CENTRO NACIONAL DEL HIDRÓGENO

PLAN DIRECTOR DE I+D

(2011-2014)

Castilla-La Mancha

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

(CNH2)

C/Fernando el Santo s/n

13500 - Puertollano (Ciudad Real) (ESPAÑA)

Tlf: +34 926 420 682

Fax: +34 926 670 507

http://www.cnethpc.es

info@cnethpc.es

© Centro Nacional de Experimentación en Tecnologías del Hidrógeno y Pilas de Combustible (CNH2). Prohibida su reproducción total o parcial.

PRÓLOGO

Las razones de la economía energética del hidrógeno y las pilas de combustible nunca han sido tan convincentes: las fluctuaciones en los precios del petróleo, la preocupación por el calentamiento global, el progresivo crecimiento de la demanda de energía y el inevitable agotamiento de los recursos energéticos fósiles han evidenciado la inmensidad y urgencia del desafío de la energía global.

Para facilitar al sector productivo español una aproximación a la economía del hidrógeno con un cierto liderazgo acorde e incluso que llegue a superar al conseguido hasta el momento con las energías renovables, se ha concebido la instalación "Centro Nacional de Experimentación en Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de combustible (CNH2)". Esta Instalación Científico Técnica Singular (ICTS) orientada a impulsar la introducción del hidrógeno como portador y almacén energético se apoya plenamente en las energías renovables como recurso energético autóctono de urgente implantación para mejorar el desequilibrio que la importación de recursos energéticos produce en la balanza de pagos. No obstante, incorpora tecnologías relacionadas con los combustibles fósiles para facilitar la transición entre el sistema económico energético actual y el que puede presentarse en el futuro.

La Instalación pretende servir como taller y laboratorio de encuentro entre el sector productivo demandante de tecnologías explotables, el sector científico suministrador de nuevos conocimientos y el tecnológico desarrollador de tecnología. Busca las cotas más altas de calidad científico-tecnológica al mismo tiempo que ofrece las máximas garantías de confidencialidad. El ámbito científico-técnico cubierto facilita la evolución previsible en los años venideros disponiendo de una instalación flexible y evolutiva que permita la incorporación progresiva de todos los desarrollos posibles generados por la comunidad científica, en dimensiones variadas, al mismo tiempo que se cubre la posibilidad de facilitar el desarrollo de esta misma tecnología dando acceso a los investigadores que deseen ampliar la escala de sus avances.

El equipo humano que investigue y opere esta instalación jugará un papel absolutamente necesario de colaboración tanto con empresas como con grupos de investigación existentes en el sector, con una componente científico-técnica importante, en áreas multidisciplinares que conectan todos los campos del conocimiento relacionadas con el hidrógeno y las pilas de combustible. La Instalación estará completamente dedicada a la experimentación de tecnologías planteadas desde los distintos grupos que tengan acceso dentro de los procedimientos establecidos, o en actuaciones estratégicas de adecuación para aplicaciones futuras.

El CNH2 se concibe para albergar todo el ámbito de la aplicación del hidrógeno que debe cubrirse con unos campos de especialización que soporten el espacio existente entre el conocimiento y la aplicación tecnológica. La Instalación estará adecuadamente dotada con instalaciones científicas y tecnológicas que permiten diseñar, desarrollar, verificar, certificar, homologar, ensayar, medir y lo que es más importante, la instalación debe procurar un funcionamiento continuado durante 24 horas al día, los 365 días del año. Al mismo tiempo, va a ser evolutiva de tal manera que se permita la continua adecuación de las nuevas tecnologías que se vayan desarrollando e incorporándolas al conjunto para verificar su integración al mismo tiempo que se comprueba la validez de su desarrollo.

En definitiva la Instalación busca servir, además de todo lo anterior, como un sistema complementario a la investigación básica, como un lugar de apoyo tecnológico que permita la verificación de los desarrollos y su homologación en el conjunto del sistema productivo y, finalmente, debe servir como un demostrador conjunto que facilite la evolución simultánea de la tecnología de producción, almacenamiento y distribución del hidrógeno con la de las pilas de combustible.

Para el desarrollo del presente Plan Director de I+D se han examinado en profundidad las recomendaciones estratégicas planteadas por la Plataforma Tecnológica Española de Hidrógeno y Pilas de Combustible (PTEHPC) y se han considerado las iniciativas emprendidas por el mundo del conocimiento y por el sistema productivo. Se han mantenido contactos con numerosos grupos de investigación de los organismos públicos de investigación y se han celebrado varias reuniones de debate entre investigadores sobre los distintos temas de este Plan Director de I+D todo ello conducente a perfilar las principales líneas de actuación que el CNH2 tiene que ir abordando para en sus primeros años de existencia para ir contando con el acceso de los investigadores. Estas actuaciones se continuarán durante el próximo año estrechando los contactos con grupos universitarios, centros tecnológicos y empresas. Se hará necesario un posicionamiento especial en aquellas líneas en las que se precise un proceso de acercamiento a los sistemas de utilización en áreas concretas que puedan facilitar una más rápida introducción en el mercado.

Se abordarán todas aquellas líneas de actuación que supongan el apoyo a los grupos de investigación nacionales que orienten sus trabajos hacia los temas considerados de interés estratégico. Igualmente se emprenderán iniciativas que supongan el enriquecimiento tecnológico del sistema productivo nacional y fomenten la implantación de tecnologías de desarrollo nacional. Finalmente se incluirán todas las actuaciones que persigan la cobertura de espacios científico-tecnológicos de interés estratégico que sin estar cubiertos por grupos nacionales se consideran de importancia relevante para el sector productivo nacional.

No se debe concebir este Plan Director de I+D como un documento rígido que marque los proyectos que desde el sector nacional se deban llevar a cabo, sino como una guía que pretende servir como referencia para una estrategia coordinada a nivel nacional entre el CNH2 y el entorno interesado en acceder a la Instalación para aprovechar las oportunidades que la transición a un sistema energético basado en el hidrógeno y pilas de combustible puede traer a nuestra sociedad.

ÍNDICE

PRÓLOGO **3**

ÍNDICE **5**

1. INTRODUCCIÓN **6**

2. ESTRUCTURA Y DESARROLLO **8**

3. ANTECEDENTES, CONSIDERACIONES Y LANZAMIENTO. **12**

4. RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS **16**

5. LÍNEAS DE ACTUACIÓN DE I+D **18**

5.1. NORMATIVA Y SEGURIDAD 20
5.2. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO 21
5.2.1 Hidrógeno por electrolisis a partir de las energías renovables. *21*
5.2.2 Hidrógeno a partir de electrólisis a alta temperatura y por métodos termoquímicos. *23*
5.2.3 Hidrógeno producido por procesos fotolíticos a partir de las energías renovables. *24*
5.2.4 Hidrógeno generado en procesos químicos de tratamiento de biomasa a través del metano o de portadores de hidrógeno. *25*
5.2.5 Hidrogeno generado a partir de la tecnología de combustibles fósiles *27*
5.3. ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO 29
5.3.1 Hidrógeno líquido y gaseoso *29*
5.3.2 Hidruros metálicos *30*
5.3.3 Hidruros químicos. *31*
5.3.4 Materiales Porosos *32*
5.4. TRANSFORMACIÓN 34
5.4.1 Pilas de Combustible de Óxidos Sólidos (SOFC) *35*
5.4.2 Pilas de Combustible Poliméricas *36*
5.4.2.1 Pilas Poliméricas alimentadas con combustibles gaseosos (PEMFC) *36*
5.4.2.2 Pilas de Combustible alimentadas con combustibles líquidos (DMFC, DEFC, FAFC) *37*
5.4.3 Utilización de hidrógeno en sistemas de combustión. *38*
5.5. INTEGRACIÓN DE SISTEMAS 40
5.5.1 Integración a sistemas estacionarios *41*
5.5.2 Integración en Sistemas de Transporte *42*
5.6. IMPLANTACIÓN TECNOLÓGICA 44

6. CONCLUSIONES **45**

7. REFERENCIAS **46**

1. INTRODUCCIÓN

El **Centro Nacional del Hidrógeno (CNH2),** es una instalación de nueva creación dedicada en exclusividad a la investigación y desarrollo de las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible en España. El Centro se ha creado como un Consorcio entre el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, enmarcado dentro del Mapa de Instalaciones Científicas y Técnicas Singulares (ICTS) del Gobierno Español. El Consorcio fue constituido el 19 de diciembre de 2007 y tiene establecida su sede en Puertollano (Ciudad Real). El CNH2 está al servicio de toda la comunidad científica y tecnológica nacional y abierto a la colaboración internacional e inserto de pleno en las iniciativas de coordinación y colaboración nacionales y europeas en este campo.

En este documento se recogen los objetivos y líneas directrices de actuación del Plan Director de Investigación y Desarrollo del CNH2 (PDID) que tendrá vigencia hasta el año 2014, sin perjuicio de las modificaciones que puedan introducirse en él a partir de la evaluación que se realice al finalizar 2011 o de las revisiones periódicas que puedan llevarse a cabo en años sucesivos.

La actividad del CNH2 se establecerá en continua relación con las organizaciones externas, tanto nacionales como internacionales y recibirá la influencia de las recomendaciones que surjan en la Unión Europea, en el Plan Nacional de I+D+i y en el conjunto de las Comunidades Autónomas. De todo este conjunto de orientaciones el CNH2 elaborará periódicamente su Plan Director de I+D de forma que su planificación se adapte en todo momento a sus objetivos fundacionales y a la demanda tecnológica, social y económica del entorno. Se tendrán en cuenta además para las subsiguientes revisiones y actualizaciones los resultados anuales obtenidos sobre los objetivos propuestos.

La futura economía del hidrógeno se basará en el sistema distribuido de generación energética aprovechando las diferentes tecnologías de energías renovables en aquellos países que no se hayan desarrollado en una base de generación centralizada. Este nuevo régimen energético igualmente se implantará en los países que ya disponen de grandes redes de transporte y distribución de energía, que recurrirán en algunos casos a las futuras generaciones de energía nuclear pero que igualmente requerirán un sistema adecuado de almacenamiento energético que facilite la adecuación de la curva de generación a la curva de demanda.

La transformación de la gestión energética se producirá desde la situación presente, con un consumo de un 80% de recursos energéticos fósiles, hasta un futuro energético en el que se verá la progresiva desaparición de los combustibles fósiles por la disminución de sus reservas, su orientación a fines químicos, la progresiva elevación de sus precios y la continuada preocupación por los efectos de las emisiones de gases de efecto invernadero sobre el cambio climático.

Se irá produciendo una progresiva integración del hidrógeno en el sistema energético. Esta incorporación debe producirse por una evolución acompasada de la producción de hidrógeno, su almacenamiento y distribución y su consumo en sistemas de transformación energética. Esta evolución tiene que producirse en un entorno en el que la investigación conduzca a desarrollos tecnológicos que supongan una continuada reducción de los costes de la tecnología al mismo tiempo que se produzca un aumento de su utilización. Esta evolución tiene que producirse de forma coordinada y provocando al mismo tiempo una generación de

nuevas oportunidades industriales y de negocio que redunde en una orientación económica hacia el futuro.

En el presente nos encontramos en la fase de génesis de la evolución donde una fracción muy limitada de la sociedad ha empezado a percibir las oportunidades que ofrece el hidrógeno.

La investigación y el desarrollo en estos momentos hay que orientarla a facilitar la incorporación simultánea de todas las facetas del sistema hidrógeno desde su generación hasta su utilización pasando por su almacenamiento y su integración en el sistema energético en sus diferentes componentes.

Pero esta investigación no sólo debe orientarse a los cuatro sectores tecnológicos del hidrógeno sino que debe cubrir facetas importantes del mundo del conocimiento y de las tecnologías auxiliares que proporcionen el adecuado soporte a la evolución de estos sectores tecnológicos. Hay que considerar, por tanto, no solo el conocimiento en torno al hidrógeno, sino también todas las tecnologías relacionadas en su uso que pueden generar tanta o más riqueza que las propias tecnologías del hidrógeno en particular.

El hidrógeno está íntimamente relacionado con la ***electroquímica*** tanto en su fase de generación como posteriormente en su fase de transformación nuevamente en energía. Todos los aspectos de investigación en fenómenos electroquímicos relacionados con la producción del hidrógeno, así como con la posterior transformación de este hidrógeno nuevamente en energía lo mismo que todos los fenómenos relacionados con la hidruración de algunos metales aleados como tecnologías de almacenamiento del hidrógeno o como procesos de alteración de los materiales deben ser objetos de investigación.

Diversos son los tipos de electrolizadores, de pilas de combustible y de sistemas de transformación química empleados en la producción, purificación, almacenamiento y utilización del hidrógeno. Todos los materiales empleados deben ser investigados para conseguir reducir los costes de las tecnologías, garantizar su comportamiento a largo plazo y bajo demandas y solicitudes diversas como exige el uso del hidrógeno con fines energéticos. Por tanto el estudio del ***comportamiento de los materiales*** es otra disciplina complementaria a la propia instalación.

En todos los casos se está tratando con tecnologías que requieren distribución de distintos gases, combustible, comburentes, productos de reacción, sistemas de refrigeración, entre celdas separadas y dentro de las celdas para conseguir una distribución regular dentro de cada una de las celdas. El manejo de gases a distintas presiones y temperaturas. Todo conduce a la necesidad de disponer de capacidad para hacer una investigación importante en temas de ***transporte de fluidos, transmisión de calor y transferencia de materia***, no solo a nivel de diseño macroestructural sino también a nivel de diseño microestructural.

Las propias exigencias de los procesos de electrolisis y de producción de electricidad en las pilas de combustible, su acoplamiento a sistemas de generación eléctrica alternante y el propio consumo energético aleatorio exigen sistemas inteligentes que garanticen al máximo la adecuada vida de los sistemas por lo que todos los desarrollos deberían estar acompañados de los correspondientes sistemas de ***automática y control***.

Finalmente es igualmente importante llevar la investigación y el desarrollo hasta los mismos ***procesos productivos***, transformado los procesos de laboratorio en instalaciones piloto de procesos industriales y escalando el tamaño de los elementos, sistemas y componentes para aumentar las dimensiones de los equipos que se vayan desarrollando y con ello aumentar la capacidad de producción y la eficiencia de los procesos.

2. ESTRUCTURA Y DESARROLLO

Este Plan Director de I+D (PDID) se estructura de acuerdo con la organización que va a regir el funcionamiento del Centro y su implantación va a seguir dos ámbitos diferentes de priorización:

- Participación en investigaciones en marcha de distintos grupos de investigación y empresas en los que el personal del CNH2 puede participar, estableciendo lazos de colaboración e intercambio. De las líneas establecidas en el PDID se dará prioridad a aquellas en las que exista iniciativa nacional a escala empresarial o científica.

- Ejecución de proyectos en cooperación para el desarrollo, construcción, montaje y operación de algunos sistemas o componentes que puedan formar parte de la instalación básica del centro o de algunos elementos de experimentación que se integren en la instalación.

El desarrollo ejecutivo de las líneas contenidas en el PDID tiene por objeto la realización de proyectos clave que impulsen y sirva de efecto tractor a la tecnología nacional del sector del hidrógeno y pilas de combustible conjugando las actuaciones de los grupos de investigación, desarrollo e innovación tecnológica, con el principal propósito que los sectores industriales implicados se beneficien del resultado obtenido por los grupos de I+D.

Para ello, al tiempo que promueva la realización de proyectos clave, el CNH2 asumirá la ejecución de las actividades no cubiertas en la actualidad por el sistema ciencia-tecnología-empresa. Las instalaciones del CNH2 pondrán a disposición de la comunidad científica y empresarial del sector una infraestructura de experimentación que integre todos los subsistemas de la cadena de hidrógeno en producción, almacenamiento, distribución y utilización. Con un enfoque fundamental dirigido a las aplicaciones de las pilas de combustible. Cada uno de los subsistemas que compongan la instalación se constituirán en sí mismos como unidades de I+D donde se experimentarán distintas alternativas tecnológicas.

La instalación contará con equipamiento complementario para abordar de forma integral los temas de investigación científica y técnica que requieran la consolidación de los avances que se pretendan. Esta dotación estará compuesta por equipamiento e instrumentación específica para poder completar con excelencia los resultados pretendidos.

El PDID del CNH2 se desarrolla según una estructura matricial que albergue tanto a los sectores que integran la instalación y que atienden a las distintas fases del ciclo del hidrógeno y las áreas temáticas de apoyo a esto sectores utilizadas como servicios a la investigación y el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible.

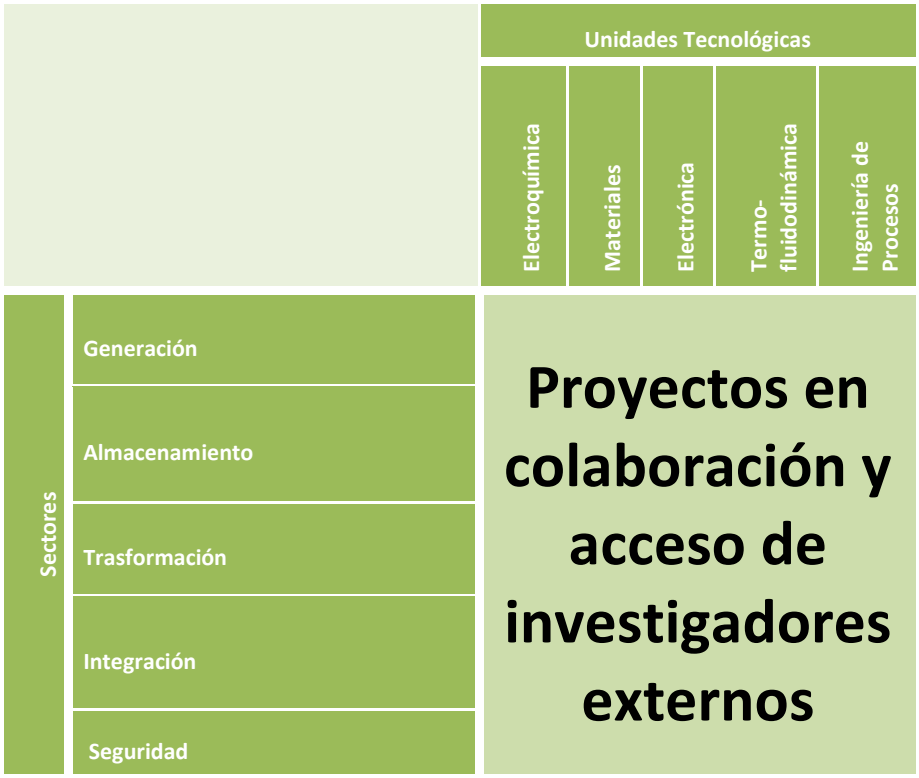

Ilustración 1. Estructura matricial de desarrollo de proyectos.

Como aspectos horizontales del Plan Director se deben cubrir áreas temáticas como las siguientes:

a) TERMOFLUIDODINÁMICA: Tendrá como objetivo principal el apoyo a la investigación y estudio de las características térmicas, fluidodinámicas y estructurales de las pilas de combustible, electrolizadores y todos aquellos equipos y componentes involucrados en la generación, transformación y almacenamiento de hidrógeno.

En ella se llevarán a cabo distintos estudios,

- Procesos termofluidomecánicos: Cálculo, medida y diseño de procesos térmicos para los distintos modos de funcionamiento de equipos de producción y transformación de hidrógeno, refrigeración y ventilación de pilas, generación de vapor a partir de sistemas de cogeneración en pilas de alta temperatura, sistema de intercambio de calor residual, humidificación de membranas de pilas de combustible, electrolizadores y turbomáquinas. Estudio de redes de tuberías de transporte de hidrógeno, estudio de sistemas auxiliares de transporte de fluidos como compresores, bombas, soplantes, válvulas y accesorios. Estudio y optimización de canales en placas bipolares.

- Técnicas avanzadas de diagnóstico en termofluidodinámica: Sistemas de medición y control de presión, temperatura, caudal, velocidad y pérdidas de carga.

- Desarrollo e integración de modelos fluidodinámicos y térmicos a partir de simuladores comerciales o códigos propios de simulación, necesaria para el diseño y optimización. Los resultados teóricos obtenidos en los modelos se compararan con los

experimentales de los prototipos, produciendo la validación de los modelos y una posterior optimización de las series a ensayar a las escalas adecuadas.

b) ELECTROQUÍMICA: Para facilitar la investigación, experimentación y desarrollo de los distintos componentes que forman el electrolizador y la pila de combustible, así como llevar a cabo las tareas de caracterización, ensayo, modelado y validación de los procesos electroquímicos involucrados en las distintas fases del ciclo del hidrógeno, generación, almacenamiento y transformación de energía.

Se procurará contar con todo el equipamiento necesario para llevar a cabo el estudio electroquímico de elementos y sistemas, destacando:

- Caracterización electroquímica de componentes: membranas, catalizadores, electrodo y de sus interfases, estudiando la influencia de los parámetros experimentales.

- Caracterización electroquímica de sistemas: electrolizadores y pilas de combustible, con el fin de optimizar su diseño, llevando a cabo la diagnosis, prevención y control de daños de los mismos.

- Estudio de procesos electroquímicos: electrocatálisis y cinética electródica que lleven al desarrollo y validación de modelos electroquímicos que nos permitan conocer en mayor profundidad el funcionamiento del dispositivo objeto de estudio.
- Corrosión y tratamiento de superficies. Estudio de los fundamentos electroquímicos de la corrosión, su cinética y las formas de evitarla.

c) MATERIALES: Centrándose en el estudio del comportamiento de los materiales utilizados en aplicaciones de hidrógeno a lo largo de toda la cadena de valor, englobando estudios de idoneidad, caracterización y comportamiento de todos los materiales presentes desde la fase de producción, purificación, almacenamiento, hasta el uso energético del hidrógeno, fundamentalmente en pilas de combustible.

Se realizarán ensayos mecánicos, de resistencia química y térmica, caracterización estructural y eléctrica, durabilidad y ensayos post mortem, a fin de determinar las características de los materiales relacionados con las tecnologías del hidrógeno, así como sentar las bases de certificación y homologación para las nuevas tecnologías implicadas en la generación, almacenamiento y uso del hidrógeno. Las capacidades con las que contará esta unidad son,

- Preparación de muestras para ensayos: se dará servicio de preparación de muestras adecuadas para los diferentes ensayos a desarrollar en función de las especificaciones del análisis y de las necesidades del material a ensayar.

- Caracterización estructural de materiales, análisis de superficies y ensayos de degradación: con el objetivo de evaluar la idoneidad de nuevos materiales para el servicio con hidrógeno y evaluación de la degradación superficial de materiales después de servicio.

- Ensayos mecánicos, térmicos y de corrosión en operación, con el fin de evaluar las propiedades de dichos materiales para la aplicación concreta. Desarrollo de prototipos experimentales específicos que permitan además del desarrollo del proceso la determinación de idoneidad de materiales a las condiciones de operación, resistencia a la corrosión y condiciones térmicas.

- Caracterización eléctrica de materiales, para evaluar la idoneidad de los mismos en la aplicación perseguida.

- Desarrollo de estándares de certificación y homologación. Se llevarán a cabo los procedimientos necesarios para conseguir las certificaciones necesarias para la homologación de materiales en operación con H2.

d) ELECTRICIDAD, ELECTRÓNICA Y CONTROL: La investigación y desarrollo en el campo de la electrónica avanzada, los convertidores de potencia, sistemas de control y de seguridad, sistemas de propulsión eléctrica y sistemas de comunicación se considera una labor fundamental para la integración de las tecnologías del hidrógeno y pilas de combustible en los distintos contextos energéticos que engloban a nuestra sociedad.

Se focalizarán los desarrollos e investigaciones en:

- Sistemas de control, con aplicación a las tecnologías del hidrógeno de todas las etapas intervinientes en el ciclo del hidrógeno.

- Desarrollo de electrónica de integración en sistemas energéticos, con especial atención a los de origen renovable como la solar fotovoltaica y eólica entre otras. Investigando, desarrollando o adaptando los dispositivos de electrónica de potencia que optimicen tal integración así como la interacción de estas nuevas tecnologías en los distintos sistemas energéticos.

- Desarrollo de los sistemas de control, eléctricos y electrónicos necesarios para el avance en aplicaciones estacionarias, portátiles y de aplicación al trasporte.

- Desarrollo de bancos de ensayo eléctricos, que posibiliten las investigaciones y desarrollos de las tecnologías del hidrógeno.

- Modelado y simulación, en el campo de los sistemas de control, electrónica y electricidad asociados a las tecnologías del hidrógeno.

e)INGENIERÍA DE PROCESOS, PROTOTIPADO Y ENSAYOS: Este campo se orientará al escalado de procesos y prototipos con el fin de desarrollar un estado preindustrial de la tecnología desarrollada, de esta forma se podrán desarrollar procesos a escalas reales en instalaciones piloto, para la validación de procesos y dar la orientación necesaria a la industrialización de la tecnología.

Se requiere un servicio integrado que abarca el diseño en base a las necesidades del cliente, el diseño mediante la generación de sólidos 3D bajo software CAD/CAM y la construcción de prototipos y series cortas de piezas. Las tecnologías aplicadas abarcan desde el prototipado, la fabricación de útiles y el mecanizado CNC de alta velocidad, además de los tradicionales procedimientos de mecanizados CNC. Se deberá contar con una instalación de componentes mecatrónicos para el desarrollo y ensayo previo a la implantación del proceso de industrialización de la tecnología desarrollada.

3. ANTECEDENTES, CONSIDERACIONES Y LANZAMIENTO.

La Plataforma Tecnológica Española de Hidrógeno y Pilas de Combustible ha editado el documento "*Segundo informe de trabajos y recomendaciones del Grupo de Estrategia y Planificación*" asumiendo la responsabilidad de plantear una estrategia tecnológica nacional que facilite y acelere el desarrollo y la utilización en España de sistemas basados en pilas de combustible e hidrógeno. La preparación de este documento ha reunido a cientos de expertos españoles de distintas empresas, centros tecnológicos, organismos públicos de investigación y universidades. En paralelo, el documento de la misma Plataforma Tecnológica Española *"Estado de la Tecnología del Hidrógeno y las Pilas de Combustible en España, 2007"* es complementario del anteriormente mencionado y permite ver la actividad y sus protagonistas en la tecnología facilitando al CNH2 el enfoque de las relaciones externas y la orientación que se le debe dar al CNH2. En la misma línea el documento "*Selección de las Acciones de Mayor Prioridad del Segundo Informe de Recomendaciones del GEP e identificación de los responsables"* permite recoger aquellas líneas que el sector nacional del hidrógeno ha considerado prioritarias a corto y medio plazo.

En estos documentos se marcan aquellas actividades que se han considerado necesarias para mejorar la situación científico-tecnológica española. Estas actividades han sido analizadas estratégicamente destacándose como lo más significativo la falta de desarrollo de tecnología propia y por tanto la falta de tejido industrial en comparación con otros países de nuestro entorno. Para evitar la amenaza de que el país se quede retrasado tecnológicamente, uno de los objetivos de este Centro debe ser el impulso de la tecnología a escala nacional, para ello se requiere una intensa actividad de difusión a todos los niveles junto con un planteamiento de los beneficios de la tecnología no sólo desde su perspectiva de uso sino también desde la perspectiva de impulso industrial. Para ello el CNH2 tiene que colaborar con todas las instituciones en el impulso de la tecnología.

Por otro lado, una de las fortalezas importantes para España es la relativa a las posibilidades de utilización de las energías renovables, recurso energético autóctono que ofrece un alto potencial y que ayudaría a reducir la fuerte dependencia actual en recursos energéticos. Este hecho recomienda intensificar la investigación en la electrolisis para facilitar la conversión de la energía en hidrógeno, igualmente los procesos de obtención de hidrógeno a partir de la biomasa y los procesos de obtención de hidrógeno a partir de la energía solar a alta temperatura. Por otro lado el hidrógeno obtenido a partir de los combustibles fósiles debe ser una vía de garantizar la transición y facilitar el conocimiento de procesos útiles a la biomasa.

Con las recomendaciones extraídas del documento de la Plataforma Tecnológica Española se preparan las principales líneas de actuación del Plan Director de I+D del CNH2 habiendo separado previamente aquellas actividades que de alguna forma ya existe actividad a escala nacional sin valorar si la profundidad e intensidad de la actividad existente es suficiente, pendiente de mantener un contacto más directo con los agentes involucrados para permitir una definición más precisa de las competencias de cada uno.

También han sido considerados y evaluados otros informes realizados por distintos agentes nacionales e internacionales del estado científico y tecnológico y de estudios de prospectiva de las tecnologías del hidrógeno.

En esta primera edición del PDID también se tiene que tener en cuenta la situación en la que se encuentra el propio CNH2 que en concreto es la siguiente:

1. Durante el primer año del PDID 2011-2014 se estará construyendo la instalación y su finalización podría sufrir retrasos.

2. Mientras se construye la instalación la investigación debe estar orientada a la profundización del conocimiento en los sectores involucrados y en las unidades tecnológicas perfiladas.

3. Consecuencia del punto anterior se deberá ir definiendo el ámbito de actuación de cada grupo de trabajo, el equipamiento que se va a requerir, la formación del personal responsable de cada una de las actividades.

4. Será un año en el que una gran parte de la actividad será de componente interna muy orientada a la puesta en servicio de las infraestructuras que se dispongan.

5. Simultáneamente se irán realizando actividades concertadas cubriendo fases previas a las competencias propias y en las que se utilizarán instalaciones de otros grupos de investigación donde se estén desarrollando actividades que posteriormente puedan requerir la colaboración con el CNH2, además de las instalaciones propias que el Centro disponga en esa fecha.

6. El segundo año de este periodo será el año que se inicie la puesta en operación de la instalación y de todas las dependencias, lo que sin impedir continuar con los procesos del primer año de profundización del conocimiento y de puesta a punto del equipamiento que se vaya adquiriendo, se tendrá que orientar a actividades internas principalmente.

7. Ya a partir del tercer año se abordarán los temas de investigación que durante los dos años anteriores se habrán ido concertando con las organizaciones externas en sus diferentes componentes.

En esta primera etapa de la instalación se tiene que proporcionar a la comunidad científica y al entorno productivo los mínimos necesarios para poner en marcha los primeros desarrollos y prototipos, al mismo tiempo que se integran los elementos mínimos básicos para que en ella se disponga de los recursos necesarios para llevar a cabo estos desarrollos experimentales y tecnológicos. La definición de los medios necesarios para una rápida puesta en operación han requerido los siguientes procesos:

1. El CNH2 desde su inicio intenta ser el reflejo de las necesidades y exigencias del sector tecnológico y energético de acuerdo con la propia demanda social en el ámbito de la energía. De manera que se procurara una determinada **anticipación nacional como consecuencia de la deficiente situación de los recursos energéticos en España y la oportunidad que ofrecen las energías renovables** y la importancia que tiene el hidrógeno para mejorar su disponibilidad frente a su alternancia productiva.

2. Como análisis previo a la elaboración del presente Plan Director de I+D se han considerado los estudios sobre la importancia de la tecnología del hidrógeno y pilas de combustible en nuestra sociedad y de los antecedentes de esta tecnología en nuestro país y en el resto del mundo. Todo ello ha permitido orientar la adecuación de la instalación de la forma más útil para el sistema tecnológico y productivo nacional.

3. De igual manera se ha hecho un **estudio de viabilidad de la instalación** a la hora de realizar su diseño teniendo en cuenta la situación del mercado, de la oferta y la propia situación del sector para examinar las distintas alternativas consideradas como posibles orientaciones a dar a esta instalación, justificándose la solución elegida como una instalación que integre el sistema completo del hidrógeno complementado con unidades tecnológicas, con laboratorios y talleres que faciliten el desarrollo tecnológico para poder llegar a la posterior experimentación en la instalación.

4. **La instalación se irá adaptando a la evolución de la tecnología y el progreso que los equipos de investigación** que vayan teniendo acceso a ella, evitando en todo momento que se interpongan tecnologías que bloqueen o desvíen las estrategias científico tecnológicas que se vayan marcando de acuerdo con las demandas de acceso.

5. Se ha concebido una organización que soporte la instalación. Que garantice su continua adecuación a los diferentes experimentos que se vayan programando mediante una estructura matricial interna que además de dirigir las actividades de investigación que se desarrollen en el Centro será el responsable de mantener vivo el **Plan Director de I+D**. Estará asesorado continuamente por el Comité Científico Técnico Asesor. Simultáneamente desde el Departamento de Relaciones Externas se estarán buscando continuamente las relaciones con la comunidad científica y el entorno productivo y se guiará por las recomendaciones emanadas del **Comité de Acceso**. Todo ello bajo las directrices emanadas de los sistemas de calidad y de confidencialidad del Centro que mantendrá vivo la Gerencia.

6. Como consecuencia del funcionamiento matricial previsto en el CNH2 en cuanto al desarrollo de las líneas del Plan Director se refiere, la instalación dispondrá de cinco sectores fundamentales para poder llevar una investigación completa del sistema del hidrógeno como portador energético que son: generación, almacenamiento, transformación en calor y electricidad, integración en el sistema energético y seguridad para garantizar un uso de calidad y confianza. La construcción de la instalación puede exigir un par de años, lo que no será impedimento para que se inicien las investigaciones en colaboración con la comunidad científica y el sector productivo desde el presente.

7. Se plantea la **estrategia de personal** mediante la incorporación de nuevos efectivos y una tendencia a conseguir su distribución entre todos los equipos actuales y los nuevos que se puedan crear. Este personal deberá conseguirse merced a un adecuado planteamiento de colaboración con las universidades, centros de investigación y empresas que incluya la formación a través de cursos específicos y una fuerte intensificación de la investigación conjunta. Al mismo tiempo con el acceso de investigadores y técnicos se conseguirá una continua actualización del conocimiento del personal del Centro.

8. El Plan Director de I+D, no sólo pretende orientar y dirigir la actividad que se va a realizar en el Centro sino que además tiene como objetivo orientar su relación con la comunidad científica y el entorno productivo para facilitar el acercamiento de sus propuestas a las instalaciones del Centro y garantizar el objetivo fundamental de atraer el acceso de investigadores a sus instalaciones.

9. Simultáneamente se ha mantenido una intensa actividad de intercambio de información con la comunidad científica y el entorno productivo sobre las posibles

orientaciones de la instalación, recogiendo las recomendaciones ofrecidas por todos ellos. Con esta actividad se ha completado la orientación de la instalación con opiniones puntuales, lo que ha permitido una aproximación más adecuada a distintas iniciativas que pueden ser las primeras actividades que se desarrollen en la instalación mediante convenios y acuerdos con otras entidades y grupos de investigación.

10. La diferenciación de la instalación se basa en la integración del hidrógeno y las energías renovables, hecho que le da a esta instalación el punto singular. con respecto a múltiples instalaciones en el extranjero. Esta orientación la hace singular a escala internacional pero con un carácter preferente para nuestro país para poder aprovechar la iniciativa de liderazgo que tienen las empresas tecnológicas españolas de energías renovables. El hidrógeno y las pilas de combustible ofrecen la oportunidad de abrir un mercado con múltiples áreas de actividad industrial con fuerte componente tecnológica. Por ello es conveniente encontrar una **amplia financiación externa** como indicador del interés tecnológico de la instalación

11. Se desarrollaran proyectos de investigación aplicada que involucren a agentes de la comunidad científica y a empresas nacionales y centros tecnológicos públicos y privados de investigación y desarrollo, consiguiendo la integración del sector investigador nacional y el sector empresarial de nuestro país de manera que sean a las empresas las que recojan el conocimiento tecnológico adquirido y puedan ser competitivas en tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible. Simultáneamente se mantendrán múltiples actividades con el entorno productivo que puede conducir a proyectos de colaboración, investigación bajo contrato de confidencialidad, ejecución de trabajos de validación, homologación, verificación y certificación, que evidentemente exigirán múltiples sistemas de evaluación. De las actividades relacionadas con la comunidad científica se puede llegar a desarrollos que precisen una rápida puesta en explotación, lo que se procurará llevar al sector productivo existente o **se potenciará la generación de "spin-off" que ulteriormente se integren en ese sector productivo.**

4. RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS

En estos momentos en los que se está haciendo el proyecto de la instalación para proceder a su construcción y que puede tardar aproximadamente dos años para que esté operativa es el momento de hacer el primer Plan Director de I+D que sirva para orientar la instalación hacia los fines pretendidos.

1. Con la construcción de la instalación se tendrá que disponer de todas aquellas instalaciones complementarias que se necesiten en el futuro para realizar la experimentación de las tecnologías del hidrógeno y de las pilas de combustible por lo que lo primero que se necesita es marcar el objetivo concreto del ámbito de trabajo que se pretende abordar en los primeros años. Este ámbito de trabajo debe ser, por un lado, un ***acercamiento a los objetivos estratégicos de las empresas*** que de alguna forma ya tienen actividades en la conocida como economía del hidrógeno. Por otro lado, debe ser igualmente el ***acercamiento hacia las líneas de investigación de los grupos de trabajo nacionales***.

2. Al mismo tiempo se tiene que hacer una perfecta especificación de todo tipo de actividades, trabajos de investigación, ensayos y experimentaciones que ciertas actividades de progreso científico y tecnológico puedan requerir en las distintas disciplinas que el conocimiento en hidrógeno y pilas de combustible pueda exigir. Con este fin es necesario un ***acercamiento a las tecnologías avanzadas*** usada internacionalmente en temas afines en los campos de especialización ***que cubre la investigación científica y el desarrollo tecnológico del hidrógeno energético.***

3. El papel que puede jugar la instalación científico tecnológica singular en sus primeros años de funcionamiento va a depender de su adecuación y disponibilidad para facilitar el acceso a todo tipo de grupo de investigación interesado y que reúna el adecuado fundamento para ampliar su investigación. Estas iniciativas no se improvisan y por ello es preciso ***promover actividades de colaboración que se anticipen al uso de la instalación.***

4. Los tres puntos anteriores que se pueden considerar anteriores a la puesta en operación de la instalación deben ir unidos al correspondiente a la ***definición de objetivos y fines de todas y cada una de las instalaciones, laboratorios, plantas y procedimientos de trabajo***. Esta actividad que igualmente debe ser previa debe entrar de forma paralela a las anteriores y totalmente relacionadas con ellas.

5. Próximo a la terminación de la construcción deberá empezarse una actividad intensa de especificación de laboratorios, instalaciones, equipos y plantas que debe concluir con s adquisición y puesta en operación. Esta fase es tremendamente importante y va a marcar el futuro y utilidad de cada una de las actividades que estén programadas. Esta fase de ***preparación de las infraestructuras de la instalación***, así como tiene un inicio difuso entre todos los puntos anteriores debe tener un final concreto en alcance y en el tiempo y debe ir precedido de una concreción de alcance y una perfecta definición de etapas de trabajo.

6. Simultáneamente a los puntos anteriores e completamente necesaria una perfecta ***definición de la organización y el funcionamiento del equipo humano*** que va

a operar las distintas infraestructuras de la instalación. De forma implícita con esta actividad debe ir el proceso de dotación y formación del personal.

7. Tras un primer año de montaje y puesta a punto de las múltiples infraestructuras de la instalación científico técnica singular una vez que termine su construcción se debe empezar con actividades ya plenamente concertadas de experimentación de tecnologías facilitando el acceso de equipos de investigadores externos. Esta faceta debe estar perfectamente prevista en tiempo y en alcance para lo que se precisa ***abordar las diferentes líneas de trabajo de I+D de forma completamente priorizada y acorde con la demanda.*** Para ello es necesario que el Plan Director de I+D sea conocido por el entorno científico y tecnológico y al mismo tiempo que anualmente se revise adecuándolo a su propia evolución y la evolución y recomendaciones recibidas por los agentes científico tecnológicos externos.

5. LÍNEAS DE ACTUACIÓN DE I+D

El CNH2 funcionará como una instalación integrada versátil y evolutiva en la que trabajarán investigadores externos e internos con máximas garantías y obligaciones de confidencialidad. Este personal estará estructurado de forma matricial con una dependencia orgánica y otra funcional. La dependencia orgánica estará relacionada con la estructura del Centro, que a su vez lleva implícita la estructura de la instalación y de las unidades tecnológicas. Por otro lado la dependencia funcional estará relacionada con los contenidos temáticos relacionados con los proyectos que se aborden, sean de componente interna o externa. Una última dimensión de funcionamiento será la administrativa que marcará la relación de cada proyecto con el exterior y por lo tanto la responsabilidad frente a terceros.
El funcionamiento del Centro va a estar dirigido por los compromisos adquiridos que pueden ser de cuatro tipos: Compromisos internos con el Consejo Rector o con el Comité de Dirección, compromisos externos con las organizaciones con las que se establezcan actuaciones cooperativas y finalmente los compromisos contraídos bajo contrato.

1. El funcionamiento dirigido por los ***compromisos internos*** con el Consejo Rector tendrán prioridad frente a los demás y siempre estarán orientados a establecer actuaciones estratégicas conducentes a la mejora del Centro o por el contrario a mejorar su adecuación a los fines para los que se ha creado. Estos compromisos pueden necesitar la instalación completa o en partes, por lo que se requerirá una adecuada planificación temporal para que no introduzcan graves perjuicios al CNH2 en sus relaciones externas.

2. El funcionamiento dirigido por los ***compromisos operativos*** son aquellos que se orientan a garantizar la adecuada operatividad del Centro y sus instalaciones, al mismo tiempo que se cumplen todos los demás compromisos. En este caso es el Comité de Dirección del Centro el que marca su prioridad conocidos los compromisos adquiridos con el Consejo Rector, estudiada la viabilidad de las propuestas y establecida la adecuada planificación de conjunto.

3. Los ***compromisos externos de cooperación o colaboración***, en los que el Centro asume compromisos para realizar una parte concreta de un trabajo en equipo con otros y por lo tanto sometido a la disciplina establecida conjuntamente. Esta cooperación puede ser con cualquier organización externa sea de la línea productiva de empresas o por el contrario, puede ser de cooperación en investigación conjunta con otras organizaciones destinadas a investigación de carácter público o privado.

4. Los ***compromisos externos de investigación bajo contrato o de servicio***, en las que el agente externo contrata al Centro para realizar un trabajo, pudiendo adoptarse cualquier tipo de compromiso de confidencialidad e incluso de exclusividad, siempre y cuando todo ello este perfectamente recogido en los compromisos adquiridos. En este caso existe una relación de dependencia del contratante, mediante el cual se debe acatar la disciplina marcada en el contrato que se establezca, y que en ningún caso podrá contravenir el orden establecido en el Centro.

Este Plan Director se establecerá desde el propio origen de la instalación de acuerdo con las líneas que a continuación se proponen y se irá orientando de acuerdo con las necesidades de

la propia investigación sobre los elementos, componentes y sistemas propios de la instalación y de todos aquellos experimentos iniciales**.**

Para la determinación de las líneas de investigación se realiza un estudio de los ***antecedentes*** del ámbito de la línea de investigación, mediante la realización de un inventario de agentes implicados y de proyectos acometidos. Posteriormente se realiza un ***análisis*** para concluir con la determinación de las ***líneas de investigación*** que forman el Plan Director de I+D para el periodo 2011-2014.

A continuación se presentan los ámbitos en los que se desarrollan las líneas del Plan Director de Investigación y Desarrollo, divididas en seis partes: producción de hidrógeno, almacenamiento de hidrógeno, pilas de combustible, integración de sistemas, normativa y seguridad e implantación tecnológica.

5.1. Normativa y Seguridad

Desde este sector se impulsará todo lo referente a la seguridad en la utilización y manejo del hidrógeno y se tendrá una relación estrecha con todas las organizaciones, instituciones e iniciativas que existan al respecto. No se excluye la participación en el desarrollo de sistemas de seguridad específicos en lo concerniente a sistemas de detección y sistemas correctores.

En temas de seguridad no solo se velará por la seguridad de la propia instalación sino también se dedicará al desarrollo de tecnología conducente a la mejora de las garantías técnicas y la confianza social relacionada con el uso del hidrógeno en todas sus fases y facetas energéticas. Como consecuencia de esta especialización en el campo de la seguridad en tecnologías de hidrógeno se propondrán recomendaciones para la normativa todos aquellos progresos que se consigan. En este sentido, ya que se hace necesaria la implementación de nuevos estándares y normativas que aseguren la calidad y seguridad de estas tecnologías, se buscará el correcto desarrollo de las tecnologías basadas en hidrógeno, realizando todas aquellas actuaciones necesarias respecto a la normativa de obligado cumplimiento para todos los actores presentes en el sector.

Las principales actuaciones planteadas son:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Investigación pre normativa	X			ALTA
Investigación del comportamiento de materiales en presencia de hidrógeno		X		ALTA
Investigación en métodos de análisis de estudios de seguridad		X		ALTA
Sistema de detección de fugas y atmosferas explosivas			X	ALTA
Validación, certificación y homologación de elementos y sistemas			X	ALTA

5.2. Producción de hidrógeno

Se centrará en todo lo relativo a la producción de hidrógeno a partir de energías renovables por electrolisis del agua u otros compuestos hidrogenados o a partir de la biomasa o a partir de los combustibles fósiles, por procedimientos químicos a alta temperatura o por procesos fotónicos a altas temperaturas e incluso fotobiotérmicos. Entre todas las actividades hay componentes tecnológicas en electroquímica, procesos catalíticos a alta temperatura, separación de gases, termofluidodinámica, electrónica de potencia, automática y control entre otros, por lo que se requerirían especialistas en muy distintas áreas de conocimiento. No todas las tecnologías de producción de hidrógeno se encuentran al mismo nivel de desarrollo, por lo que los planteamientos que se puedan hacer van a ser muy diversos.

Se impulsarán grupos de investigación externos que desarrollen nuevos procesos de producción de hidrógeno de interés y se tendrá un contacto estrecho con fabricantes de sistemas de producción de energía de origen renovable y con empresas dedicadas a la producción de combustibles o simplemente a la producción de gases.

Además de los electrolizadores otros productos pueden ser las unidades autónomas de producción de hidrógeno. Con miras al futuro podrá contarse con diferentes unidades de generación de hidrógeno a alta temperatura, por procedimientos bioquímicos u otros tipos de producción por vía catalítica.

Es muy importante relacionar la actividad de producción de hidrógeno con el cuidado del medio ambiente.

La producción de hidrógeno es una de las líneas principales de investigación. Esta producción podrá provenir del uso de distintas tecnologías y se parte de una situación actual en la que se produce fundamentalmente a partir del gas natural por reformado. El hidrógeno como almacén energético y como portador energético tendrá que adaptarse a las tecnologías energéticas a las que apoye y al mismo tiempo debe adaptarse a los usos en los que se emplee. Por tanto la investigación debe buscar ese futuro. El presente PDID contempla la producción de hidrógeno por electrolisis a partir de energías renovables, o de alta temperatura, por métodos termoquímicos, por procesos fotolíticos y a partir de la biomasa y el hidrógeno generado en procesos electroquímicos y por combustibles fósiles.

5.2.1 Hidrógeno por electrolisis a partir de las energías renovables.

La producción de hidrógeno mediante electrólisis a partir de energías renovables como solar fotovoltaica y eólica, es uno de los procesos en los que se tiene depositada la confianza como gran solución para la producción masiva de hidrógeno limpio en sistemas de generación distribuida o sistemas de una cierta concentración pero a niveles de potencia relativamente bajos con los actuales sistemas de generación centralizada.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan de interés las líneas de actuación relacionadas con el estudio, desarrollo y mejora de tecnología de fabricación de equipos electrolíticos, materiales, componentes y desarrollo de sistemas reversibles tanto en funcionamiento aislado como con su acoplamiento con renovables.

Por lo tanto de forma resumida se contempla el desarrollo de estas líneas en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Desarrollo de nuevos electrocatalizadores, membranas, materiales y sistemas de control. Estudio y desarrollo de materiales que aumenten la durabilidad de los sistemas respecto a paradas y arranques, la variabilidad de las renovables y las horas de funcionamiento, para trabajar a alta y baja presión y altas y bajas temperaturas.		X		ALTA
Desarrollo de tecnología para la industrialización de las unidades electrolíticas y sus componentes.		X		ALTA
Desarrollo de electrolizadores con generación combinada de fuentes renovables (PV, eólica y otras) y con conexión a red.	X			ALTA
Desarrollo de sistemas de electrónica y control para electrolisis integrada con renovables y su integración en red. Integración de sistemas para generación de hidrógeno electrolítico con renovables.		X		ALTA
Estudio y desarrollo de sistemas electrolíticos de alta temperatura y presión. Desarrollo de electrolizadores SOFC. Desarrollo de componentes para sistemas de electrolisis a alta temperatura.			X	MEDIA
Desarrollo de materiales y sistemas de generación electrocatalítica reversible. Desarrollo de componentes. Análisis y desarrollo de los sistemas para la producción de hidrógeno por electrólisis reversible y directa.			X	MEDIA

La electrolisis en sistemas alternantes como son las energías renovables exige materiales que soporten adecuadamente el régimen de arranques y paradas sin que sufran alteraciones superficiales y estructurales que modifiquen la eficiencia de las reacciones electroquímicas. Estos procesos deben ir acompañados de una mejora considerable en la eficiencia de las reacciones de manera que el máximo de energía se convierta en hidrógeno y que los sistemas duren el máximo de tiempo posible. Igualmente se tienen que conseguir diseños que reduzcan el tamaño de los equipos, que se aproveche al máximo el calor y que la producción de gas no reduzca el aprovechamiento de la superficie electrolítica.

Por regla general la electrolisis se suele aplicar a baja temperatura, pero la eficiencia es peor y no siempre el hidrógeno producido se aplica después a baja temperatura por lo que sería conveniente investigar en electrolizadores a alta temperatura.

Los electrolizadores acoplados a las energías renovables operan cuando la energía no se puede utilizar y se quiere almacenar en forma de hidrógeno. Pueden existir otros momentos en los que hay demanda energética y no se dispone de energía producida por los sistemas renovables. En esos momentos, que los electrolizadores no funcionan, se requiere que funcionen las pilas de combustible, por lo que sería muy útil que el mismo dispositivo pudiese actuar como electrolizador y como pila de combustible dando origen a las conocidas como pilas de combustible reversibles.

La mejora de los sistemas de electrolizadores actuales, el desarrollo de electrolizadores de alta temperatura y el desarrollo de sistema reversibles son los aspectos más importantes dentro de esta línea.

5.2.2 Hidrógeno a partir de electrólisis a alta temperatura y por métodos termoquímicos.

Las distintas formas de producción de hidrógeno con procesos de alta temperatura posibilitarán una producción de hidrógeno de forma masiva.

Se tienen dos tecnologías:

- La electrólisis a alta temperatura del vapor de agua, suministrando calor y electricidad. Este método, frente a la electrólisis a temperatura ambiente, presenta la ventaja de requerir una entrada de energía eléctrica menor.

- Los métodos termoquímicos, entre los que se incluyen: termólisis directa del agua, ciclos termoquímicos, generalmente de dos pasos, basados en la reducción de óxidos metálicos. Estos procesos llevan a cabo una reacción endotérmica.

Se tienen que tener en cuenta las siguientes consideraciones referentes a esta línea de investigación y desarrollo:

- En España existe un gran interés empresarial por la producción de energía eléctrica mediante centrales termosolares. Disponer de esta tecnología daría valor añadido al sector.

- La producción de hidrógeno a gran escala resultado de esta tecnología sería un impulso a la implantación y desarrollo de toda la tecnología de la economía del hidrógeno.

- La implantación de una red de centrales termosolares con generación de hidrógeno permitiría tener una generación eléctrica controlada a gran escala disminuyendo la dependencia energética nacional sin que ello suponga perdidas de estabilidad en la red.

- La exportación e implantación de esta tecnología en países del norte de África y Sudamérica sería un fuerte motor de creación de empleo.

- En España existe actualmente un número apreciable de centrales nucleares y tejido industrial propio como para desarrollar la electrólisis a alta temperatura del vapor de agua en reactores nucleares.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan las líneas de actuación relacionadas con la producción de hidrógeno por electrólisis a alta temperatura y mediante ciclos termoquímicos.

Por lo tanto de forma resumida se contempla el desarrollo de esta línea en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Desarrollo de materiales y catalizadores para reactores de producción de hidrógeno mediante ciclos termoquímicos.		X		MEDIA
Desarrollo de materiales utilizables en la descomposición del agua por radiación solar térmica.		X		MEDIA
Desarrollo de plantas piloto de baja de potencia para demostración, evaluación y ensayos de la tecnología.			X	MEDIA
Análisis, simulación y desarrollo de ciclos termoquímicos para la producción de hidrógeno por energía solar térmica de alta temperatura.			X	MEDIA
Análisis, simulación y desarrollo de electrolisis para la producción de hidrógeno a partir de vapor de agua a alta temperatura.			X	MEDIA
Desarrollo de sistemas de separación y purificación de gases para ciclos termoquímicos.		X		MEDIA

5.2.3 Hidrógeno producido por procesos fotolíticos a partir de las energías renovables.

Se está investigando la posibilidad de aplicar la fotólisis al agua, con el objetivo de encontrar una manera sencilla y barata de disponer de hidrógeno como combustible. Asimismo se está investigando la conversión fotocatalítica de CO2 y de alcoholes para apoyar los procesos de obtención de hidrógeno. Todos los sistemas utilizados para la conversión directa del agua se basan en la unión líquida electrolito-semiconductor. Existen diferentes variantes:

- La celda fotoelectroquímica como tal con un fotoelectrodo semiconductor.
- La celda fotoelectroquímica que utiliza como fotoelectrodo una estructura de capas semiconductoras; tal que, tiene incorporado una celda solar fotovoltaica y por lo tanto el semiconductor en contacto con el electrolito al ser iluminado es polarizado convenientemente por dicha celda fotovoltaica.
- La celda fotoelectroquímica donde el fotoelectrodo se encuentra sensibilizado.
- Suspensiones donde en cada partícula existe una unión líquida, como en las celdas fotoelectroquímicas y que requieren de sensibilizadores y catalizadores.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan de interés las líneas de actuación relacionadas con “Procesos Fotolíticos”, como son el estudio de materiales para la fotogeneración y el prototipado de sistemas de fotogeneración y fotobiolisis.

Por lo tanto de forma resumida se contempla el desarrollo de estas líneas en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Materiales para la fotogeneración. Desarrollo de materiales y catalizadores.			X	MEDIA
Desarrollo de sistemas / reactores de producción fotolítica a diferentes escalas. Plataforma experimental de integración de dichos sistemas en diversos entornos.			X	MEDIA
Análisis y desarrollo de ciclos termoquímicos para la producción de hidrógeno por fotolisis.		X		MEDIA
Desarrollo de procesos de sistemas de electrónica y control para los procesos fotolíticos.			X	BAJA
Desarrollo de procesos de fabricación de equipos fotolíticos.			X	BAJA
Desarrollos de sistemas de separación y purificación de gases.			X	MEDIA

5.2.4 Hidrógeno generado en procesos químicos de tratamiento de biomasa a través del metano o de portadores de hidrógeno.

Una de las principales vías de producción de hidrógeno renovable está surgiendo de las denominadas biomasas, a través del metano o de portadores de hidrógeno como pueden ser los biocombustibles. Así pues, es de interés inmediato el utilizar substratos renovables como fuente alternativa de hidrógeno utilizando estos métodos. Se puede abrir así una nueva vía hacia la obtención independiente de energía, limpia y renovable, basada en el aprovechamiento de la biomasa propia de una determinada zona. Además de producirse hidrogeno a través de la biomasa se obtiene carbón, CO, CO2, H2O, metano, etc., susceptibles de aprovechamiento.

Los procedimientos para la conversión de biomasa a Hidrógeno dependerán de la naturaleza de la propia biomasa a tratar, los procesos más utilizados son:

- Gasificación de biomasa: Se trata de someter a la biomasa a un proceso de combustión incompleta entre 700 y 1200 °C. El producto resultante es un gas combustible compuesto fundamentalmente por hidrógeno, metano y monóxido de carbono.

- Calentamiento de biomasa en ausencia de oxígeno: Es la combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno, a unos 500°C. Se obtiene carbón vegetal y gas mezcla de monóxido y dióxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos ligeros.

Del gas producto de los procesos anteriores pueden obtenerse bioalcoholes (en general los procesos más rentables de producción de bioalcoholes son los relacionados con la fermentación de determinados tipos de biomasa. Aunque los productos de gasificación y calentamiento en ausencia de oxígeno pueden ser empleados para producir alcoholes, sería más adecuado recoger el hidrógeno producido directamente y después hacer reformado, “water gas shift”, oxidación selectiva, etc, para producir más hidrógeno) con procesos productivos similares a la producción de hidrógeno (en condiciones de trabajo diferentes), además de carbono aprovechable y siendo las fases de gasificación y

purificación/enriquecimiento del gas rico en hidrógeno las que necesitan de una mayor iniciativa tecnológica.

Otra de las alternativas existentes consiste en el uso de residuos forestales, sólidos urbanos, industriales, agrícolas y lodos de las estaciones de depuración de aguas residuales (E.D.A.R), con el objetivo de revalorizar estos recursos a través de su aprovechamiento energético, evitando además la contaminación medioambiental que supone su acumulación. La relación energética con el hidrógeno de estas materias primas de desecho se puede llevar a cabo por varias vías,

- Utilización de residuos como suspensiones y gases creados por la actividad humana, agropecuaria e industrial que normalmente son vertidos creando un gran deterioro medioambiental.

- El tratamiento y depuración de aguas y el proceso de desalinización del agua de mar también proporcionan elementos de reutilización y reciclado importantes para ser procesados y usarlos.

- Reutilización y reciclado de los sistemas que forman los productos de desecho ya que generalmente contienen productos, por ejemplo polisacáridos, que contienen grandes proporciones de hidrógeno, y que empleándose el mecanismo de la electrócatálisis del agua asistida podría proporcionar el desarrollo de un electrolizador innovador.

- Los fangos, las depuradoras de agua y otros procesos proporcionan una gran cantidad de microorganismos, que durante su actividad metabólica desarrollan protones y electrones que son las especies que participan en la generación eléctrica y la producción de agua en los sistemas electroquímicos y celdas de concentración.

También existe una vía secundaria, pero muy prometedora energéticamente, que consiste en el aprovechamiento del hidrógeno generado como producto secundario en las reacciones de tratamientos de aguas residuales y que es necesario tener en cuenta por el alto valor añadido que le confiere la subproducción de hidrógeno.

Teniendo en cuenta las diferentes alternativas que ofrecen estos materiales y una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología, se destacan de interés las líneas de actuación relacionadas con la Biomasa e Hidrógeno generado como subproducto en procesos electroquímicos (producción de hidrogeno a partir de la gasificación de biomasas autóctonas, mediante reformado catalítico de bioalcoholes, a partir del biogás) y purificación de hidrogeno procedente de biomasa, bioalcoholes y glicerina.

Por lo tanto de forma resumida se contempla el desarrollo de estas líneas en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Producción de hidrógeno a partir del gas metano contenido en el biogás, gas procedente de la gasificación de la biomasa, de bioalcoholes y glicerina.		X		ALTA
Desarrollo de materiales (membranas y adsorbentes) para purificación de corrientes de hidrógeno procedentes de diferentes tipos de biomasa.		X		ALTA
Estudio de procesos de producción directa de hidrógeno mediante organismos vivos.			X	BAJA
Desarrollo de sistemas de separación y purificación de gases.		X		MEDIA

5.2.5 Hidrogeno generado a partir de la tecnología de combustibles fósiles

La producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles ha basado los cimientos de las actuales tecnologías de producción consideradas renovables, además de ser, a día de hoy, la fuente de H_2 más explotada. Estos hechos establecen la necesidad de llegar a una mejora de las tecnologías de producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles que puedan beneficiarse del alto conocimiento tecnológico que existe en ellas, pero que además sean tecnologías eficientes y sostenibles medioambientalmente. Además la producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles puede servir de puente de transición en el cambio de sistema energético necesario para conseguir de la economía del hidrógeno un sistema totalmente integrado. Por otro lado las actuales redes de gasoductos y oleoductos sirven de base tecnológica precursora para desarrollar el futuro transporte del vector hidrógeno a los puntos de consumo.

Las fuentes fósiles más utilizadas para producción de H_2 son:

- *Carbón*: el carbón es una fuente barata de producción de H2, la gasificación de carbón representa hoy el 18% de la producción mundial; y, como el carbón es un recurso abundante en muchas partes del mundo, podría seguir siendo una alternativa si se desarrollan tecnologías limpias que permitan la limpieza del gas antes de su trasformación y después de ella eliminando tanto los compuestos azufrados que contiene el carbón como el CO2 generado en el proceso.

- *Gas Natural: e*l reformado de metano con vapor de agua es una tecnología demostrada a lo largo de siete décadas e instalada en todas las plantas de producción de Hidrógeno a gran escala, aunque son necesarios procesos de limpieza de la corriente rica en H2 además de la captura del CO2 generado en el proceso.

- *Metanol, diesel y gasolinas:* las cualidades esenciales que debe reunir un precursor de hidrógeno para su posterior procesado deben ser: alta densidad energética, facilidad en el manejo, ausencia de toxicidad y desde un punto de vista económico, competitivo en coste. En la actualidad ninguno de los combustibles precursores reúne estas características, si bien algunos resultan próximos al ideal. Los

hidrocarburos líquidos de origen fósil, con una red de distribución perfectamente establecida, son candidatos idóneos como precursores de producción de hidrógeno.

El cambio hacia un nuevo sistema energético necesita de una transición adecuada y consonante con el actual modelo basado en los combustibles fósiles, por lo que la producción de hidrógeno mediante estas fuentes no renovables puede ser el camino adecuado para un correcto desarrollo de las nuevas tecnologías de producción basadas en fuentes renovables, ya que es necesario recoger la experiencia tecnológica existente en la producción de hidrógeno mediante combustibles fósiles para un desarrollo sinérgico de los nuevos procesos de producción basados de productos carbonosos provenientes de fuentes renovables.

Es necesario además beneficiarse de las ventajas que presentan estas materias primas en cuanto al desarrollo de redes de distribución, disponibilidad y almacenamiento como es el caso del gas natural, gasolinas, y gasóleos, sin olvidar que actualmente la producción de hidrógeno mediante combustibles fósiles es la vía más eficiente para cubrir con la demanda actual de energía, siendo la principal fuente de hidrógeno para los sistemas de pilas de combustible desarrollados en la actualidad.

Sin embargo, son necesarios grandes esfuerzos de I+D+i para desarrollar nuevos materiales para membranas, módulos y sistemas de separación y purificación que se ajusten a los requerimientos de pureza y caudales de las tecnologías de pilas de combustible. Todos estos progresos serán de utilidad en los procesos químicos de producción de hidrógeno a partir de biomasa.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología destacan de interés las líneas de actuación relacionadas con producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles, desarrollo de tecnologías de purificación de hidrógeno y aplicación de tecnologías de captura de CO2 asociadas a la producción de H2.

Por lo tanto de forma resumida se contempla el desarrollo de estas líneas en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Producción de hidrógeno no renovable por termólisis y ciclos termoquímicos.	X			ALTA
Investigación y ensayo en materiales adsorbentes para separación y purificación de H2.	X			ALTA
Desarrollo de tecnología para membranas de separación y purificación de hidrógeno. Optimización de las actuales y estudios de alternativas.			X	ALTA
Reformadores de hidrocarburos para generación a bordo de hidrógeno.		X		ALTA
Caracterización de materiales para soportes, interfaces y capas selectivas en membranas difusoras de H2.			X	ALTA
Estudio de catalizadores para ciclos termoquímicos y descomposición termocatalítica.		X		ALTA

5.3. Almacenamiento de hidrógeno

El almacenamiento de hidrógeno se orientará a todo lo relativo a la acumulación y manipulación de este gas, para hacerlo lo más familiar posible al usuario, abordando el gran inconveniente consecuencia de su baja densidad. La licuefacción, o su manejo a altas presiones tienen que complementarse con nuevos avances para su almacenamiento en forma química como hidruros o en estructuras que junto a la seguridad de manejo se garantice su fácil manipulación. Entre todas las actividades hay componentes tecnológicas en procesos metalúrgicos a alta presión, utilización de materiales porosos especiales, termofluidodinámica, automática y control entre otros, por lo que se requerirían igualmente especialistas en muy distintas áreas de conocimiento.

Desde este sector se impulsarán grupos de investigación externos que desarrollen nuevos sistemas de almacenamiento, así como el desarrollo de nuevos sistemas de aleaciones multi-metal que faciliten el almacenamiento en forma de hidruros que garanticen la seguridad y maniobrabilidad del almacenamiento del hidrógeno y se tendrá un contacto estrecho con fabricantes de componentes de la industria de gases y con empresas dedicadas a la producción de combustibles o simplemente a la producción de gases.

Como productos importantes de este sector se encuentran los sistemas de almacenamiento y de manipulación del hidrógeno. Como consecuencia de todo ello, uno de los aspectos más importantes de este sector será lo relativo a normativa y tecnología de la seguridad del hidrógeno.

En una fase intermedia entre el sector de generación y el sector de almacenamiento se encuentran todos los procesos de purificación que no sólo van a estar condicionados por las correspondientes tecnologías de producción sino que además van a estar condicionados por los distintos usos que se dé al hidrógeno.

El desarrollo futuro de sistemas que usen hidrógeno como combustible dependerá de los avances logrados en la búsqueda de un método seguro y eficiente de almacenamiento y transporte. El hidrógeno presenta buenas propiedades de transporte y almacenamiento comparado con la electricidad, sin embargo no existe ningún método que resuelva totalmente el problema del almacenamiento del hidrógeno, el cual está relacionado con sus propiedades físico-químicas.

5.3.1 Hidrógeno líquido y gaseoso

En la mayor parte de las aplicaciones energéticas en las que está implicado el hidrógeno el almacenamiento está basado en depósitos que contienen el producto en estado gas, aunque también existen aplicaciones que requieren de almacenamientos de menos volumen en los que el licuado del gas puede ser una solución. Así se distinguen dos tecnologías fundamentales para el almacenamiento de H2:

- *Almacenamiento como líquido en depósitos criogénicos: presenta grandes requerimientos energéticos ya que se consumen grandes cantidades de energía en el proceso de licuado, que supone el 30-40 % de la energía que se utiliza en la producción pero sin embargo se requieren volúmenes de almacenamiento muy inferiores al almacenamiento en estado gas. Una vez que el hidrógeno ha sido licuado y purificado se necesita de un sistema que permita su trasiego y almacenaje. Los objetivos principales de estos sistemas están orientados a minimizar las pérdidas de fluido*

criogénico y a mantener las velocidades de transferencia dentro de unos parámetros de seguridad, fiabilidad y costes.

- *Almacenamiento como gas en contenedores a presión: Dado que los sistemas y métodos de producción generan hidrógeno gaseoso en lugar de líquido o almacenado mediante combinación química y que el hidrógeno se emplea en su forma gaseosa, parece ventajoso almacenar y transportar el hidrógeno en dicho estado. La comparación frente a otros combustibles indica que el almacenamiento del hidrógeno gaseoso en recipientes a presión no es competitivo. Esto es debido a la baja densidad del hidrógeno gaseoso y al alto coste de los recipientes a presión. El almacenamiento de hidrógeno gaseoso comprimido es voluminoso y/o pesado y el coste por unidad de energía es alto. Para aplicaciones especiales se fabrican tanques con aceros bajos al carbón, normalmente tipo 4130 mediante una técnica que proporciona tubos no soldados muy resistentes.*

España no es un gran desarrollador de materiales en este contexto, si bien hay una necesidad de ayuda al sector industrial de este sector que debe emanar de las actividades que se realicen en el CNH2.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan de interés las líneas de actuación relacionadas con el almacenamiento de hidrógeno líquido y gaseoso, desarrollo y estudios para la creación de una red de distribución de hidrogeno, desarrollo de estándares para certificación de depósitos y materiales y desarrollo y preparación de equipamiento.

Por lo tanto de forma resumida se contempla el desarrollo de estas líneas en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Desarrollo de sistemas de almacenamiento de hidrógeno tanto líquido como gaseoso a diferentes presiones.	X			ALTA
Estudio de comportamiento de materiales de recipientes y sistemas auxiliares para almacenamientos de hidrógeno.	X			ALTA
Estandarización de métodos de medida.	X			ALTA

5.3.2 Hidruros metálicos

Los hidruros metálicos son aleaciones metálicas con capacidad para almacenar y/o liberar hidrógeno con gran seguridad. Permiten almacenar más hidrógeno por unidad de volumen que en forma líquida. Su principal inconveniente es su elevado peso. La tecnología basada en almacenamiento por hidruros está en pleno desarrollo y todavía tiene que afrontar problemas tecnológicos relacionados con la transferencia de calor, el deterioro del lecho metálico, la

seguridad, la fragilización, la baja densidad de almacenamiento, la baja densidad de energía y la necesidad de desarrollar compresores de hidrógeno fiables.

La velocidad en el proceso de carga y descarga del hidrógeno depende del coeficiente de transmisión de calor en el lecho metálico y de las presiones y temperaturas de almacenamiento. Sin embargo no se trata de un aspecto que no pueda ser superado con eficacia. La emisión y absorción de calor asociada a los procesos de hidrogenación y deshidrogenación parece causar el descascarillado de los hidruros metálicos debido al cambio de volumen. Con el tiempo esta tendencia disminuye el tamaño de grano del lecho metálico lo que supone una limitación en el proceso.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan de interés las líneas de actuación relacionadas con almacenamiento de hidrógeno en hidruros metálicos, desarrollo y ensayo de nuevas aleaciones de almacenamiento de hidrogeno, optimización de los sistemas de carga y descarga en depósitos de hidruros y desarrollo de procesos de fabricación de matrices de hidruros.

Por lo tanto de forma resumida se contempla el desarrollo de estas líneas en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Desarrollo de sistemas de almacenamiento de hidrógeno en hidruros metálicos.	X			ALTA
Estudio, desarrollo y ensayo de nuevas aleaciones metálicas frente a sus posibles usos.	X			ALTA
Termofluidodinámica del hidrógeno en conducciones y depósitos.		X		MEDIA
Optimización de los sistemas de carga y descarga de H2 en hidruros.		X		MEDIA
Desarrollo de procesos de fabricación de matrices de hidruros metálicos.		X		MEDIA
Estandarización de métodos de medida.	X			ALTA

5.3.3 Hidruros químicos

Los hidruros químicos se basan en la reversibilidad de la reacción entre un compuesto hidrogenado con el agua que permiten la formación y acumulación de hidrógeno de forma reversible. Las reacciones de formación de hidruros reversibles son bien conocidas. Son sistemas compactos con reducido tamaño pero plantean problemas con la manipulación de residuos y en lo que se refiere a las infraestructuras necesarias.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan de interés las líneas de actuación relacionadas con almacenamiento de hidrógeno en hidruros químicos, optimización de los sistemas de carga y descarga en depósitos de hidruros.

Por lo tanto de forma resumida se contempla el desarrollo de estas líneas en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Desarrollo de sistemas de almacenamiento de hidrógeno en hidruros químicos.	X			ALTA
Termofluidodinámica del hidrógeno en conducciones y depósitos.		X		MEDIA
Estudio, desarrollo y ensayo de nuevos compuestos hidrogenados frente a sus posibles usos.			X	BAJA
Optimización de los sistemas de carga y descarga de H2 en hidruros químicos.		X		MEDIA
Estandarización de métodos de medida.	X			ALTA

5.3.4 Materiales Porosos

Las estructuras de materiales porosos, que permiten una elevada densidad de almacenamiento de hidrógeno siendo además muy ligeras, pueden resultar baratas en función de su producción, estando actualmente en fase de investigación y desarrollo.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan de interés las líneas de actuación relacionadas con el desarrollo de sistemas de almacenamiento de hidrogeno en nuevos materiales porosos, ensayos de almacenamiento estacionario a alta presión, estudio de la tecnología de fabricación para su aplicación al almacenamiento de hidrogeno.

Por lo tanto de forma resumida se contempla el desarrollo de estas líneas en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Desarrollo y ensayos de sistemas de almacenamiento de hidrógeno en nuevos materiales porosos.			X	BAJA
Termofluidodinámica del hidrógeno en conducciones y depósitos.		X		MEDIA
Desarrollo de equipamiento para evaluación y caracterización.	X			ALTA
Desarrollo de procesos de fabricación de materiales porosos a escala semindustrial.			X	BAJA
Estandarización de métodos de medida.	X			ALTA

5.4. Transformación

El Sector de Transformación se puede considerar uno de los más importantes en la cadena del hidrógeno, ya que la utilidad del hidrógeno está en su posterior aplicación de forma competitiva en el contexto deseado. Las pilas de combustible, por su alta eficiencia energética, modularidad, reducidas emisiones contaminantes y funcionamiento silencioso, son los sistemas de transformación de mayor interés, pero sin embargo son muchos los esfuerzos tecnológicos necesarios para ganar en durabilidad, para reducir sus costes de fabricación y mejorar su funcionamiento. La otra alternativa de transformación son los sistemas de combustión interna y los correspondientes ciclos térmicos que sin descartarse, sobre todo para algunos fines, requieren también esfuerzos importantes para adaptar los sistemas a un combustible de tan baja densidad.

Históricamente ha variado el interés por los distintos tipos de pilas de combustible. Con independencia de esta variación se debe mantener la orientación puesta en las tecnologías que actualmente se ven representadas dentro del panorama nacional, con el fin de dar por un lado el apoyo necesario al sector productivo que lo demande y por otro lado perfilar tecnologías que puedan ser motivo de nuevas líneas de negocio en el futuro. Así no se han incluido de forma inicial en este Plan Director las tecnologías de pilas de carbonatos Fundidos ni de Acido Fosfórico por tratarse de líneas que si bien no poseen demanda a corto plazo a nivel nacional, pueden llegar a tener en un futuro cabida en el mismo, dejando constancia de que no deberían abandonarse de forma absoluta y en caso necesario deberían retomarse en la evolución del documento.

Los distintos tipos de pilas de combustible, requieren tecnologías distintas en su utilización por cuestiones de temperatura, presión y sistemas auxiliares, pero también requieren tecnologías diferentes en sus procesos de fabricación, siendo este uno de los puntos más difíciles de abordar y en los que se requiere una mayor conjunción entre los diferentes laboratorios nacionales y el CNH2 para llevar de la forma más útil posible la experiencia de aquellos a convertirse en dispositivos experimentales a tamaño piloto suficiente para poder transferir tecnología a las empresas. Estas plantas piloto deben hacerse de forma estructurada, pero como instalaciones que, aunque demanden energía de la instalación principal del CNH2, no dependan directamente de la estrategia de funcionamiento de la instalación y actúen como instalaciones autónomas.

Estas plantas piloto requerirán especializaciones diferentes dependiendo de los componentes que se desarrollen, pero al mismo tiempo se necesitarán instalaciones complementarias relacionadas con el control de calidad y ensayos de comportamiento de los componentes y elementos producidos. Todas estas instalaciones complementarias se convertirán con el tiempo en los lugares adecuados para realizar todo tipo de verificaciones y homologaciones que permitan emitir las certificaciones necesarias.

Desde este sector se impulsarán grupos de investigación externos que desarrollen nuevos sistemas de pilas de combustible, así como el desarrollo de nuevos electrodos, placas separadores, sellos, contactos, sistemas de distribución de flujo y de refrigeración, en definitiva, todos los elementos, componentes y sistemas relacionados con las pilas de combustible o con sistemas de combustión interna y se tendrá un contacto estrecho con fabricantes de todo tipo de componentes industriales y con empresas dedicadas a la producción de combustibles o simplemente a la producción de gases.

Como productos importantes de este sector se encuentran separadamente todos los elementos y componentes de las pilas de combustible de diversos tipos y modelos, así como los sistemas integrados. Como consecuencia de todo ello, uno de los procedimientos y ensayos más importantes de este sector será el ensayo de durabilidad y de funcionamiento en condiciones de uso.

Además el sector transformación debe incluir el estudio de temas de electrónica de potencia ya que se trata de una parte del dispositivo personalizado para cada tipo de stack, y un estudio electroquímico de monocelda en profundidad que proporcione resultados previos necesarios para el conocimiento del stack.

Las Pilas de Combustible son los dispositivos electroquímicos destinados a la transformación del hidrógeno en energía eléctrica y térmica. Existen distintas tecnologías y tipos de pila de de combustible cuyo uso y utilización dependerá de la aplicación y del estadio tecnológico de cada una de ellas.

5.4.1 Pilas de Combustible de Óxidos Sólidos (SOFC)

La producción de electricidad mediante las denominadas pilas de combustible de alta temperatura, en concreto las de óxidos sólidos, es uno de los procesos en los que se tiene depositada una gran confianza como solución a corto-medio plazo para la producción masiva de electricidad a partir de hidrógeno renovable o de otros compuestos hidrogenados como hidrocarburos y alcoholes, con alto grado de eficacia. Además, esta tecnología no solo permite la generación eléctrica, sino que comprende también la integración y aprovechamiento térmico de las unidades.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan de interés como líneas de actuación relacionadas con “Pilas de Combustibles de Óxidos Sólidos”, el estudio y desarrollo de materiales, la aplicabilidad y desarrollo de técnicas de producción, el desarrollo de la operación, los estudios y optimización termofluodinámica y el desarrollo de sistemas SOFC que trabajen a menor temperatura y de sistemas reversibles.

Por lo tanto de forma resumida se contempla el desarrollo de estas líneas en función de las necesidades y recomendaciones del sector,

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Desarrollo de materiales y sistemas de generación electrolítica SOFC Reversible		X	X	ALTA
Desarrollo de nuevos catalizadores, electrodos, electrolitos, sellos y componentes así como de técnicas de producción y mecanizado de los mismos, que permitan el aumento de durabilidad de los sistemas respecto a paradas y arranques, variabilidad y horas de funcionamiento	X			ALTA
Desarrollo de la tecnología para la industrialización tanto de las pilas como de sus componentes		X	X	ALTA
Análisis y desarrollo de los sistemas de transmisión de calor y fluidodinámica de pilas SOFC	X			ALTA
Estudio de operación, experimentación y optimización del funcionamiento de sistemas SOFC		X	X	ALTA
Desarrollo de componentes para sistemas SOFC que operen a menor temperatura		X	X	ALTA
Desarrollo de pilas SOFC basadas en diferentes geometrías		X	X	ALTA

5.4.2 Pilas de Combustible Poliméricas

La línea de actuación de "Pilas de combustible poliméricas" es una de las que más apoyo tiene en el sector y la más productiva científica y tecnológicamente por su proyección de futuro.

Las líneas de investigación y desarrollo para estas tecnologías están centradas mayoritariamente en el aumento del tiempo de vida de componentes, disminución de la potencia específica de stack, aumento de temperatura de trabajo, el desarrollo de nuevos procesos que mejoren el ensamblado, escalado de todos los procesos de fabricación considerados, así como desarrollo de sistemas reversibles.

Es interesante realizar una separación en función del tipo de combustible utilizado con lo que se hará una distinción en las líneas para combustibles gaseosos y combustibles líquidos.

5.4.2.1 Pilas Poliméricas alimentadas con combustibles gaseosos (PEMFC)

Las pilas de combustible poliméricas alimentadas con combustibles gaseosos se perfilan para su potencial uso a pequeña y media potencia tanto en aplicaciones estacionarias como en aplicaciones móviles y sobre todo en aplicaciones al transporte. Las condiciones de operación,

características constructivas, tiempos de arranque y parada además de una baja temperatura de trabajo las convierten en especialmente indicadas para estas aplicaciones. Los esfuerzos realizados en este sector tratan de situar a este tipo de tecnología en un lugar competitivo, en costes y eficiencia, dentro del futuro mercado. Por ello este tipo de pilas cuentan con un gran respaldo de centros de investigación y de empresas que apuestan por el desarrollo de esta tecnología buscando como objetivo último la aplicabilidad industrial de las investigaciones y desarrollos obtenidos, y buscando además que el centro lleve a cabo el ensayo y validación de sistemas y el desarrollo de normativa de seguridad según la aplicación final.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan como líneas de interés de actuación relacionadas con "Pilas de combustible poliméricas", el desarrollo e investigación de materiales, el desarrollo de los sistemas de humidificación, la investigación en aplicabilidad y fabricación, el estudio de operación, y la investigación estudios y optimizaciones termofluidodinámicas.

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Desarrollo de materiales y sistemas reversibles		X	X	ALTA
Estudio y desarrollo de materiales de aplicación a PEMFC. Investigación y desarrollo de técnicas de fabricación y ensamblado de componentes que permitan el aumento de la durabilidad, variabilidad y horas de funcionamiento	X			ALTA
Estudio y desarrollo de componentes (placas bipolares, electrocatalizadores y membranas poliméricas) para sistemas que funcionen en el rango de temperaturas entre 120º C y 150 ºc	X			ALTA
Desarrollo de pilas de combustible de pequeña y media potencia así como de la tecnología para la industrialización tanto de las pilas como de sus componentes		X	X	ALTA
Desarrollo de circuitos electrónicos para el control y la gestión eficiente de la potencia de pilas PEM		X	X	ALTA
Desarrollo de sistemas de humidificación de gases con aplicación a la alimentación de Pilas PEM	X			ALTA
Estudio de operación, experimentación y optimización del funcionamiento de pilas PEM		X	X	ALTA

5.4.2.2 Pilas de Combustible alimentadas con combustibles líquidos (DMFC, DEFC, FAFC)

Las pilas de combustible alimentadas con combustibles líquidos se consideran una variante de la tecnología PEMFC, ya que también éstas operan a bajas temperaturas y usan una membrana polimérica conductora de protones como electrolito. Pero a diferencia de otras pilas, las DMFC (pilas de combustible de metanol directo), las DEFC (pilas de combustible de etanol directo) y las FAFC (pilas de combustible de ácido fórmico), entre otras utilizan el combustible en fase

líquida suministrado directamente al ánodo, por lo que se evitan muchos de los problemas de almacenamiento de combustible que se presentan con el hidrógeno.

Todas estas consideraciones hacen que estos dispositivos sean idóneos para una rápida comercialización de esta tecnología, que se perfila para un uso de pequeña potencia en aplicaciones portátiles o en pequeños vehículos utilitarios como sustitutos de baterías o en micropilas.

Esta línea de actuación de "Pilas de combustible alimentadas con combustibles líquidos" está siendo actualmente objeto de importantes trabajos en investigación y desarrollo, centrados mayoritariamente en el desarrollo de nuevos catalizadores que mejoren la eficiencia de la reacción de electro-oxidación del combustible en el ánodo, y el desarrollo de membranas alternativas a las actuales, apostando por el desarrollo de esta tecnología con el fin de situarla en un lugar competitivo dentro del futuro mercado, disminuyendo costes y aumentando su eficiencia. Es de destacar además la necesidad de llevar a cabo tanto la caracterización y ensayo de nuevos materiales como el escalado de los procesos de fabricación. Se deben además tener en cuenta el estudio de optimización fluodinámica. Se destacan a continuación las líneas de mayor interés de actuación relacionadas con "Pilas de combustible alimentadas con combustibles líquidos"

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Estudio y desarrollo de nuevos materiales. Investigación y desarrollo de técnicas de fabricación y ensamblado de componentes que permitan el aumento de la durabilidad, variabilidad y horas de funcionamiento	X			ALTA
Desarrollo de pilas de combustible de pequeña potencia y bajas temperaturas para aplicaciones portátiles y micropilas (micro fuel cells)		X	X	ALTA
Desarrollo de la tecnología para la industrialización tanto de las pilas como de sus componentes		X	X	ALTA
Estudios de operación, experimentación y optimización del funcionamiento de pilas de combustible de líquido directo		X	X	ALTA

5.4.3 Utilización de hidrógeno en sistemas de combustión.

La gran ventaja de la utilización de la pila de combustible frente a los motores de combustión interna y turbinas es que no se encuentran sujetos al rendimiento de ciclos termodinámicos en la conversión de la energía, cuyo máximo viene dado por el ciclo de Carnot. De esta forma se pueden obtener rendimientos globales más elevados en la conversión energética del hidrógeno sin combustión. Además cabe destacar la no producción de gases de efecto invernadero durante la transformación del hidrógeno en pilas de combustible.

Estos hechos no deberían descartar el uso de la combustión del hidrógeno en la producción energética ya que ofrece otras ventajas frente a las pilas de combustible como puede ser el uso de hidrógeno de alimentación de composición menos restrictiva y limitante que la necesaria en pilas de combustible. También podría ser utilizada como una tecnología

facilitadora y de transición para la introducción del hidrógeno en la sociedad y en los medios de producción, distribución y almacenamiento, creando el mercado necesario para el futuro uso extendido de este.

Existirán por tanto aplicaciones en las que la combustión del hidrógeno podría entrar en competencia con la pila de combustible como en sistemas de cogeneración. Por ello es necesaria la investigación y desarrollo en este campo científico y tecnológico para producir avances en esta línea.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan de interés las líneas de actuación relacionadas con "La utilización de hidrógeno en motores de combustión o turbinas de gas"

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Estudio de comportamiento de materiales así como de la utilización y experimentación de mezclas con hidrógeno	X	X		ALTA

5.5. Integración de sistemas

La integración se orientará a la introducción del hidrógeno y de las pilas de combustible en el sistema energético, utilizando la propia instalación con este fin. La instalación contará con generación energética de origen renovable, con independencia que se disponga de suministro de energía eléctrica exterior, de gas natural o suministro de Hidrógeno mediante distribuidores convencionales o a partir de plantas experimentales que obtengan el gas por distintos procedimientos. Por tanto ***la primera faceta de la instalación será la posibilidad de integrar corrientes de hidrógeno de características diferentes***.

La segunda faceta es la integración de la energía eléctrica producida en las pilas de combustible para cubrir el propio consumo del CNH2 para todos sus servicios. Esta producción de electricidad estará cubierta por la electricidad producida por los sistemas de aprovechamiento energético -solar o eólico- que disponga el CNH2, para facilitar la integración de todos los sistemas de producción de energía eléctrica en una sola red o varias redes independientes.

Se incluirá la posibilidad de acuerdo con la empresa suministradora eléctrica de la zona de poder exportar la energía eléctrica excedente a la red general de suministro y se demostrarán todos los tipos de acoplamientos eléctricos y los posibles sistemas de almacenamiento para disponer del máximo de información de diferentes asociaciones de recursos energéticos.

Como última fase de integración se tendrá en cuenta la generación de calor, así como las demandas de energía en forma de calor de la instalación, con un sistema integrado de producción y distribución de energía térmica para distintos usos.

Entre todas las actividades hay componentes tecnológicas en procesos de termofluidodinámica, electrónica de potencia, automática y control entre otros. Entre las actividades más importantes a realizar se encuentran las siguientes,

- Desde este sector se impulsará todo lo referente al desarrollo de componentes y sistemas químicos, mecánicos, eléctricos y electrónicos necesarios para la integración de los sistemas de hidrógeno y pilas de combustible en los diferentes usos que se les pretenda dar. Tanto para su uso estacionario, como en transporte, desarrollo de infraestructuras que permitan la integración del hidrógeno en la sociedad tales como hidrogeneras, aplicaciones de las pilas de combustible para su uso individual o conjunto con otros sistemas de transformación energéticos. Así mismo, se tendrá un contacto estrecho con fabricantes de todo tipo de componentes industriales y con empresas suministradoras de bienes y servicios dedicadas a la producción de sistemas de transformación energética.

- Como productos importantes de este sector se encuentran separadamente todos los elementos y componentes que las tecnologías del hidrógeno y pilas de combustible de todos los tipos y modelos puedan necesitar para integrarse en los procesos de transformación de energía. Como consecuencia de todo ello, uno de los productos más importantes de este sector será el desarrollo de nuevos equipos y sistemas, su demostración de uso y las pruebas de calidad necesarias para su lanzamiento al mercado. Este sector se considera muy susceptible de generación de empresas “spin-off”.

Los avances tecnológicos y la experiencia adquirida a través de la investigación, el desarrollo y la demostración de tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible deben ser integrados

para trabajar como un sistema completamente funcional. Este es el enfoque de los sistemas de integración, la comprensión de las interacciones complejas entre los componentes, los sistemas de costes, los impactos ambientales, los impactos sociales, y sistemas de mercado. La identificación y análisis de estas interacciones permitirá la evaluación de conceptos alternativos y resultarán sistemas bien integrados y optimizados de hidrógeno y pilas de combustible.

Una vez evaluado el sector empresarial y de investigación y el estado de la tecnología se destacan de interés las líneas de actuación desarrolladas en los siguientes puntos.

5.5.1 Integración a sistemas estacionarios

Las actuaciones previstas son:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Desarrollo del sistema de control para sistemas estacionarios de pilas de alta y baja temperatura	X			ALTA
Investigación de usos y aprovechamiento de calor residual en pilas de combustible, cogeneración y trigeneración		X		MEDIA
Aplicaciones de pilas en centrales eléctricas, sistemas centralizados de generación de energía o centros de transformación.		X		MEDIA
Aplicaciones de pilas en sistemas de generación distribuida	X			ALTA
Desarrollo de electrónica de potencia aplicada a sistemas reversibles.			X	MEDIA
Investigación y desarrollo en sistemas de electrónica de potencia y sistemas de control para su aplicación a sistemas de combustión interna (MCI) que funcionen con hidrógeno		X		MEDIA
Desarrollo del sistema de control global para integración con energías renovables	X			ALTA
Investigación de usos y aprovechamiento de calor residual en pilas de combustible, cogeneración y trigeneración	X			MEDIA
Desarrollo de herramientas para simulación de los sistemas necesarios para procesos de validación	X			ALTA
Desarrollo del sistema de control global del sistema de integración del hidrogeno con energías renovables		X		ALTA

5.5.2 Integración en Sistemas de Transporte

5.5.2.1 INFRAESTRUCTURAS

Estaciones de Servicio

La implantación de un sistema energético basado en el hidrógeno y las pilas de combustible necesitará de la implantación de una red de distribución fundamentalmente en forma de estaciones de servicio de hidrógeno (hidrogeneras) que permitan la circulación de vehículos impulsados con tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible.

Las partes de una estación de servicio que se verán afectadas por una transición del parque automovilístico actual basado en petróleo a uno basado en hidrógeno serán: el surtidor, el sistema de carga, el sistema de almacenamiento, los sistemas de seguridad y el sistema de abastecimiento. Deberá existir una tecnología lo suficientemente desarrollada para que la seguridad en el abastecimiento, el tiempo de repostado, así como el número de vehículos que puedan repostar en un día y el tiempo entre repostados sean similares al de las gasolineras actuales.

España dispone de tejido empresarial para el desarrollo de la mayoría de los componentes que integran una estación de servicio de hidrógeno. Una acción coordinadora haría de efecto catalizador para la generación de una tecnología de hidrogeneras nacional.

La implantación de una ruta nacional de hidrogeneras provocaría un impulso solidario a la generación de tecnología de vehículos propulsados por hidrógeno.

El abastecimiento de hidrógeno en carretera para aplicaciones en vehículos será un uso final alternativo de las diversas plantas de producción de hidrógeno siendo por tanto un elemento con efecto tractor sobre estas tecnologías.

Disponer de los recursos para la distribución del hidrógeno se considera un nexo entre las tecnologías de producción de hidrógeno y su transformación a electricidad mediante las pilas de combustible.

Se contempla el desarrollo de las siguientes líneas distribuidas en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Desarrollo de sistemas integrados de producción de hidrógeno “in situ” en estaciones de servicio de hidrógeno			X	ALTA
Experimentación y análisis de componentes para hidrogeneras		X		MEDIA
Investigación en los sistemas termofluidodinámicos de repostaje de hidrógeno		X		MEDIA
Desarrollo de sistemas de electrónica de potencia y control de aplicación en hidrogeneras			X	ALTA
Desarrollo de BOP´S óptimos		X		BAJA

5.5.2.2 MEDIOS DE TRANSPORTE

Desarrollo de tecnología para avanzar en la utilización del hidrógeno en transporte. Por un lado impulsando los sistemas de distribución y por otro lado impulsando el desarrollo de pilas de combustible de nuevo diseño que cada vez se adecuen mejor al sistema de transporte, así como llevando los sistemas de transporte al sector ferroviario y naval y a los transportes terrestres por carretera llegando a ciertas demandas energéticas del transporte aeronáutico.

Se contempla el desarrollo de las siguientes líneas distribuidas en función de las necesidades y recomendaciones del sector:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Estudio del comportamiento dinámico y estructural de los sistemas integrados		X		MEDIA
Investigación y desarrollo de sistemas de electrónica de potencia y control para la gestión de la energía		X		ALTA
Investigación y desarrollo de sistemas híbridos y aprovechamiento térmico de la energía residual	X			ALTA

5.6. Implantación tecnológica

El desarrollo de nuevas tecnologías requiere de un continuo análisis y de la realización de proyecciones y prospectivas, de esta manera se podrá realizar la anticipación y reajuste en las líneas de actuación. Como medio de impulso será necesario realizar las convenientes actividades de formación a distintos niveles para que toda la sociedad disponga de la información y formación necesaria.

Se debe centrar una parte de la actividad orientándola a los aspectos técnico económicos relacionados con la utilización energética del hidrógeno en las distintas aplicaciones.

Las actuaciones previstas son:

Líneas previstas de investigación	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Prioridad
Investigación sobre la percepción social de la incorporación del hidrógeno como vector energético	X			MEDIA
Estudio del ciclo de vida de los sistemas	X			ALTA
Análisis técnico y económico de sistemas basados en hidrógeno energético		X		MEDIA
Estudio de viabilidad de sistemas			X	ALTA

6. CONCLUSIONES

La economía del hidrógeno y las pilas de combustible no debe tomarse simplemente como un ideal, como un sistema energético utópico, sino que debe considerarse como un cimiento de una sociedad futura. Según la hoja de ruta en hidrógeno y pilas de combustible marcada por la *Plataforma Europea del Hidrógeno y las Pilas de Combustible* para el año 2050 se espera disponer de hidrógeno en cantidad y a un precio competitivo, en todas las naciones industrializadas. Se espera que el hidrógeno no sólo funcione como combustible para el transporte, sino que se utilizará como un complemento al sistema de generación de electricidad partiendo de fuentes renovables de energía, con el objetivo de ajustar la generación a la demanda.

La instalación para la Experimentación de Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible es una infraestructura científico técnica que, de acuerdo con la comunidad científica y el entorno productivo, tiene como objetivo impulsar el desarrollo de tecnología competitiva a escala internacional para facilitar la integración del hidrógeno como un vector energético.

El objetivo debe ser el de avanzar científica y tecnológicamente para que cuando se requiera la incorporación del hidrógeno al sistema energético nacional, éste se encuentre en situación de competitividad económica y viabilidad tecnológica acompañando a otros portadores energéticos. Son muchos los avances que se necesitan y todos ellos requieren disponer de infraestructuras experimentales que faciliten la transferencia de conocimientos desde la comunidad científica al entorno productivo. Esta transferencia debe hacerse con garantías de explotabilidad de los resultados. Es conveniente la disponibilidad de infraestructuras que, con calidad, sean capaces de escalar, ensayar, homologar, verificar y certificar, por lo que se requiere que existan equipos adecuadamente preparados para integrar los distintos esfuerzos que se hagan en los distintos grupos de investigación de las múltiples especialidades que cubre el sector.

Con este Plan Director de I+D para el periodo 2011-2014 se quieren orientar las líneas en las que se puede ir centrando el primer esfuerzo que hay que realizar para aproximar de una forma rápida la instalación para la experimentación de las tecnologías del hidrógeno energético a las realidades científicas y productivas nacionales dentro de la situación internacional y de las oportunidades de futuro de esta tecnología.

7. REFERENCIAS

Entre las referencias más relevantes consultadas para la elaboración del presente Plan Director se encuentran,

- Memoria del Proyecto Científico Técnico de la Instalación "Centro Nacional de Experimentación en Tecnologías del Hidrógeno y Pilas de Combustible".
- Plan Nacional de I+D+i 2008-2011.
- Plataforma Española del Hidrógeno (PTEHPC).
- Asociación Española del Hidrógeno (aeh2).
- Asociación Española de Pilas de Combustible (Appice).
- Instituto de Diversificación y Ahorro Energético (IDAE).
- Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón.
- JTI HFC (Joint Technology Initiative Hydrogen Fuel Cell).
- DOE Hydrogen Program.
- International Partnership for the Hydrogen Economy (IPHE).
- Internacional Energy Agency (IEA) Hydrogen.
- JHFC (Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project).