sistemas de purificación.	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Investigación básica	Medio-Largo Plazo (2020)	Primaria	Acción 1. 2.000.000 Acción 2. 500.000	<b>Acción 3.</b> Planta piloto. La finalidad sería diseñar pequeñas unidades de fabricación de H2 a partir de etanol que podrían estar integradas dentro de las futuras hidrogeneras.
<b>Acción 1.</b> Producción de hidrógeno a partir del agua por foto-descomposición.	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Investigación básica	Medio-Largo Plazo (2020)	Secundaria	Acción 3. 2.000.000	
<b>Acción 1.</b> Descarbonización catalítica de Metano	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Investigación básica	Medio-Largo Plazo (2020)	Terciaria	Acción 1. 200.000	

<p><b>Acción 1.</b> Reactor prototipo gasificación biomasa 4-8 MW, producción de gas de síntesis bajo en alquitranes y polvos</p> <p><b>Acción 2.</b> Preparación de distintas estructuras con los materiales estudiados (películas delgadas, multicapas, compuestos nanoestructurados...) para optimizar la eficiencia de la reacción y elaboración de prototipos de laboratorio.</p> <p><b>Acción 3.</b> Reactor prototipo para reacción de agua del gas de síntesis, 2 pasos (400°C y 200°C)</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Tecnología	Corto Plazo (2010)	Primaria	Acción 1. 5.000.000 Acción 2. 1.000.000 Acción 3. 1.000.000	Acción 1. La producción de un gas de síntesis bajo en alquitranes y polvos todavía representa el cuello de botella de la producción de H2 a partir de biomasa
<p><b>Acción 1.</b> Fermentación oscura</p> <p><b>Acción 2.</b> Pirólisis de biomasa</p> <p><b>Acción 3.</b> Identificación de materiales para otras aplicaciones energéticas.</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Tecnología	Corto Plazo (2010)	Secundaria	Acción 1. 700.000 Acción 2. 800.000 Acción 3. 700.000	Puesta a punto a escala piloto
<p><b>Acción 1.</b> Reactor prototipo adsorción de cambio a presión (separación CO2-H2) (PSA)</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Tecnología	Corto Plazo (2010)	Terciaria	Acción 1. 2.000.000	
<p><b>Acción 1.</b> Desarrollo de catalizadores para la producción (reformado de biometano) y purificación (oxidación selectiva de CO) de hidrógeno.</p> <p><b>Acción 2.</b> Conformación de estructuras (monolitos, microreactores catalíticos, etc.) que permitan usar los catalizadores desarrollados en sistemas de conversión de metanol en hidrógeno a bordo del automóvil.</p> <p><b>Acción 3.</b> Prototipo planta de reformado de vapor de biomasa (4-8MW) +reacción de agua+ PSA</p> <p><b>Acción 4.</b> Diseño, desarrollo y fabricación de un dispositivo comercial basado en las estructuras propuestas para la fotodescomposición del agua.</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Tecnología	Medio-Largo Plazo (2020)	Primaria	Acción 1. 1.000.000 Acción 2. 500.000 Acción 3. 1.000.000 Acción 4. 2.500.000	El empleo en condiciones reales de los catalizadores anteriormente desarrollados, que han sido obtenidos en forma de aglomerados de nanopartículas o estructuras porosas, requiere su conformación en estructuras que puedan ser fácilmente incorporadas al sistema de producción de hidrógeno a bordo del automóvil.
<p><b>Acción 1.</b> Mejora de la planta, parámetros óptimos, aumento de potencia a als menos 40 MW de hidrógeno</p> <p><b>Acción 2.</b> Desarrollo planta comercial reformado de biomasa a presión 20 hasta 50 bares (400 MW hasta 500 MW H2)</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Tecnología	Medio-Largo Plazo (2020)	Secundaria	Acción 1. 5.000.000 Acción 2. 3.000.000	
<p><b>Acción 1.</b> Procesos fotobiológicos</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Tecnología	Medio-Largo Plazo (2020)	Terciaria	Acción 1. 900000	Puesta a punto a escala piloto
<p><b>Acción 1.</b> Construcción de los reactores y planta de proceso reformado</p> <p><b>Acción 2.</b> Colaboración entre gasistas, proveedores de gas, fundaciones agrarias para preparación de producción de H2</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Infraestructuras	Corto Plazo (2010)	Primaria	Acción 1. 5.000.000 Acción 2. 3.000.000	Para suministrar el H2 a escala pequeña en microrredes habrá que formar colaboraciones entre los grupos involucrados para fomentar y promover el suministro de hidrógeno
<p><b>Acción 1.</b> Construcción de los reactores termquímicos</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Infraestructuras	Corto Plazo (2010)	Secundaria	Acción 1. 3.000.000	
<p><b>Acción 1.</b> Desarrollo plantas limpieza del gas y separación del H2</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Infraestructuras	Corto Plazo (2010)	Terciaria	Acción 1. 500.000	
<p><b>Acción 1.</b> Construcción de primeras microrredes de Hidrógeno con tubería + hidrogeneras</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Infraestructuras	Medio-Largo Plazo (2020)	Primaria	Acción 1. 10.000.000	Las microrredes juegan un papel decisivo para facilitar el suministro de H2 a un precio competitivo ocupar por completo posible a las primeras hidrogeneras
<p><b>Acción 1.</b> Fermentación oscura</p> <p><b>Acción 2.</b> Pirólisis de biomasa</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Infraestructuras	Medio-Largo Plazo (2020)	Secundaria	Acción 1. 5.000.000 Acción 2. 4.000.000	
<p><b>Acción 1.</b> Aumento de las microrredes existentes y conexión de los microrredes entre si</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Desarrollo de Infraestructuras	Medio-Largo Plazo (2020)	Terciaria	Acción 1. 3.000.000	
<p><b>Acción 1.</b> Creación de una red nacional para fomentar la creación de proyectos de cooperación entre empresas y centros tecnológicos y Universidades</p> <p><b>Acción 2.</b> Creación de una red transeuropea para la generación de proyectos</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Transversales	Corto Plazo (2010)	Primaria	Acción 1. 2.000.000 Acción 2. 1.000.000	La acción 1 y la 2 deberían estar apoyadas y ser una continuación de la otra
<p><b>Acción 1.</b> Normativa específica</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Transversales	Corto Plazo (2010)	Secundaria	Acción 1. 500.000	
<p><b>Acción 1.</b> Formación del público, transferencia de información, introducción de carreras (ingeniería de tecnologías de Hidrógeno, etc.)</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Transversales	Corto Plazo (2010)	Terciaria	Acción 1. 300.000	
<p><b>Acción 1.</b> Formación de asociaciones entre productores de biomasa + productores de H2 y transportistas /consumidores</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Transversales	Medio-Largo Plazo (2020)	Primaria	Acción 1. 5.00.000	Para suministrar el H2 a escala pequeña en microrredes habrá que formar colaboraciones entre los grupos involucrados para fomentar y promover el suministro de hidrógeno
<p><b>Acción 1.</b> Formación de agronomos, fundación de asociaciones de productores de biomasa para H2</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Transversales	Medio-Largo Plazo (2020)	Secundaria	Acción 1. 500.000	
<p><b>Acción 1.</b> Transferencia de información al público</p>	H2 a partir de EE.RR distinta de electrólisis	Transversales	Medio-Largo Plazo (2020)	Terciaria	Acción 1. 300.000	

Figura 6. Líneas de actuación propuestas para producción de H2 a partir de EE.RR. por vía distinta de la electrolisis.

Fuente: propia.