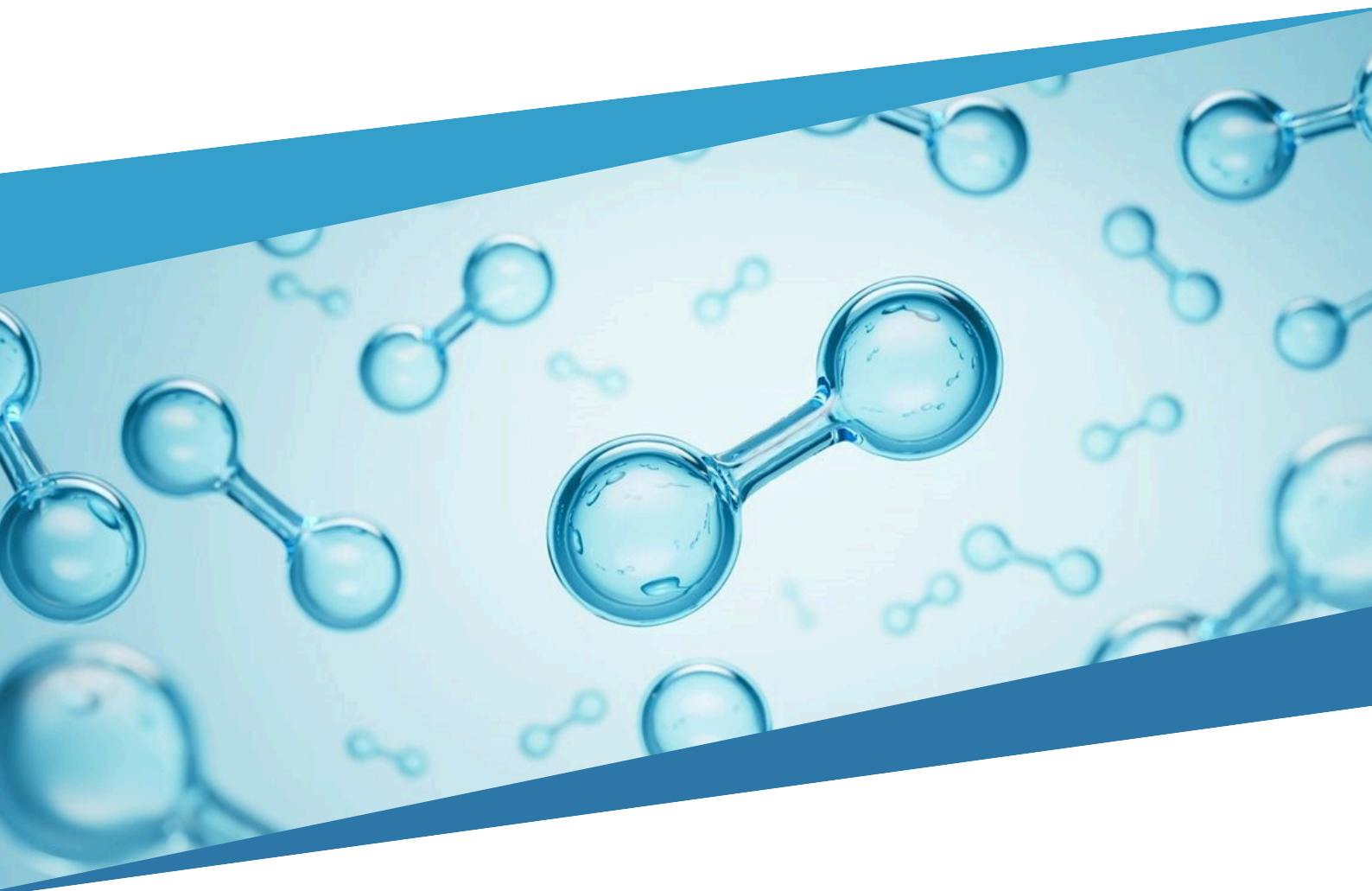




PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL HIDRÓGENO



ENTREGABLE 2024



Plataforma Tecnológica Española
del Hidrógeno



PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL HIDRÓGENO

ENTREGABLE 2024

Grupos de Trabajos de Conocimiento y Colaboración

Autor: Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno (PTe H₂)

Período: 2023-2024

Fecha: 12/12/2024



PTR2022-001351



Palabras del Presidente de la Plataforma Tecnológica Española del H₂ (PTe H₂)

El “**Entregable 2024**” es un documento en el que se sintetiza el análisis de la situación de las tecnologías del hidrógeno en España en 2024, que ha sido realizado por los Grupos de Trabajo de la PTe H₂ con el apoyo de su Secretaría Técnica. Considera todos los eslabones de la **cadena de valor del hidrógeno** y su enfoque fundamental se centra en la **I+D+i**.

Para estructurar el contenido, se definieron tres preguntas clave que debían abordar los Grupos de Trabajo (GT), de forma que se aportara un hilo conductor en el desarrollo del documento: ¿Cuál es el estado de la I+D+i en España?, ¿Cuáles son las áreas de la I+D+i que presentan deficiencias o necesidades: qué nos interesa mejorar en el futuro? y ¿Cuál es la relación entre los dos puntos anteriores y los objetivos de los documentos estratégicos nacionales (**PNIEC, Hoja de Ruta del H₂**)?

Los GT diseñaron cronogramas de reuniones de trabajo, formularios y encuestas que se distribuyeron entre todos sus miembros, de manera que se permitiera analizar la evolución del sector del hidrógeno en España durante 2024, en el ámbito de actuación de cada GT: producción, almacenamiento, transporte y distribución, usos en movilidad, usos en industria, usos en redes eléctricas, edificios, sistemas de auxiliares de respaldo y potencia, así como en colaboración nacional e internacional.

La PTe H₂ está formada por **más de 100 entidades miembro** que representan toda la cadena de valor del hidrógeno: PYMEs, grandes empresas, centros tecnológicos, centros de investigación, universidades y organismos oficiales. Todas estas entidades comparten el compromiso de fomentar el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno en España y promover su liderazgo en Europa.

Uno de los principales objetivos de la **PTe H₂** es consolidarse como un **foro de referencia científico-técnico** que ofrezca asesoramiento a las Administraciones Públicas sobre el estado actual de las tecnologías del hidrógeno, identificando barreras y retos para avanzar hacia su madurez. Además, contribuye a alcanzar los objetivos de descarbonización planteados por las políticas energéticas de España.

Aunque se ha constatado la creciente relevancia de los proyectos y el interés de nuevas entidades en adoptar tecnologías relacionadas con el hidrógeno, sin embargo, persisten importantes desafíos en áreas como regulación, financiación e infraestructura, que aún se encuentran en etapas iniciales y requieren mayores esfuerzos de todos los actores involucrados.

Entre los **resultados** que se pueden extraer del documento destaca **la producción de hidrógeno como el elemento de la cadena de valor que muestra mayores avances en términos de despliegue y madurez tecnológica**. A pesar de ello, queda mucho camino por recorrer para que la transición energética llegue a un sistema económico en el que se utilice de forma masiva la tecnología del hidrógeno. Es crucial involucrar a más **representantes del sector industrial, estimular sinergias entre los distintos actores y fortalecer el uso y las aplicaciones del hidrógeno**. En este sentido, los valles y clústeres de hidrógeno juegan un papel fundamental para el país y su proyección a nivel internacional toma especial relevancia. En concreto, se ha tenido la oportunidad desde la PTe H₂ de divulgar iniciativas clave, siendo un ejemplo de ello la inclusión del Corredor Vasco del Hidrógeno (**BH2C**) en una breve recopilación de valles de hidrógeno editada por Mission Innovation, a través de nuestras acciones de internacionalización.

Igualmente, pensamos que es relevante reseñar la presentación al MITERD, el pasado mes de abril, de la propuesta de la red troncal de transporte de hidrógeno en España, que incluye el corredor de exportación H2Med, habiéndose seleccionado la mayor parte de los gasoductos incluidos como Proyectos de Interés Común (**PCI**) europeos por parte de la Comisión Europea.

En la actualidad hay un mayor conjunto de actividades en producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno y se están desarrollando los primeros proyectos importantes de demostración y despliegue del uso del H₂ en diferentes sectores (transporte, industria, edificación...), todo ello orientado a alcanzar los objetivos de descarbonización marcados para 2030.

En este contexto, dada la transversalidad de la tecnología del H₂, es importante mantener un esfuerzo continuado en I+D+i, bien coordinado, en múltiples disciplinas, de forma que más allá de 2030 se pueda obtener una generación de equipos y sistemas más eficientes y de menor coste. **La I+D+i es esencial para acelerar el nivel de maduración y optimización de la tecnología y para fortalecer el tejido productivo mientras se alcanza la etapa puramente comercial**. Es en este ámbito en el que actúa la PTe H₂ como ejemplo de colaboración público-privada, tanto en la identificación de oportunidades, como en la superación de los retos y barreras.

Limitaciones del documento

Es importante señalar que este documento no pretende ser un análisis exhaustivo ni de rigor científico sobre las tecnologías asociadas a cada área de los Grupos de Trabajo. Su objetivo es recoger las conclusiones alcanzadas en las reuniones de los GT a lo largo de 2024, basadas en las opiniones y experiencias de las entidades participantes, citadas en el anexo. De hecho, en todos los grupos se han identificado acciones a desarrollar a partir de 2025, precisamente para profundizar en cómo afrontar los retos o para obtener un diagnóstico más evolucionado de la situación de cada una de las áreas de la cadena de valor.

En conclusión, el Entregable 2024 refleja los avances y desafíos del sector del hidrógeno en España, subrayando la importancia de la colaboración entre actores clave para consolidar el liderazgo tecnológico y contribuir a los objetivos de descarbonización.



Antonio González García-Conde

Madrid, 12 de Diciembre de 2024

Reconocimientos, contribuciones y créditos

La Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno (**PTe H₂**) reconoce la contribución dada por los coordinadores y vicecoordinadores de sus grupos de trabajo (GT), quienes, con la asistencia de la Secretaría Técnica, han hecho posible la elaboración del **Entregable 2024**.

El GT de Producción de H₂ ha sido coordinado por José María Sánchez-Hervás (CIEMAT) y África Castro Rosende (H2B2), el GT de Almacenamiento, Transporte y Distribución de H₂ ha contado con José Alfredo Lana (Enagás) y Beatriz Nieto (CNH2) como coordinadores, también contaron con los líderes de subgrupo Rafael Lopez (Taiichio-Wolf/ Green Steel) y Henar Olmedo Gómez (CIDAUT). El GT de Usos del H₂ en Movilidad ha sido liderado por José Ignacio Domínguez Carrero (CIDAUT) y Pedro Casero (FHa). En el Grupo de Usos del H₂ en Industria, Ignacio Martín Jiménez (CIRCE) y José Ignacio Domínguez Carrero (CIDAUT) han ejercido como coordinadores mientras que en el GT de Usos del H₂ en Redes Eléctricas, edificios, sistemas auxiliares de respaldo y potencia han tenido a José Manuel Andújar Márquez (CITES-UHU) y Carlos Merino (CNH2). Los GT de colaboración han sido liderados por Antonio González García-Conde (INTA), Vanesa Sendarrubias (CNH2) y Gema Rodado (CNH2) en el caso Nacional mientras que África Castro Rosende (H2B2) y José María Sánchez-Hervás (CIEMAT) se han encargado del Internacional. Todos los GT han contado con la asistencia de Javier Brey (AeH2) y Florimar Ceballos (Ariema) desde la Secretaría Técnica de la PTe H₂.

A continuación, expresamos nuestro reconocimiento y agradecimiento a los siguientes miembros de la PTe H₂, cuya valiosa contribución, presentada en orden alfabético sin ningún otro criterio de distinción, incluyó su asistencia a reuniones, la cumplimentación de formularios, su participación activa en debates y su involucramiento en el taller presencial:

Adrián Correro Ricard (Ecointegral), Alberto Abanades Velasco (UPM), Alejandro Ortega Murcia (ITE), Alejandro Palacio Fernandez (TSK), Alejandro Palacio Fernández (Grupo TSK), Almudena Sanfelix (Smartenergy), Ana Casado Carrillo (Coxenergy), Ana Nieto Prado (Técnicas Reunidas), Ana Palanca Roig (AIMPLAS), Ana Paola Corredor Barrera (Internet Power), Ana Pequenin (Worley), Andrés Ferro (Neuwalme), Antonio Chica Lara (UPV), Antonio Mateo (Vinci Energies Spain SA), Antonio Villalba Herreros (UPM), Carlos Alberto Prieto Velasco (MOEVE), Carmen Bartolomé Rubio (FCIRCE), Cecilia Álvarez Pérez (TSK), Cristina Alonso (CNH2), Cristina Yuste Fernández (Trinity), Daniela Ramirez Espinosa (AIMPLAS), Daniel Sarabia Ortiz (Universidad de Burgos), David Costa (Greene), David Oriol Rodríguez Vidal (LEITAT), Diego Rodríguez (CNH2), Eduardo Bernard (FHa), Eduardo

Rodríguez (EnergyLab), Esteban Rodríguez (CNH2), Estibaliz Crespo (CIC energiGUNE), Eva Gutiérrez (Fundación Tekniker), Fátima Mariño Fernández (Universidad del País Vasco), Félix Marín (IMDEA Energy), Fernando Guedan Carbonell (Repsol), Fernando Losada (Abeienergy), Fernando Ramos Saz (AIMPLAS), Ferran Francesc Pérez (Schaeffler), Francisco Alcaide (CIDETEC), Francisco David Gallego Martínez (Regenera Energy), Francisco Delgado Moro (Duro Felguera), Gonzalo Diego Velasco (CIEMAT), Guillermo Figueruelo Malo (FHa), Guzman Garcia Rodriguez (TOLSA), Jaime Garcia (Greene), Jaime Guerrero (CIRCE), Javier Galeano (Evo-syn), Javier Quintanilla (Abei Energy), Javier Sánchez (FHa), Jesús Montes Ruiz (MOEVE), Jesús Ruiz (CNH2), Joaquim Rigola (CER-H2 UPC), Joaquín José Sierra Andrés (CTAG), Joaquín Vilaplana (AIJU), José A. Villajos Collado (CIIAE), José Angel Peña (I3A-UNIZAR), Juan Alfonso Naranjo Simarro (AIMPLAS), Juan David Duarte (TSK), Juan María González Carballo (CIIAE), Juan Pérez Rico (ITE), Lluís Soler (CER-H2 UPC), Lucía Martínez Balaguer (Coxenergy), Luis Ezequiel Bausela Sánchez (Duro Felguera), Luis Miguel Lou Calvo (CIRSE), Luisa Fraga (Water2kw), María Dolores Hernández Alonso (Repsol), María Linares Serrano (Universidad Rey Juan Carlos), María del Pilar Argumosa (INTA), Maria Serra (CER-H2 UPC), Marina Holgado Dones (AeH2), Marta Real (Taiichio-Wolf/ Green Steel), Miguel Martín (Cetil), Miguel Menendez (I3A – UNIZAR), Natalia Pons Puig (AIMPLAS), Octavio Manuel Castro García (CIIAE), Pablo Campos (Kerionics), Pablo Carrasco Ortega (ITG), Paloma Rebollo Marco (CIRCE), Patricia Delgado Moro (Duro Felguera), Paola Corredor (Eternal Power), Pau Bosch (LEITAT), Raquel Gómez Miguel (INTA), Raul Mateos Gonzalez (Unileon), Raúl Marqués (Diverxia), Rebeca Ruiz Díez (Hiperbaric), Rosa Alonso Gutiérrez (FAEN), Roser Sala (CIEMAT-CISOT), Rubén Beneito Ruiz (Técnicas Reunidas), Salvador Ferrer Castan (ITC-UJI), Samira Kouaou (ITE), Sara Martínez (FHa), Sergio Luján Torres (GFM), Sergio Navarro (AIMPLAS), Silvia Fernández García (EDP), Sonia Pascual (ENERGYLAB), Susana Merino Oviedo (CIEMAT), Teresa de Jesús Leo Mena (UPM-PiCoHiMA), Vanessa Torné Fernández (URV), Victoria Laura Barrio Cagigal (Universidad del País Vasco).

El compromiso de todos estos profesionales ha sido clave para los logros alcanzados en el ámbito del hidrógeno en 2024.

ÍNDICE

1. Introducción a la PTe H ₂	1
1.1. Misión	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estructura	2
2. Introducción al Entregable 2024:	4
2.1. Objetivos.....	4
2.2. Estructura	4
2.3. Metodología.....	5
3. Generalidades.....	6
4. Grupo de Trabajo de Conocimiento: Producción de H ₂	7
4.1. Alcance y Objetivos	8
4.2. Estado actual de las Tecnologías de Producción de H ₂ , Situación de España	8
4.2.1. Tecnologías de electrólisis:	8
4.2.2. Tecnologías de bajas emisiones de carbono:.....	10
4.2.3. Otras tecnologías de producción de hidrógeno:	12
4.3. Retos y Barreras identificados	13
4.3.1. Tecnologías de electrólisis	13
4.3.2. Tecnologías de bajas emisiones de carbono.....	15
4.3.3. Otras tecnologías de producción de hidrógeno	16
4.4. Conclusiones y recomendaciones.....	17
5. Grupo de Trabajo de Conocimiento: Almacenamiento, Transporte y Distribución de H ₂	18
5.1. Alcance y Objetivos	18
5.2. Estado actual de las Tecnologías de Almacenamiento, Transporte y Distribución de H ₂ , Situación de España	19
5.2.1. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)	19
5.2.2. Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable	20
5.2.3. Estrategia nacional de almacenamiento energético.....	21

5.3.	Retos y Barreras identificados	23
5.3.1.	Densidad energética y volumétrica del hidrógeno	23
5.3.2.	Materiales y tecnologías de almacenamiento	24
5.3.3.	Infraestructura de transporte	24
5.3.4.	Seguridad y medio ambiente	25
5.3.5.	Coste: costes operativos por la tecnología disponible y economía de escala	25
5.3.6.	Formación	25
5.4.	Conclusiones y recomendaciones	26
6.	Grupo de Trabajo de Conocimiento: Usos del H ₂ en Movilidad	26
6.1.	Alcance y Objetivos	27
6.2.	Estado actual de las Tecnologías del Uso del H ₂ en Movilidad, Situación de España 27	
6.2.1.	Transporte por carretera	28
6.2.2.	Transporte marítimo	29
6.2.3.	Transporte aéreo	29
6.2.4.	Convocatorias financiadoras	30
6.2.5.	Seguimiento de indicadores	30
6.3.	Retos y Barreras identificados	32
6.4.	Conclusiones y recomendaciones	34
7.	Grupo de Trabajo de Conocimiento: Usos del H ₂ en Redes Eléctricas, Edificios, Sistemas Auxiliares de Respaldo y Potencia (RE2+SARP)	34
7.1.	Alcance y Objetivos	35
7.2.	Estado actual de las Tecnologías del Uso del H ₂ en RE2+SARP, Situación de España	35
7.2.1.	Pilas de combustible y cogeneración mediante pilas de combustible	35
7.2.2.	Redes eléctricas híbridadas con tecnologías de hidrógeno	36
7.2.3.	Grupos electrógenos de hidrógeno mediante pila de combustible o combustión 37	

7.2.4.	Quemadores de mezclas de hidrógeno e hidrógeno puro	38
7.2.5.	Turbinas de mezclas de hidrógeno e hidrógeno puro	38
7.2.6.	Usos residenciales, hospitalarios y dotacionales del hidrógeno	38
7.2.7.	Unidades auxiliares de potencia (APU's)/ Sistemas de propulsión	39
7.3.	Retos y Barreras identificados	40
7.4.	Conclusiones y recomendaciones.....	44
8.	Grupo de Trabajo de Conocimiento: Usos del H ₂ en Industria.....	45
8.1.	Alcance y Objetivos	48
8.2.	Estado actual de las Tecnologías del Uso del H ₂ en Industria, Situación de España 48	
8.2.1.	Compatibilidad de equipos	48
8.2.2.	Modificación de las instalaciones	49
8.2.3.	Control de procesos	50
8.2.4.	Riesgos de seguridad.....	51
8.2.5.	Desarrollo de combustibles sostenibles.....	51
8.3.	Retos y Barreras identificados	51
8.3.1.	Procedimiento seguido	51
8.3.2.	Retos y barreras.....	52
8.4.	Conclusiones y recomendaciones.....	54
9.	Grupo de Trabajo de Colaboración: Nacional.....	54
9.1.	Alcance y Objetivos	55
9.2.	Valles de H ₂ en España	56
9.2.1.	Andalucía	57
9.2.2.	Aragón	57
9.2.3.	Cantabria	58
9.2.4.	Castilla-La Mancha.....	58
9.2.5.	Castilla y León.....	58
9.2.6.	Cataluña.....	59

9.2.7.	Comunidad de Madrid	59
9.2.8.	Comunidad Foral de Navarra	59
9.2.9.	Comunidad Valenciana	59
9.2.10.	Extremadura.....	59
9.2.11.	Galicia	60
9.2.12.	Islas baleares	60
9.2.13.	País Vasco	60
9.2.14.	Principado de Asturias	61
9.2.15.	Región de Murcia	61
9.2.16.	Red Troncal del Hidrógeno.....	61
9.3.	Retos y Barreras identificados	62
9.3.1.	Retos y Barreras Científicos.....	62
9.3.2.	Retos y Barreras Tecnológicos.....	63
9.3.3.	Retos y Barreras en Materia de Regulación, Financiación y Aspectos Sociales 64	
9.4.	Conclusiones y recomendaciones.....	66
10.	Grupo de Trabajo de Colaboración: Internacional.....	66
10.1.	Alcance y Objetivos	67
10.2.	Representación Española en Agrupaciones Internacionales.....	67
10.2.1.	Agrupaciones europeas	67
10.2.2.	Agrupaciones internacionales	68
10.3.	Retos y Barreras identificados	73
10.4.	Conclusiones y recomendaciones.....	74
11.	Reflexión sobre el sector del H ₂	75
12.	Anexos	80
12.1.	GT Producción de H ₂	80
12.2.	GT Almacenamiento, Transporte y Distribución de H ₂	87
12.3.	GT Usos del H ₂ en Movilidad	90

12.4.	GT Usos del H ₂ en Industria.....	92
13.	Documentos de Referencia.....	100
13.1.	Transversales:	100
13.2.	GT Usos del H ₂ en Movilidad	100
13.3.	GT Usos del H ₂ en la industria	101
13.4.	GT Colaboración Internacional.....	102

1. Introducción a la PTe H₂

La Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno (**PTe H₂**), es una iniciativa promovida por la Asociación Española del Hidrógeno (**AeH₂**) y amparada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (**MICIU**). Desde su puesta en marcha en el año 2005, la AeH₂ asume las labores de Secretaría Técnica.

La PTe H₂ se encarga de **fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector del hidrógeno en España**. Desde la PTe H₂ se dinamiza la participación de entidades españolas en proyectos de investigación, desarrollo e innovación (**I+D+i**), tanto nacionales como internacionales, relacionados con este sector, con el objetivo de desarrollar conocimientos y tecnología propios que permitan situar a la industria española en una posición competitiva a nivel internacional.



Fig. 1 Tipos de Entidades Miembros de la PTe H₂.

Actualmente la PTe H₂ está conformado por **más de 100 entidades**, las cuales provienen de **13 comunidades** autónomas de España y como se muestra en la Figura 1, representan los sectores de centros de investigación/tecnológico, organismos oficiales, universidades, pequeñas y medianas empresas (PYME) y grandes empresas.

1.1. Misión

La misión de la PTe H₂ es aunar a los representantes de toda la cadena de valor del sector del hidrógeno para constituir un lugar de encuentro científico-tecnológico donde localizar información valiosa, recomendaciones y actuaciones en materia de **I+D+i**. Con todo ello, se busca establecer y difundir las prioridades tecnológicas y necesidades de investigación a medio-largo plazo, consolidar el desarrollo y la utilización de sistemas basados en tecnologías de hidrógeno a nivel nacional, y facilitar la colaboración de las administraciones públicas y agentes nacionales.

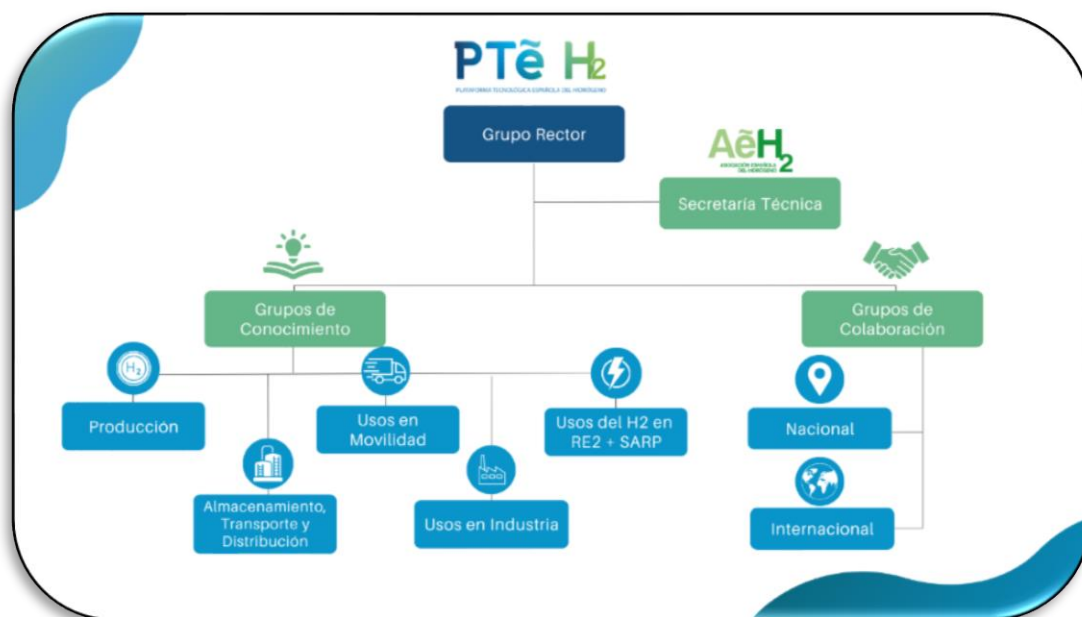
1.2. Objetivos

- Ser un foro de conocimiento científico-técnico de referencia
- Ser un nexo entre la administración pública (**AAPP**) y la I+D+i
- Ser impulsor de la cooperación nacional e internacional

1.3. Estructura

La PTe H₂ se organiza en cuatro bloques principales: el **Grupo Rector**, la **Secretaría Técnica**, los **Grupos de Trabajo de Conocimiento** y los **Grupos de Trabajo de Colaboración**. El Grupo Rector está compuesto por los coordinadores y vicecoordinadores de los grupos de trabajo (**GT**), y es liderado por un presidente y una vicepresidenta.

La Secretaría Técnica, responsabilidad de la Asociación Española del Hidrógeno (**AeH₂**), ha sido gestionada en 2024 mediante la subcontratación de Ariema Energía y Medio Ambiente, S.L. (**Ariema**). La estructura organizativa de la PTe H₂ se representa en el organigrama de la Figura 2:



1

Fig. 2: Organigrama de la PTe H₂.

Para 2024, las funciones de presidente, vicepresidenta, coordinadores, vicecoordinadores y secretaria técnica de la PTe H₂ estaban a cargo de las **personas y entidades** que se detallan en la Figura 3:

¹ **RE2+SARP**: Redes Eléctricas, Edificios, Sistemas Auxiliares de Respaldo y Potencia

Cargo	Responsables	Entidad
Presidente	Antonio González García-Conde	
Vicepresidenta	África Castro Rosende	
Secretaría Técnica	Javier Brey	
	Florimar Ceballos Rivas	
Coordinador GT Producción	José María Sánchez Hervás	
Vicecoordinadora GT Producción	África Castro Rosende	
Coordinador GT Almacenamiento, Transporte y Distribución	José Lana	
Vicecoordinadora GT Almacenamiento, Transporte y Distribución	Beatriz Nieto	
Coordinador GT Usos en Movilidad	José Ignacio Domínguez	
Vicecoordinador GT Usos en Movilidad	Pedro Casero	
Coordinador GT Usos en Industria	Ignacio Martín	
Vicecoordinador GT Usos en Industria	José Ignacio Domínguez	
Coordinador GT Usos en RE2+SARP	Jose Manuel Andújar	
Vicecoordinador GT Usos en RE2+SARP	Carlos Merino	
Coordinador GT Colaboración Nacional	Antonio González García-Conde	
Vicecoordinadora GT Nacional	Vanesa Sendarrubias Gema Rodado	
Coordinadora GT Internacional	África Castro Rosende	
Vicecoordinador GT Internacional	José María Sánchez Hervás	

Fig. 3: Responsables de la PTe H₂ en 2024.

2. Introducción al Entregable 2024:

El **Entregable 2024** es un documento que recoge las contribuciones de los miembros activos de los siete grupos de trabajo de la PTe H₂. Estos grupos se reunieron en un promedio de tres sesiones durante el año, además de participar en un workshop presencial, donde se debatieron las prioridades de cada sector dentro de la cadena de valor del hidrógeno.

Durante estas reuniones, se definió la metodología a seguir y, con el apoyo de la secretaría técnica, los coordinadores y vicecoordinadores estructuraron la información para garantizar su utilidad y relevancia. Con este documento se persigue facilitar la toma de decisiones que impulsen el avance de las tecnologías de I+D+i, consolidando el liderazgo de España en la transición energética que está en marcha en Europa.

2.1. Objetivos

El **Entregable 2024** tiene como objetivo realizar una revisión del estado de las tecnologías del hidrógeno en España y dar respuestas a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el estado actual de la I+D+i en España?
2. ¿Cuáles son las áreas de I+D+i que presentan deficiencias o necesidades? ¿Qué nos interesa mejorar a futuro?
3. ¿Qué relación tienen los dos puntos anteriores con lo que plantean algunos documentos estratégicos tales como el **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)**, **Hoja de Ruta del Hidrógeno** y otros similares?

Dadas las características de cada GT, se han abordado las respuestas a cada una de estas preguntas de una manera ligeramente diferente. También se han identificado barreras y retos, a fin de dar recomendaciones que contribuyan a superarlas o minimizarlas.

2.2. Estructura

A continuación, se describe la estructura que siguieron los coordinadores y vicecoordinadores de los GT para presentar la información contenida en el Entregable 2024:

1. **Introducción:** Breve descripción de cada GT.
2. **Alcance y objetivos:** Definición del propósito y los objetivos específicos de cada GT.
3. **Estado actual de las tecnologías del hidrógeno:** Análisis de la situación en España desde la perspectiva de cada GT.
4. **Retos y barreras:** Identificación de los principales desafíos que enfrenta el sector.

5. **Conclusiones y recomendaciones:** Resumen de las ideas clave y propuestas para avanzar.

2.3. Metodología

Para elaborar el Entregable 2024, se diseñó una **metodología participativa y estructurada** que permitió recoger información relevante de los diferentes actores de la cadena de valor del hidrógeno, así como definir criterios para la organización y desarrollo del contenido en cada apartado.

El proceso se llevó a cabo a través de las siguientes etapas:

1. **Reuniones de trabajo:** Cada uno de los siete GT de la PTe H₂ celebró un promedio de tres reuniones virtuales. Estas sesiones sirvieron para debatir las prioridades sectoriales, definir las áreas clave de análisis y acordar la metodología de recopilación de información.
2. **Workshop presencial:** Los miembros de los GT participaron en un taller presencial el 26 de junio en la sede de la Agencia Estatal de investigación (**AEI**) en Madrid, que permitió compartir puntos de vista, contrastar enfoques y validar las prioridades identificadas para cada sector dentro de la cadena de valor del hidrógeno.
3. **Encuestas y cuestionarios:** Para obtener datos precisos y específicos, se realizaron encuestas y cuestionarios dirigidos a los miembros de los GT. Estos instrumentos permitieron recopilar información detallada sobre proyectos, nivel de madurez de las tecnologías del hidrógeno, retos identificados y posibles soluciones en España.
4. **Análisis y síntesis de la información:** Los coordinadores y vicecoordinadores de los GT, con el apoyo de la secretaría técnica, se encargaron de estructurar la información obtenida, asegurando que fuese coherente, relevante y orientada a facilitar la toma de decisiones.

Este enfoque metodológico asegura que el Entregable 2024 **ofrezca una visión detallada y representativa del avance de las tecnologías de hidrógeno en las áreas de actuación de los miembros de la PTe H₂ en España**, contribuyendo al objetivo de consolidar el liderazgo del país en la transición energética europea.

3. Generalidades

Este apartado aborda los aspectos comunes a los GT de la PTe H₂, proporcionando un marco transversal que incluye las características del hidrógeno, su papel en los objetivos de descarbonización para 2030 y 2050, y los documentos clave que contextualizan las tecnologías del hidrógeno en España.

El hidrógeno (H₂) se presenta como un elemento clave en la transición hacia una economía descarbonizada, y las tecnologías asociadas a su cadena de valor, han sido analizadas en el contexto de los GT de la PTe H₂. En la Figura 4, se muestran algunas propiedades relevantes del H₂ que determinan su uso en los diferentes sectores económicos.

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>
<i>Densidad</i>	0,0899 kg/Nm ³ (gas)
	0,0708 kg/l (liquido)
<i>Poder calorífico inferior</i>	120 MJ/kg
<i>Poder calorífico superior</i>	141,86 MJ/kg
<i>Límites de explosión</i>	4,0 - 75,0 % (concentración de H ₂ en aire)
<i>Límites de detonación</i>	18,3 - 59,0 % (concentración de H ₂ en aire)
<i>Capacidad calorífica específica</i>	C _p =14,199 KJ/(kg·K)
	C _v =10,074 KJ/(kg·K)
<i>Coeficiente de difusión</i>	0,61 cm ² /s

Fig. 4: Propiedades del Hidrógeno ².

Actualmente, el H₂ se emplea principalmente como materia prima en los sectores químico y petroquímico, con una producción predominante a través del reformado de gas natural, conocido como "hidrógeno gris" debido a sus emisiones asociadas de CO₂. Sin embargo, la transición hacia el hidrógeno renovable es fundamental para reducir emisiones y aumentar la sostenibilidad energética.

Un aspecto importante relacionado con la seguridad y el medio ambiente es el impacto potencial del hidrógeno en la atmósfera. Aunque no es un gas de efecto invernadero directo, el hidrógeno tiene un efecto invernadero indirecto cinco veces superior al CO₂. Por esta razón,

² <https://aeh2.org/hidrogeno/>

es esencial desarrollar tecnologías que detecten y minimicen estas emisiones para evitar impactos negativos en el medio ambiente.

En términos de medición y calidad del hidrógeno, existen importantes limitaciones técnicas. No se dispone de sistemas de medición acreditados metrológicamente para el flujo de hidrógeno a gran escala, lo que plantea desafíos para su integración en cadenas de suministro confiables y eficientes. Además, la ausencia de laboratorios europeos acreditados para la calibración de contadores de hidrógeno según ISO 17025 limita el desarrollo y la implementación de tecnologías de medición. También es necesario avanzar en los sistemas de análisis de la composición del hidrógeno y en la trazabilidad de sus características, especialmente para controlar las impurezas presentes.

Para evaluar la situación actual de las tecnologías de hidrógeno en España, se revisaron documentos estratégicos que conforman el Marco Estratégico de Energía y Clima, entre los que destacan:

- **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030:** Define los objetivos y las estrategias para la transición energética en España.
- **Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo (ELP) 2050:** Traza el camino hacia la neutralidad climática.
- **Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable:** Establece los hitos y acciones para desarrollar esta tecnología.

Estos documentos, junto con otros específicos mencionados en los apartados de cada GT, han sido fundamentales para el análisis de las capacidades tecnológicas y el debate con las entidades participantes en la PTe H₂. Asimismo, su revisión ha permitido identificar los aspectos clave y los retos comunes que afectan al desarrollo del hidrógeno en España.

El análisis de las capacidades tecnológicas realizado a través de encuestas a los miembros de la PTe H₂, demuestra que la apuesta por este vector energético en España es firme.

4. Grupo de Trabajo de Conocimiento: Producción de H₂

El **Grupo de Trabajo (GT) de Producción de Hidrógeno** se focaliza en el desarrollo tecnológico de las rutas de producción de interés para lograr hacer realidad la implementación del hidrógeno en España. A través de dichos desarrollos se busca el posicionamiento estratégico investigador, tecnológico y empresarial del país a nivel global. En la actualidad el número de miembros en el grupo de trabajo es superior a noventa. Está representada toda la

cadena de desarrollo, Universidades, Organismo Públicos de Investigación Fundaciones, Centros Tecnológicos, PYMES y grandes empresas.

4.1. Alcance y Objetivos

El objetivo de este Grupo de Trabajo es el análisis y el estudio del potencial de España para producir hidrógeno, buscando vías de mejora en términos de eficiencia y reducción de costes. El alcance se plantea mediante el desarrollo y la optimización de métodos y tecnologías de producción. El éxito en estas tareas será fundamental para implementar a gran escala este vector energético y acercar sus beneficios económicos, sociales y ambientales al conjunto de la sociedad española.

4.2. Estado actual de las Tecnologías de Producción de H₂, Situación de España

España está avanzando con paso firme en el desarrollo de tecnologías de producción de hidrógeno. Se cubren todos los niveles de madurez tecnológica, más conocidos por sus siglas inglesas originarias **TRLs** o **Technology Readiness Levels**.

Así, sin ser una clasificación rígida, se observa que las Universidades y Centros de Investigación están contribuyendo en niveles que van desde TRL1, idea básica a TRL4-5, validación a nivel de componentes en laboratorio y en un entorno relevante. Los centros tecnológicos se focalizan en TRLs 5-8, que logra la validación y certificación en entorno real. Finalmente, las empresas se mueven en los niveles más altos, TRL7-TRL9, alcanzando pruebas con éxito en entorno real y comercializando la tecnología desarrollada.

Como resultado, ateniendo a las rutas de producción, se obtiene que en España se realiza investigación, desarrollo e innovación tecnológica en:

4.2.1. Tecnologías de electrólisis:

Permiten la producción de hidrógeno por descomposición de la molécula de agua. La energía eléctrica necesaria se obtiene de fuentes renovables como solar o eólica. La hibridación con éstas permite además un almacenamiento químico eficiente de la energía renovable, especialmente para largos períodos y tiempos de almacenamiento.

España efectúa actividad en las siguientes sub-tecnologías:

- Electrolizadores de Membrana de Intercambio Protónico (PEM): Se basan en el uso de una membrana de intercambio de protones para separar el hidrógeno y el oxígeno del agua. Son los que están más desarrollados debido a su eficiencia y capacidad de

respuesta rápida. Existen todavía retos tecnológicos como la calidad del agua, la operación intermitente o la reducción de costes en componentes

- Electrolizadores de Membrana de Intercambio Aniónico (AEM): Similares a los PEM, se diferencian de aquéllos por el empleo de una membrana de intercambio de aniones para la separación de hidrógeno y oxígeno. Están en una fase de desarrollo más baja. No obstante, debido a su potencial menor coste y mayor durabilidad, es una de las tecnologías que más auge está mostrando.
- Electrolizadores de Óxido Sólido (SOEC): Operan a altas temperaturas, 700-850 °C. Utilizan óxidos sólidos como electrolitos. Destacan por su alta eficiencia energética y gran tolerancia a las impurezas. Necesitan fuentes de energía de alta temperatura, como la energía solar de concentración o los humos de combustión. Entre sus ventajas están la posibilidad de emplear el calor residual, su operación en modo reversible electrolizador-pila y la co-electrólisis H₂O-CO₂, para generar un gas de síntesis. Están en una fase de desarrollo inferior y existen desafíos claros como las temperaturas de funcionamiento, naturaleza y durabilidad de los materiales empleados. En resumen, son más complejos y costosos que otras modalidades y la tecnología no está tan desarrollada.
- Electrolizadores alcalinos (AEL): Es la tecnología más desarrollada y comercial. Esta se basa en la inmersión de los dos electrodos en un electrolito líquido alcalino que conduce aniones OH⁻. Simple y barata, de mantenimiento sencillo, no necesitan metales nobles y es relativamente estable. Sin embargo, las densidades de corriente que se obtienen son bajas, Aunque existe actividad en España, no es la tecnología prioritaria.
- Electrolizadores bioelectroquímicos: Están basados en la capacidad de transferir electrones de microorganismos activos electroquímicamente. Es una tecnología emergente, estando a escala de laboratorio. Entre las ventajas está que aplicada al tratamiento de aguas residuales permite la eliminación de gran parte de la materia orgánica en la cámara anódica y la producción de hidrógeno en el cátodo. Se está investigando su aplicación directa a biomasa líquida.

En la tabla 2.1 del apartado 12, Anexo 12.1, se recoge la actividad en España de los miembros de la PTe H₂ en tecnologías de producción de hidrógeno basadas en electrólisis. Por su parte, la Figura 5 resume el nivel de madurez de las tecnologías de electrólisis analizadas en 2024 por el GT de Producción de hidrógeno de la PTe H₂.

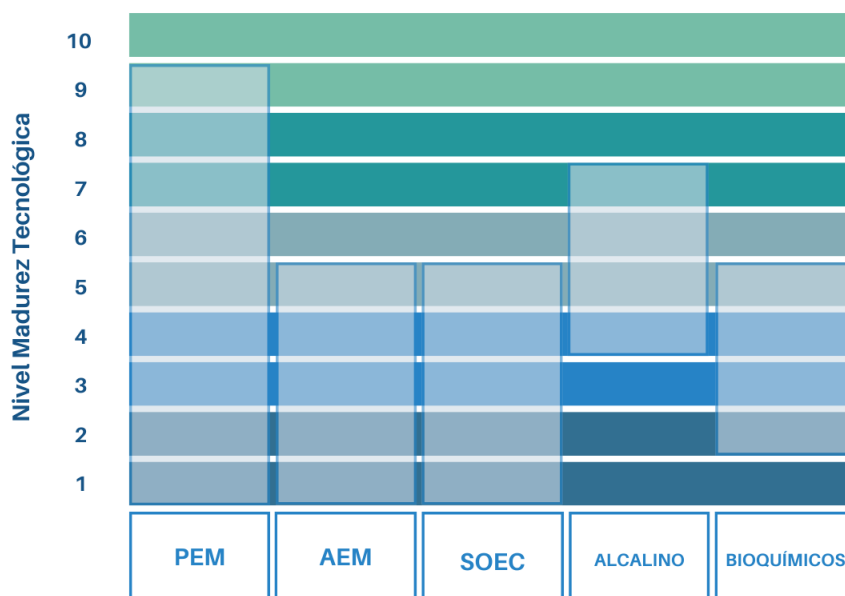


Fig. 5: España – Rutas Tecnológicas Producción de Hidrógeno – Electrólisis.

4.2.2. Tecnologías de bajas emisiones de carbono:

Se basan en la conversión de biomasa y residuos por vía térmica, bioquímica o química. En la etapa de conversión primaria se obtiene una mezcla de gases, H₂/CO/CO₂/hidrocarburos, los cuales tras un conjunto de etapas de depuración, enriquecimiento y separación producen hidrógeno. Los procesos se pueden acoplar además a captura y valorización del dióxido de carbono co-producido. Una gran ventaja de estas tecnologías es que reducen la cantidad de residuos que se envían a vertederos, al tiempo que son muy versátiles en los productos a obtener, siendo el hidrógeno uno de ellos.

Por otra parte, el reformado con vapor de gas natural sigue siendo la principal vía de producción de hidrógeno. Produce una mezcla de hidrógeno y dióxido de carbono, el cual tras separación se puede capturar. Alternativamente, el reformado seco con dióxido de carbono es una alternativa prometedora que permite potencialmente reducir las emisiones de CO₂ y producir gas de síntesis con una relación H₂/CO más adecuada para otros procesos posteriores, además de la producción de hidrógeno.

En España se está trabajando en las siguientes rutas de producción de hidrógeno con bajas emisiones de carbono:

- **Gasificación:** Implica la transformación termoquímica de la biomasa o los residuos, a temperaturas superiores a 700°C y con aporte controlado de oxígeno o vapor, obteniendo gas sintético o syngas. El gas presenta en su composición H₂, CO, CO₂,

CH₄, trazas de hidrocarburos y agua, principalmente. La gasificación es una tecnología madura, y su aplicación a producción de hidrógeno se basa en la adaptación de tecnologías de su generación a partir de la gasificación de combustibles fósiles.

- Pirólisis: Descomposición química causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno. Tradicionalmente se ha llevado a cabo a temperaturas inferiores a 550°C, enfocada a maximizar el rendimiento a la fracción líquida, bioaceite o sólida, biochar, en función de la velocidad de calentamiento y tiempo de residencia. En la actualidad se ha ampliado a maximizar la fracción de gas, operando a mayores temperaturas. Así se produce un pirogas rico en hidrógeno y monóxido de carbono, con un menor contenido en CO₂ que la gasificación. Además, una fracción importante del carbono se queda retenido en la fase sólida. La pirólisis para producción de gas está alcanzando los niveles de demostración.
- Reformado: Tecnología tradicional de producción de hidrógeno a partir de gas natural, es aplicable también al biogás, mezcla de metano y CO₂, de carácter biogénico. Al igual que las tecnologías anteriores existen desarrollos comerciales para gas natural, que deben ser adaptados al caso específico del biogás.
- Craqueo: Descomposición térmica a muy alta temperatura, típicamente por encima de 1000°C o catalítica, lo que permite reducir al entorno de 700-800°C. Permite la rotura de las cadenas de hidrocarburos en sus especies más pequeñas, idealmente hidrógeno y carbono. Se encuentra a escala de estudios de laboratorio y plantas piloto.
- Fermentación oscura: Proceso metabólico que ocurre naturalmente en ciertas bacterias y permite la producción y recuperación del hidrógeno contenido en residuos orgánicos, en ausencia de luz y gracias a la acción combinada de un conjunto de bacterias anaerobias. Se está desarrollando entre otros asociados a la digestión anaerobia. El proceso tradicional se modifica, pasando a ser un proceso de doble etapa que consiste en separar, de manera física, las diferentes etapas microbiológicas. En el primer digestor (digestor hidrolítico) se llevan a cabo la hidrólisis y la acidogénesis. La recuperación del hidrógeno se realiza antes de que este sea consumido por las bacterias metanogénicas y es sometido al proceso de fermentación oscura. Existen tecnologías complementarias como la fotofermentación que realizan ciertas bacterias, y la biofotólisis que realizan ciertas algas. La tecnología está en desarrollo.

En la tabla 2.2 del apartado 12, Anexo 12.1, se recoge la actividad en España de los miembros de la PTe H₂ en tecnologías de producción de hidrógeno con bajas emisiones de carbono.

Por su parte, la Figura 6 resume el nivel de madurez de estas tecnologías analizadas en 2024 por el GT de Producción de hidrógeno de la PTe H₂.

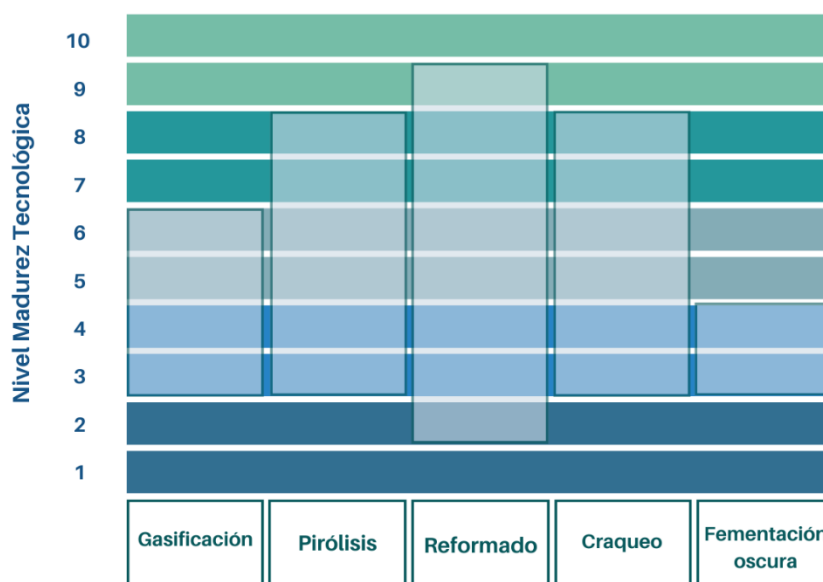


Fig. 6: España – Rutas Tecnológicas Producción de Hidrógeno – Hipocarbónicas.

4.2.3. Otras tecnologías de producción de hidrógeno:

La encuesta muestra que universidades, centros de investigación y centros tecnológicos tienen actividad en otras rutas tecnológicas de producción de hidrógeno. Así se han recogido las siguientes:

- Producción solar: Producción de hidrógeno verde por termólisis directa de agua o hidrocarburos a partir de radiación solar concentrada mediante espejos. Este proceso de generación ocurre a temperaturas por encima de 1000 °C y precisa del desarrollo de nuevas combinaciones de materiales capaces de trabajar de manera eficiente a estas temperaturas.
- Ciclos termoquímicos/Water splitting: La producción de hidrógeno mediante ciclos termoquímicos se basa en un proceso químico de dos etapas. En la primera un material sólido, generalmente un óxido metálico, se reduce a alta temperatura, normalmente por encima de 1400°C, liberando oxígeno. En la segunda, se vuelve a re-oxidar con vapor a temperaturas más bajas recuperando su estructura inicial y produciendo hidrógeno. Ocurre a temperaturas más moderadas en comparación con la termólisis directa, pero es necesario su acoplamiento a fuentes de calor de alta temperatura como radiación solar concentrada o calor industrial

- **Fotocatálisis:** Cuando se habla de fotocatálisis se hace referencia a una reacción catalítica que involucra la absorción de luz por parte de un catalizador o sustrato. Combina la fotoquímica con la catálisis. Es decir, ambos elementos, luz y catalizador, son necesarios para alcanzar o acelerar la reacción química de descomposición del agua. Se encuentra a bajos TRLs de desarrollo. Entre sus bondades destaca que opera a condiciones ambiente de presión y temperatura y con calidad de agua menos exigente. Es una tecnología a escalas bajas de nivel de madurez tecnológica

En la tabla 2.3 del apartado 12, Anexo 12.1, se han recogido las actividades en estas tecnologías que están realizando los miembros de la PTe H₂. La Figura 7 resume el nivel de madurez de estas tecnologías analizadas en 2024 por el GT de Producción de hidrógeno de la PTe H₂.

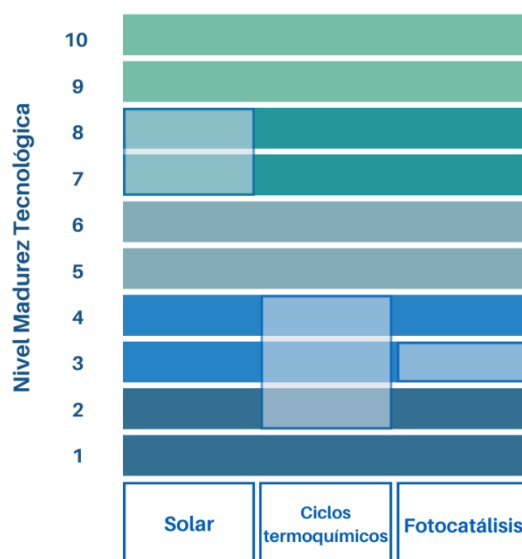


Fig. 7: España – Rutas Tecnológicas Producción de Hidrógeno – Otras.

4.3. Retos y Barreras identificados

4.3.1. Tecnologías de electrólisis

Las barreras y los retos identificados están relacionados con el nivel de desarrollo de las diferentes maneras de producción.

Así en electrólisis PEM, debido a su mayor madurez tecnológica las principales barreras y retos están relacionados con la necesidad de salto de escala, reducción de costes y disminución de la dependencia de proveedores externos y aumento de los desarrolladores nacionales. Se detecta la presencia de un mercado incipiente, en el que es fundamental

posicionarse frente a los competidores extranjeros. Se reconoce la potencialidad a nivel país de poder cubrir la cadena completa

La tabla 2.4, apartado 12, Anexo 12.1, presenta en forma más detallada las principales barreras y retos que los miembros de la plataforma han identificado para la tecnología de electrólisis PEM.

Similares barreras y retos se reseñan para la tecnología de electrolizadores alcalinos. Para esta tecnología, además de barreras y retos técnicos, se identifica la necesidad de un mayor reconocimiento y apoyo. Su versión más innovadora, presurizada, presenta incertidumbres en cuanto a respuesta en condiciones de operación no estacionarias y desconectadas de red.

Las principales barreras y retos que los miembros de la plataforma han identificado para la tecnología de electrólisis alcalina se resumen en la tabla 2.5, del anexo 12.1.

Las tecnologías SOEC y AEM, con un creciente ámbito de desarrollo, presentan barreras y retos habituales en las escalas de madurez tecnológica intermedias. Así se identifican como prioridades seguir avanzando en los materiales, en su capacidad y durabilidad, junto a la necesidad de crear un tejido nacional para la fabricación de componentes, electrodos y catalizadores.

Las tecnologías más emergentes como los electrolizadores bioelectroquímicos y la fotoelectrólisis, presentan como principal reto la mejora de la productividad y su demostración a escalas relevantes.

En la tabla 2.6, del anexo 12.1, se enumeran con mayor detalle las principales barreras y retos que los miembros de la plataforma han identificado para la tecnología de electrólisis AEM, SOEC y bioelectrolizadores.

La integración a gran escala de los electrolizadores con los sistemas de generación de energías renovables es uno de los campos en los que se mencionan numerosos retos. De manera constante la palabra escalabilidad se repite. La carencia de datos de degradación, la falta de horas acumuladas con conexión a red y sin ella, el comportamiento frente a la variación en el suministro renovable son elementos comunes que se resaltan. Las herramientas de simulación y los gemelos digitales aparecen como instrumentos clave para la mejora futura. Este factor es común para las diferentes tecnologías de electrolizadores, PEM, alcalino y SOEC.

La tabla 2.7, apartado 12, Anexo 12.1, presenta en forma más detallada las principales barreras y retos que los miembros de la plataforma han identificado para la integración de electrolizadores con fuentes de suministro de energía renovable.

4.3.2. Tecnologías de bajas emisiones de carbono

Las tecnologías de conversión termoquímica de biomasa y residuos constituyen un segundo gran bloque de producción de hidrógeno. Su principal valor radica en que contribuyen a la minimización de la cantidad de residuo enviado a vertedero. Las tecnologías principales, gasificación, pirolisis y craqueo, presentan gran madurez, asociado a los combustibles fósiles, carbón, gas natural y petróleo. El principal reto es adaptar las tecnologías y procesos existentes a los nuevos sustratos de partida, biomásas y residuos y a su variabilidad estacional y geográfica. Esta diversidad implica costes de inmovilizado altos. El coste energético, por al ser procesos endotérmicos, puede limitar su implementación masiva. Este aspecto se puede paliar con la electrificación de los reactores. La versatilidad de uso, no solo para hidrógeno, sino bioenergía, otros biocombustibles y precursores químicos, dotan en particular a la gasificación y la pirolisis de gran flexibilidad. El segundo gran reto a observar es que estas tecnologías idealmente deben ir asociadas a la captura de dióxido de carbono, de forma que no contribuyan a su emisión neta. La valorización de los subproductos, el control de las emisiones y la aceptación social son barreras y retos que pueden condicionar su despliegue.

Los retos y barreras que los miembros de la PTe H₂ destacan para las tecnologías de producción de hidrógeno mediante gasificación, pirolisis y craqueo, se resumen en la tabla 2.8, del anexo 12.1.

La producción de hidrógeno mediante reformado presenta la ventaja de estar basada en la ruta principal de producción de hidrógeno en la actualidad, si bien a partir de gas natural. La presencia de contaminantes en el biogás, como fuente renovable sustitutiva al gas natural, así como de dióxido de carbono, o el uso de otras materias primas biogénicas como el bioetanol marcan las principales barreras y retos. Es necesario adaptar los reactores, catalizadores, condiciones de proceso a los nuevos sustratos. Igualmente hay que incorporar unidades de separación y captura de dióxido de carbono. Y unidades de eliminación de los contaminantes o catalizadores resistentes a ellos. Por ser un proceso químico a alta temperatura, los materiales y la gestión energética son también claves.

Las barreras y los principales retos para la producción de hidrógeno vía reformado, que han identificado los miembros de la PTe H₂, se presentan en la tabla 2.9, del anexo 12.1.

Las tecnologías que se encuentran en niveles de madurez tecnológica más baja, como la fermentación oscura presentan como mayores retos la selectividad, productividad y pureza del hidrógeno producido, la necesidad de mejorar los pretratamientos y resistencia de agentes biológicos implicados y escalar los procesos más allá del nivel piloto. Similares barreras y retos ocurren para los sistemas bioelectroquímicos. Los reactores cerámicos electroquímicos encuentran su principal limitación en los catalizadores desarrollados y en el escalado. Con mayor detalle, se presentan dichos retos y barreras en la tabla 2.10, del punto 12.1, anexo de producción.

La mayoría de las tecnologías de producción de hidrógeno con bajas emisiones de carbono requieren de un conjunto de etapas y unidades de proceso hasta llegar a la producción de hidrógeno puro. Dado que son sistemas basados en el uso de adsorbentes, catalizadores, membranas, etc. y por consiguiente de elevado precio, los principales retos están orientados a la búsqueda nuevos materiales de menor coste, por ejemplo, recuperados de otros procesos, generados a partir de residuos o materias primas secundarias y con mayor grado de sostenibilidad medioambiental. Otro de los retos se dirige hacia la intensificación de procesos, mediante la combinación de sistemas catalíticos con membranas y adsorbentes o el desarrollo de materiales multifuncionales o nuevos diseños de reactores. Los retos y barreras que los miembros de la PTe H₂ identifican en los procesos de depuración, upgrading y enriquecimiento en H₂ de las tecnologías de producción con bajas emisiones de carbono, se han recogido en la tabla 2.11 del anexo 12.1.

4.3.3. Otras tecnologías de producción de hidrógeno

Las otras tecnologías de producción de hidrógeno en las que España está realizando actividad presentan sus singularidades en cuanto a retos y barreras.

Así la producción solar directa, si bien ha alcanzado niveles de madurez tecnológica de 7-8, presenta como principal barrera la necesidad de su integración con fuentes de alta energía, como la solar térmica de concentración y la incertidumbre en el despliegue de esta última.

Los ciclos termoquímicos, con un nivel de madurez inferior a la producción directa presenta barreras y retos asociados a los materiales, tanto de reactores como de los propios sólidos redox, integración con fuentes de suministro de calor y la búsqueda de materiales capaces de operar a temperaturas menores. El escalado de los sistemas es importante.

La fotocatalisis presenta barreras y retos propios de tecnologías en desarrollo. Aspectos como mejorar la eficiencia, la selectividad y la resistencia a la degradación de los catalizadores es

relevante. Lo es también incrementar la capacidad de producción de dichos materiales para poder progresar a escalas industriales.

En la tabla 2.12, apartado 14, Anexo 14.1, se presentan en forma más detallada las principales barreras y retos que los miembros de la plataforma han identificado para esas otras tecnologías de generación de hidrógeno.

4.4. Conclusiones y recomendaciones

De manera general se puede concluir que se cubren todos los niveles de madurez tecnológica en la producción de hidrógeno en España, gracias a la participación de entidades que cubren toda la cadena de desarrollo, universidades, centros de investigación, centros tecnológicos y empresas.

Hay que destacar que hay actividad en las principales tecnologías de producción. Una parte importante se focaliza en tecnologías de electrólisis, prioritaria en la Hoja de Ruta Española del Hidrógeno. La actividad en esta ruta de producción incluye los diferentes tipos de electrolizadores, PEM, alcalino, SOEC, AEM, y su integración con fuentes renovables.

Es interesante resaltar la numerosa actividad relacionada con la producción de hidrógeno con bajas emisiones de carbono, a partir de biomasa y residuos. Dichas soluciones tecnológicas igualmente están recogidas en la Hoja de Ruta Española. Son principalmente las Universidades, Centros de Investigación y Tecnológicos los que las están impulsando. Entre ellas como de mayor relevancia se trabaja en gasificación, pirólisis, craqueo y reformado. La depuración, upgrading, separación del hidrógeno y captura de CO₂ son clave en estas tecnologías.

Del análisis de las encuestas se extrae que existe actividad en otras tecnologías de producción de hidrógeno asociadas al recurso solar disponible. Desde tecnologías con un grado de madurez reseñable como la producción solar directa a otras en menores niveles como los ciclos termoquímicos y la fotocatálisis.

Hay que mencionar, por último, el esfuerzo investigador en tecnologías emergentes como los electrolizadores bioelectroquímicos o la fermentación oscura, lo que indica la capacidad innovadora del país.

Como recomendaciones, se señala la necesidad de continuar el escalado de todas las tecnologías, reducir su coste y seguir creando un tejido empresarial e industrial nacional para la producción de hidrógeno. De manera específica para las tecnologías más maduras, existe

la gran incertidumbre de la falta de horas acumuladas de operación, la degradación asociada y la respuesta de comportamiento ante suministro variable de energía y en condiciones aisladas de red.

5. Grupo de Trabajo de Conocimiento: Almacenamiento, Transporte y Distribución de H₂

El objetivo de este GT es el análisis y estudio de las tecnologías, y el I+D+i asociados, necesarias para el desarrollo de un sistema de almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno a gran y pequeña escala, a nivel nacional y con conexiones internacionales, que permitan la construcción del mismo.

5.1. Alcance y Objetivos

El alcance del GT cubre todos los elementos de la cadena de suministro para el almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno. **La diferencia entre transporte y distribución** está en la cantidad de hidrógeno asociado al movimiento de este. Transporte hace referencia al movimiento de grandes cantidades de hidrógeno, en fase gas a través de hidroductos en alta presión, fase líquida o algún portador intermedio (p.e., amoníaco o metanol). Distribución está centrado en la entrega al consumidor final, bien por hidroducto (normalmente conducciones de menor presión y diámetro que en transporte) o cualquiera de los sistemas habituales a menor escala mediante botellas o similar.

Con este fin, el alcance del GT cubre las siguientes líneas de actuación:

- Sistemas de almacenamiento
 - Almacenamiento a pequeña escala
 - Botellas a presión hasta 1000 bar
 - Hidruros metálicos.
 - Nanotubos
 - Otros
 - Almacenamiento estratégico/gran escala
 - Idoneidad de estructuras geológicas porosas
 - Acuíferos
 - Yacimientos hidrocarburos agotados
 - Cavidades salinas
 - Almacenamiento de líquidos:

- Hidrógeno líquido, LH₂
- Otros portadores/*carriers* (NH₃, LOHC, CH₃OH, ...)
- Tecnologías de purificación del hidrógeno
- Sistemas de compresión y bombeo
 - Electroquímicos y mecánicos
- Transporte y distribución de hidrógeno
 - Aspectos de logística
 - Modelos, herramientas de simulación
 - Transporte de H₂ a gran escala:
 - Compatibilidad de materiales (acero fundamentalmente) con el hidrógeno
 - Ductos nuevos y reconvertidos
 - Otros vectores de transporte: LH₂, NH₃, LOHC, CH₃OH, ...
 - Medición fiscal del hidrógeno transportado
- Distribución de H₂ a usuarios finales:
 - Compatibilidad de materiales (acero fundamentalmente) con el hidrógeno
 - Ductos nuevos y reconvertidos
 - Otros vectores de transporte: LH₂, NH₃, LOHC, CH₃OH, ...
 - Medición fiscal del hidrógeno distribuido
- Normativa y legalización de instalaciones de hidrógeno energético
- Garantías de origen

5.2. Estado actual de las Tecnologías de Almacenamiento, Transporte y Distribución de H₂, Situación de España

Del Marco Estratégico de Energía y Clima, se han identificado documentos de interés para este GT, detallando a continuación los apartados relevantes relacionados con el almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno.

5.2.1. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)

En el **PNIEC** el hidrógeno renovable aparece como vector energético clave en el almacenamiento de energía para la descarbonización de diferentes sectores. Este plan prevé alcanzar un 48% de penetración renovable en el uso final de la energía en el horizonte 2030, llegando al 81% renovable en el sector eléctrico. La integración de renovables incluida en este Plan requiere de la instalación de capacidad de almacenamiento hasta alcanzar 22.5 GW de almacenamiento en 2030. Para ello, se incluyen diversas tecnologías de almacenamiento

energético, siendo el químico en forma de hidrógeno renovable una de las formas de almacenamiento consideradas. No obstante, no se establecen medidas concretas, aunque sí se indica que para fomentar el impulso de nuevos vectores como el hidrógeno es necesario adaptar las infraestructuras existentes a la nueva configuración de la demanda energética. El hidrógeno es considerado una solución clave para el almacenamiento de energía a largo plazo, debido a su capacidad para almacenar grandes cantidades de energía durante períodos prolongados. Esto es especialmente útil para gestionar la intermitencia de las fuentes renovables como la solar y la eólica, ya que contribuye a aumentar la flexibilidad del sistema eléctrico, permitiendo equilibrar la oferta y la demanda de energía. Al poder ser almacenado y convertido nuevamente en electricidad o utilizado en otros sectores, el hidrógeno actúa como un puente entre la producción y el consumo de energía renovable.

5.2.2. Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable

Con la publicación de la Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable en noviembre de 2020, todos los actores de la cadena de valor del hidrógeno, entre ellos el sector almacenamiento, transporte y distribución de H₂, aceleraron a fondo para no perder el tren de esta nueva oportunidad tecno-económica, iniciándose una apuesta clara y decidida para poder llegar a ocupar los primeros puestos en el ranking europeo de la tecnología asociada al vector hidrógeno. En ella se destacan puntos clave en cuanto al almacenamiento en estado gaseoso, líquido, en hidruros metálicos y en materiales avanzados y se tienen en cuenta tanto las infraestructuras existentes como nuevas instalaciones para el almacenamiento de hidrógeno, especialmente en puntos estratégicos para su uso industrial y en la movilidad. Como medidas específicas, se encuentran:

- **MEDIDA 3:** Promover el desarrollo de medidas regulatorias que simplifiquen y faciliten el despliegue de líneas directas de electricidad dedicadas a la producción de hidrógeno renovable en el marco de la normativa del sector eléctrico, así como de los hidroductos que transporten hidrógeno renovable en el marco de la normativa del sector de hidrocarburos.
- **MEDIDA 30:** Revisar los aspectos técnicos, regulatorios y de calidad de los gases necesarios para la inyección y el uso de hidrógeno en la red de gas natural, con especial énfasis en el uso de determinadas instalaciones existentes para el transporte y/o almacenamiento dedicado de hidrógeno renovable
- **MEDIDA 59:** Impulsar, en el medio plazo, un Centro de Excelencia para la investigación en almacenamiento energético, con especial énfasis en el

almacenamiento mediante hidrógeno renovable, en línea con lo establecido en la Estrategia de Almacenamiento

Se tiene en cuenta la Investigación y Desarrollo, considerando:

- Innovación en transporte: Promover la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y métodos para el transporte de hidrógeno que sean más seguros, eficientes y rentables.
- Proyectos piloto y demostrativos: Fomento de proyectos piloto y demostrativos que permitan probar y validar nuevas soluciones de transporte de hidrógeno en condiciones reales.

5.2.3. Estrategia nacional de almacenamiento energético

En la Estrategia nacional de almacenamiento energético el objetivo principal es asegurar el despliegue efectivo del almacenamiento entendido como elemento habilitador de la transición energética hacia la neutralidad climática. En ella se promueve la colaboración con otros países europeos y con actores clave en la industria del hidrógeno para compartir conocimientos, tecnologías y mejores prácticas.

Del trabajo realizado dentro del GT de Almacenamiento, Transporte y Distribución de Hidrógeno de la PTe H₂, se ha obtenido que las empresas españolas están trabajando en proyectos de I+D+i tanto en almacenamiento, purificación y compresión como en transporte y distribución de hidrógeno, con proyectos que llegan a un TRL 9 en algunos casos. Hay que indicar que no todas las empresas pertenecientes a este grupo de trabajo han respondido a la encuesta, por lo que hay más empresas trabajando en estos aspectos, de las que se desconocen detalles. En cualquier caso, se considera representativo de las actividades que se están realizando y permite obtener información de las entidades que están trabajando en todos los aspectos relativos al almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno.

El muestreo realizado obtiene la distribución de resultados mostrados en la Figura 8:

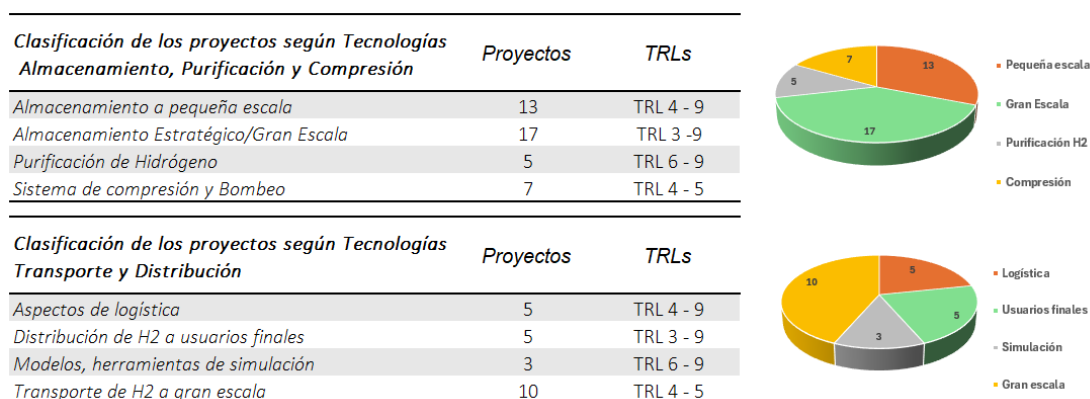


Fig. 8: Clasificación proyectos Grupo Almacenamiento, Distribución y Transporte de H₂

Por otro lado, cabe destacar la iniciativa para el transporte y almacenamiento de hidrógeno en España presentada por **Enagás** en enero de 2024³. Como consecuencia de un proceso de **Call for Interest** entre los actores de la cadena del hidrógeno (productores, comercializadores y consumidores), ha sido posible proponer una Red Troncal de Hidrógeno dentro del territorio español, Figura 9, que unirá los puntos de producción y consumo dentro del país y permitirá la exportación de los excedentes no consumidos en España. Esta propuesta fue presentada con mayor detalle al Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico el 30 de abril de 2024, aunque la información detallada de la misma todavía no es pública. Igualmente hay que mencionar que todas las infraestructuras de transporte y almacenamiento incluidas en esta red, con la excepción del ramal entre Castilla y León y Galicia, han sido clasificados como proyectos de interés común (PCI: *Project of Common Interest*) europeo por la Comisión Europea en abril de 2024⁴.

Dentro de esta propuesta cabe destacar el **Corredor Ibérico del Hidrógeno (H2MED)**, proyecto impulsado por los gobiernos de España, Portugal y Francia, apoyado igualmente por Alemania, cuyo objetivo es conectar los centros de producción de hidrógeno verde situados en la península ibérica con la demanda de hidrógeno, tanto en la península ibérica como en el centro de Europa, lo que permitirá convertir a España en el primer hub de hidrógeno renovable a nivel mundial, al incorporar los primeros ejes de la red troncal nacional que conectará los centros de producción de hidrógeno verde con la demanda doméstica y con las dos interconexiones internacionales con Francia y con Portugal.

³ <https://www.enagas.es/es/sala-comunicacion/actualidad/eventos/segundo-dia-hidrogeno-enagas/>

⁴ https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2024/1041/oj.

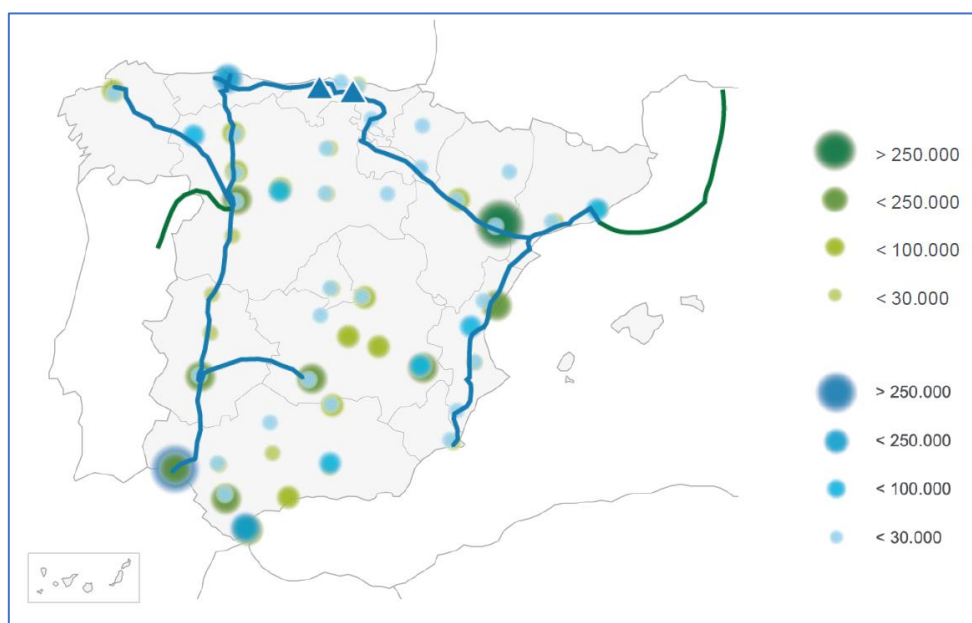


Fig. 9: Red Trocal del Hidrógeno de España. Incluye los hidrodutos en territorio nacional y la conexión internacional H2MED
(Círculos verdes: Producción de H₂. Círculos azules: Consumo de H₂).

5.3. Retos y Barreras identificados

Los principales retos y barreras, tecnológicas y de otro tipo, identificadas entre los miembros del GT para el almacenamiento, transporte y distribución del hidrógeno y que, por tanto, deben de requerir mayores esfuerzos de I+D+i serían las siguientes:

5.3.1. Densidad energética y volumétrica del hidrógeno

- Baja densidad volumétrica: el hidrógeno tiene una baja densidad volumétrica en estado gaseoso, lo que significa que necesita ser comprimido o licuado para almacenar cantidades significativas en un volumen razonable o bien disponer de espacio para los voluminosos tanques de almacenamiento a baja presión. En determinadas ubicaciones, esto puede no suponer un problema, y por tanto ser una alternativa a los costosos tanques a alta presión.
- Almacenamiento a alta presión: para aumentar la densidad del hidrógeno almacenado en estado gaseoso, es necesario comprimirlo a altas presiones (350-700 bar), lo que requiere recipientes de alta resistencia, aumentando el coste y la complejidad.
- Almacenamiento criogénico: la máxima densidad del almacenamiento de la molécula de hidrógeno se consigue en estado líquido (LH₂), lo que requiere enfriar el hidrógeno a -253°C, e implica altos costes energéticos y técnicos, además de la necesidad de

materiales y tecnologías específicas para mantener estas bajas temperaturas. El objetivo es reducir las pérdidas por evaporación (*boil-off*).

- Almacenamientos subterráneos: un sistema de transporte y distribución a nivel nacional o europeo requiere de la existencia de grandes almacenamientos subterráneos que permitan el almacenamiento estacional del hidrógeno y garantice la seguridad de suministro a los usuarios. A día de hoy existen todavía aspectos a resolver sobre la mejor forma de construir/operar estos almacenamientos, así como, reconvertir los existentes actualmente para gas natural. Existen muchos proyectos de I+D+i en marcha para cerrar esta brecha tecnológica.
- Estos aspectos afectan igualmente a todos los modos de transporte y distribución, por conducción, barco o carretera.

5.3.2. Materiales y tecnologías de almacenamiento

- Recipientes de almacenamiento: los materiales utilizados para los tanques de almacenamiento deben ser livianos, no sufrir corrosión y capaces de soportar altas presiones o bajas temperaturas. Esto incluye la resistencia a la fragilización por hidrógeno y el uso de materiales que garanticen una mayor facilidad/sostenibilidad de su producción y reciclado.
- Hidruros metálicos y otros materiales: almacenar hidrógeno en forma de hidruros metálicos o compuestos químicos puede ser una solución, pero estas tecnologías aún están en desarrollo y enfrentan desafíos relacionados con la eficiencia, la capacidad de almacenamiento y la reversibilidad del proceso de absorción y desorción de hidrógeno.

5.3.3. Infraestructura de transporte

- Adaptación de gasoductos existentes:
 - Compatibilidad: los gasoductos actuales, diseñados para transportar gas natural, necesitan ser evaluados y adaptados para el transporte de hidrógeno. El hidrógeno puede causar fragilización en algunos materiales bajo ciertas condiciones de operación, comprometiendo la integridad de las tuberías. Las condiciones que permitan una transformación sin pérdida de integridad de la conducción requieren todavía estudios de I+D+i.
 - Blending: la mezcla de hidrógeno con gas natural (blending) puede ser una solución temporal, pero existen límites en cuanto a la cantidad de hidrógeno

que puede mezclarse sin modificar significativamente la infraestructura. Es un aspecto directamente relacionado con el anterior.

- Construcción de nuevos gasoductos
 - En la actualidad no existen todas las tecnologías necesarias para la construcción de una gran red de hidroductos en la escala necesaria para este tipo de infraestructuras, p.e. compresores de hidrógeno para la escala de las redes de transporte en planificación.

5.3.4. Seguridad y medio ambiente

- Inflamabilidad y explosividad: el hidrógeno es altamente inflamable y puede formar mezclas explosivas con el aire, lo que requiere estrictas medidas de seguridad en su almacenamiento y manipulación, existiendo todavía lagunas en el conocimiento sobre cómo tratar las consecuencias de escapes masivos.

5.3.5. Coste: costes operativos por la tecnología disponible y economía de escala

- Costes de infraestructura: el desarrollo de infraestructuras para el almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno es costoso con la tecnología actual en algunas partes de la cadena, por lo que hay margen de mejora para reducir los mismos. Esto incluye la construcción de los almacenamientos y redes de transporte y distribución.
- Costes Operativos: los costes de operación, incluyendo la compresión o el enfriamiento (caso del LH₂) y el mantenimiento de las instalaciones de almacenamiento, son significativos y afectan la viabilidad económica del hidrógeno como vector energético.

5.3.6. Formación

- Aunque el hidrógeno no es un desconocido para la industria, su despliegue en la magnitud prevista hace que muchos trabajadores relacionados con el almacenamiento, transporte y distribución deban ser formados y, como se ha comentado en los puntos anteriores, no todos los conocimientos necesarios están disponibles y dependen de las actividades de I+D+i en marcha o a realizar.

En conclusión, los desafíos cubren toda la cadena de almacenamiento, transporte y distribución del hidrógeno. En muchos eslabones de esta, los TRL de las tecnologías disponibles son todavía bajos o, si son suficientemente altos, requieren la realización de pilotos para probar la bondad de los diseños e integridad de los mismo.

Adicionalmente, como se ha mencionado en el capítulo anterior, muchas de las tecnologías necesarias deben de estar implementadas en un plazo muy corto, para poder cumplir con las previsiones de disponer de un sistema de almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno en 2030.

5.4. Conclusiones y recomendaciones

Como principales conclusiones de las actividades realizadas por este grupo de trabajo, se pueden establecer las siguientes:

- El almacenamiento, transporte y distribución de H₂ forma parte de todos los documentos estratégicos del H₂ elaborados/publicados en España, aunque las menciones son muy genéricas y no aportan mucha información cuantitativa.
 - Sería de gran ayuda al desarrollo del sector, que la información incluyera indicadores y datos de objetivos explícitos.
- Ya se ha propuesto una red troncal de transporte de H₂, incluyendo almacenamiento, basada en expectativas de producción y consumo de H₂ en España, que se ha presentado al MITERD.
- Del análisis de las respuestas a la encuesta realizada entre los miembros de este GT, se puede concluir que se está trabajando en actividades de I+D+i en prácticamente todos los puntos que se definen en el alcance de actividades del GT.
 - Hay que indicar que el número de encuestas recibidas no ha sido muy elevado, pero, en cualquier caso, se considera representativo.
- Finalmente, indicar que ha sido posible identificar los principales retos y barreras tanto para el desarrollo tecnológico y de I+D+i como para la implantación de una red de almacenamiento, transporte y distribución de H₂.
 - Varios de los retos y barreras están relacionados con aspectos que no tienen ver con las tecnologías si no con aspectos regulatorios que, en cualquier caso, precisan de nuevos conocimientos para su correcta definición.

6. Grupo de Trabajo de Conocimiento: Usos del H₂ en Movilidad

El hidrógeno renovable puede llegar a ser un vector energético de importancia para avanzar en la descarbonización del sector transporte y de movilidad. Este grupo de trabajo pretende ser un foro de debate y punto de encuentro de los diferentes actores involucrados en este caso de uso del hidrógeno, englobando el transporte por carretera, transporte ferroviario, transporte marítimo y transporte aéreo, sin olvidar todos aquellos vehículos de usos

especiales como los de manejo de mercancías, recogida de residuos, construcción, minería o vehículos del sector Defensa. Debido a la gran vinculación entre el vehículo y la infraestructura de repostaje, dentro de este grupo de trabajo se tendrá también en cuenta todos los aspectos relacionados con la tecnología de los puntos de suministro de hidrógeno.

6.1. Alcance y Objetivos

El objetivo del Grupo es mostrar el estado actual del uso del H₂ en el sector del transporte y la movilidad a nivel nacional (retos nacionales y proyectos de referencia) y definir unas líneas prioritarias de I+D+i en este campo de uso. En este grupo de trabajo se han analizado las necesidades de I+D+i sobre el uso del hidrógeno renovable como un vector energético para descarbonizar el sector del transporte/movilidad.

Los objetivos/actividades concretas planteadas para las anualidades 2023-2024 fueron:

1. Priorizar y establecer unas líneas de I+D+i de interés para el uso de H₂ en movilidad, sobre las que trabajar y desglosar durante el 2023 y 2024.
2. Recopilación información sobre H₂ en movilidad a mostrar en la página web de la PTe H₂ y las diferentes reuniones del GT:
 - Documentos de referencia a nivel nacional respecto al uso del H₂ en movilidad (transporte terrestre, marítimo y aéreo), incluidas en los anexos.
 - Listados de proyectos de I+D+i en curso en España referentes al uso de H₂ en movilidad, incluidas en los anexos.
 - Indicadores de seguimiento del uso del H₂ en movilidad en España.
3. Establecer y mantener relación con otros foros de ámbito nacional vinculados con el uso de H₂ en el sector de la movilidad, como son:
 - Participar en los diferentes GT de la Alianza del Hidrógeno en Aviación (AH2A) vinculados con el uso del H₂ en aeropuertos y aeronaves.
 - Participar en la definición de la iniciativa Prospectiva Transporte 2050 a desarrollar en la anualidad 2025 en colaboración con otras Plataformas Tecnológicas.

6.2. Estado actual de las Tecnologías del Uso del H₂ en Movilidad, Situación de España

Desde este GT se ha promovido la elaboración de un listado de proyectos que se están desarrollando en España en relación con uso del H₂ en movilidad, como reflejo del estado actual del ámbito tecnológico cubierto por este GT. Este listado se adjunta en el anexo correspondiente, y ha sido elaborado de forma conjunta por las entidades integrantes del

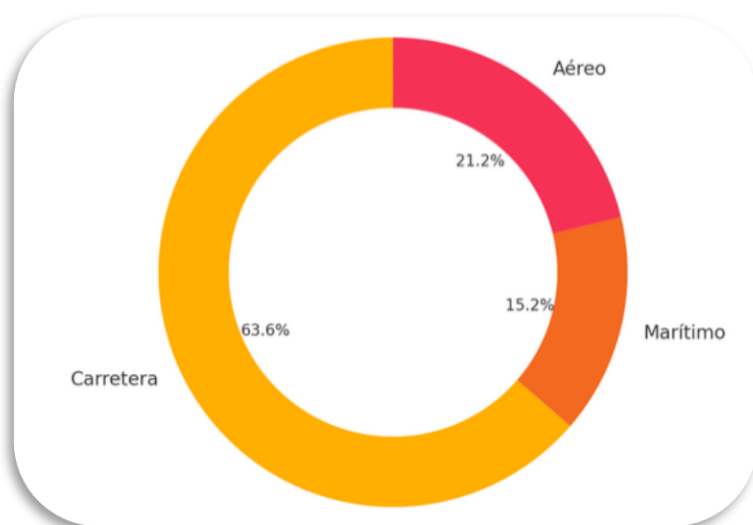


Fig. 10: Resumen de proyectos por categoría

grupo, siendo comentado y ampliado en las diferentes reuniones llevadas a cabo durante 2023 y 2024. Debido a la naturaleza del ejercicio realizado y al hecho de que no todas las entidades involucradas están representadas, este listado no puede considerarse exhaustivo

de todos los proyectos actuales. No obstante, se ha hecho un esfuerzo para que sea lo suficientemente representativo.

El listado mencionado se clasifica en tres categorías, en función de si los proyectos se enmarcan en transporte terrestre (incluyendo ferroviario), marítimo, o aeronáutico. La información disponible (nombre del proyecto, participantes, convocatoria, temática, e información adicional) permite realizar un análisis de la situación actual de este sector.

6.2.1. Transporte por carretera

Hay **21 proyectos**, de los cuales 13 se centran en el desarrollo de diferentes tipos de vehículos: 7 especiales, 3 camiones, 2 ferroviarios y 1 autobús interurbano. Otros 4 proyectos se enfocan en innovaciones relacionadas con tanques de almacenamiento, 2 están orientados a la producción de combustibles sintéticos, y los proyectos restantes abarcan áreas transversales, como el uso del hidrógeno como vector de movilidad sostenible y el desarrollo de sistemas de suministro y medición.

Es evidente que la incorporación de tecnologías de hidrógeno en vehículos especiales está teniendo una gran actividad en la actualidad. Los vehículos especiales abarcan una amplia variedad de tipologías, y en base a los proyectos presentados, éstos se clasifican en tres categorías: i) residuos urbanos (recogida y compactación), ii) equipos de manipulación de cargas (reach stackers, grúas y otros vehículos en puertos), y iii) construcción y minería.

También se observan proyectos en el transporte pesado, tanto en camiones en diversos ámbitos como en autobuses interurbanos. Ambos nichos son de gran interés y poseen un

enorme potencial, por lo que es muy positivo que en España se estén desarrollando este tipo de proyectos.

La actividad en el sector ferroviario se enmarca en el desarrollo de demostradores que incorporan pilas de combustible de hidrógeno y baterías, siendo uno de ellos un proyecto de referencia a nivel europeo actualmente en fase de pruebas reales en vías nacionales.

Los niveles de madurez tecnológica (**TRL**) en las actividades de transporte por carretera, centradas en vehículos, se sitúan a partir de nivel 5, ya que incorporan tecnologías previamente desarrolladas que se integran en aplicaciones innovadoras, con validaciones en entornos cada vez más relevantes. Los demás proyectos presentan en general niveles de TRL más bajos, según el grado de desarrollo del componente objetivo.

6.2.2. Transporte marítimo

Las actividades se centran en tecnologías y aplicaciones variadas, pasando por desarrollo de motores de H₂, uso de amoníaco y metanol, bunkering, y estudios de aplicaciones. De alguna forma estas líneas tecnológicas abordan los aspectos donde el hidrógeno parece tener un mayor potencial de penetración en el sector marítimo.

Los TRL de estas actividades parten de un nivel algo más bajo que en carretera, probablemente a partir de 4 en adelante.

Se observa una menor cantidad de proyectos que en transporte por carretera, aunque cabe destacar la participación del puerto de Valencia en proyectos pioneros, así como otras actuaciones en ubicaciones con los puertos de Bilbao, Gijón y Sevilla.

6.2.3. Transporte aéreo

Se observan proyectos con temáticas variadas: uso de H₂ para la energía auxiliar en el avión, desarrollo de aviones autónomos, y conceptos de movilidad aérea innovadora, desarrollos tecnológicos de componentes y sistemas, e investigación en métodos de obtención de SAF (Sustainable Aviation Fuel). Los TRL actualmente están por debajo de 4 en componentes y sistemas, pero se plantean como objetivo en Clean Aviation Joint Undertaking superarlo en 2027 gracias a los proyectos en curso.

En este ámbito, a nivel nacional, se espera un crecimiento importante de proyectos en los próximos años, gracias al impulso que está teniendo la Alianza para el Uso del Hidrógeno Verde en la Aviación, así como a las convocatorias específicas del **CDTI** (Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación). Esta alianza está promoviendo el desarrollo de esta

tecnología y aglutinando a muchas entidades con intereses similares, y entre sus actividades se incluye la coordinación con la Alianza Europea para la Aviación de Cero Emisiones (**AZEA**), fomentando así una sinergia internacional en el sector. Los grupos de trabajo de la alianza nacional están trabajando en toda la cadena de valor del H₂ para su uso en movilidad aérea: análisis de necesidades de generación y transporte, identificación de los campos de actuación donde se requerirán mejoras tecnológicas en todos los niveles de desarrollo, infraestructura aeroportuaria, regulación y seguridad, así como la producción y uso de SAF.

Futuros desarrollo se orientan hacia el uso del hidrógeno en APU (sistemas auxiliares de potencia) o propulsión de pequeñas aeronaves, I+D de las tecnologías necesarias (combustión de H₂ en turbinas, almacenamiento de hidrogeno líquido abordo, componentes del sistema de propulsión), así como en integración de sistemas y seguridad.

6.2.4. Convocatorias financiadoras

Con excepción de algunas iniciativas puntuales que cuentan con financiación privada, la mayoría de los proyectos están obteniendo fondos de diversos programas regionales, nacionales y europeos. La financiación nacional es la más significativa, destacándose el **PTA** (Programa Tecnológico Aeroespacial), **PTAS** (Programa Tecnológico de Automoción Sostenible), **PERTE**, **MISIONES** y **PORTS 4.0**. Los fondos europeos también son relevantes, especialmente a través de las convocatorias de la **Clean Hydrogen Partnership**, **Clean Aviation**, el **Programa Interreg** y **HORIZON**. Finalmente, es importante mencionar que también existen fondos regionales disponibles para iniciativas en movilidad, aunque estos están fuertemente condicionados por las líneas de desarrollo promovidas por los gobiernos regionales.

Se espera que en los próximos años las convocatorias incluyan estos campos.

6.2.5. Seguimiento de indicadores

Por otro lado, y como complemento al listado de proyectos y al análisis presentado previamente, desde este GT se ha realizado el seguimiento de varios indicadores para evaluar el avance del uso de H₂ en el sector transporte terrestre y compararlo con la visión 2030 descrita en la Hoja de Ruta del Hidrógeno (octubre 2020):

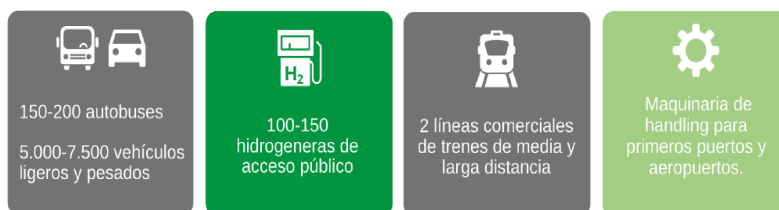


Fig. 11: Visión 2030 descrita en la Hoja de Ruta del Hidrógeno de España.

El acumulado de vehículos matriculados en España propulsados por H₂, entre 2020 y septiembre de 2024, es de 116 vehículos según los registros de ANFAC (Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones), siendo 72 de ellos autobuses y 44 vehículos ligeros. Estos vehículos van asociados a proyectos vinculados con estaciones de repostaje de hidrógeno, destacando la apuesta de ciudades como Barcelona en el uso de autobuses urbanos de pila de combustible de H₂, a la cual se van sumando otras ciudades como Palma de Mallorca y Madrid.

Según la asociación GASNAM-Neutral Transport, en mayo de 2024 ya había en España 7 carreterillas propulsadas por pila de combustible de H₂ con un potencial de crecimiento elevado, existiendo 120 nuevos pedidos confirmados.

En cuanto a los puntos de suministro de hidrógeno, según el registro realizado por GASNAM-Neutral Transport en agosto 2024 había 10 puntos de suministro de H₂, de las cuales 6 son privadas para suministro de vehículos, 1 pública y otras 3 privadas para carretillas, existiendo 5 nuevas en construcción.

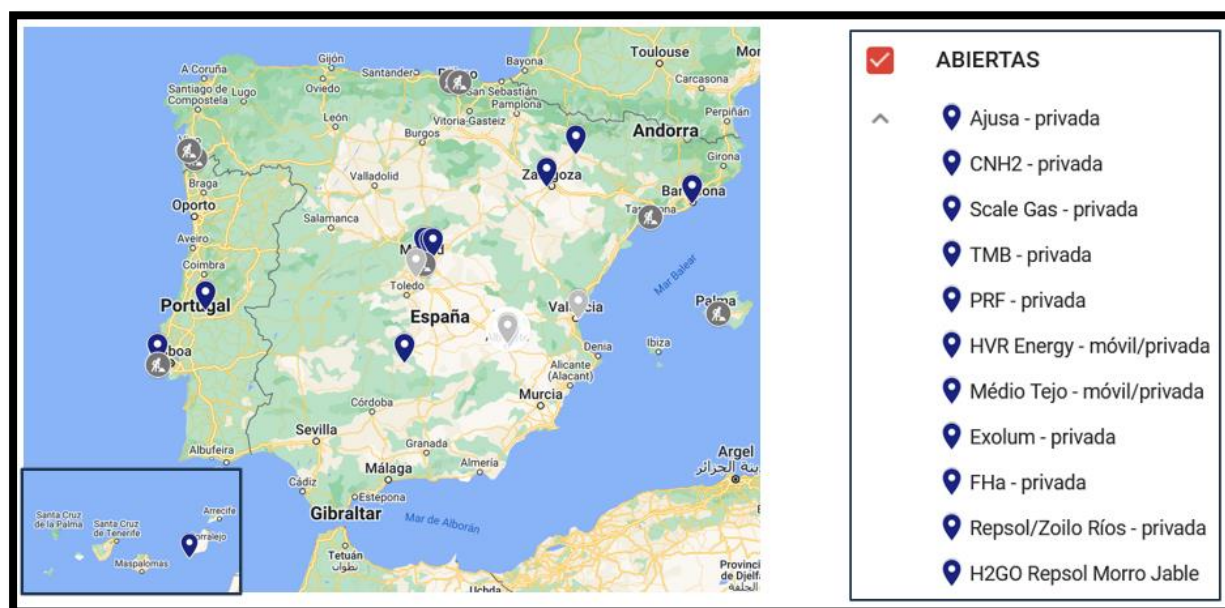


Fig. 12: Mapa de hidrogeneras (Fuente: GASNAM).

De cara a la **visión a 2030**, el censo de proyectos de H₂ realizado por la AeH2 en julio de 2023, indicaba 34 puntos de suministro de H₂ vinculados con los proyectos recogidos, así como 6 proyectos que incluían el empleo de H₂ en el sector ferroviario.

Estos indicadores muestran el camino todavía por recorrer de cara a la implantación del H₂ en la movilidad terrestre según los objetivos de la hoja de Ruta del Hidrógeno en España.

6.3. Retos y Barreras identificados

Como una de las principales actividades del GT fue analizar las líneas de I+D+i que se consideraban prioritarias para avanzar en la madurez e implantación del uso del H₂ en el sector transporte y de movilidad. Dichas líneas se agruparon en dos orientaciones principales: i) desarrollar tecnologías nacionales y ii) validar y demostrar el empleo de H₂ en movilidad en España.

Para cada una de estas líneas se detectaron una serie de retos en los que trabajar. Estos retos van orientados tanto hacia el desarrollo tecnológico para superar barreras en la aplicación del hidrógeno en el sector del transporte, como es el tema del almacenamiento de energía a bordo para emplear pilas de combustible en los vehículos o la mejora de la gestión térmica en los sistemas de pila de combustible; pero también a trabajar en la adaptación de la movilidad al empleo del hidrógeno como fuente propulsiva, desarrollando sistemas de repostaje, sistemas de seguridad para los vehículos de hidrógeno o el empleo de digitalización en este tipo de medios de transporte.

Los desafíos relacionados con la validación y demostración de estas tecnologías se enfocaron en aquellas aplicaciones y usos del hidrógeno con una implantación más rápida, de forma que puedan actuar como impulsores para el resto de las aplicaciones.

En concreto, para el desarrollo de tecnologías del hidrógeno nacionales a partir de las cuales favorecer el uso de H₂ en el sector del transporte nacional, se recibieron las siguientes **propuestas de líneas de I+D:**

- Desarrollo de sistemas para la generación de H₂ a bordo a partir moléculas portadoras de hidrógeno, para el transporte marítimo o vehículos pesados con grandes necesidades de autonomía.
- Desarrollo de sistema de almacenamiento de H₂ a bordo, de bajo peso y coste. Desarrollo de tanques tipo IV y V con materiales termoplásticos para facilitar su fabricación y reciclado; así como para mejorar las propiedades de permeabilidad al H₂ en liners (Tipo IV) y matrices para tapes (Tipo V).

- Desarrollo de sistemas de consumo de H₂ específicos para funcionamiento en entornos marinos, en términos de potencia, durabilidad y compatibilidad.
- Desarrollo de componentes (stack y BoP) de menor peso y mayor densidad de potencia para aplicaciones en aviación.
- Desarrollo de motor de combustión de hidrógeno mediante la adaptación de un motor térmico convencional.
- Desarrollo de sistema de gestión térmica para mejorar rendimiento en condiciones ambientales de baja temperatura y para mejorar el rendimiento y vida útil de las pilas de combustible, por ejemplo, sistemas integrados para la recuperación del calor residual. Desarrollo de soluciones innovadoras para la refrigeración de vehículos de pila de combustible.
- Desarrollo de soluciones de seguridad para el uso del hidrógeno en movilidad.
- Desarrollo de comunicaciones V2X para optimizar la gestión de recarga de hidrógeno para flotas.
- Desarrollo de sistemas ADAS que mejoren, entre otros aspectos, la gestión energética y la seguridad del vehículo de hidrógeno.
- Desarrollo de sistemas que permitan modelos “Mobility as a Service”, incluyendo la reutilización y reciclaje de sistemas propios de vehículos de pila de combustible.
- Desarrollo de sistema de recarga de hidrógeno inteligente y desarrollo de sistemas de medición legal.

Para llevar a cabo la **validación y demostración de usos del H₂** en movilidad en el entorno nacional se recogieron las siguientes líneas de trabajo:

- Fomentar flotas de camiones de mercancías, de transporte urbano e interurbano propulsados por H₂.
- Pilotos demostrativos de movilidad con vehículos de H₂ de última milla, media distancia y regionales.
- Pilotos demostrativos de vehículos industriales y maquinaria en entornos off-road, portuarios, aeroportuarios y centros logísticos.
- Fomentar estaciones de servicio multicomcombustible que incluya el suministro de H₂.
- Fomentar la introducción de APUs (unidades auxiliares de potencia) basados en pilas de combustible en el sector marítimo y aéreo.

- Fomentar el uso de componentes reciclados y segunda vida útil, incluyendo adaptaciones de motores de combustión a uso de hidrógeno o mezclas de hidrógeno.

6.4. Conclusiones y recomendaciones

Como principales conclusiones recogidas durante el trabajo del GT en estas dos anualidades fueron la necesidad de desarrollar tecnología nacional que ayude al impulso de implantación del H₂ en el sector transporte además de generar valor para la economía nacional. Y por otro lado la necesidad de fomentar proyectos demostrativos en diferentes usos del hidrógeno para la movilidad y transporte de mercancías que ayude a su despegue.

Como puntos críticos, se detectaron el apoyar la I+D en el sector del transporte terrestre a los casos de usos de hidrógeno en heavy-duty (camiones y autobuses), así como en los vehículos especiales empleados en manejo de mercancías (material handling).

En cuanto al sector del transporte marítimo y aéreo los proyectos de I+D y demostración se orientan hacia el uso del hidrógeno en APU (sistemas auxiliares de potencia), propulsión de pequeñas aeronaves, desarrollo e integración de sistemas y componentes, y en la producción de combustibles sintéticos basados en hidrógeno (e-fuels).

También se detectó como una oportunidad el avanzar en proyectos de I+D que permitan el avance de la digitalización y la sostenibilidad (economía circular) en los sistemas basados en hidrógeno para su uso en el sector transporte y de movilidad.

7. Grupo de Trabajo de Conocimiento: Usos del H₂ en Redes Eléctricas, Edificios, Sistemas Auxiliares de Respaldo y Potencia (RE2+SARP)

El GT de la PTe H₂ denominado “Redes eléctricas, edificios, sistemas auxiliares, de respaldo y de potencia” (RE2+SARP) tiene por objeto incorporar a la PTe H₂ todas aquellas líneas de investigación, desarrollos tecnológicos y aplicaciones fuera de los campos usuales que hoy ya están en marcha en el ámbito del hidrógeno; léase producción, almacenamiento, transporte, distribución, usos en movilidad y usos en la industria. Se trata por tanto de un GT en constante evolución y que se va a mover siempre en la frontera del conocimiento, lo cual le otorga un fuerte componente de I+D+I, superior, quizás, al de tecnología. Esto obliga al GT a estar muy en contacto con Organismos Públicos de Investigación, Centros e Institutos de Investigación, Centros Tecnológicos y, en general, Universidades y nichos de creación de

ciencia y tecnología. Por otro lado, deberá estar permanentemente vigilante sobre dónde se sitúa el estado del arte y la frontera del conocimiento en cada momento, lo cual requerirá de una labor constante de revisión bibliográfica de literatura científica y técnica, así como lograr la transferencia tecnológica desde las primeras fases de investigación a las de desarrollo y comercialización.

7.1. Alcance y Objetivos

Si bien como ya se ha dicho, el GT RE2+SARP ha de tener, necesariamente, un alcance y objetivos muy dinámicos, pues ha de adaptarse permanentemente al estado actual de la ciencia y la tecnología, hoy en día su alcance y campos de actuación son los siguientes:

1. Pilas de combustible y cogeneración mediante pilas de combustible
2. Redes eléctricas híbridadas con tecnologías de hidrógeno.
3. Grupos electrógenos de hidrógeno mediante pila de combustible o combustión.
4. Quemadores de mezclas de hidrógeno e hidrógeno puro.
5. Turbinas de mezclas de hidrógeno e hidrógeno puro.
6. Usos residenciales, hospitalarios y dotacionales del hidrógeno.
7. Unidades auxiliares de potencia (APU's).
8. Sistemas reversibles.

7.2. Estado actual de las Tecnologías del Uso del H₂ en RE2+SARP, Situación de España

A continuación, se describe el estado actual para cada una de las tecnologías y aplicaciones cubiertas por el grupo de trabajo,

7.2.1. Pilas de combustible y cogeneración mediante pilas de combustible

Sin duda, el hecho de que las pilas de combustible tipo PEM sean las más desarrolladas actualmente, se debe al elemento tractor que ha supuesto la industria de movilidad, fundamentalmente en el sector de automoción. Esta aplicación directa, rápida y demandante de un gran número de unidades, no se ha dado en las pilas de alta temperatura, lo cual puede explicar, al menos en parte, el retraso tecnológico de este tipo de pilas, de utilidad fundamentalmente en aplicaciones estáticas y para mayor potencia que las PEM, como las pilas MCFC y SOFC.

Nuestro país cuenta hoy con un ecosistema bastante completo en el ámbito de las pilas de combustible PEM, aunque adolece de escala, pues está formado por muchos actores en casi todas las comunidades autónomas.

En el panorama español se identifican algunos proyectos en los que se establecen pilotos para evaluar sistemas de cogeneración basados en pilas de combustible tipo PEM. Cabe destacar el proyecto Green Hysland⁵ donde está previsto operar este tipo de sistemas en 3 ubicaciones distintas: en el Puerto de Palma, en un hotel y en unas instalaciones deportivas en edificio municipal.

Otro proyecto desarrollado en España, con otro tipo de tecnología de pila de combustible, es el proyecto Procyon en el que se diseñó y construyó un sistema estacionario de cogeneración con pila de combustible de carbonatos fundidos (MCFC) de 300 kW, por parte de Coxabengoa y financiado por la Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo de Andalucía, Agencia IDEA y Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA).

7.2.2. Redes eléctricas híbridadas con tecnologías de hidrógeno

España se sitúa como el tercer país europeo con más recortes de producción renovable como consecuencia de la congestión de la red eléctrica, con un 1,8% sobre el total de la generación “verde” de 2023 (134.321 GWh) y tan solo por detrás de Alemania (4,01%) y Croacia (1,19%)⁶. En el mercado este fenómeno se conoce como “curtailment”⁷ y se da cuando el operador del sistema eléctrico ordena que las instalaciones renovables dejen de generar durante un periodo de tiempo. Se produce principalmente por motivos de capacidad de la red y está motivado por un desajuste entre la oferta y la demanda, es decir, momentos en los que la producción de electricidad supera notablemente al consumo.

Bajo este escenario, en España, el coste de las restricciones superó en abril de 2024 por primera vez en la historia al del precio de la electricidad en el mercado mayorista. Las previsiones además son que el coste de los servicios de ajuste irá en aumento. Es urgente pues aprovechar esa energía eléctrica renovable “sobrante”, ya que por un lado los parques podrán estar funcionando permanentemente y ser más rentables y, por otro, la no necesidad de servicios de ajustes abaratará la energía. Para ello, el ciclo completo del hidrógeno

⁵ <https://greenhysland.eu/mallorca/>

⁶ <https://www.20minutos.es/lainformacion/economia-y-finanzas/espana-bronce-europeo-recortes-produccion-renovable-congestion-red-electrica-5528075/>

⁷ <https://www.edpenergia.es/es/blog/sostenibilidad/curtailment/>

renovable (producción, almacenamiento y consumo) dentro de la red eléctrica puede facilitar su aprovechamiento y equilibrio.

España ha sido pionera en la hibridación de redes eléctricas con hidrógeno. Así, por ejemplo, la Universidad de Huelva tiene, desde 2017, una red eléctrica renovable inteligente hibridada con hidrógeno que funciona de forma aislada o conectada a la red eléctrica principal alimentando un Campus⁸.

Cabe destacar en el marco del proyecto europeo Grasshopper, Coxabengoa diseñó, construyó y puso en marcha una planta piloto de producción de potencia de 100 kW basada en pilas de combustible tipo PEM con el objetivo de dar servicios de balance a la red eléctrica. La puesta en marcha y la primera fase de pruebas se realizaron en las instalaciones de pruebas en el Puerto de Sevilla.

Uno de los 3 emplazamientos elegidos del Proyecto europeo Remote es en las Islas Canarias. Este proyecto tenía el objetivo de demostrar la posibilidad de instalar en zonas remotas una instalación eléctrica basada en hidrógeno, que permitiera la independencia y autosuficiencia energética, en este caso, en una instalación ganadera. Otro proyecto de innovación es el desarrollado y financiado por la empresa Eiffage Energía en su sede de Albacete y que emplea un piloto de Power to Power para generar electricidad durante la noche mediante una pila de combustible de 5 kW, para cubrir parte de los consumos de la sede cuando las fuentes solares no están disponibles. En este aspecto, el proyecto Ad-Grhid en curso y cofinanciado por CDTI y CTA, se enfoca en el desarrollo de redes inteligentes de energía basadas en el hidrógeno mediante el desarrollo de pilas de hidrógeno.

7.2.3. Grupos electrógenos de hidrógeno mediante pila de combustible o combustión

Entre otros ejemplos, el proyecto EVERYWH2ERE que nació en 2018 en una convocatoria Horizonte 2020 de la UE, tuvo como objetivo desarrollar grupos electrógenos portátiles basados en hidrógeno (mediante pila de combustible tipo PEM) alternativos a los grupos diésel actuales. El resultado fue 8 prototipos, 4 de 25 kW y otros tantos de 100 kW. En este proyecto participaron por parte española Acciona y la Fundación del Hidrógeno de Aragón⁹. Estos sistemas en fase piloto fueron probados en obras de construcción, festivales de música y eventos urbanos temporales.

⁸ <https://drive.google.com/file/d/1x1OGEjce3XY90JI5yqzbqGvoHfrJUGZn/view>

⁹ <https://www.everywh2ere.eu/>

Hoy en día ya hay disponibles grupos electrógenos de hidrógeno comerciales en el rango de 5 kVA a 130 kVA^{10,11}. En España, hay empresas que están empezando a utilizarlos¹², como la empresa Acciona mediante proyectos piloto como el llevado a cabo en las obras de ampliación del Puente del Quinto Centenario en Sevilla y otras anuncian su producción a mercado¹³.

7.2.4. Quemadores de mezclas de hidrógeno e hidrógeno puro

En 2018 Toyota desarrolló el primer quemador de hidrógeno de uso general en la industria¹⁴. En 2021, la ingeniería española E&M Combustión presentó el prototipo de un quemador de hidrógeno¹⁵. El objetivo de este prototipo está dirigido a convertir en sostenibles instalaciones térmicas y salas de calderas de industrias y edificios, permitiendo su descarbonización y la reducción de emisiones. El prototipo está diseñado para funcionar únicamente con hidrógeno o bien para operar con una mezcla de hidrógeno y gas natural, de entre un 15% - 20% de gas natural, con lo cual la mezcla enriquecida eleva el poder calorífico y consigue una combustión más estable y eficiente. Esta mezcla también permite mejorar la detección de llama.

7.2.5. Turbinas de mezclas de hidrógeno e hidrógeno puro

En España, que se sepa, no hay fabricantes de turbinas de hidrógeno. La fabricación de turbinas en España se circunscribe casi exclusivamente al ámbito de la eólica.

7.2.6. Usos residenciales, hospitalarios y dotacionales del hidrógeno

El ámbito de otro tipo de aplicaciones residenciales, tales como edificios de oficinas, escuelas o, más críticos, como hospitales, está aún dentro de la investigación, circunscrito prácticamente a simulaciones o proyectos piloto. No obstante, ya hay iniciativas en grupos de investigación españoles que proponen llevar a cabo prototipos. Léase como ejemplo el proyecto “NET-MULTIGENERA: Una novedosa propuesta para el diseño, control y optimización de una arquitectura multigeneración cero emisiones, basada en energías renovables y H₂ verde”, PID2023-148456OB-C41, financiado por la Agencia Estatal de Investigación, el cual está centrado en el suministro energético a un gran hospital público, en concreto, el Juan Ramón Jiménez de Huelva. Además, se podría mencionar de nuevo, el

¹⁰ <https://www.eo-dev.com/products/geh2-the-zero-emission-hydrogen-power-generator>

¹¹ <https://h2sys.fr/es/productos/generador-electrico-hidrogeno/>

¹² https://www.acciona.com/es/actualidad/articulos/acciona-primera-empresa-espanola-adquirir-grupo-electrogeno-cero-emisiones-basado-hidrogeno-descarbonizar-obras/?_adin=01832796383

¹³ <https://gcmindustrial.com/grupo-electrogeno-de-hidrogeno/>

¹⁴ <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/25260001.html>

¹⁵ <https://emcombustion.es/quemadores-de-hidrogeno-sistemas-de-combustion-de-hidrogeno/>

proyecto Green Hysland, que tiene previsto 3 pilotos generando energía eléctrica mediante el uso de pilas de combustible tipo PEM en diversos edificios como un hotel y unas instalaciones deportivas en edificio municipal.

7.2.7. Unidades auxiliares de potencia (APU's)/ Sistemas de propulsión

Airbus, liderado desde sus instalaciones en España, Airbus UpNext, está llevando a cabo un demostrador tecnológico, HyPower, con objeto de sustituir la APU actual del A330 por un sistema de pila de hidrógeno¹⁶. Este proyecto se integra dentro del ambicioso programa ZEROe de Airbus, cuyo fin último es el primer avión comercial del mundo propulsado por hidrógeno¹⁷. La intención de Airbus es tener el demostrador de APU listo para su primer vuelo (“subiendo a 25.000 pies y volando durante una hora con 10 kilogramos de hidrógeno gaseoso a bordo”, en palabras del CEO de Airbus UpNext) en 2025.

Anteriormente, en el sector de la aeronáutica se llevó a cabo el Proyecto Prosave2 de investigación en sistemas avanzados para un avión más ecoeficiente, en el que Coxabengoa junto a otras empresas desarrolló una APU basada en tecnologías de pilas de combustible de óxidos sólidos, entre otras actividades. Otra empresa que está persiguiendo el desarrollo de sistemas de propulsión para aeronaves es la empresa australiana- española Dovetail¹⁸.

Respecto a las aplicaciones terrestres, en grandes camiones principalmente, el I+D+i español ha sido también pionero, pues ya en 2013, la Universidad de Huelva había desarrollado un prototipo de APU denominada “Unidad ecológica de energía auxiliar. Aplicación a los grandes camiones de transporte frigorífico”. El proyecto, DPI2010-17123, fue financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, y la APU propulsada por hidrógeno desarrollada era apta para suministrar las cargas de hotel y mover el compresor de un camión de transporte frigorífico.

Actualmente, hay empresas como Toyota que desarrollan productos que pueden ser usados como APUs de hidrógeno.

¹⁶ <https://actualidad aeroespacial.com/airbus-probara-energia-auxiliar-en-vuelo-generada-integramente-por-hidrogeno/>

¹⁷ <https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/hydrogen/zeroe>

¹⁸ <https://dovetail.aero/dovetail-electric-aviation-showcases-revolutionary-hydrogen-electric-powerplant-prototype-in-spain/>

En el mar ya hay realizaciones comerciales de APU's para barcos, véase como ejemplo las que comercializa la empresa estonia Power UP¹⁹. Estas APU's, al ser portátiles, se pueden usar en otras aplicaciones no necesariamente marinas.

En el sector marítimo, existe un desarrollo en España en el sector de la propulsión de submarinos de la Armada Española mediante pila de hidrógeno²⁰ [1] liderado por Navantia y cuyo tecnólogo y suministrador principal del Sistema AIP de los submarinos S80 es Coxabengoa. Por otro lado, la empresa MadBlue Marina está promoviendo un proyecto en el que se integra una pila de combustible de 40 kW en embarcaciones de recreo²¹.

7.3. Retos y Barreras identificados

1. **Respecto de las pilas de combustible tipo PEM**, quizás las dos debilidades más importantes que muestran son la enorme sensibilidad a que el hidrógeno que utilizan tenga impurezas (necesitan 99,99 % de H₂) y el alto precio de la membrana y, sobre todo, del catalizador (platino). Además de lo anterior, es preciso aumentar la durabilidad, medida en horas de funcionamiento, de las pilas tipo PEM que, sin embargo, ha mejorado mucho gracias al impulso proporcionado por la industria del automóvil, pues se han perfeccionado los procesos de fabricación y, también, las técnicas de instrumentación y control, eliminando o mitigando considerablemente los principales efectos nocivos para las pilas tipo PEM, como la inanición de combustible o las corrientes de corrosión que deterioran las celdas. Respecto de las pilas de alta temperatura, las MCFC tienen la problemática de que el electrolito es líquido y corrosivo, con lo cual son difíciles de manipular, aunque presentan una excelente eficiencia. En cuanto a las SOFC tienen unos requerimientos de seguridad e ingeniería asociada muy estrictos, pues su temperatura de funcionamiento está en torno a los 1.000 °C. Independientemente de lo anterior, las pilas de alta temperatura, al no ser aptas para aplicaciones móviles, llevarán, probablemente, su desarrollo ligado a usos residenciales, micro redes eléctricas y ciclos combinados, ya que, en su capacidad de cogeneración, alcanzando eficiencias superiores al 70 %, está su principal virtud.
2. **¿Cómo aprovechar la sobreoferta de renovables y no parar nunca?** integrando el ciclo completo del hidrógeno (producción, almacenamiento y uso) en la red y en su

¹⁹ <https://powerup-tech.com/>

²⁰ <https://www.navantia.es/es/lineas-de-negocio/navantia-seanergies/aplicamos-hidrogeno-para-descarbonizacion/>

²¹ <https://genevos.com/genevos-delivers-40-kw-marine-fuel-cell-innovation-for-series-leisure-vessel-application/>

gestión, como un elemento más de la misma. Esto es, el hidrógeno puede ser el búfer que necesita la red para que el balance de potencia y energía se cumpla en todo momento. Sin embargo, esto requiere un rediseño de la red eléctrica, pues la naturaleza de las redes eléctricas híbridadas con hidrógeno será, sin duda, distribuida. En efecto, interesa tener el consumo eléctrico lo más cercano posible a la producción, evitándose de esta forma el transporte de hidrógeno, así como la necesidad de grandes almacenamientos. Una debilidad importante hoy en día es la imposibilidad de concebir redes eléctricas híbridadas con hidrógeno de gran potencia. La conversión directa hidrógeno-electricidad requiere de pilas de combustible que, en el caso de las PEM, están en el rango de unos pocos cientos de kW y, en el caso de las MCFC y SOFC, la tecnología está aún en desarrollo. Sin duda, la aplicación estacionaria de las pilas de alta temperatura en redes eléctricas sería una palanca para el desarrollo de las MCFC y SOFC similar a lo que ha sido la movilidad para el de las pilas PEM. Por otro lado, las pilas MCFC y SOFC permiten hacer cogeneración, con lo cual el rendimiento (alimentando con los gases de escape una turbina de vapor) se incrementa notablemente. Basado en esto, se puede pensar en la sustitución a medio plazo de los ciclos combinados de gas natural actuales por otros basados en hidrógeno renovable. Idealmente, por tener un mayor rendimiento, implicaría el uso de pilas de alta temperatura de mucha potencia, cientos de MW en adelante. En la práctica, también se puede utilizar el hidrógeno para llevar a cabo trabajo mecánico en turbinas acopladas a generadores eléctricos. La alta temperatura de los gases de escape de las turbinas permite, a través de una caldera de recuperación, tener otra línea de vapor para cogenerar. Es más, esta línea podría trabajar en paralelo con otra de pila de combustible de alta temperatura. En definitiva, hoy en día hay soluciones para pequeñas potencias (hasta unos pocos cientos de kW) basadas, exclusivamente, en el hidrógeno renovable. El desarrollo de las turbinas de hidrógeno y de las pilas de combustible de alta temperatura y gran potencia permitirá, a medio plazo, integrar el hidrógeno en redes de gran potencia y en ciclos combinados para producir electricidad.

3. Si bien, como ha sido comentado en este documento, **ya hay disponibles grupos electrógenos de hidrógeno**, estos, todavía, excepto en lo referente a contaminación y ruido, tienen serias desventajas respecto de los grupos electrógenos tradicionales. Así, un grupo electrógeno de pila de combustible de unas pocas decenas de kW necesita, entre el grupo y el almacenamiento de hidrógeno, de mucho espacio con, además, un peso considerable. Esto, obviamente, complica el transporte y la ubicación

si, como suele ser habitual, se pretende trasladar el grupo electrógeno de una ubicación a otra según necesidades. El problema actual es doble, por un lado, están las pilas de combustible de baja temperatura, que no las hay de gran potencia más allá de los cientos de kW y, por otro, los sistemas de almacenamiento de hidrógeno (racks de botellas) que, al ser de relativamente baja presión (200 bares), ocupan mucho espacio. Además, excepto para potencias bajas (> 10 kW) donde se pueden utilizar pilas refrigeradas por aire, se precisan voluminosos sistemas de refrigeración, pues en aplicaciones estacionarias el enfriamiento en circuito cerrado (sin toma de agua externa) requiere de elementos auxiliares. Una solución más “sencilla” y de transición rápida es adaptar los grupos electrógenos actuales para que funcionen con hidrógeno. En efecto, el hidrógeno puede utilizarse como combustible en motores de combustión interna de forma muy similar al gas natural. Además, los grupos electrógenos actuales de gas pueden funcionar con mezclas de gas natural e hidrógeno, incluso hasta un 25% de hidrógeno en volumen. Esto produce una reducción significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, pero, es más, ya hay demostradores en el mercado capaces de funcionar con un 100% de hidrógeno. El desarrollo tecnológico y el mercado dictarán las configuraciones finales de los grupos electrógenos de hidrógeno. No obstante, parece que a medio plazo se impondrán las configuraciones a base de pila de combustible para aplicaciones de baja/media potencia (hasta cientos de kW) y a base de motores de combustión de hidrógeno para aplicaciones de gran potencia.

4. Si bien los **quemadores de gas natural** pueden ser adaptados para funcionar con mezclas de hidrógeno, la quema 100% de hidrógeno requiere el diseño y fabricación de quemadores propios por muchas razones, entre las más importantes: precisa de 3 a 3,5 veces más caudal que el gas natural para la misma potencia, mayor velocidad de la llama, la temperatura de llama es 170 °C superior al gas natural, produce más emisiones de NOx que un quemador de gas natural, tiene una mayor invisibilidad de llama (la detectabilidad de la llama en un quemador es crucial), tiene una mayor posibilidad de fuga, es preciso un nivel de seguridad extra (configuración de zonas ATEX), etc. La combustión de hidrógeno es pues un desafío, tanto más dependiendo de la aplicación, por tanto, se está en pleno proceso de desarrollo de tecnologías de combustión de hidrógeno eficientes, seguras y menos contaminantes. La sustitución de quemadores de gas natural por otros de hidrógeno es un reto tecnológico, pues es preciso el rediseño y sustitución de los conductos de alimentación del combustible al

quemador, regular de forma minuciosa el flujo y velocidad del gas en los puntos de inyección, controlar los retornos de llama, regular la temperatura de la llama y la ocupación de ésta (su geometría) en función del hogar donde se aplique, etc. Un reto muy importante que se une a los anteriores es el necesario desarrollo tecnológico que permita evitar o, al menos, limitar en gran medida las emisiones de las NOx. Por tanto, de cara a un futuro inmediato, quizás las soluciones vayan más por la vía de invertir el concepto de mezcla, es decir, en vez de añadir pequeños porcentajes de hidrógeno al gas natural, añadir pequeños/medios porcentajes de gas natural al hidrógeno (el cómo hacerlo, si en el propio quemador o antes, es también un reto tecnológico), probablemente entre el 10-20%, lo cual debe permitir “dominar” mejor la combustión, es decir, hacerla más estable y detectable. En cualquier caso, esto requeriría de cambios en la reglamentación y certificación de equipos, sobre todo en el ámbito doméstico. Dicho lo anterior y a pesar de la problemática planteada, actualmente hay ya quemadores de hidrógeno funcionando en plantas químicas y petroquímicas. Estos quemadores están desarrollados a partir de técnicas de combustión por etapas o de premezcla pobre (los llamados quemadores "secos de bajas emisiones", o DLE).

5. Desde hace unos pocos años atrás, los grandes fabricantes de **turbinas a gas** empezaron a hacer mezclas con hidrógeno sobre sus turbinas comerciales más modernas, llegando en ellas, sin drásticas modificaciones, a alcanzar porcentajes de hidrógeno sobre gas natural de hasta el 30% (hay fabricantes de grandes turbinas que para algunos modelos afirman haber llegado a mezclas de 50/50), lo cual representa un gran paso para el cambio de combustible con el consecuente desarrollo tecnológico que necesita la turbina, fundamentalmente en su cámara de combustión y sistemas auxiliares (por lo ya explicado en el punto 4, el hidrógeno como gas combustible tiene unas características muy diferentes en comparación con el gas natural). Hoy en día hay fabricantes que afirman tener realizaciones pre-comerciales (son prototipos en estado de pruebas para conseguir eficiencia, fiabilidad y seguridad antes de salir al mercado) de turbinas 100% de hidrógeno. Todos los grandes fabricantes se han fijado el objetivo de poder ofrecer turbinas de gas capaces de quemar el 100% de hidrógeno en toda la gama de potencias. El reto es conseguirlo sin comprometer la eficiencia, los tiempos de arranque y las emisiones de NOx.
6. La **infraestructura** para la producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno aún está en desarrollo, lo cual limita su adopción masiva para usos residenciales en el corto plazo. Por otro lado, además de las infraestructuras, se requiere un coste

competitivo del hidrógeno renovable, desde luego no más allá de 5 €/kg puesto en la vivienda.

7. En cuanto a **grandes edificios** de consumo masivo como hospitales o centros de datos, es obvio que el uso de hidrógeno puede reducir o anular prácticamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, el hidrógeno puede proporcionar un suministro energético seguro y estable, pues permite a los hospitales o centros de datos almacenar y utilizar energía según sea necesario, independientemente de las intermitencias de las energías renovables, lo cual es crucial para las operaciones ininterrumpidas por parte de este tipo de instalaciones consumidoras de energía. De nuevo, las infraestructuras necesarias y el coste del hidrógeno pueden ser una barrera, aunque menos justificada que en el caso de viviendas particulares.
8. Si bien las **APUs y sistemas de propulsión** de hidrógeno verde y de sus derivados tienen muchas ventajas medioambientales, cero emisiones de dióxido de carbono, gran eficiencia energética, operación silenciosa (si están basadas en pila de combustible, no en turbinas), etc., su expansión se encuentra con importantes barreras a día de hoy, entre ellas, falta de infraestructuras de repostaje y transporte de hidrógeno, así como de almacenamiento en aviones, camiones o barcos. En este tipo de aplicaciones, se tendrá que estar vigilantes por el desarrollo futuro de las pilas de combustible no sólo de hidrógeno, sino también las alimentadas por NH₃ y metanol. Por otro lado, en el caso de APU's en base a turbinas, es necesario un mayor desarrollo de las microturbinas de hidrógeno, ya que si bien se está haciendo un gran esfuerzo en el ámbito de las grandes turbinas (megavatios) no lo está siendo tanto en el de las microturbinas (decenas a cientos de kW). Una posible solución que ya está siendo puesta en práctica es el uso de pilas de combustible tipo PEM, sin embargo, esta solución es bastante menos eficiente que cuando con la turbina se puede hacer cogeneración. No obstante, en el caso específico de los aviones la solución de pila de combustible requiere modificaciones tecnológicas (en las aeronaves actuales) muy sustanciosas y difícilmente asumibles a día de hoy.

7.4. Conclusiones y recomendaciones

El hidrógeno ofrece una oportunidad única para descarbonizar los sectores de la generación de electricidad y la calefacción de manera fiable e independiente de las condiciones meteorológicas o estacionales. El objetivo de los gobiernos ha de ser pues el de apoyar a los

agentes europeos para que desarrollen una cartera de soluciones que proporcionen una generación de calor y electricidad limpios, renovables y flexibles para todas las necesidades de los usuarios finales y en todos los tamaños de sistemas; desde los domésticos hasta las centrales de generación de electricidad a gran escala. Si bien el objetivo ha de ser funcionar al 100% con hidrógeno, también han de admitirse y ser apoyadas soluciones transitorias, con mezclas de hidrógeno en sistemas e infraestructuras que hoy funcionan con gas natural.

Por supuesto, el esfuerzo en I+D+I debe ser continuado, con investigaciones multidisciplinarias que reúnan conocimientos especializados a diferentes escalas tecnológicas (materiales, componentes, celdas, pilas de combustible y sistemas y demostradores). El concepto tecnologías de hidrógeno debe ser concebido como un todo, de modo que de forma coordinada se lleve a cabo la investigación básica y tecnológica necesaria para la próxima generación de productos (menor coste y mejor rendimiento), más allá de 2030, dado que en la actualidad se está concibiendo la forma de generar el hidrógeno verde, almacenarlo y transportarlo de manera que en unos años se desplieguen los proyectos en masa de aplicaciones del hidrógeno, y no sólo en aplicaciones industriales, sino alcanzando todo tipo de sectores y actividades económicas.

8. Grupo de Trabajo de Conocimiento: Usos del H₂ en Industria

La industria intensiva (sectores industriales de alto consumo energético) afronta el reto de la descarbonización, tanto en la sustitución de combustible de origen fósil, como en el uso de materias primas sostenibles. El hidrógeno renovable puede jugar un papel clave en un gran número de procesos fundamentales para estos grandes consumidores de energía.

Con el objetivo de implantar actuaciones de descarbonización en la industria, han surgido y se están desarrollando nuevos métodos de producción de hidrógeno renovable, dentro de los cuales, la electrólisis ha cobrado especial atención. Merece la pena recalcar, que existen otros métodos de generación de hidrógeno renovable en desarrollo que puedan en un futuro ser más competitivos o coexistir con la electrólisis.

El hidrógeno puede jugar un importante papel al final de la cadena de valor en un gran número de aplicaciones, especialmente, entre aquellos con más dificultades para descarbonizar sus procesos. En el presente, las industrias del refino y de los fertilizantes utilizan en España, alrededor de 500.000 toneladas de hidrógeno anualmente, principalmente de tipología gris [1].

En particular, jugarán un papel muy importante la creación de “valles o clústeres de hidrógeno”, ecosistemas industriales que cubren múltiples etapas en la cadena de valor del

hidrógeno. La Clean Hydrogen Partnership define los Valles de Hidrógeno [2] como ecosistemas que abarcan una geografía específica y suministran hidrógeno a varios sectores como movilidad, industria y energía. En particular, se concentrarán espacialmente la producción, transformación y consumo de hidrógeno renovable aprovechando la aplicación de economías de escala, así como el desarrollo de proyectos piloto vinculados, entre otros, a los sistemas energéticos aislados y al sector transporte.

Como combustible [3], el hidrógeno renovable es una alternativa limpia a los combustibles fósiles tradicionales. No contiene impurezas y, por lo tanto, no produce CO₂ ni en su producción a través de la electrólisis ni cuando se quema. Su uso en combustión, tal y como se describe en la sección 7.2.4 se centra en su uso a través de quemadores con diseños específicos.

El hidrógeno, en comparación con el gas natural, cuando este es mezclado en un porcentaje en volumen, tal y como mostrado en la Figura 13 sucede que:

- El poder calorífico de la mezcla disminuye, dado que, a igualdad de condiciones de presión y temperatura, el poder calorífico del H₂ por unidad de volumen es menor. Esto puede apreciarse en la línea roja donde se pasa de un valor de 35 MJ/Nm³ de poder calorífico para gas natural a uno de 10 MJ/Nm³ para hidrógeno.
- El impacto en cuanto a emisiones de CO₂ es mínimo hasta no tener una mezcla de hidrógeno considerable. Tal y como muestra la línea azul para un 50 % en volumen de H₂, solo hay una reducción del 22% en cuanto a emisiones de carbono.

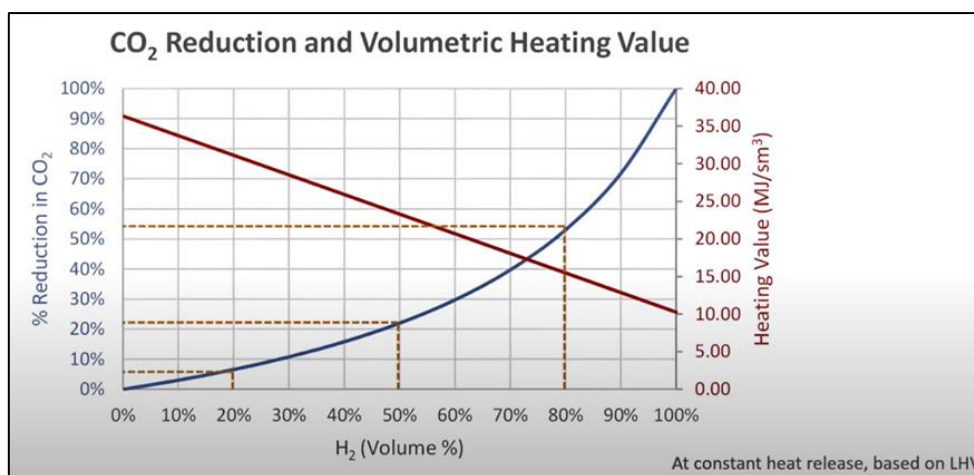


Fig. 13: Influencia del aumento de H₂ en una mezcla de gas natural.

Por otra parte, el hidrógeno renovable se utiliza en la producción de combustibles sintéticos [3] (como metanol sintético, dimetiléter sintético, entre otros), los cuales, a su vez, ayudan a

descarbonizar otros sectores en forma de nuevos combustibles sostenibles, por ejemplo, en el sector de aviación. Para su producción, se pueden emplear sistemas basados en el hidrogeno [4], como los llamados ‘power to fuel’, ‘power to power’ o ‘power to gas’. Estas técnicas pueden utilizarse para la producción de combustibles renovables tales como el biometano, biometanol, amoniaco [5], etc. Posteriormente pueden ser usados tanto como vectores energéticos o como materia prima.

En concreto, los combustibles sintéticos, más conocidos como e-fuels, son combustibles producidos a partir de fuentes de energía renovable, como la solar, eólica u otras, que permiten recortar las emisiones de CO₂ hasta un 85 % frente a la gasolina tradicional. Estas nuevas moléculas sostenibles ofrecen una gran oportunidad para alcanzar los grandes retos de descarbonización en el sector del transporte. En particular, los combustibles sostenibles de aviación, SAF (*sustainable aviation fuel* por sus siglas en inglés), son combustibles utilizados en aviones a reacción [6]. Para poder considerarlo SAF [7], un combustible tiene que reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero entre un 50 y un 60% y su materia prima debe ser de terrenos y técnicas que no afecten a la diversidad. Aerolíneas como United en EEUU o Iberia en Europa ya han llevado a cabo los primeros vuelos con este nuevo combustible empleando sus aeronaves más modernas de medio radio como el Boeing 737MAX o el A320NEO, respectivamente. Estos aviones no han sufrido ninguna modificación técnica específica, puesto que uno de los principales beneficios del SAF es que no requiere modificaciones específicas en las aeronaves, no siendo así en el caso del hidrogeno.

El uso del hidrógeno presenta una serie de retos en su integración, distribución y operación en las plantas industriales donde se prevé utilizarlo, así como en la producción de combustibles sostenibles basados en esta molécula renovable. Debido a las propiedades del hidrogeno, distintas a las del gas natural, es necesario realizar cambios en las instalaciones de combustión cuando se quiera llevar a cabo dicha sustitución (incluso en mezclas con elevadas proporciones de este). El grado de aceptación de un determinado proceso para usar hidrógeno va a depender fundamentalmente de la temperatura a la que se lleve a cabo. Cuanto mayor sea la temperatura necesaria, mayor probabilidad de aceptación del hidrogeno, al no haber alternativas de descarbonización competidoras. Se puede concluir de manera general que a corto plazo el uso del hidrógeno verde (hidrógeno renovable) reemplazará al hidrógeno gris como materia prima en los sectores de fertilizantes, químico y petroquímico, y a medio plazo se usará como combustible en aquellos procesos que requieran temperaturas elevadas (>600 °C) [8] tales como en el sector cerámico (hornos de cocción y hornos de

secado)²², siderúrgico (hornos de postratamiento), del aluminio (hornos) y del vidrio y fritas cerámicas (hornos).

8.1. Alcance y Objetivos

El objetivo general es evaluar y promover el uso del hidrógeno como vector energético en sectores industriales intensivos en energía, explorando tanto su viabilidad técnica como las modificaciones necesarias en infraestructuras y equipos. Se busca identificar y superar las barreras regulatorias y de seguridad que presenta el hidrógeno, incluyendo la adaptación a normas específicas y requisitos de seguridad inherentes al manejo de esta sustancia. Otro de los objetivos es analizar la cadena de valor completa del hidrógeno en la industria, desde su producción y distribución hasta su aplicación final, determinando las tecnologías necesarias y los retos asociados a cada fase.

8.2. Estado actual de las Tecnologías del Uso del H₂ en Industria, Situación de España

Con el uso del H₂ como vector energético en industria hay que tener varias consideraciones en cuenta, al tratarse de una molécula distinta al resto de combustibles hasta hoy utilizados:

- Debido a su baja densidad al tratarse de una molécula pequeña, su poder calorífico por unidad de volumen es mucho menor que el de los combustibles usados hoy en día.
- Es una sustancia altamente inflamable, es decir, el hidrógeno arde con mucha facilidad, y suponer un reto a la hora de adecuar el control para la seguridad en los equipos.
- Tiene una velocidad de llama muy elevada, es decir, la llama se propaga rápido a través de un combustible.

8.2.1. Compatibilidad de equipos

Como ya se ha desarrollado, el hidrógeno renovable puede sustituir al gas natural en industrias intensivas en energía, dependiendo de varios factores, como son:

1. La temperatura de operación del proceso. En ingeniería, las aplicaciones de temperatura media se sitúan en el rango de 200-600 °C. En aquellos procesos que requieran rangos de temperatura bajos y medios, la electrificación será una alternativa

²² Guía de Tecnologías Hipocarbónicas para la industria de baldosas cerámicas. IVACE+i. ITC-AICE, 2021. Link: <https://www.itc.uji.es/wp-content/uploads/2022/06/Tecnologias-Hipocarbonicas.pdf>

competitiva al uso del hidrógeno como vector energético. Esta es la razón por la que se están desarrollando calderas y hornos eléctricos que funcionan en estos rangos y la razón por la que el hidrógeno se utilizará en aquellos procesos de alta temperatura que (algunos que aún necesitan validación).

2. El tipo de proceso (calentamiento directo o indirecto). Si están sometidos a calentamiento directo el hidrógeno se quema junto con el producto, si es indirecto, el combustible y el producto están separados. Ejemplos de combustión indirecta ya validados son las calderas de vapor y los hornos indirectos de los sectores químico y petroquímico.

8.2.2. Modificación de las instalaciones

El cambio a ciertos combustibles renovables tales como el hidrógeno, exige una revisión a fondo de todos los equipos. Por ejemplo, hoy en día existen ya quemadores de hidrógeno al cien por cien disponibles en el mercado y la mayoría de los fabricantes aseguran que los quemadores actuales de gas natural pueden usar hidrógeno mezclado con gas natural en un porcentaje determinado.

Existe distinta normativa en relación a la cantidad de hidrógeno permitida en una mezcla, dentro de la cual cabe destacar:

- La Norma EN 437 que establece los gases de ensayo para aparatos de gas, y es crucial para la evaluación de su seguridad y funcionamiento con diferentes mezclas de gases.
- La Directiva de Equipos a Presión (PED) 2014/68/EU que regula los requisitos de diseño y construcción de equipos que pueden operar con mezclas de gases.
- El Reglamento (UE) 2016/426 que establece requisitos de seguridad para los aparatos que utilizan gases, incluyendo especificaciones para su funcionamiento con mezclas de hidrógeno.
- El Informe técnico de CEN/TC 234. El Comité Europeo de Normalización ha publicado informes técnicos sobre el uso de hidrógeno en aplicaciones de gas, que incluyen recomendaciones sobre mezclas de hidrógeno y gas natural.
- Documentos de investigación y guías de organismos como Gasunie y el Consejo Europeo del Hidrógeno que ofrecen estudios y guías sobre la mezcla de hidrógeno con gas natural y las implicaciones para la seguridad y el rendimiento de los aparatos.

Ejemplos concretos son el dado por Natural Renewable Energy Laboratory (NREL), que establece como valor de referencia para quemadores comerciales un porcentaje de un 20% en volumen de hidrógeno [9]. Por otra parte, empresas como Dunphy [10] en Reino Unido, ha obtenido la certificación CE para el 100% de gas de hidrógeno y todas las mezclas posibles entre hidrógeno y gas natural. Es necesario un análisis caso por caso a la hora de determinar la cantidad de hidrógeno a introducir en una mezcla.

Por otra parte, industrias usuarias intensivas en energía como **ArcelorMittal** [11] están probando el uso de hidrógeno en sus hornos de reducción directa, que incluye también la adaptación de quemadores para operar con hidrógeno. Salzgitter AG, implementa un proyecto piloto [12] que utiliza hidrógeno en sus procesos, incluyendo también la adaptación de quemadores para reducir las emisiones de CO₂.

En el caso de la industria cerámica, la **Asociación Nacional de Fabricantes de Fritas, Esmaltes y Colores Cerámicos, ANFFECC**, lidera el proyecto H2frit, [13], que tiene como objetivo estudiar la viabilidad técnica de sustituir gas natural por hidrógeno como combustible en la fusión de fritas cerámicas. Para ello, se está realizando la adaptación tecnológica del proceso productivo para utilizar hidrógeno, es decir, el diseño de los skids (paneles de conexión y control), del quemador y del cuadro de control. Una vez adaptado el proceso, se realizarán las pruebas de fusión de las fritas utilizando hidrógeno, en un horno piloto que funciona por oxidación.

Además, en el mismo sector industrial se está desarrollando el proyecto **H2toGreenCeramics** [14], lidera el proyecto Técnicas Reunidas, y el objetivo es el desarrollo de electrolizadores alcalinos para la descarbonización de clúster cerámico de la Comunidad Valenciana, donde el electrolizador desarrollado se instalará un electrolizador en una empresa del sector de fritas cerámicas.

En términos generales, sigue siendo un reto el contar con equipos adaptados a cada vez porcentajes más altos de blendings, que permitan la integración de grandes volúmenes constantes de hidrógeno renovable como sustituto del gas natural.

8.2.3. Control de procesos

Algunos controladores sí pueden medir caudal, presión (entre otras propiedades) para gases con un determinado contenido en hidrógeno. Sin embargo, no lo cumplen en corrientes con un 100 % de este gas. Lo mismo sucede para el control de la seguridad, que deben de ser

aptos para hidrogeno. Los sistemas de limpieza y evacuación de gases (trampas de humedad) ya se comercializan y son idóneos para ser utilizados con hidrógeno.

Por último, el hidrogeno tiene una temperatura de llama más alta, lo que requiere utilizar materiales resistentes a estos entornos de trabajo tan exigentes. Además, una alta temperatura de llama también genera más óxidos de nitrógeno (NOx), y que, por tanto, impacta en el conjunto de las emisiones emitidas en procesos sujetos a este vector energético, de hecho, en algunas industrias, las emisiones de NOx presentan valores límite de emisión en las autorizaciones ambientales integradas (variables en función de la etapa de proceso). Como resultado, se produce un aumento de la temperatura de los metales [13], lo que requiere algún tipo de refrigeración localizada para proteger las partes calientes.

8.2.4. Riesgos de seguridad

Dadas sus características, la seguridad es un aspecto crítico en el uso de hidrógeno en industrias intensivas debido a sus propiedades únicas. Para el correcto control en el uso de hidrógeno en industria, se requiere desplegar sistemas de detección y monitoreo adaptados a este gas. Para ello, se requiere medidas estrictas de seguridad para prevenir incendios y explosiones durante su transporte, asignación de zonas ATEX, control para la seguridad, etc.

8.2.5. Desarrollo de combustibles sostenibles

La adaptación de la infraestructura de transporte, almacenamiento y uso del e-fuel en cada equipo hacen más complejo el uso de un e-fuel que el uso convencional de combustibles de origen fósil. Además, no pueden ser utilizados en cualquier tipo de industria. Por último, la producción misma de hidrogeno renovable sigue siendo costosa, lo cual repercute también en la producción posterior del e-fuel.

8.3. Retos y Barreras identificados

8.3.1. Procedimiento seguido

En la identificación de barreras y retos, se han recogido y analizado los proyectos en los que participan más de 30 entidades (tanto empresas como centros tecnológicos) que forman parte del GT de usos del H₂ en la industria. La evaluación y clasificación de estos proyectos gracias a la alta participación de los miembros del grupo, nos permite resumir e ilustrar parte de los retos y barreras a nivel nacional en este campo.

Para los proyectos en curso que han sido recabados en la Tabla 5.1 del anexo 12.4, se ha conseguido la participación casi de la totalidad de los miembros del grupo de trabajo,

completando un documento donde queda reflejado: entidad, nombre del proyecto, TRL, convocatoria a la que pertenece, etc.

Consultar la Tabla 5.1. del anexo 12.4 sobre los topics del grupo de trabajo de usos del H₂ en la Industria

Nº Topic

1. H₂ como vector energético (combustión de H₂) en sectores industriales con alto consumo en gas natural.
2. Áreas geográficas donde el H₂ sea una molécula relevante – Valles de H₂
3. Estudios de viabilidad tecnológica en el uso del H₂, mapeados, etc.
4. Generación de biocombustibles a partir de H₂ y uso en industria
5. Cadena de valor del H₂

En la web de la AeH2 está el censo de proyectos de H₂ ²³ que se actualiza anualmente y para el 2024 han incluido proyectos con TRL 3-4 y TRL 5-8.

8.3.2. Retos y barreras

H₂ como vector energético (combustión de H₂) en sectores industriales con alto consumo en gas natural. Incluye todas las barreras localizadas anteriormente. Desde el cambio o adaptación de las instalaciones para la inclusión del hidrógeno (compatibilidad de equipos), control para la seguridad, zonas ATEX que esto contempla, la afección de la nueva atmósfera generada al tratar térmicamente los productos con hidrógeno, así como en el revestimiento de los hornos. Estos proyectos cubren un amplio abanico de sectores intensivos y procesos donde poder utilizar hidrógeno renovable.

Áreas geográficas donde el H₂ sea una molécula relevante – Valles de H₂. Dada la diversidad de casos y necesidades industriales, las barreras de estos proyectos dependen de las oportunidades y condiciones de contorno específicos de su ubicación geográfica. Sin embargo, se puede concluir que dichos ecosistemas, requieren modelos de coordinación y gobernanza sostenibles, que permitan aportar valor en entornos locales, cubriendo toda la cadena de valor del hidrógeno.

Estudios de viabilidad tecnológica en el uso del H₂, mapeados, etc. Existen en marcha un gran número de iniciativas que exploran los posibles usos y barreras que presenta el uso del hidrógeno en distintos procesos y operaciones. Cubren aspectos tecnológicos con TRLs

²³ <https://aeh2.org/censo-de-proyectos-de-hidrogeno/>

más bajo (ente 4 y 5) con el objetivo de desarrollar un conocimiento clave en el despliegue y optimización de procesos adaptados al hidrógeno renovable, por ejemplo, por tipología de proceso, las temperaturas que se pueden alcanzar, los consumos de gas natural que pueden ser sustituidos, etc. En paralelo, se están llevando a cabo proyectos que pretenden mapear qué zonas presentan un potencial más importante donde poder utilizar grandes cantidades de hidrógeno renovable.

Generación de biocombustibles a partir de H₂ y uso en industria. En esta categoría de proyectos se están evaluando los retos relativos a la compatibilidad de equipos, temperatura y tipo de proceso y la propia generación de e-fuels. El biometano, por ejemplo, puede ser inyectado en las redes de distribución de gas natural existentes [14] y se pueden emplear los mismos quemadores de gas natural, no siendo así el caso de biometanol, dimetileter, etc, los cuales no se pueden inyectar en las redes de distribución existentes ni tienen tanta compatibilidad con las instalaciones ya creadas, debido a las diferentes propiedades. En cuanto a los tipos de procesos donde pueden ser implementados estos biocombustibles, son tales como el secado, cocción, generación de vapor, como materia prima en algunos casos, etc. No obstante, no todos los combustibles pueden ser usados para todo tipo de procesos.

Cadena de valor del H₂, Esta categoría de proyectos cubre las tres fases por las que pasa este elemento durante su vida industrial: producción, distribución y/o almacenamiento, y aplicación o uso final en industria [15]. En concreto, las actividades más relevantes se están llevando a cabo en su uso/aplicación final para fines industriales, y sus barreras principales son la de utilizar equipos especializados en el uso del hidrógeno renovable.

Por ejemplo, en el caso del sector cerámico, el consumo anual de gas natural ronda los 14-15 TWh/año. Esta sería la cantidad de H₂ necesaria en caso de optar por esta alternativa.

Según el PNIEC, a 2023 se estimaba una capacidad de electrólisis instalada de 4 GW (que generarían unos 21 TWh de H₂/año) aunque en la nueva revisión del PNIEC se amplía la potencia instalada a 12 GW (unos 63 TWh H₂/año)

Estas cantidades planificadas en el PNIEC ¿Que suponen para los sectores industriales? ¿Serían suficientes para abastecer a la industria española? Si no es así, ¿Para qué año podrían cubrir la posible futura demanda?

8.4. Conclusiones y recomendaciones

El uso del hidrógeno en la industria en España destaca tanto su potencial como por sus desafíos. El hidrógeno, por sus características únicas como baja densidad, alta inflamabilidad y elevada velocidad de llama, presenta retos significativos en cuanto a almacenamiento y seguridad, lo que requiere adaptaciones técnicas para cumplir con normativas específicas.

La compatibilidad de equipos es otro aspecto clave: el hidrógeno puede reemplazar al gas natural en procesos de alta temperatura, pero en aplicaciones de menor temperatura, la electrificación podría ser una alternativa viable. Su uso exige la adaptación de quemadores y sistemas de control, desarrollados para manejar mezclas de hidrógeno y gas natural.

Los principales retos y barreras para la implementación del hidrógeno en la industria incluyen la necesidad de adaptar equipos y procesos, así como de gestionar riesgos de seguridad y cumplir con exigencias regulatorias. La alta inflamabilidad del hidrógeno y la generación de óxidos de nitrógeno (NOx) en su combustión requieren controles estrictos y el uso de materiales especializados para asegurar la viabilidad de su aplicación. Asimismo, la cadena de valor del hidrógeno, que abarca desde su producción y distribución hasta su uso final, exige una infraestructura adecuada y el desarrollo de biocombustibles derivados del hidrógeno, como el biometano, aunque algunas de estas soluciones no son totalmente compatibles con las instalaciones actuales.

Finalmente, es esencial cuantificar la demanda de hidrógeno en sectores industriales y compararla con las proyecciones del PNIEC para 2030 y 2050, analizando si la capacidad de suministro futura será suficiente para satisfacer la demanda industrial. En conclusión, el hidrógeno muestra un gran potencial como sustituto del gas natural en industrias intensivas en energía, pero su adopción requiere superar barreras técnicas, de seguridad y de infraestructura que son fundamentales para facilitar su implementación y contribuir a la transición hacia una industria más sostenible.

9. Grupo de Trabajo de Colaboración: Nacional

En este GT se analizan, coordinan y desarrollan las posibles actividades de colaboración de I+D+i, en ciencia y tecnología del hidrógeno, a nivel nacional.

9.1. Alcance y Objetivos

El **objetivo general** es impulsar la cooperación nacional poniendo en contacto y coordinando a las diferentes partes interesadas, estableciendo relaciones con sectores afines y planteando alianzas y estrategias conjuntas.

Las entidades con las que se colabora incluyen, pero no están limitadas a:

- Otras Plataformas Tecnológicas: CPE (Comité de Plataformas de la Energía), GICI (Grupo de Trabajo Interplataformas de Ciudades Inteligentes), GIEC (Grupo Interplataformas de Economía Circular), GTI-CO2 (Grupo de Trabajo Interplataformas del CO2).
- Administraciones públicas y agencias: MICINN, AEI, CDTI, ALINNE, MITERD, MITMA.
- La Asociación Española del Hidrógeno (AeH2)
- Los valles y clústeres del hidrógeno.

Esta colaboración es esencial para identificar sinergias que amplíen el alcance de las actividades de tanto de las Plataformas Tecnológicas Españolas como del resto de entidades, al objeto de aprovechar los recursos disponibles, fomentar la cooperación entre los diversos agentes del sector y facilitar la ejecución de proyectos estratégicos en el ámbito de la investigación, desarrollo e innovación.

Entre los **objetivos concretos** que se han abordado durante la operación del grupo de colaboración nacional están:

- Apoyar a la consolidación de la industria española unificando esfuerzos para llevar a cabo la implementación de proyectos de hidrógeno.
- Estudiar la evolución de los valles de hidrógeno en España.
- Compartir las barreras que se están encontrando los proyectos de hidrógeno en cada valle del hidrógeno.
- Informar a los integrantes del GT sobre eventos, jornadas que puedan ser interés para la Colaboración Nacional.
- Promover las capacidades tecnológicas nacionales en el sector del hidrógeno.

Partiendo de la base de un primer grupo de personas representativas de entidades relevantes para la colaboración nacional, la metodología seguida para alcanzar estos objetivos se ha basado en:

1. La identificación de nuevos actores que permitieran cubrir al máximo el mapa nacional de iniciativas y proyectos de hidrógeno a los que se invitó a formar parte del grupo. En este sentido se ha alcanzado la representación de 12 comunidades autónomas.
2. La elaboración y distribución de formularios para identificar:
 - Los valles y clústeres del hidrógeno, incluyendo localización, actividad, uso final del hidrógeno, iniciativa o proyecto, entidades, etc.
 - Los retos y barreras a los que se enfrentan la implementación de los proyectos en los valles del hidrógeno.

Así como el análisis de las respuestas recibidas y su comparación con otras iniciativas similares como el censo de proyectos de la AeH2 o el repositorio de ALINNE de “Clean Hydrogen” dentro de “Mission Innovation”.

3. Mantener la colaboración con los grupos interplataformas.
4. Actualizar el Catálogo de Capacidades Tecnológicas de la PTe H2

9.2. Valles de H₂ en España

De acuerdo con la definición de la Comisión Europea (**CE**), los valles del hidrógeno son áreas geográficas (una ciudad, una región, una isla o un clúster industrial) en las que se combinan varias aplicaciones del hidrógeno, nuevas o existentes, en un ecosistema integrado que consume una cantidad significativa de hidrógeno. En este sentido, un valle de hidrógeno comprende actividades relacionadas tanto con la producción, como con el almacenamiento, la distribución y el uso final del hidrógeno.

El objetivo a largo plazo del desarrollo de los valles de hidrógeno es conectarlos para formar una economía del hidrógeno más amplia y donde se puedan establecer sinergias. Los valles se ponen en marcha a partir de proyectos de demostración, idealmente a gran escala, con el fin de probar y demostrar tecnologías que minimicen la intensidad de los gases de efecto invernadero (**GEI**) de la producción de hidrógeno, para utilizar el hidrógeno en nuevas aplicaciones que contribuyan a la descarbonización, así como para almacenar y transportar hidrógeno para satisfacer las demandas de un mercado emergente.

En España, se han identificado y promovido varios proyectos de valles de hidrógeno con el objetivo de acelerar la transición hacia una economía descarbonizada. Ordenados por Comunidades Autónomas son los siguientes:



Fig. 14: Proyectos de Valles de H₂ en España.

9.2.1. Andalucía

- **Valle Andalúz del Hidrógeno Verde:** El proyecto contará con dos centros de producción de hidrógeno verde en Palos de la Frontera (Huelva) y San Roque (Campo de Gibraltar, Cádiz). Las plantas tendrán una capacidad combinada de electrólisis de 2 GW y producirán hasta 300.000 toneladas de hidrógeno verde al año. Además, se impulsará la producción de [biocombustibles 2G](#) y productos derivados como el amoníaco y metanol verdes.
- **Valle del Hidrógeno Verde del Campo de Gibraltar:** Desarrollo de 130 MW de electrólisis para 2026 y 400 MW para 2030 en la central de Los Barrios (Cádiz). El objeto del proyecto consiste en la producción de hidrógeno verde, cuyo suministro de electricidad provendrá de plantas de generación de energía renovable (eólica terrestre y solar).

9.2.2. Aragón

- **Valle del H₂ de Aragón - Iniciativa GetHyGA:** La iniciativa público-privada GetHyGA, “PavinG an Energy and Technology way on HYdrogen. alonG Aragon”, liderada por el Departamento de Industria del Gobierno de Aragón y Fundación Hidrógeno Aragón, busca consolidar un camino energético y tecnológico de hidrógeno en Aragón a través

de los 78 proyectos identificados, que pretenden movilizar 2.354 millones de euros con la instalación de más de 500 MW de electrólisis renovable para 2035.

- **Corredor de Hidrógeno del Ebro – EH2C:** Proyecto pionero de cooperación público-privada e interterritorial y multisectorial que pretende liderar el despliegue de la cadena de valor del hidrógeno renovable en el Sur de Europa, con el objetivo de conseguir la descarbonización de la economía y el desarrollo económico y social del territorio. Se espera que tenga una capacidad combinada de electrólisis de 1,5 GW, una producción de hasta 311.000 toneladas de hidrógeno verde al año y 1.670 de combustibles sintéticos, con consumo industrial y en transporte (90 hidrogeneras y más de 1.000 vehículos) proyectados. Además, el territorio estará vertebrado por un hidroducto de más de 500 km.

9.2.3. Cantabria

- **Valle del Hidrógeno en Cantabria – Green Hidrógeno Cantabria:** Iniciativa que tiene por objetivo impulsar el uso de hidrógeno verde en el tejido industrial cántabro como alternativa a los combustibles fósiles. El proyecto tiene el propósito de construir una planta de generación de hidrógeno verde en la región. Contará también con una cadena de almacenaje, distribución y aplicación de esta fuente de energía en diversos ámbitos industriales.

9.2.4. Castilla-La Mancha

- **Valle del Hidrógeno de Castilla-La Mancha – H2V CLM:** Tiene el potencial de conectar el resto de los valles del hidrógeno de España debido a su posición geográfica estratégica. Catalizará el desarrollo de una cadena de valor integral del hidrógeno que abarque la producción, el almacenamiento, la distribución y la utilización en diversos sectores, como la movilidad, el residencial, el equilibrio de la red energética y la industria, entre otros. La capacidad de electrólisis prevista oscilará entre 2 - 4 GW, con una producción de hidrógeno que abarcará 100 - 400 ktpa.

9.2.5. Castilla y León

- **Valle del Hidrógeno de Castilla y León:** Primera planta de producción de hidrógeno verde de Castilla y León, con 2,5 MW de capacidad y que se localizará en el Parque Empresarial del Medio Ambiente (PEMA) en Garray (Soria). La producción de hidrógeno se alimentará directamente de electricidad verde y contará con un sistema de almacenamiento de 150 metros cúbicos, alcanzando las 300 toneladas anuales. El

gas renovable se utilizará en aplicaciones industriales y de movilidad, así como podrá ser evacuado a través de un hidroduto.

9.2.6. Cataluña

- **Valle del Hidrógeno de Cataluña - H2 Valley Cat:** El Valle del Hidrógeno de Cataluña parte de los trabajos previos de la Plataforma Hidrógeno Verde Cataluña Sur, con el objetivo de aglutinar todos los agentes que integran la cadena de valor del hidrógeno verde e impulsar el conocimiento, la producción y la implementación de esta alternativa energética.

9.2.7. Comunidad de Madrid

- **Valle de Hidrógeno Renovable de la Comunidad de Madrid:** La Comunidad de Madrid abrirá en 2024 la primera planta de España de hidrógeno verde producido a partir de agua regenerada.

9.2.8. Comunidad Foral de Navarra

- **Valle del Hidrógeno Verde de Navarra – H2V Navarra:** Construcción de una planta de producción de hidrógeno verde a escala industrial en Rocaforte, Sangüesa. El proyecto plantea la construcción de un electrolizador de 25MW alimentado por energía renovable híbrida producida por una planta fotovoltaica (25MW) y un parque eólico (24MW). La planta alcanzará una producción total de 3.880 toneladas al año de hidrógeno verde y se destinará el 90% de la producción al consumo de las principales industrias de alto consumo energético de la zona.

9.2.9. Comunidad Valenciana

- **Clúster del Hidrógeno de la Comunidad Valenciana – HyVal:** La misión de HyVal es crear un ecosistema industrial con el objetivo de abarcar toda la cadena de valor del hidrógeno renovable para contribuir a la descarbonización de la Comunidad Valenciana. Esta iniciativa requiere la colaboración de los distintos agentes públicos y privados interesados.

9.2.10. Extremadura

- **Valle del H₂ de Extremadura - Extremadura Energy H2 Hub:** Compañía que se centrará en el impulso de proyectos de energías renovables. Impulsarán una planta de hidrógeno verde de 180 MW y un parque solar fotovoltaico de 350 MW, asociados al

consumo de la planta de procesamiento de litio de Cáceres, que será una de las más avanzadas y descarbonizadas del mundo.

9.2.11. Galicia

- **Planta de hidrógeno verde de As Pontes (proyecto H2 Pole):** Es la primera planta de producción de hidrógeno verde de la comunidad autónoma gallega. Se trata de una instalación de producción mediante electrólisis utilizando el agua del lago de As Pontes (A Coruña) y nuevas fuentes de energía limpia. La producción de hidrógeno se llevará a cabo en fases acumulativas de 20, 30 y 50 megavatios de potencia, para, completado su desarrollo, alcanzar un global de 100 MW. Con una capacidad productiva anual de hasta 14.400 toneladas de H₂ para distribución por cisterna e inyección a hidroduto, se espera que evite mensualmente la emisión a la atmósfera de más de 12.000 toneladas equivalentes de dióxido de carbono.

9.2.12. Islas baleares

- **Valle del Hidrógeno de Baleares – Green Hysland:** Su objetivo es desplegar un ecosistema de hidrógeno abarcando toda su cadena de valor en Mallorca, convirtiendo la isla en el primer hub de H₂ del suroeste de Europa. Se desarrollarán las infraestructuras necesarias para la producción de hidrógeno verde a partir de energía solar y su distribución a los usuarios finales, tales como los sectores turísticos, de transporte, industrial y energético de la isla, incluyendo la inyección en la red de gas para la generación de calor y energía verde en la ubicación de su uso final.

9.2.13. País Vasco

- **Corredor Vasco del Hidrógeno - BH2C:** El Corredor Vasco del Hidrógeno nace con el objetivo de crear un ecosistema del hidrógeno, con base en Euskadi, que permita avanzar en la descarbonización de los sectores energético, industrial, residencial y de movilidad. Se trata de una iniciativa que alumbran Petronor y Repsol, acompañados en su génesis por 7 instituciones, 14 centros de conocimiento y asociaciones empresariales y 50 empresas, hasta sumar 71 organizaciones con plena capacidad para hacerla realidad a través de decenas de proyectos de toda la cadena de valor.

El proyecto parte de la decisión estratégica de Repsol de invertir en Euskadi para seguir avanzando en la transición energética con la vista puesta en su objetivo de ser una compañía cero emisiones netas en el año 2050. En ese contexto, Petronor ha

apostado por convertir a Euskadi en un hub del hidrógeno, como unos de los puntales con los que transitar hacia una economía productiva verde.

9.2.14. Principado de Asturias

- **Valle del Hidrógeno de Asturias – ReCoDe H₂:** La iniciativa Reactivación, Competitividad y Descarbonización a través del H₂ renovable (ReCoDe H₂) es una agrupación de varios proyectos de producción y consumo de H₂ que se están desarrollando en la región de Asturias. La iniciativa plantea la instalación de una red de electrolizadores en el centro de la región con una capacidad de 1,1 GW y una producción estimada de más de 150.000 tH₂/año. El H₂ producido se destinará a la descarbonización de plantas industriales de la región, con emisiones difíciles de abatir, al transporte y a la producción de derivados del H₂ como NH₃ o CH₄O.

9.2.15. Región de Murcia

- **Plataforma del Valle del Hidrógeno Verde de la Región de Murcia:** Ubicado en el Valle de Escombreras, en Cartagena, esta plataforma tiene como objetivo construir una planta de producción de hidrógeno verde a partir de energía solar y eólica, con una potencia inicial de 100 MW. El hidrógeno verde se utilizará para descarbonizar distintas industrias del Valle de Escombreras, como la refinería de Repsol, y también se inyectará a la red de gas natural.

9.2.16. Red Troncal del Hidrógeno

En el ámbito nacional tiene una gran relevancia la “**Red Troncal del Hidrógeno**”, que incorpora los primeros ejes para el transporte nacional del hidrógeno y las dos interconexiones internacionales con Francia y con Portugal (ver apartado 5.2) y, adicionalmente, es necesario mencionar los siguientes corredores transnacionales:

- **Corredor Tecnológico Transfronterizo de Movilidad con Hidrógeno Renovable (proyecto HiMov):** tiene como objetivo principal articular un ecosistema transfronterizo que impulse en la Eurorregión Galicia- Norte de Portugal la cadena de valor emergente del Hidrógeno, contribuyendo a una movilidad sostenible basada en fuentes renovables y que está alineado con las prioridades del programa POCTEP, en cuanto a potenciar el uso de energías renovables, y de la RIS3 Transfronteriza, de hibridar los sectores de energía y movilidad.
- **Corredor Internacional H2Med:** H2Med se ha posicionado como el primer corredor de hidrógeno verde para Alemania. Este proyecto incluye una conexión entre Celorico

da Beira en Portugal y Zamora en España (CelZa), y una conexión marítima entre Barcelona y Marsella (BarMar). H2Med transportará hidrógeno verde producido en España y Portugal, aportando a los países del noroeste de Europa, principalmente Alemania, hasta dos millones de toneladas.

9.3. Retos y Barreras identificados

Los valles de hidrógeno representan un enfoque integrado de toda la cadena de valor del hidrógeno aprovechando sinergias entre diversos sectores industriales y energéticos. Sin embargo, el desarrollo y la implementación de estos valles enfrentan una serie de barreras científicas y tecnológicas, así como en materia de regulación, financiación y aspectos sociales. A continuación, se detallan las barreras que han sido identificadas por diferentes categorías:

9.3.1. Retos y Barreras Científicos

Almacenamiento estacional: La falta de referencias y tecnologías maduras para el almacenamiento estacional de hidrógeno plantea un reto significativo. Se requiere investigación para desarrollar y validar métodos efectivos y seguros de almacenamiento que puedan gestionar grandes volúmenes de hidrógeno a lo largo de temporadas, mitigando variaciones en la demanda y producción.

Altas presiones: En el caso de las aplicaciones de transporte, tanto en vehículos como en estaciones de repostado, los sistemas de almacenamiento de hidrógeno generalmente operan a altas presiones (350-700 bar). Este tipo de almacenamiento supone desafíos en términos de materiales que puedan soportar dichas presiones sin comprometer la seguridad, así como en la eficiencia energética del proceso de compresión. La eficiencia del almacenamiento a alta presión es una barrera crítica, ya que la energía necesaria para comprimir el hidrógeno puede ser considerable, reduciendo la eficiencia total del sistema. En las aplicaciones del hidrógeno en centros industriales o en valles, no hay un estándar de presión definido y el hidrógeno puede almacenarse en recipientes a baja presión en función de la disponibilidad de espacio.

Bajo rendimiento del proceso de electrólisis: Actualmente, el proceso de electrólisis tiene un rendimiento relativamente bajo, lo que implica altos costos energéticos y económicos. Es crucial mejorar la eficiencia de los electrolizadores para reducir costos y aumentar la viabilidad comercial del hidrógeno producido a partir de fuentes renovables.

Transporte y Distribución: La red de transporte de hidrógeno debe ser adaptada, o en algunos casos construida, para manejar hidrógeno de manera segura y eficiente. Esto incluye

la actualización de los materiales y tecnologías utilizados en la red de gas para prevenir fugas y garantizar la integridad del sistema.

Aprovechamiento de subproductos: La optimización del uso de subproductos, como el oxígeno generado durante la electrólisis requiere tecnologías y estrategias adecuadas para su captura y uso.

9.3.2. Retos y Barreras Tecnológicas

Involucración de usuarios finales/consumidores: Es necesario un alto grado de participación y compromiso de los usuarios finales para asegurar que el modelo de negocio del valle de hidrógeno se adapte a sus necesidades y expectativas. Sin embargo, lograr esta participación puede ser difícil debido a la falta de conocimiento y confianza en las tecnologías de hidrógeno.

Alineamiento de intereses: Alinear los intereses de todos los actores involucrados (industria, consumidores, gobierno) es un reto, ya que cada uno puede tener diferentes prioridades y preocupaciones.

Dificultad en la selección de tecnologías: La diversidad de condiciones locales y las necesidades específicas de cada instalación hacen que la selección de las tecnologías más adecuadas sea un desafío significativo. La falta de estándares y referencias claras complica el proceso.

Falta de infraestructuras: Actualmente, las infraestructuras para el transporte, almacenamiento y suministro de hidrógeno renovable son insuficientes o inexistentes en muchas regiones. La construcción de estas infraestructuras requiere una inversión significativa y tiempo para su desarrollo, en base a ello, el Consejo de Ministros, a propuesta del MITERD, aprobó a finales del mes de julio el acuerdo por el que se habilita a Enagás para el ejercicio provisional de las funciones de desarrollo de los Proyectos de Interés Común (PCIs) europeo de redes de hidrógeno (Red Troncal del Hidrógeno).

Logística optimizada: Definir una logística optimizada para cada valle es crucial para minimizar costos y mejorar la eficiencia. Esto implica coordinar el transporte, almacenamiento y distribución de hidrógeno de manera integrada y efectiva.

Caso de negocio y casación de oferta y demanda: Es necesario realizar un análisis detallado del caso de negocio para asegurar que la oferta y la demanda de hidrógeno estén

equilibradas. La identificación de socios esenciales y el compromiso de los off-takers son cruciales para la viabilidad del proyecto.

Objetivo global común: La falta de un objetivo global común para la producción, transporte y almacenamiento de hidrógeno crea incertidumbre y dificulta la coordinación de esfuerzos a nivel internacional, a la vez que también dificulta la definición de objetivos técnicos específicos limitando la estandarización y masificación de las tecnologías del hidrógeno.

Inmadurez tecnológica: Debido a la falta de referencias e instalaciones operativas, obtener garantías de rendimiento y fiabilidad de los proveedores de tecnología es complicado. Esto crea riesgos para los inversores y dificulta la financiación de proyectos.

Cumplimiento de plazos: Las condiciones cambiantes del mercado, como crisis de materias primas y baja capacidad de producción de electrolizadores, pueden causar retrasos en la ejecución de proyectos.

Recorte del gap de precios: Reducir la brecha entre el precio de producción del hidrógeno renovable y el precio de los combustibles fósiles es fundamental para hacer competitivo al hidrógeno. Esto requiere tanto avances tecnológicos como políticas de apoyo.

Incertidumbre en la evolución de precios: La evolución de los precios del hidrógeno y de las energías renovables es incierta, lo que agrega un nivel de riesgo a la planificación y financiación de proyectos de hidrógeno.

9.3.3. Retos y Barreras en Materia de Regulación, Financiación y Aspectos Sociales

Regulación

Necesidad de un marco jurídico actualizado: Es fundamental desarrollar y actualizar el marco jurídico que regule la producción, almacenamiento y distribución del hidrógeno. La transposición de iniciativas europeas, como la Directiva de Renovables REDIII, el Paquete del Gas y del Hidrógeno (compuesto de una regulación y una directiva) y el Banco Europeo del H₂, en mecanismos ágiles y efectivos es esencial para facilitar el despliegue rápido de proyectos.

Incertidumbre Normativa: La obtención de permisos para el desarrollo de proyectos es un proceso complejo que involucra múltiples normativas (energética, industrial, urbanística, de seguridad, ambiental, etc.) que son inciertas y pueden variar considerablemente entre regiones. Esta falta de claridad y consistencia puede retrasar significativamente los proyectos de hidrógeno.

Falta de homogeneidad en procedimientos: La falta de homogeneidad en los procedimientos administrativos para la tramitación de proyectos de hidrógeno impide una implantación ágil y eficiente. Un procedimiento específico y coordinado es esencial para acelerar los procesos.

Financiación

Financiación Pública y Privada: Los proyectos de hidrógeno requieren grandes inversiones, lo que implica la necesidad de definir mecanismos de financiación público-privados complejos. Conseguir un compromiso político (inter)regional y (trans)nacional es crucial para asegurar la financiación pública y privada. La falta de incentivos financieros y el encarecimiento de los equipos debido a la inflación representan desafíos adicionales.

Cobertura Integral de Inversiones: Encontrar un mecanismo financiero que abarque la totalidad de las inversiones necesarias en un valle de hidrógeno es complejo. No existe un programa de ayudas que cubra todas las partes del valle, como producción, almacenamiento, logística, suministro y consumo. También es necesario mejorar la compatibilidad de ayudas.

Cooperación Europea: A pesar de la importante financiación a nivel europeo, se necesita una cooperación reforzada y objetivos comunes claros para aprovechar al máximo los fondos disponibles.

Aspectos Sociales

Desconocimiento y Respuesta Social: El desconocimiento de las tecnologías de hidrógeno por parte del público y de las administraciones, especialmente locales, puede generar resistencia y retrasos en los proyectos.

Necesidad de Planes Formativos: Falta de experiencia en hidrógeno y de recursos humanos especializados. Es necesario desarrollar planes formativos para capacitar a personal técnico en tecnologías de hidrógeno para asegurar la disponibilidad de personal capacitado para operar y mantener las instalaciones y mejorar la comprensión y aceptación social.

Coordinación de Actores: Lograr la coordinación efectiva entre autoridades públicas, entes privados y offtakers es vital para el éxito de los proyectos.

9.4. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

España está avanzando significativamente en el desarrollo de valles de hidrógeno, posicionándose como un líder potencial en la producción y uso de hidrógeno verde. Estos proyectos son esenciales para cumplir con los objetivos de descarbonización y transición energética del país. Sin embargo, existen una serie de retos y barreras científicas y tecnológicas importantes que deben ser abordadas para garantizar el éxito de estas iniciativas.

Recomendaciones

1. **Fomento de la Investigación y Desarrollo:** es crucial aumentar la inversión en I+D para mejorar la eficiencia y reducir los costos de las tecnologías relacionadas con el hidrógeno.
2. **Desarrollo de infraestructura:** invertir en la creación de una infraestructura robusta para el almacenamiento y distribución del hidrógeno es esencial para su adopción a gran escala.
3. **Apoyo gubernamental y regulación:** el gobierno debe proporcionar un marco regulatorio claro y dar apoyo financiero para facilitar el despliegue de las tecnologías de hidrógeno.
4. **Colaboración público-privada:** fomentar la colaboración entre empresas, centros de investigación y administraciones públicas, incluso entre diferentes valles de hidrógeno, con el fin de establecer sinergias y aprovechar recursos.
5. **Educación y formación:** invertir en la formación de profesionales especializados en tecnologías de hidrógeno para garantizar una mano de obra cualificada y garantizar la confianza del usuario final.

El desarrollo de valles de hidrógeno en España representa una oportunidad clave para liderar la transición hacia una economía sostenible y descarbonizada. Con el enfoque adecuado en la investigación, infraestructura y políticas, España puede convertirse en un referente global en la economía del hidrógeno.

10. Grupo de Trabajo de Colaboración: Internacional

El Grupo de Trabajo de Colaboración Internacional persigue maximizar la visibilidad internacional de la actividad de I+D+i desarrollada en España, y en concreto la llevada a cabo

por los miembros de la Plataforma. Para ello, los integrantes de este grupo deben contar con presencia en agrupaciones internacionales, a través de las cuales vehicular la información en ambos sentidos. El nº de miembros que actualmente conforma este grupo de trabajo es 26, siendo la representación fundamentalmente de organismos de generación de conocimiento (universidades, centros de investigación y centros tecnológicos).

10.1. Alcance y Objetivos

El Grupo de Trabajo de Colaboración Internacional persigue un doble objetivo:

- Aglutinar información y conocimiento obtenidos a través de la participación de sus miembros en agrupaciones internacionales, de cara a compartir esta información con el resto de los miembros de la Plataforma.
- Acompañar y reforzar el posicionamiento de España en dichas agrupaciones. Al fin y al cabo, documentar la actividad estratégica y de I+D+i que se desarrolla en España, dando soporte así a la solicitud de contribuciones que se realizan desde estas agrupaciones a los participantes en sus actividades.

10.2. Representación Española en Agrupaciones Internacionales

En base al cuestionario realizado por parte de los integrantes del GT, se han identificado agrupaciones internacionales en las que hay representación española. Se han clasificado según su ámbito de interés sea solo europeo (un porcentaje marcadamente superior) o de carácter más internacional.

10.2.1. Agrupaciones europeas

1	Hydrogen Europe (HE) - Incluido Hydrogen Europe Research (HER)	- Hydrogen Europe Home - Hydrogen Europe Research – Enabling a zero-emission society
2	European Energy Research Alliance (EERA) Joint Programmes (JPs) - JP Fuel Cells and Hydrogen - JP Energy Storage - JP Energy Systems Integration - Bioenergy	- EERA Joint Programme Fuel Cells and Hydrogen - Home (eera-fch.eu) - EERA Joint Programme Energy Storage - Home (eera-energystorage.eu) - EERA JP Energy Systems Integration - Home (eera-esi.eu) - EERA Bioenergy (eera-bioenergy.eu)
3	European Clean Hydrogen Alliance (ECH2A) - Incluido Electrolyser Partnership (ELYP)	- European Clean Hydrogen Alliance - European Commission (europa.eu)

Fig. 15.1: Agrupaciones europeas con representación de miembros del GT de Colaboración Internacional.

4	Clean Hydrogen Partnership - European Hydrogen Sustainability and Circularity Panel (EHS&CP)	- European Hydrogen Sustainability and Circularity Panel - Clean Hydrogen Partnership (europa.eu)
5	Smart Specialisation Strategies S3 Community of Practice - European Hydrogen Valleys Partnership	- Inforegio - Hydrogen Valleys S3 Partnership (europa.eu)
6	Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency (A.SPIRE) - Incluido Process4Planet Partnership	- A.SPIRE Processes4Planet Research Association (aspire2050.eu)
7	European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC)	- Home - ERTRAC
8	Energy Materials Industrial Research Initiative (EMIRI)	- EMIRI The Energy Materials Industrial Research Initiative
9	European Heat Pump Association (EHPA)	- Home - European Heat Pump Association (ehpa.org)
10	European Technology and Innovation Platform on Renewable Heating and Cooling (RHC)	- European Technology and Innovation Platform on Renewable Heating and Cooling - RHC (rhc-platform.org)
11	Comunidad de Trabajo de los Pirineos (CTP)	- Consorcio de la Comunidad de Trabajo de los Pirineos - CTP

Fig. 15.2: Agrupaciones Europeas con representación de miembros del GT de Colaboración Internacional.

10.2.2. Agrupaciones internacionales

12	Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)	- CYTED
13	International Energy Agency (IEA) - IEA Hydrogen Technology Collaboration Programme (TCP)	- IEA Hydrogen TCP - Research & Innovation in Hydrogen Technologies
14	Mission Innovation (MI) - Clean Hydrogen Mission (CHM)	- Clean Hydrogen – Mission Innovation (mission-innovation.net)

Fig. 16: Agrupaciones Internacionales con representación de miembros del GT de Colaboración Internacional

Analizando esta representación:

- Es de gran relevancia la presencia en los ámbitos europeos en los que se definen las prioridades en el ámbito de la I+D+i, tanto de los países miembros y regiones (EERA, S3), como del programa europeo gestionado por Clean Hydrogen Partnership (HE-

HER). No es sorprendente, de hecho, que sea precisamente en estas agrupaciones en las que hay una mayor presencia de representantes españoles (casi todos los miembros pertenecen a HE-HER y un número también elevado a diferentes áreas de EERA).

Un ejemplo de documento estratégico desarrollado en el marco de HE-HER ha sido la Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA) 2021-2027, para la entonces denominada Clean Hydrogen Joint Undertaking [1]. En cierta medida, este documento define el estado del arte de cada tecnología, así como los indicadores a cumplir en diferentes horizontes temporales (2030, 2040...). Igualmente, importantes son los programas anuales que definen las convocatorias de ayudas de I+D+i de la actual Clean Hydrogen Partnership [2]. Esta documentación es igualmente válida para identificar potenciales vacíos tecnológicos en la cadena de valor del hidrógeno española.

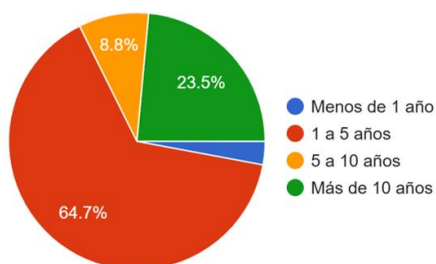
- De igual relevancia dar soporte, desde el ámbito de la tecnología, a grupos orientados a sentar las bases del despliegue de la economía del hidrógeno, a través de áreas como la industrialización, estandarización, regulación, uso de materias primas, etc. (ECH2A-ELYP, EMIRI). O de especialización sectorial en la que el hidrógeno viene llamado a ser un elemento clave en su descarbonización (A.SPIRE, ERTRAC, EHPA, RHC).

Un ejemplo de esta actividad es el trabajo desarrollado en el marco de ELYP, que ha dado lugar a la carta dirigida en julio de 2023 a la Presidenta de la Comisión Europea por fabricantes de electrolizadores, solicitando el apoyo a la industria europea frente a la amenaza que suponen los productos fabricados en China. Derivado de este trabajo, el logro de la inclusión en septiembre de 2024 de un valor límite a la incorporación de tecnología de electrólisis china en proyectos financiados a través del Banco Europeo del Hidrógeno [3].

- Finalmente, igualmente importante la presencia en foros que promueven la colaboración internacional, tanto para el intercambio de información y conocimiento, como para el desarrollo de proyectos conjuntos (CTP, CYTED, IEA H2 TCP, MI-CHM).

De cara a tener influencia en las decisiones que se toman en dichas agrupaciones, afectan los aspectos de “veteranía” en la misma, así como “grado de involucración”. La Figura 17 muestra los resultados obtenidos a partir de las **34 respuestas** recopiladas del cuestionario realizado entre los expertos que participan en este GT.

¿Desde cuándo son miembros?



Tipo de participación

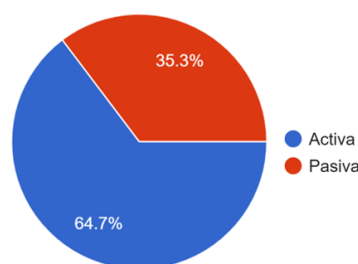


Fig.17: Veteranía y tipo de participación en las agrupaciones internacionales, por parte de los miembros del GT de colaboración internacional. Resultados en base a 34 respuestas al formulario

El análisis actual realizado muestra el perfil activo de los participantes nacionales, así como gran veteranía, llegando incluso a superar 10 años como miembros de dichas agrupaciones. Más aún, hasta un tercio de los representantes nacionales asume algún tipo de rol de liderazgo dentro de las actividades de dicha agrupación (“chair/co-chair”, “leader/deputy leader”, líder de subtarea o coordinador). Todo ello hace factible tener un gran acceso a la información y tener influencia en las actividades que se desarrollan.

Es quizás natural que la mayor involucración en estos foros internacionales, en el ámbito de la I+D+i, se esté llevando a cabo por parte de universidades, centros de investigación y centros tecnológicos. 12 de estos grupos de conocimiento han participado en el cuestionario; por otra parte, se ha contado con 3 empresas, mientras que la participación en Mission Innovation se lleva a cabo en nombre de la propia Plataforma.

Analizando el valor que aporta la participación en estas agrupaciones internacionales:

- Destacan principalmente el conocer, y en la medida de lo posible definir, las líneas de I+D+i estratégicas (europeas) en el ámbito de las tecnologías del hidrógeno, así como identificar vías de financiación de proyectos.
- Con un menor peso, se referencia la participación en la definición de documentos estratégicos y hojas de ruta, o la labor de posicionamiento a nivel internacional de centros de investigación, valles de hidrógeno o regiones.
- Igualmente se utilizan estas vías para tener acceso a información (informes temáticos, actividad de otros agentes) o para aprovechar la red de contactos para establecer consorcios de colaboración (“networking”).

Por su significación, se hace un análisis más exhaustivo de Mission Innovation ([Home - Mission Innovation \(mission-innovation.net\)](https://mission-innovation.net)), plataforma en la que la membresía es a través de la propia Plataforma. España decidió en el año 2022 adherirse a esta agrupación

internacional, iniciando su andadura con la participación en 3 de las 7 misiones que la constituyen, siendo una de ellas Clean Hydrogen Mission ([Clean Hydrogen – Mission Innovation \(mission-innovation.net\)](#)). El organismo nacional que lidera esta participación es el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, a través de la Secretaría General para la Innovación ([MissionInnovation \(ciencia.gob.es\)](#)). Alinne es la encargada de ejercer de Secretaría Técnica, dando soporte al Ministerio en la gestión de documentación asociada ([MISSION INNOVATION - alinne - Projects](#)), y sirviendo de enlace con las diferentes Plataformas expertas en cada una de las materias (redes eléctricas, ciudades e hidrógeno).

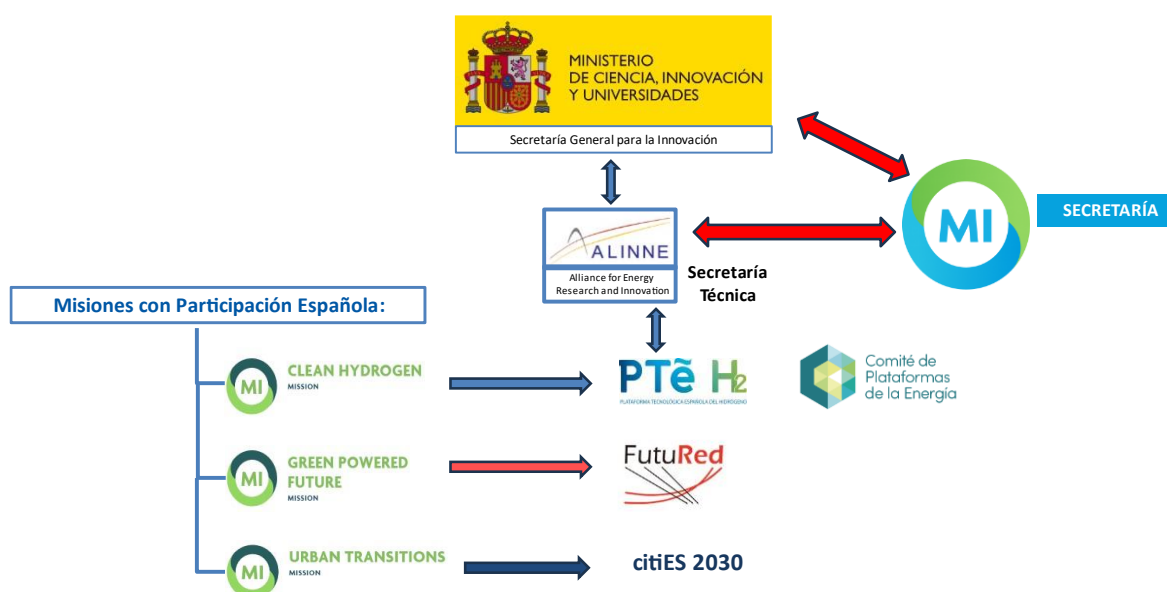


Fig. 18: Estructura de gestión de la participación de España en Mission Innovation.

El objetivo de Clean Hydrogen Mission es precisamente lograr un coste competitivo del hidrógeno, habiéndose establecido 2 USD/kg como el valor a lograr en 2030, por lo que cualquier línea o actividad de I+D+i que se identifiquen están alineadas con el lograr liderazgo en la economía del hidrógeno. Como instrumento para ello, se ha identificado el concepto valles de hidrógeno, habiéndose establecido el objetivo de lograr contar con 100 valles identificados en la plataforma internacional h2v ([H2 Valley map | H2Valleys](#)). Precisamente España es un claro ejemplo de este potencial, por lo que se pretende aprovechar esta fortaleza.

Mission Innovation aporta visibilidad internacional a las actividades que realiza España en hidrógeno. Tanto en cuanto a definición de estrategias y políticas, como a programas de apoyo y financiación, o solidez de su cadena de valor asociada. Permite igualmente acceder a información de otros países, lo que permite obtener lecciones aprendidas. Existe además una

dinámica productiva de generación de bases de datos y workshops sobre temáticas específicas, a las que es posible adherirse, haciendo partícipe de esto a todos los miembros de la Plataforma.

En los dos años de actividad que se llevan en el caso español, se ha participado de forma activa en la promoción de workshops de hidrógeno sobre diferentes temáticas (gobernanza, marco regulatorio, certificación de hidrógeno, esquemas de financiación, formación de recursos humanos, desarrollo de la cadena de valor, aplicación del hidrógeno al transporte), con el doble objetivo de compartir lecciones aprendidas que ayuden a acelerar el desarrollo del sector hidrógeno en países de Latinoamérica y de incrementar su presencia en Mission Innovation. La presencia de valles de hidrógeno españoles en h2v es significativa, siendo un total de 7 en septiembre de 2024, habiéndose logrado contar con uno de ellos en el folleto divulgativo (corredor vasco; [MI CHM H2V brochure final Sept2024.pdf](#) ([mission-innovation.net](#))) elaborado por Clean Hydrogen Mission con objeto de la reunión anual MI-9 en Foz do Iguaçu (Brasil, 1-3 octubre 2024).

El cambio de liderazgo en Clean Hydrogen Mission por parte de la Comisión Europea en primavera de 2024 ha originado una reactivación de la agenda de trabajo. Ha surgido una iniciativa conjunta con Zero-Emission Shipping Mission (en la que España está planteándose entrar también), confirmándose nuestra involucración, estando prevista la primera reunión en octubre de 2024; de manera interna se ha establecido interlocución con Puertos del Estado, a través del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Para completar este apartado, cabe referenciar a su vez los acuerdos bilaterales establecidos por nuestra asociación de cabecera (Asociación Española del Hidrógeno, AeH₂) con otros países, siendo éstos un marco vigente que permite el fomento de colaboración internacional, aún por explotar.

No.	Nombre de la Institución	País
1	Asociación Canadiense del Hidrógeno y las Pilas de Combustible (CHFCA)	Canadá
2	Asociación Chilena del Hidrógeno (H2Chile)	Chile
3	Asociación Costarricense del Hidrógeno (ACH2)	Costa Rica
4	Asociación Japonesa del Hidrógeno (jh2a)	Japón
5	Asociación Mexicana del Hidrógeno (H2México)	México
6	Asociación Portuguesa para la Promoción del Hidrógeno (AP2H2)	Portugal
7	Consortio Argentino del Hidrógeno (H2ar)	Argentina
8	Consejo Ucraniano del Hidrógeno (UaH2Council)	Ucrania
9	Agencia de Promoción del Comercio y la Inversión de Corea (KOTRA)	Corea

Fig. 19.1: Acuerdos de colaboración (MoU) bilaterales vigentes, por parte de la AeH₂.

No.	Nombre de la Institución	País
10	Cámara de Comercio de Cartagena	Colombia
11	Cámara de Comercio Alemana	Alemania
12	Cámara de Comercio Polaco-Española	Polonia
13	Cámara de Comercio e Industria Hispano-Australiana	Australia
14	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Colombia	Colombia
15	Embajada de Francia en España	Francia
16	EU Project Innovation Centre (EUPIC-China)	China
17	Inovation Norway	Noruega
18	Hydrogen and Fuel Cell Association of Singapore	Singapur
19	NL Hydrogen Netherlands	Países Bajos
20	Asociación Rumana del Hidrógeno	Rumanía
21	Taiwan Institute of Economic Research - TIER	Taiwán
22	H2 Colombia	Colombia
23	France Hydrogène	Francia
24	German H2 and Fuel Cells Association	Alemania
25	Hydrogen Denmark	Dinamarca
26	Sociedad Mexicana del H2	México

Fig. 19.1: Acuerdos de colaboración (MoU) bilaterales vigentes, por parte de la AeH2.

10.3. Retos y Barreras identificados

No se trata en este caso de retos o barreras significativos, sino del hecho de ser conscientes de que es posible aumentar más aún el impacto que puede tener este grupo de trabajo, aumentándolo en el nº de sus miembros y promoviendo acciones para lograr una mayor visibilidad en ambos sentidos. En esta línea, cabe considerar:

- Una mayor proactividad por parte del grupo de trabajo, para captar miembros adicionales, siendo esto algo diferente de los grupos de trabajo de conocimiento, al tratarse éste de un grupo para el que se requiere invitación a participar.
- El realizar una priorización para dedicar esfuerzos a agrupaciones internacionales en las que se lleven a cabo actividades con impactos positivos en el grupo.

Resulta también un reto contar con dedicación suficiente para sacar partido a las diferentes iniciativas en las que hay involucración, siendo un ejemplo de ello Mission Innovation. Para optimizar el funcionamiento, cabe considerar:

- El involucrar a los diferentes grupos de trabajo de conocimiento de la Plataforma, en función de las temáticas específicas en cada caso.

10.4. Conclusiones y recomendaciones

Con el objeto de hacer frente a los retos identificados, para cumplir con los objetivos del grupo de trabajo de colaboración internacional:

- Interesa circular un cuestionario semejante (al desarrollado para el actual ejercicio), a todos los miembros de la Plataforma, de cara a reforzar el propio grupo de trabajo, invitándolos a participar en él, y para incrementar el mapeado de agrupaciones internacionales con representación nacional.
- Interesa igualmente hacer un análisis exhaustivo de las principales agrupaciones de interés para nuestro sector, con impacto en la I+D+i y la tecnología:
 - a) evaluando si son útiles por la información que generan o por la oportunidad de poder influenciar en su actividad de desarrollo (“información” versus “acción”);
 - b) identificando potenciales representantes españoles que se puedan atraer a formar parte de este grupo de trabajo de colaboración internacional;
 - c) documentando los aspectos necesarios para lograr la membresía (tipo de entidad, dedicación requerida, coste asociado, etc.) de cara a evaluarlo en el grupo.

Por ejemplo, Hydrogen Council es una plataforma internacional muy relevante, que elabora unos informes muy elaborados, que profundizan por ejemplo en los costes de desarrollo de la tecnología o en las necesidades de mercado que pueden determinar líneas de I+D+i. El hacerse miembro de la misma puede no ser accesible a la mayoría de los miembros de la Plataforma (por elegibilidad y/o coste), aunque en este caso el simplemente poder acceder a la información pública puede ser ya suficiente.

- Interesa mantener el newsletter de periodicidad trimestral de la Plataforma, aprovechándolo para compartir información sobre workshops y eventos similares, a los que puedan acceder los miembros de la Plataforma.

Se plantea intensificar la actividad de la Plataforma en Mission Innovation, siendo una potencial idea el establecer workshops temáticos con agentes de Latinoamérica, estableciendo una cierta periodicidad, reforzándolos con sesiones de “matchmaking” que permita asentar colaboraciones en el ámbito tecnológico. En esta línea se podrá igualmente sacar partido de los acuerdos bilaterales de la AeH2 (proyectos de I+D+i, convocatorias de financiación, etc.).

11. Reflexión sobre el sector del H₂

El sector del hidrógeno en España y también a nivel internacional ha mostrado un notable desarrollo en los últimos años, impulsado por un marco regulatorio y normativo en evolución, y el creciente interés por tecnologías que faciliten la transición energética y la descarbonización de los sectores económicos.

En 2024, diversos hitos consolidaron el papel del hidrógeno como vector esencial. A nivel europeo, la aprobación de regulaciones clave, como los actos delegados de la Renewable Energy Directive (**RED III**), **FuelEU Maritime**, **ReFuelEU Aviation**, **AFIR**, **REPowerEU** y **EU Hydrogen Strategy** y el reglamento relativo a los mercados interiores de gases renovables, gas natural e hidrógeno (**Gas Package**), subrayaron su relevancia en la planificación energética. En el ámbito nacional, la revisión del **PNIEC** realizada este otoño incrementó el objetivo de capacidad instalada de electrólisis de **4 GW a 12 GW**, una clara señal del compromiso de España con el hidrógeno. Además, se han registrado inversiones significativas en proyectos estratégicos, con un total de **361 proyectos** censados en el Análisis del **Censo de Proyectos AeH2 2024**, que representan más de **36.000 millones de euros** en presupuesto estimado.

Otros avances incluyen el papel cada vez más activo de España en iniciativas internacionales, como el **Banco Europeo del Hidrógeno**, con la adhesión al mecanismo de subastas (Auctions-as-a-Service) del Innovation Fund, donde el montante de la contribución española oscilará entre **280 y 400 millones de euros** para la segunda subasta que se lanza en diciembre de este año. La suma definitiva se fijará en los próximos meses en función del resultado del programa H2 VALLES convocado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (**IDAE**), dependiente del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (**MITERD**), de incentivos a grandes clústeres industriales.

A pesar del optimismo, el sector enfrenta un periodo de estancamiento marcado por la falta de cierre financiero o Final Investment Decision (**FID**) en proyectos clave. Factores como la ausencia de regulación específica, limitaciones en infraestructuras o la diferente percepción de riesgo de los agentes involucrados dificultan la materialización de los proyectos. Según el Anexo I del Censo de Proyectos AeH2 2024, las principales barreras incluyen:

- **Creación de demanda insuficiente:** Aunque existen señales claras desde el sector industrial y del transporte, los “ofttakers” aún enfrentan incertidumbre regulatoria y altos costos iniciales del hidrógeno renovable.

- **Acceso a financiamiento:** La complejidad burocrática y la falta de instrumentos financieros integrados limitan el desarrollo de proyectos, particularmente en etapas iniciales (TRL 3-4).
- **Normativa en evolución:** La implementación de directivas como la RED III y el Paquete de Gas es esencial para proporcionar certidumbre y acelerar la toma de decisiones de inversión.

En este contexto, para superar el denominado "valle de la muerte" y de manera complementaria al rol que asume la Asociación Española del Hidrógeno (AeH₂), más orientado al desarrollo del mercado, la PTe H₂ viene desempeñando un papel fundamental como catalizador del conocimiento, impulsando la investigación y la innovación en tecnologías de hidrógeno, y facilitando la conexión entre los actores clave del sector. Sus esfuerzos se centran en:

- Fomentar la colaboración público-privada para desarrollar soluciones tecnológicas disruptivas.
- Impulsar la implementación de proyectos estratégicos en movilidad, industria y almacenamiento.
- Asesorar en políticas y estrategias que permitan la consolidación de España como un "hub" de hidrógeno en Europa.

La PTe H₂, a través de sus grupos de trabajo, ha llevado a cabo acciones concretas durante el año 2024 para abordar las barreras y fortalecer el ecosistema del hidrógeno. Por su parte, el GT de Producción de hidrógeno, coordinado por el CIEMAT, ha proporcionado un **panorama completo de tecnologías con diferentes niveles de TRL, desde electrólisis hasta otros procesos alternativos como la pirólisis**. Además, ha explorado la producción de hidrógeno a partir de residuos, en colaboración con el Grupo Interplataformas de Economía Circular (**GIEC**). En los próximos años, se buscará consolidar la cadena de valor de producción mediante la integración de tecnologías innovadoras y el desarrollo de estándares técnicos para garantizar su viabilidad económica.

Se ha sido activo en el **fortalecimiento de infraestructuras**, donde el GT de almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno, liderado por Enagás, ha trabajado en el análisis de una red troncal nacional que conecte los puntos de producción y consumo de hidrógeno. Este esfuerzo incluye el mapeo de proyectos en distintos niveles de madurez tecnológica (Technology Readiness Level, TRL) y la identificación de barreras regulatorias y normativas. De cara a 2025, el grupo se enfocará en colaborar con organismos reguladores

para agilizar la implementación de estas infraestructuras críticas y fomentar la integración de proyectos en la red energética nacional.

En cuanto al **impulso al uso del hidrógeno en movilidad**, el GT Usos del hidrógeno en movilidad, coordinado por CIDAUT, ha recopilado iniciativas en transporte terrestre, marítimo y aéreo, destacando avances significativos en la aplicación de autobuses de hidrógeno. Sin embargo, el grupo ha identificado la necesidad de fortalecer la participación activa de los miembros y ampliar el enfoque hacia nuevas tecnologías de movilidad. Para el próximo año, se priorizará el desarrollo de normativas que faciliten la homologación de vehículos de hidrógeno y el establecimiento de corredores de hidrógeno en infraestructuras clave.

Para la **adopción del hidrógeno en el ámbito industrial**, el GT Uso del hidrógeno en la industria, liderado por CIRCE, ha identificado numerosos proyectos en sectores industriales intensivos en energía como la producción de acero, cerámica y combustibles sostenibles, pero también la necesidad de involucrar a más empresas usuarias finales. La colaboración con otras plataformas como PLATEA y Green Future Plat ha sido esencial para fomentar sinergias y transferencia de conocimiento. De cara a 2025, el grupo trabajará en identificar aplicaciones específicas donde el hidrógeno pueda generar un impacto inmediato y en proporcionar recomendaciones para acelerar su adopción en procesos industriales.

Sobre el **desarrollo de tecnologías para redes eléctricas y edificios**, el GT Usos del hidrógeno en RE2+SARP, dirigido por CITIES de la Universidad de Huelva, ha explorado aplicaciones basadas en pila de combustible, sistemas de cogeneración y sistemas reversibles. Se tratan de aplicaciones emergentes con un gran potencial en su contribución para la descarbonización tanto en el sector industrial como terciario y residencial, además de otros beneficios como seguridad en el suministro eléctrico. La actividad del grupo se centrará en identificar proyectos piloto y en intensificar y promocionar la participación de actores interesados para avanzar en el desarrollo y la validación de estas soluciones.

La PTe H₂, en su rol de **fomentar la sinergia nacional e internacional**, a través de sus GT de Colaboración Nacional e Internacional, coordinados por el INTA y H2B2 respectivamente, han trabajado en fortalecer redes y promover la visibilidad de sus miembros en agrupaciones globales. A nivel nacional, se han impulsado sinergias con otras plataformas y administraciones, tales como la Alianza de Valles de Hidrógeno en España, mientras que internacionalmente se han buscado oportunidades para integrar a los miembros en iniciativas estratégicas, donde cabe destacar Mission Innovation - Clean Hydrogen Mission. En 2025, el enfoque estará en consolidar estas colaboraciones y en promover mecanismos de

financiación público-privado que impulsen el desarrollo del sector y promuevan una mayor participación de los miembros de la PTe H₂ en agrupaciones nacionales e internacionales.

Un hito destacado que consolidó el trabajo colaborativo y las sinergias entre los GT de la PTe H₂ fue el **workshop presencial** celebrado el 26 de junio en la sede de la AEI en Madrid. Este encuentro permitió evaluar los avances en la revisión de las tecnologías lideradas por los diferentes GT, identificar prioridades clave en I+D+I con un enfoque tecnológico, y destacar la necesidad de homogeneizar las contribuciones de los grupos para una mejor coordinación en la cadena de valor del hidrógeno en España. Asimismo, se subrayó la importancia de continuar con las contribuciones nacionales e internacionales, diversificar las rutas de demanda del hidrógeno, ampliando su aplicación a sectores más allá de la industria del refino, y de seguir impulsando el desarrollo de proyectos estratégicos y mecanismos de financiamiento adecuados para su implementación.

De cara a 2025, la PTe H₂ continuará priorizando un enfoque transversal y colaborativo, con los GT como motores principales de sus iniciativas. Uno de los grandes desafíos será fomentar una participación más activa de las más de 100 entidades miembro de la PTe H₂. Este reto no responde a una falta de interés o voluntad, sino al alto volumen de actividades que el sector del hidrógeno está demandando actualmente. Para enfrentarlo, será esencial fortalecer el trabajo conjunto, explorar herramientas colaborativas y consolidar el papel dinamizador de la secretaría técnica, que ha sido clave en la articulación de los esfuerzos del sector.

En 2024, el **número de reuniones de los GT y del GR aumentó más del 70% respecto al año anterior**, y se prevé mantener este ritmo en 2025, considerando los ambiciosos objetivos del sector. Además, se ha reconocido el valor de realizar al menos un encuentro anual de todos los miembros de la PTe H₂, idealmente a mediados de año, con objetivos estratégicos que emerjan de las recomendaciones y conclusiones emitidas por los GT en este Entregable.

Como parte de sus objetivos estratégicos, la PTe H₂ seguirá orientando sus esfuerzos en alinear los proyectos de I+D+i hacia la **escalabilidad y la comercialización**. Esto implica fortalecer el vínculo entre la academia y la industria, promoviendo una mayor representación empresarial en los GT. Este cambio busca reflejar de manera más precisa las necesidades tecnológicas del sector, favoreciendo el desarrollo de proyectos que abarquen toda la cadena de valor del hidrógeno y acelerando la transición de tecnologías desde la investigación básica hasta su aplicación comercial.

Los esfuerzos realizados en 2024 por los GT, de mapear los proyectos en I+D+i en tecnologías de hidrógeno en España, han revelado una **amplia cartera de proyectos distribuidos en**

diferentes niveles de madurez tecnológica (TRL). Este panorama presenta para el 2025 una oportunidad estratégica de evaluar y analizar la implantación de tecnologías maduras a corto plazo, al tiempo que se prepara una nueva generación de soluciones innovadoras, maximizando así su impacto en el desarrollo y consolidación del sector del hidrógeno.

A pesar del elevado número de proyectos industriales identificados en España, el desarrollo del mercado del hidrógeno requiere un mayor enfoque en la **creación de demanda**. Para ello, será fundamental atraer más empresas usuarias finales a los GT de la PTe H₂, aprovechando sinergias con otras plataformas, como PLATEA, Green Future Plat o Suschem, entre otras, y con otras agrupaciones industriales, como Gasnam-Neutral Transport o la Alianza del Hidrógeno para la Aviación, para facilitar la transferencia de conocimiento y fomentar colaboraciones estratégicas.

En el **ámbito nacional**, ha crecido notablemente la presencia de agrupaciones relacionadas con el hidrógeno, como valles, clústeres, mesas de trabajo y asociaciones regionales, así como otras entidades, como la Alianza Nacional de Valles de Hidrógeno o Gasnam que ha integrado el hidrógeno en su alcance. Una prioridad para 2025 será **fortalecer la colaboración con estas agrupaciones y las 13 administraciones representadas en los GT** para consolidar un ecosistema integrado y dinámico.

Finalmente, promover la **visibilidad internacional de las actividades de los miembros de la PTe H₂** será otro eje clave. Esto incluye enriquecer el grupo (GT de colaboración internacional) con nuevos miembros y establecer canales de intercambio de información efectivos y prácticos con agrupaciones internacionales, adoptando un enfoque de "traer y llevar" conocimiento, que beneficie a todos los miembros de la PTe H₂.

En conclusión, la PTe H₂ se posiciona como un catalizador clave para transformar los retos actuales en oportunidades que impulsen la transición energética y la descarbonización de la economía, tanto en España como a nivel internacional. Su enfoque colaborativo y estratégico, basado en el trabajo coordinado de los GT, permite abordar desafíos críticos como el desarrollo tecnológico, la creación de demanda y la integración de actores clave en la cadena de valor del hidrógeno. De cara a 2025, la plataforma continuará fomentando la escalabilidad de soluciones innovadoras, la diversificación de aplicaciones, y el fortalecimiento de sinergias nacionales e internacionales, consolidándose como un referente en la construcción de un futuro energético sostenible.

12. Anexos

12.1. GT Producción de H₂

Entidad	Tecnología	Capacidades	TRL
Baterías Solares España, S.L.	PEM	Montaje e instalación Materiales, componentes, stacks	TRL 2
CIDAUT	Alcalinos	Materiales, componentes, stacks	TRL 5
CIDAUT	SOEC	Materiales, componentes, stacks Integración de sistemas	TRL 3-4
CIDETEC	Electrólisis	Experiencia en la tecnología	TRL 1-5
CIEMAT	PEM	Desarrollo, caracterización y evaluación de materiales y electrodos; estudios de durabilidad y degradación	TRL 4-5
CIEMAT	PEM	Integración EERRs-Electrolizadores-Pilas	TRL 6-8
CIEMAT	AEM	Caracterización y evaluación de materiales y componentes, ensamble y testeo	TRL 2-4
CIEMAT	SOEC	Desarrollo, caracterización y evaluación de materiales y estudios de durabilidad y degradación; sistemas reversibles SOEC-SOFC y COSOEC	TRL 2-4
Diverxia H2	PEM	Materiales, componentes, stacks	TRL 9
Duro Felguera Green Tech	Electrólisis	Integración de sistemas	TRL 8
Instituto Tecnológico de la Energía (ITE)	PEM	Integración de sistemas. Optimización de plantas de electrólisis. Gemelo digital planta electrólisis PEM. Banco ensayos celda	TRL 6-7
ITE	SOEC	Integración de sistemas. Gemelo digital planta SOEC Compacto, útil para aplicaciones de optimización de consumos térmicos	TRL 3
ITE	Electrólisis	Integración de sistemas. Entorno físico y digital de producción (PEM, alcalino) y consumo para monitorización y control de planta	TRL 6
Leitat	AEM	Catalizadores sin PGM Electrolito no altamente corrosivo	TRL 2-5
Leitat	Electrolizadores Bioelectroquímicos (Microbial Electrolysis Cell)	Catalizadores sin PGM Depurar agua residual o similar, valorización de biomasa líquida para producción de H ₂	TRL 2-5
REPSOL S.A.	SOEC	Integración calor residual en entorno industrial	TRL 5
Entidad	Tecnología	Capacidades	TRL
TECNICAS REUNIDAS	Alcalina	Diseño de soluciones, ingeniería, integración procesos y sistemas	TRL 6-7
TECNICAS REUNIDAS	SOEC	Diseño de soluciones, ingeniería, integración procesos y sistemas	TRL 4-5
TECNICAS REUNIDAS	PEM	Diseño de soluciones, ingeniería, integración procesos y sistemas, reactores	TRL 4-5
Tolsa	PEM	Materiales, componentes, stacks. Capacidad de producción industrial	TRL 3
TSK Electrónica y Electricidad	Alcalina	Electrólisis Alcalina; Escalado de tecnología	TRL 4
TSK Electrónica y Electricidad	Electrólisis	Integración de sistemas Know-how en producción EERRs, líneas de transmisión conversión (subestaciones), almacenamiento de EERRs, electrolizadores (PEM, alcalino), BOP	TRL 7
Universidad de León	Otros: Sistemas bioelectroquímicos para la producción de hidrógeno	Experiencia en sistemas combinados de depuración bioelectroquímica de efluentes orgánicos ligados a la producción de hidrógeno simultáneo.	TRL 2-5
UPM	Alcalina	Materiales, componentes, stacks	TRL 4

Tabla 2.1. Actividad en España en Tecnologías de Electrólisis. Fuente. Encuesta a los miembros de la PTe H₂.

Entidad	Tecnología	Capacidades	TRL
Centro Tecnológico EnergyLab	Fermentación oscura	Proceso para la valorización de residuos	TRL 3
Centro Tecnológico EnergyLab	Gasificación	Proceso adaptado a biomasa residual y con sistema integrado para incremento de la producción de H ₂	TRL 4
CIDAUT	Reformado de vapor.	Producción de hidrógeno a partir de biomasa, residuos y bioalcoholes	TRL 7
CIEMAT	Gasificación	Instalaciones piloto	TRL 6
CIEMAT	Pirólisis	Instalaciones de laboratorio y bench de pirólisis analítica y pirólisis catalítica aplicada a biomasa y residuos	TRL 3-4
CIEMAT	Reformado	Desarrollo de catalizadores y sistemas para reformado húmedo, seco e híbrido. Instalaciones de laboratorio y bench	TRL 2-4
CIEMAT	Enriquecimiento de H ₂ de gases de gasificación, pirólisis y reformado	Instalaciones disponibles, integración sistemas (e.g. sorption enhanced steam reforming, SESR, sorption-enhanced, water-gas-shift, SEWGS, water-gas-shift membrane reactor, WGSMR,...)	TRL 4
CIEMAT	Depuración y upgrading de gases de gasificación y pirólisis	Desarrollo y estudio de materiales; sistemas y procesos; instalaciones lab, bench y piloto	TRL 4
Hidrógeno Circular SL	Pirólisis	Reciclaje de residuos. Reducción de residuos sólidos. Generación de energía. Producción de biochar	TRL 8
Hidrógeno Circular SL	Craqueo	Producción de fracciones ligeras, mejora calidad combustible, aumento eficacia, reducción emisiones	TRL 8
Hidrógeno Circular SL	Gasificación a partir de biomasa	Versatilidad de materias primas Producción de gas de síntesis, materia prima para la producción de combustibles sintéticos, productos químicos y electricidad; Reducción de emisiones	TRL 5
IMDEA ENERGÍA	Craqueo.	Desarrollo de catalizadores para mejora de actividad y resistencia a la desactivación en la reacción de descomposición catalítica de metano.	TRL 3-4
IMDEA ENERGÍA	Conversión termoquímica	Utilización de residuos y biomasa para la generación de combustibles sostenibles e hidrógeno. Seguimiento detallado de rendimientos y composición de todos los productos de reacción, incluyendo especies contaminantes (ej. halógenos). Cierre completo de balances de materia. Ensayos de reacción en diferentes modalidades, discontinuo y continuo, Estudios de desactivación y regeneración. Adaptación de los catalizadores y sistema de reacción al tipo de residuo y producto deseado. Catalizadores específicos para hidrodeshalogenación en caso de residuos plásticos halogenados.	TRL 3-4
ITQ-UPV-CSIC	Reformado	Patente catalizador, diseño de un proceso que incluye una pila SOFC que permite un diseño del proceso mejor integrado energéticamente, valorización de residuos alcohólicos.	TRL 5
Leitat	Fermentación Oscura	Proceso biológico para producir H ₂ a partir de biomasa	TRL 3-4
REPSOL S.A.	Reformado	Reformado gas natural con vapor (SMR). Demostradores	TRL 9
TECNICAS REUNIDAS	Reformado	Reformado a partir de biogás/bioetanol Operación multifuel, reformador compacto	TRL 7
TECNICAS REUNIDAS	Enriquecimiento de H ₂ de gas	Proceso SEWGS; Intensificación de procesos	TRL 4-5
TECNICAS REUNIDAS	Reformado	Reformado y reformado autotérmico a partir de combustibles convencionales	TRL 9
Tolsa	Depuración y upgrading	Capacidad de producción industrial Catalizadores, membranas, adsorbentes para producción de Hidrógeno	TRL 3

Tabla 2.2. Actividad en España en Tecnologías de Producción de Hidrógeno con bajas emisiones de carbono.
Fuente: Encuesta a los miembros de la PTe H₂ (1/2).

Entidad	Tecnología	Capacidades	TRL
Universidad de León	Fermentación oscura	Amplia experiencia en fermentación oscura en el grupo durante los últimos 20 años	TRL 3-5
Universidad de León	Conversión termoquímica y bioquímica	Amplia experiencia en la construcción y operación de reactores y biorreactores en el grupo durante los últimos 20 años.	TRL 3-5
Universidad del País Vasco UPV/EHU	Reformado	A partir de recursos renovables (biogás, bio-oil, etc), y convencionales (gas natural, carbón, petróleo). Desarrollo de reactores, unidades de separación y purificación, además de catalizadores Procesos foto y termocatalíticos.	TRL 3-4
Universidad del País Vasco UPV/EHU	Conversión termoquímica	Equipamiento para operar en sistema continuos y discontinuos con diversas configuraciones del reactor, con especial atención a la composición del residuo o la biomasa para maximizar la generación de productos de alto valor añadido (syngas, polímeros, etc).	TRL 3-4
Universitat Politècnica de Catalunya	Conversión y upgrading	Catalizadores, reactores catalíticos, microrreactores y reactores catalíticos de membrana. Desarrollo propio de estrategias de control	TRL 4-6
Universitat Politècnica de Catalunya	Reformado	Fabricación de catalizadores heterogeneos sólido-gas; reactores catalíticos de membrana para obtener H ₂ de alta pureza	TRL 3-6
UPM	Pirólisis	Pirólisis térmica de hidrocarburos (gas natural/biogás)	TRL 4

Tabla 2.2. Actividad en España en Tecnologías de Producción de Hidrógeno con bajas emisiones de carbono.
Fuente: Encuesta a los miembros de la PTe H₂ (2/2).

Entidad	Tecnología	Capacidades	TRL
CIEMAT	Producción solar	Laboratorio de investigación de H ₂ solar Obtención hidrógeno (H ₂) a partir de agua o hidrocarburos utilizando la energía solar de concentración	TRL 7-8
CIEMAT	Ciclos termoquímicos	Desarrollo de nuevos materiales redox, integración con CSP; instalaciones experimentales	TRL 2-4
Grupo de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Rey Juan Carlos	Ciclos termoquímicos	Diseño de materiales con capacidades redox compatibles con aprovechamiento de calor residual en diversos procesos industriales; Materiales y sistemas para ciclos termoquímicos de descomposición de H ₂ O y CO ₂ ; instalaciones de laboratorio.	TRL2-3
IMDEA Energía	Fotocatálisis	División fotocatalítica del agua con MOFs de desarrollo propio	TRL 3
Instituto de Carboquímica (CSIC)	Fotocatálisis	Fotocatalizadores y catalizadores para producir H ₂ a partir de agua, ácido fórmico o amoniaco. Catalizadores en reactores estructurados	TRL 3
Universidad del País Vasco UPV/EHU	Ciclos termoquímicos	Diseño de nuevos materiales que permitan operar a menores temperaturas para el aprovechamiento de calor residual de diversos procesos industriales.	TRL 2-3
Universitat Politècnica de Catalunya	ciclos termoquímicos	Desarrollo de oxidos con características redox propios	TRL 2
Universitat Politècnica de Catalunya	Fotocatálisis	Water splitting Fotoreactores sólido-gas en continuo	TRL 3

Tabla 2.3. Actividad en España en otras tecnologías de Producción de Hidrógeno.
Fuente. Encuesta a los miembros de la PTe H₂.

Tecnología y Aspecto	Barreras	Retos
Electrolizadores PEM: materiales, componentes, stacks	Necesidad de salto de escala	Instalación de electrolizadores a nivel nacional
Electrolizadores tipo PEM: materiales, componentes y stacks	Agilidad en la gestión de recursos, adquisiciones, servicios de prototipado.	Puesta a punto de una instalación ágil de fabricación, montaje y evaluación de stacks PEM. Integración directa de electrolizadores PEM con EERRS.
Electrolizadores PEM: Materiales, componentes, stacks	Precio de Mercado, Costes O&M, Consumo energético	Catalizadores, Vida útil del stack, Sistemas auxiliares y periféricos
Electrólisis PEM	Dependencia de proveedores críticos	Alternativas a materiales críticos del grupo de Pt
Electrolizadores PEM: Materiales, componentes, stacks	Ausencia de fabricantes nacionales	Conformar un consorcio con toda la cadena de valor

Tabla 2.4. Barreras y retos identificados en España para la tecnología de electrólisis PEM.
Fuente. Encuesta a los miembros de la PTe H₂.

Tecnología y Aspecto	Barreras	Retos
Electrolizadores alcalinos: materiales, componentes, stacks	Tiempos de arranque, respuesta a transitorios	mejora de tiempos de respuesta, gestión de electrolito
Electrólisis alcalina: materiales, componentes, stacks	Alto coste de fabricación	Simplificar y abaratar el proceso de fabricación
Electrólisis Alcalina Presurizada	Respuesta más lenta ante variaciones de generación de EERRs, mayor degradación Se desconoce la degradación de la electrólisis en condiciones de trabajo off-grid (con múltiples arranques y paradas) sin respaldo de la red	Estudiar y mejorar estabilidad y degradación. Transmisión de energía en bus DC, convertidores DC-DC y conexión a electrólisis.
Electrolizadores alcalinos	Requiere de un apoyo logístico integrado con mayores necesidades que la tecnología PEM	Hay un profundo desconocimiento estrategias a seguir en el apoyo logístico en ciclo de vida a esta tecnología con diversidad de estrategias a seguir que pueden tener mayor o menor impacto en el LCOH.

Tabla 2.5. Barreras y retos identificados en España para la tecnología de electrólisis alcalina.
Fuente. Encuesta a los miembros de la PTeH₂.

Tecnología y Aspecto	Barreras	Retos
Electrolizadores AEM	Densidad de corriente limitada Degradación de la membrana Requiere carga excesiva de catalizador	Baja madurez, uso de electrolito con menos concentración de KOH Escalar tecnología Desarrollo de catalizadores, electrodos y membranas a nivel español.
Electrolizador SOEC	Degradación materiales a alta temperatura	Estabilidad. Operación con presión diferencial o carga dinámica
Electrólisis SOEC	Durabilidad, precio y manejo de altas temperaturas	Mejoras en la durabilidad y la integración térmica
Electrolizadores Bioelectroquímicos (Microbial Electrolysis Cell)	H ₂ producido a baja presión (atmosférica o pocos bares) Ensuciamiento de la membrana (fouling biológico e inorgánico) Limitada densidad de corriente que produce baja productividad	Escalar tecnología Demostrar alta eficiencia Aumentar la productividad de hidrógeno (densidad de corriente) Demostrar viabilidad tecno-económica Calidad de H ₂ inferior 99% (requiere purificación)
Fotoelectrólisis	Estabilidad de los materiales limitada (fotocorrosión) Limitada productividad de H ₂ Arquitectura compleja para el escalado debido al uso de sustratos (partes) de vidrio	Baja madurez de la tecnología Aumentar estabilidad y la eficiencia Buscar reacciones anódicas de interés industrial

Tabla 2.6. Barreras y retos identificados en España para otras tecnologías de electrólisis.
Fuente. Encuesta a los miembros de la PTe H₂.

Tecnología y Aspecto	Barreras	Retos
Integración de sistemas	Falta de experiencia en la integración	Integración de sistemas de Electrólisis y Red de Calor.
Integración de sistemas. Gemelo digital planta electrólisis PEM	Difícil escalabilidad	Escalabilidad y repetibilidad
Integración sistemas. Optimización de plantas de electrólisis PEM con EERR	Escalabilidad	Escalabilidad
Integración de sistemas: Gemelo digital electrolizador alcalino	Escalabilidad y repetibilidad	Escalabilidad
Integración de sistemas. Entorno físico y digital de producción (PEM, alcalino) y consumo para monitorización y control de planta	Escalabilidad	Escalabilidad
Integración de sistemas	Necesidad de tecnología propia de generación de hidrógeno y sus vectores energéticos.	Disponer información sobre degradación de equipos (electrolizadores...) Desarrollo de equipos de conversión de energía eléctrica Desarrollo de sistemas de simulación de plantas de generación de H ₂ aisladas de la Red Laboratorio de pruebas de equipos : probar la estabilidad de una microrred en la que el electrolizador se alimenta de energía renovable (sin conexión a la red), y asimismo estudiar la degradación.
Integración de sistemas. Gemelo digital planta SOEC	Difícil validación	Ajustar y validar

Tabla 2.7. Barreras y retos identificados en España para la integración de sistemas basados en electrólisis.
Fuente. Encuesta a los miembros de la PTe H₂.

Tecnología y Aspecto	Barreras	Retos
Gasificación	Necesidad de ajuste en caso de cambio de alimentación de sustrato	Implementación de materiales más sostenible para limpieza del gas y el proceso de producción de H ₂
Gasificación	Complejidad proceso, competencia con otras aplicaciones del syngas	Depuración del syngas, simplificación procesos
Gasificación	CAPEX inicial elevado Operación: Consumo de agua (agente gasificante). Complejidad de operación, gestión adecuada de subproductos y residuos.	Captura y almacenamiento de CO ₂ (CCS): Mejorar eficiencia energética. Desarrollo de tecnologías avanzadas y adaptación a variedad de materias primas. Aceptación pública
Pirólisis	Coste energético elevado: Proceso endotérmico a alta temperatura. Emisiones de contaminantes que deben ser controlados y gestionados adecuadamente. Calidad variable de los productos por variación de los materiales de alimentación y las condiciones del proceso	Ser económicamente viable para competir con otras opciones. Regulación ambiental: control de emisiones y gestión de residuos
Pirólisis térmica de hidrocarburos (gas natural/biogás)	No está clara su regulación normativa. Generación de altas cantidades de Carbono, que implica un desarrollo multisectorial.	Escalado de reactores, con multitud de combinaciones de calentamiento Temperatura de trabajo superior a 1000 °C
Craqueo	Alto consumo de energía y costes operativos. Emisiones contaminantes que deben ser controlados para cumplir con las regulaciones ambientales. Residuos y subproductos que deben ser gestionados o eliminados adecuadamente.	Sostenibilidad. Desarrollo de catalizadores para mejorar la eficiencia y reducir los costos del craqueo catalítico. Diversificación de materias primas: alternativas como biomasa. Regulaciones ambientales más estrictas exigirán una inversión continua en tecnologías de control de emisiones y gestión de residuos.
Craqueo catalítico de metano.	Escalado de catalizadores para operar en TRL superiores.	Desarrollo de catalizadores estables y activos de bajo coste, por ejemplo, a partir de residuos.

Tabla 2.8. Barreras y retos identificados en España para las tecnologías de producción de H₂ con bajas emisiones de carbono, mediante gasificación, pirólisis y craqueo. Fuente. Encuesta a los miembros de la PTe H₂.

Tecnología y Aspecto	Barreras	Retos
Reformado gas natural con vapor (SMR)	Emisiones CO ₂	Materias primas de origen biogénico. Acoplamiento con captura CO ₂ (SMR + CCUS)
Reformado con combustibles convencionales	Alto niveles de emisiones	Reducir emisiones
Reformado autotérmico a partir de combustibles convencionales	Alto coste	Reducir emisiones
Procesos de reformado, tri-reformado, etc.	Escalado de sistemas y catalizadores para operar en entornos relevantes. a partir de recursos renovables (biogás, bio-oil, etc.)	Desarrollo de sistemas y materiales más selectivos y de menor bajo coste.
Reformado de vapor.	Coste de producción alto por necesidad de adecuación de la materia prima	Empleo de materias primas de menor coste, escalado a MW
Reformado	Alcanzar TRLs por encima de 7, Resistencia del catalizador a ciertos contaminantes.	Diseñar sistemas compactos, múltiples materias primas e hibridación para producir electricidad renovable.
Reformado	Desarrollo de catalizadores para uso con de biogás/bioetanol	Electrificación del reformador
Reformado	El hidrógeno producido está acompañado de otros gases, CO, CO ₂ , CH ₄ , etc.	Mejorar las formulaciones de los catalizadores para alcanzar la máxima conversión a H ₂ y CO ₂

Tabla 2.9. Barreras y retos identificados en España para las tecnologías de producción de H₂ con bajas emisiones de carbono, mediante reformado. Fuente. Encuesta a los miembros de la PTe H₂.

Tecnología y Aspecto	Barreras	Retos
Fermentación oscura	Problemas típicos de esta tecnología relacionados con rendimientos y acumulación de AGVs en el efluente.	Mejora de las debilidades comentadas anteriormente
Fermentación Oscura	Baja pureza del H ₂ producido (30 % de H ₂ , requiere purificación) Velocidades de producción inferior que procesos electroquímicos. Dependiendo de la biomasa utilizado necesidad de pretratamientos para adecuar ratio C/N Proceso biológico sensible a los parámetros de operación (fácil desestabilización del sistema produciendo CH ₄ en lugar de H ₂)	Escalar la tecnología Incrementar la productividad de H ₂ Encontrar pretratamientos e condiciones de operación adecuadas para cada tipo de biomasa
Sistemas bioelectroquímicos para la producción de hidrógeno	Tecnología que actualmente se encuentra principalmente en escala laboratorio con algunas experiencias piloto	Escalado, nuevos materiales, rendimientos y eficiencias
Reactor de membrana protónica	Desarrollo de catalizadores	Escalado

Tabla 2.10. Barreras y retos identificados en España para otras tecnologías de producción de H₂ con bajas emisiones de carbono. Fuente. Encuesta a los miembros de la PTe H₂.

Tecnología y Aspecto	Barreras	Retos
Depuración y upgrading	Escalado	Integración sistema completo; adsorbentes y catalizadores de menor coste y mayor sostenibilidad
Depuración y upgrading	Necesidad de metodologías y herramientas de análisis determinación de múltiples contaminantes	Lograr la integración en un único reactor, con catalizadores multifuncionales o en tándem, de la etapas de pirólisis y procesado catalítico de los vapores generados antes de ser condensados.
Tecnologías de producción de hidrógeno y productos de alto valor añadido a partir de residuos y biomasa	Escalado de sistemas y catalizadores para operar en entornos relevantes.	Desarrollo de sistemas y materiales más selectivos y de menor bajo coste.
Catalizadores, membranas, adsorbentes para producción de Hidrógeno	Mercado nacional poco desarrollado, necesidad asesoría científica	Desarrollo de ingeniería de nuevos procesos
Reactores	Carácter específico-particularidades de la aplicación concreta	Escalado de los reactores y nuevos materiales
Catalizadores, reactores catalíticos, microrreactores y reactores catalíticos de membrana	Utilización de metales nobles en algunos casos	Mejorar la robustez de los catalizadores. Desarrollo de estrategias avanzadas de control
Sistemas integrados (e.g. sorption enhanced steam reforming, SESR, sorption-enhanced water-gas-shift, SEWGS, water-gas-shift membrane reactor, WGSMR,...)	Precio	Materiales multifuncionales, diseño reactores
Sorption-enhanced water-gas-shif, SEWGS	Purificación de corriente salida CO ₂ +contaminantes, Escalado	Búsqueda de material con doble funcionalidad

Tabla 2.11. Barreras y retos identificados en España para los procesos de depuración, upgrading y enriquecimiento en H₂ para las tecnologías de producción con bajas emisiones de carbono. Fuente. Encuesta a los miembros de la PTe H₂.

Tecnología y Aspecto	Barreras	Retos
Producción solar	Asociado a suministro de energía solar de concentración y otras fuente de alta energía	Competitividad económica
Ciclos termoquímicos	Integración con CSP; instalaciones experimentales	Desarrollo de nuevos materiales redox,
Descomposición de agua mediante ciclos termoquímicos	Bajas producciones de H ₂ a bajas temperaturas.	Escalabilidad de los materiales en ciclos de producción de H ₂ y CO (gas de síntesis) con elevada actividad y estabilidad.
Ciclos termoquímicos	Baja generación de hidrógeno y la escalabilidad del proceso.	Incrementar la generación de hidrógeno.
ciclos termoquímicos	Estabilidad de las muestras	Estabilidad de las muestras
División fotocatalítica del agua con MOFs	Escalado de la producción de los materiales para alcanzar TRL superiores.	Producción industrial de materiales estables y activos de bajo coste.
Fotocatalizadores	Baja eficiencia, selectividad y desactivación	aumentar la eficiencia, selectividad y durabilidad de fotocatalizadores y catalizadores
Fotocatálisis: Water splitting	valores de apparent quantum efficiency AQE y solar-to-hydrogen STH bajos	Desarrollar nuevos materiales con fotoactividad mejorada bajo luz solar, y baja tasa de recombinación.

Tabla 2.12. Barreras y retos identificados en España para otras tecnologías de producción de H₂. Fuente. Encuesta a los miembros de la PTe H₂.

12.2. GT Almacenamiento, Transporte y Distribución de H₂

Proyectos de Transporte y Distribución:

Nombre del Proyecto	Subgrupo de Tecnología	Grado de madurez	Financiado / Interno	Descripción	Empresa
Undergy	Distribución de H ₂ a usuarios finales	TRL 4	Financiado	Estudio del fenómeno de fragilización en aceros (ASTM A106 gr B y API 5L N80) usados para la extracción y transporte de gas natural.	CNH2
H2PORTS	Transporte de H ₂ a gran escala	TRL 8	Financiado	El proyecto H2Ports es una Acción alineada con las necesidades y objetivos de la Comisión Europea y de la industria portuaria. El objetivo es proporcionar soluciones eficientes para facilitar una rápida evolución desde una industria basada en combustibles fósiles hacia un sector de bajas emisiones de carbono y cero emisiones. El hidrógeno ha sido probado en otros sectores de la logística y el transporte como una solución para maquinaria y vehículos, por lo que la acción propone diferentes pilotos para salvar la brecha entre los prototipos y los productos pre-comerciales: • El primer prototipo consistirá en un vehículo reach stacker alimentado con hidrógeno y probado en una prueba real, en una terminal de contenedores portuaria. • El segundo prototipo consistirá en una cabeza tractora (yard tractor) equipada con un conjunto de pilas de combustible para su prueba en las operaciones de carga/descarga de una terminal de cargamento rodado (Ro-Ro). • El tercer prototipo consistirá en una estación móvil de suministro de hidrógeno, que proporcionará el combustible necesario en las condiciones y cantidad adecuadas para garantizar los ciclos de trabajo continuos de los equipos antes mencionados. El proyecto H2Ports también tiene como objetivo transversal la realización de estudios de viabilidad para el desarrollo de una cadena de suministro de hidrógeno sostenible en el puerto, coordinando a todos los actores implicados: clientes, productores de hidrógeno, proveedores...	CNH2
GREENH2PIPES	Transporte de H ₂ a gran escala	TRL 5	Financiado	Desarrollo de componentes innovadores para la generación de hidrógeno por electrólisis, su inyección a la red de gas natural y su transporte a partir de portadores líquidos Investigación en nuevos materiales y procesos de fabricación enfocados a la generación, almacenamiento y transporte de hidrógeno de manera competitiva.	CNH2
H2MAP	Distribución de H ₂ a usuarios finales	TRL 7	Financiado	Desarrollo de materiales poliméricos para su uso en el transporte y la generación de hidrógeno.	AIMPLAS
HYDEA	Distribución de H ₂ a usuarios finales	TRL 6	Interreg Espacio Atlántico 2021-2027	El objetivo principal del proyecto es evaluar, desarrollar y promover el uso de tecnologías basadas en hidrógeno verde procedente de energías renovables (por ejemplo, energía marina) en los puertos del Espacio Atlántico.	Centro Tecnológico EnergyLab
NEWBUNKER	Modelos, herramientas de simulación	TRL 6	Financiado	El proyecto se basa en una sólida investigación y análisis de las características de los combustibles alternativos, como el hidrógeno y el amoníaco. Esto permite tomar decisiones informadas y desarrollar soluciones viables. El objetivo principal del proyecto es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte marítimo. Esta visión clara impulsa la innovación y la búsqueda de soluciones sostenibles.	CIDAUT
Proyectos de transporte, ministerio y EU	Transporte de H ₂ a gran escala	TRL 5	Financiado	-	Escuela de Ingeniería UPV/EHU
	Transporte de H ₂ a gran escala	TRL7-TRL8-TRL9	Interno	Desarrollo de tubería para la conducción y distribución de Hidrógeno - Proyectos piloto en Corea de Sur:	Taichio and Wolf Projects SLU
	Distribución de H ₂ a usuarios finales	TRL 7-9	Interno	Diseño a medida de equipos soldados para almacenamiento a pequeña escala	Técnicas Reunidas
Undergy	Distribución de H ₂ a usuarios finales	TRL 7-9	Misiones CDTI	Investigación en instalaciones de superficie de yacimientos agotados y ductos nuevos y reconvertidos.	Técnicas Reunidas
Hub simulación	Modelos, herramientas de simulación	TRL 7	Interno	Desarrollo de una herramienta de simulación para el transporte de gas.	ENAGAS
SHIMMER	Modelos, herramientas de simulación	TRL 6	(Clean Hydrogen Partnership, AWP 2022-05-03)	Desarrollo de metodologías y herramientas para la gestión segura de la inyección de H ₂ en redes de gas natural, incluyendo simulación de flujos.	ENAGAS
The Next Pangea	Modelos, herramientas de simulación	TRL 9	Interno	Plataforma que integra y monitoriza variables operativas de las infraestructuras de transporte de H ₂ .	ENAGAS
NEWGASMET	Aspectos de logística	TRL4	EMPIR 2018	Impacto de los gases renovables (biogás/biometano, hidrógeno y mezclas de gas natural e hidrógeno) en la precisión y durabilidad de los contadores de gas.	ENAGAS
DeCarb	Aspectos de logística	TRL4	EMPIR 2020	Desarrollo de metrología de caudal, calidad, propiedades físicas y detección de fugas necesaria para el transporte de hidrógeno y de mezclas GN:H ₂ .	ENAGAS
GreenH2Pipes	Aspectos de logística	TRL5	CDTI MISIONES	Fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico necesario para impulsar la producción de hidrógeno, su transporte a través de la red gasista.	ENAGAS
THOTH2	Aspectos de logística	TRL4	CHP, AWP 2022-05-04	Desarrollo de nuevas metodologías validadas, protocolos e instalaciones para ensayo del comportamiento metrológico y durabilidad de los instrumentos de medición existentes en la red de transporte y distribución de gas natural, al operar con mezclas GN:H ₂ hasta el 30% vol. de hidrógeno e hidrógeno puro. 5. SHIMMER (CHP, AWP 2022-05-03): Desarrollo de metodologías y herramientas para la gestión segura de la inyección de H ₂ en redes de gas natural, incluyendo simulación de flujos.	ENAGAS

Tabla 3.1. Proyectos de Transporte y Distribución (1/2).

Nombre del Proyecto	Subgrupo de Tecnología	Grado de madurez	Financiado / Interno	Descripción	Empresa
SHIMMER	Aspectos de logística	TRL5	CHP, AWP 2022-05-03	Desarrollo de metodologías y herramientas para la gestión segura de la inyección de H ₂ en redes de gas natural, incluyendo simulación de flujos.	ENAGAS
Comportamiento de materiales	Transporte de H ₂ a gran escala	TRL 7	Interno	Estudio de las propiedades mecánicas (comportamiento a fatiga) de los aceros y soldaduras de construcción (girth welds) empleados en la Red de gas natural de Enagás para distintas concentraciones de hidrógeno y presión de operación.	ENAGAS
GreenH2Pipes	Transporte de H ₂ a gran escala	TRL 5-7	CDTI MISIONES	Fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico necesario para impulsar la producción de hidrógeno, su transporte a través de la red gasista. Estudio del comportamiento de materiales.	ENAGAS
The Next Pangea	Transporte de H ₂ a gran escala	TRL 3	Interno	Plataforma que integra y monitoriza variables operativas de las infraestructuras de transporte de H ₂ .	ENAGAS
SHIMMER	Transporte de H ₂ a gran escala	TRL 6	Clean Hydrogen Partnership, AWP 2022-05-03	Desarrollo de metodologías y herramientas para la gestión segura de la inyección de H ₂ en redes de gas natural, incluyendo simulación de flujos.	ENAGAS
NyRHa	Transporte de H ₂ a gran escala	TRL 7	HORIZON-JTI-CLEANH2-2023-05-03	Cuantificación de las emisiones de H ₂ a lo largo de toda su cadena de valor del mismo.	ENAGAS
PilgrHym	Transporte de H ₂ a gran escala	TRL 7	HORIZON-JTI-CLEANH2-2023-02-02	Compatibilidad con hidrógeno de aceros de la red de transporte de gas natural. Desarrollo de un programa de ensayos en laboratorio de aceros representativos de la red de gas europea, para cubrir los evaluando la compatibilidad de las tuberías actuales con H ₂ .	ENAGAS

Tabla 3.1. Proyectos de Transporte y Distribución (2/2).

Proyectos de Almacenamiento, Purificación y Compresión de H₂:

Nombre del Proyecto	Grado de madurez	Financiado / Interno	Descripción	Empresa
AD-GRID	TRL 7	Financiado	Desarrollo de materiales porosos para el almacenamiento de hidrógeno dentro de tanques tipo IV y desarrollo de materiales termoplásticos para el refuerzo de los tanques tipo IV.	AIMPLAS
ShineFleet	TRL 4	Financiado	Soluciones Tecnológicas basadas en Hidrógeno para la movilidad iNteligente y sostenible de flotas autónomas heavy-duty CNH2: Pruebas de validación sobre prototipos de diversas geometrías orientadas al almacenamiento de hidrógeno para el sector automotriz. Ensayos de permeación sobre liners para recipientes tipo IV TR:	CNH2 Técnicas Reunidas
FCH2RAIL: Fuel Cell Hybrid PowerPack for Rail Application	TRL 8	Financiado	Desarrollar, construir, probar, demostrar y homologar un PowerPack híbrida de pilas de combustible escalable, modular y polivalente aplicable a diferentes aplicaciones ferroviarias (trenes regionales, locomotoras de mercancías y locomotoras de maniobra), siendo además adecuada la solución para la adaptación de los trenes eléctricos y diésel existentes.	CNH2
ARENHA: Advanced materials and Reactors for ENergy storage through Ammonia	TRL 6	Financiado	Desarrollar, integrar y demostrar soluciones materiales clave que permitan el uso de amoniaco para el almacenamiento y utilización de la energía de forma flexible, segura y rentable.	CNH2
UNDERGY: Tecnologías para el desarrollo del almacenamiento estacional de energía renovable con hidrógeno verde integrado en una red inteligente	TRL 4	Financiado (Programa Misiones 2021)	Investigación de las bases tecnológicas para mejorar la competitividad del almacenamiento estacionario de energía renovable mediante hidrógeno verde. Trinity Energy Storage: estudio de la viabilidad de conversión del yacimiento de gas agotado Palancares en almacenamiento subterráneo de hidrógeno, valorando la inyección de distintos ratios de mezcla H ₂ /CH ₄ .	CNH2 Trinity Energy Storage
ZEPPELIN	TRL 4	Financiado	El proyecto ZEPPELIN que tiene como objetivo general investigar un conjunto flexible de tecnologías de producción y almacenamiento de hidrógeno verde basadas en el aprovechamiento de residuos y subproductos, buscando mejorar de forma significativa los costes y la eficiencia de la producción de este vector energético ENERGYLAB CIDAUT: Síntesis de NH ₃	ENERGYLAB CIDAUT
H2METAMO	TRL 4	Financiado	Investigación sobre tecnologías, materiales y procesos para producción a pequeña escala de portadores de hidrógeno renovable (metano y amoniaco) para un aprovechamiento distribuido" en Castilla y León	CIDAUT
STORE PROJECT	TRL 4	Financiado	Proyecto para el Desarrollo de Depósitos Artificiales Subterráneos de Hidrógeno	CIDAUT
H2ENRY	TRL 4-5 TRL 2-3	Financiado	Red CERVERA: esta iniciativa tiene como objetivo investigar y aplicar soluciones sostenibles para la producción, almacenamiento y uso del hidrógeno renovable, contribuyendo así a la descarbonización de la industria española. CIDAUT: Almacenamiento Reformado Metanol ITE: Desarrollo de recubrimientos para almacenamiento de H ₂	CIDAUT ITE
SoftMOFs	TRL 1-4		Síntesis sostenible mediante molienda ligera de materiales porosos para almacenamiento de gases de interés energético o medioambiental (H ₂ , CO ₂) y como electrodos de baterías de Na ⁺ (Propuesta de proyecto, actividades preliminares internas)	CIIAE (Iberian Centre of Research in Energy Storage)

Tabla 3.2. Proyectos de Almacenamiento, Purificación y Compresión de H₂ (1/2).

Nombre del Proyecto	Grado de madurez	Financiado / Interno	Descripción	Empresa
RINGS	TRL 4	Interno	Estudio de la reactividad del O ₂ e H ₂ al inyectarlos en almacenamientos existentes de gas natural	ENAGAS
HyStories	TRL 3	Interno	Viabilidad del almacenamiento de H ₂ en estructural geológicas porosas.	ENAGAS
HyStoreNew	TRL 4	Financiado	Evaluación de la cadena de valor del H ₂ . Estudios de almacenamiento de H ₂ .	ENAGAS
		(CDTI CIEN)		
FrHyGe	TRL 9	Financiado (HORIZON-JTI-CLEANH2-2023-02-01)	Piloto de almacenamiento de H ₂ a gran escala.	ENAGAS
GreenH2Pipes	TRL 5-7	Financiado (CDTI MISIONES)	Fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico necesario para impulsar la producción de hidrógeno, su transporte a través de la red gasista gasista y su almacenamiento mediante portadores orgánicos líquidos.	ENAGAS
FDA AMA Carboneras Catalina Atlas Agro			Almacenamiento en carriers: FDA-Metanol; AMA-Metanol; Carboneras-Metanol; Catalina-NH ₃ ; Atlas Agro-NH ₃ .	Técnicas Reunidas
--		Interno	Sistemas avanzados de purificación de H ₂	Técnicas Reunidas
--			Diseño a medida de equipos soldados para almacenamiento a pequeña escala	Técnicas Reunidas
Aljarafe	TRL 4-5		Conversión de los yacimientos de gas agotados del área del Aljarafe a almacenamientos subterráneos de Hidrógeno.	Trinity Energy Storage
UES365		Financiado (fondos nacionales del CDTI en Programa Misiones 2020)	Dentro del proyecto, centrado en el aprovechamiento del subsuelo para el almacenamiento de energía gran escala utilizando diferentes tecnologías, se incluye el estudio de conversión a nivel de laboratorio de un yacimiento de gas del área del Aljarafe.	Trinity Energy Storage
EUH2STARS	TRL: 6/7-8/9	Financiado (Horizonte Europa)	Validación a escala piloto del almacenamiento de hidrógeno en yacimientos porosos. Se realizarán cuatro ciclos completos de inyección/extracción de hidrógeno puro en un yacimiento de gas agotado(demostrador), cuyas enseñanzas serán llevadas a otros cinco yacimientos agotados de gas	Trinity Energy Storage

Tabla 3.2. Proyectos de Almacenamiento, Purificación y Compresión de H₂ (2/2).

12.3. GT Usos del H₂ en Movilidad

Listado de proyectos:

Título o acrónimo	Líder / Socios	Convocatoria o Financiación privada	Temática	Info adicional (web, presupuesto, TRL, ámbito temporal, ...)
PCH2-LA7	ITA	Planes Complementarios MICINN	Cabeza tractora para transporte pesado de larga distancia de pila de combustible	2022-2025 Transporte pesado (Camión) FCEV / Conversion
SHINE FLEET	FM Logistic, Avia Ingeniería, Carbotainer, Cikautxo, Idneo y Fractalía.	MISIONES (CDTI)	Soluciones movilidad flotas heavy-duty autónomas	2020-2023 Transporte pesado (camión)
H2 TRUCK	FCC Medio Ambiente, Irizar, Jema y Calvera,	Programa Tecnológico de Automoción Sostenible (2021)	Prototipo de recolector compactador de residuos	Complementado OPIs (Insia, Tecnalia, Cidetec y el CNH2) 2022-2025 Vehículo especial Híbrido baterías & FC
PTAFCEVLDTRUCK	AJUSA (Líder), FICOSA, AVIA Ingeniería y Diseño, BonArea, CIE Automotive	PTAs: Programa Tecnológico Automoción Sostenible (PTAS)	Prototipo de Extensor de Autonomía para un camión eléctrico de 12 toneladas	https://www.ficosa.com/es/noticias-es/proyecto-ptafcevltruck/ Ppto.: 5 M€ Periodo: 1/10/21 - 30/04/24
FCH2RAIL	CAF, DLR, Toyota, Renfe, Adif, CNH2, IP y Stemmann-Technik	Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH2 JU)	Desarrollo tren demostrador bimodo	https://fch2rail.eu Ppto.: 14 M€ (10 M€ aportación UE) Periodo: 2021-2024 Transporte por ferrocarril
Vittal One	Talgo, Repsol	Privada	Tren híbrido de H2	Transporte por ferrocarril
Irizar i6S (COACH2)	Irizar/Jema Energy, Tecnalia, Cidetec	SPRI programa HAZITEK 2021 cofinanciado por FEDER	Autocar H2 cero emisiones	https://bantec.es/wp-content/uploads/2022/05/Resolucion-Oficial-Fase-II-HAZITEK-2021.pdf Ppto.: 3.611.994,34 € (30% financiación pública)
e-H2 RTG	PACECO MOMENTUN, JALVASUB ENGINEERING	Convocatoria PORTS 4.0	Diseño, validación y demostración en una terminal portuaria de un prototipo pre-comercial de grúa RTG	2022-2026
HIMOV	CTAG, INEGA, ENERGYLAB, UMINHO, U PORTO, USC, PETROTEC, AECT-GNP, CEIIA, PIEP	Interreg POCTEP	Corredor Tecnológico Transfronterizo de Movilidad con H2 Renovable	2023-2026
VeH2DEM	EVARM, PreZero, Applus+	IDAE/NextGenerationEU	Transformación de un camión diésel convencional en un prototipo de vehículo de recogida de residuos urbanos propulsado por un sistema de pila de combustible de H2	Ppto.: 1.764.768 € (891.675 € aportación UE) Periodo: 1/03/2023 - 31/05/2025 Vehículo especial (Vehículos de Recolección de Basura)
H2PORTS	Fundación Valenciaport/APV, Grimaldi Group, MSC, Ballard, CNH2, Enagás, Atena, Hyster-yale	FCH2-JU	Propulsión con pila de combustible de una cabeza tractora para operaciones de buques de carga rodante y una grúa telescópica para la manipulación de contenedores de carga.	https://cordis.europa.eu/project/id/826339/es 4117197,5 € Periodo: 1/01/2019 - 31/12/2024 Vehículo especial
H2Tractor	EVO	Programa de incentivos 2 (PERTE ERHA)	Desarrollo de un vehículo industrial de hidrógeno para uso en centros logísticos y portuarios	Presupuesto: €5.878.720 (60% financiación pública) Vehículo especial
H2MAC	ITA, TAU, BALLARD, MANN+HUMMEL, HIDROMEK, ZB, ANMOPYC, FHa	HORIZON-JTI-CLEANH2	Diseñar y demostrar tren motriz de pila de combustible para máquinas en aplicaciones de construcción y minería	https://h2mac.eu/project/ Periodo: 2024-2027 TRL 5 a 7
RSUP-H2	UPLIFTING	PORTS 4.0	Reach Stacker de última generación con automatización y propulsado por H2	https://www.uplifting.es/es/rsup-h2/
PDC2022-133066-I00	Univ. Zaragoza	MINECO	Prueba de concepto de hidrogenación de CO2 (Combustibles sintéticos)	Reactores continuos mejorados con adsorción Periodo: 2022-2024
CIMZATE	Univ. Zaragoza IQE	MINECO (Fondo Recup y Resiliencia)	Uso de CO2 para la producción de combustibles sintéticos	2022-2025
H2FS	Cetil Dispensing Technology	CDTI	Investigación sobre un sistema de suministro y medida de hidrógeno comprimido para aplicaciones industriales.	Aplicaciones: carga/descarga de CGEM o el llenado de trenes y barcos. 2023-2026

Tabla 4.1. Proyectos H₂ en movilidad/transporte terrestre.

Título o acrónimo	Líder / Socios	Convocatoria o Financiación privada	Temática	Info adicional (web, presupuesto, TRL, ámbito temporal, ...)
H2MOTORSEA	Guascor Energy	PERTE	Desarrollo de un nuevo motor de hidrógeno 100% para propulsión de embarcaciones	2023-2026
HIDRAM	Astilleros de Mallorca, Advanced Thermal Devices, Francisco Cardama, Jalvasub Engineering, Ventor Innovations	MISIONES (CDTI)	Descarbonización del transporte marítimo a través de soluciones de almacenamiento de hidrógeno mediante la generación de amoníaco verde como combustible multipropósito	https://hidramproject.com/ 2022-2024 Investigación en PEM y SOFC usando amoníaco
H2OCEAN	Astilleros MURUETA H2Site, Ingeteam, Guascor Energy, Oliver Design, Pine, Wärtsilä, SKV, Sener	Fondos FEDER y Programa HAZITEK (Gobierno Vasco)	Investigación y desarrollo de tecnologías sostenibles para la industria marítima, centradas en el uso del hidrógeno verde	2021-2024
HYDEA	EnergyLab	Programa Interreg Espacio Atlántico 2021-2027	Aplicación del hidrógeno y metanol como alternativa energética en la flota y vehículos de los puertos del área atlántica para integrar las tecnologías marinas y energías renovables en el sector marítimo	https://www.eu-hydea.eu/ Periodo octubre 2023 – septiembre 2026 Presupuesto: 554.419,3 euros
Newbunker	Naturgy/ESK, Gasnam, Siport21, ITE, Tesicnor	AEI	Introducción del amoníaco, del hidrógeno y otros combustibles en las operaciones de bunkering	https://gasnam.es/project/newbunker/ Presupuesto: 39.573,00 € 2022-2023

Tabla 4.2. Proyectos H₂ en movilidad/transporte marítimo.

Título o acrónimo	Líder / Socios	Convocatoria o Financiación privada	Temática	Info adicional (web, presupuesto, TRL, ámbito temporal, ...)
HyPower	Airbus Upnext	Privada	Demostración de generación energía no propulsora con pilas de combustible.	2023-2025
ZEROeVTOL	Ventor Innovations, Solute, Jalvasub Engineering y Advanced Thermal Devices	PTA (CDTI)	Avión autónomo con despegue y aterrizaje vertical Propulsión con tecnología de hidrógeno y amoníaco.	2021-2027 3,5 millones €
CRIPICOM	ITP Aero/Ajusa, Aerotecnic, Desrinus, Tecnalia, CNH2, INTA	PTA (CDTI)	Desarrollo de tecnologías habilitadoras para la utilización de hidrógeno en la propulsión de aeronaves. Primer motor de avión propulsado por hidrógeno en España y además el proyecto incluye el diseño y construcción de un banco de ensayos para llevar a cabo pruebas en el motor	https://esmovilidad.transportes.gob.es/noticias/se-crea-el-primer-consorcio-espanol-para-el-desarrollo-del-motor-de-avion-propulsado-por-1,7-millones-de-euro 2022-2025
BRAVA	Airbus/Aerostack, Heraeus Precious Metals, LIEBHERR, MADIT, Morpheus Designs NLR, Syensqo, Université de Montpellier, Technische Universität Berlin	FCH2-JU	Desarrollo de tecnología (catalizadores, membrana, sistema de refrigeración,...) para un sistema de generación de energía basado en pila de combustible para la aviación	https://brava-project.eu/ Período: 1/12/2022 - 30/11/2025
4AIRCRAFT	FHa & 9 partners (EU+Japan+Brazil)	HORIZON 2020	Producción de combustible sintético para aviación de forma más limpia y sostenible a partir de la conversión directa de CO ₂ e H ₂	https://4aircraft-project.eu/ 2021-2025
H2Helios	Coordinador ACITURRI ENGINEERING SL (12 partners)		Almacenamiento de LH ₂ a bordo	https://h2helios.eu/home 9,9 M€ 2023-2025

Tabla 4.3. Proyectos H₂ en movilidad/transporte aéreo.

12.4. GT Usos del H₂ en Industria

Listado de proyectos:

Entidad	Contactos/actividades con sectores industriales	Proyectos en los que están involucrados	TRL	Comunicación de eventos públicos
Acciona	ACCIONA pretende acelerar el cambio hacia un modelo energético descarbonizado	Proyecto PIONEROS23 - Valle H2V Navarra: Electrolizador de 25MW en los terrenos adyacentes a la planta de biomasa Sangüesa, alimentado por energía renovable híbrida producida por una planta fotovoltaica (25MW) y un parque eólico (24MW), Producción total de 3.880 toneladas al año de hidrógeno verde. El objetivo es que, en torno al 90% de la producción, se destine al consumo de las principales industrias de alto consumo energético de la zona, así como para los clientes de Plug Power.	>7	
AICE-ITC	Sector de fabricación de baldosas cerámicas, ubicado mayoritariamente en España en la provincia de Castellón. El ITC-AICE, junto con las asociaciones empresariales, la Universitat Jaume I, la Asociación de Técnicos Cerámicos, y otras entidades, conforma la red de apoyo al clúster cerámico, destacando en el desarrollo de proyectos de I+D+i, el asesoramiento personalizado, así como en la puesta a punto y ejecución de multitud de análisis y ensayos.	HIDROKER, proyecto público de I+D financiado por IVACE (Instituto Valenciano de la Competitividad Empresarial). Título del proyecto: "Estudio experimental a nivel de laboratorio-piloto de la cocción de materiales cerámicos utilizando hidrógeno como combustible". Objetivo general: Estudiar la viabilidad técnica de la sustitución parcial o total del gas natural por hidrógeno como combustible en la cocción de baldosas cerámicas. Título del proyecto: "Estudio experimental a nivel de laboratorio-piloto de la cocción de materiales cerámicos utilizando hidrógeno como combustible"		De momento no hay previsto ningún evento público. Hay de manera continuada, acciones de difusión y comunicación del proyecto HIDROKER, y se han realizado algunas contribuciones técnicas al Congreso QUALICER 2022.
AIJU	En el año 2021 una gran empresa de ingeniería nacional apostó por terminar de desarrollar Electrolizadores para la generación de Hidrógeno basándose en el conocimiento acumulado por AIJU en la materia. Se desarrollarán electrolizadores de gran tamaño y si se llega a un producto mínimo viable, se plantea fabricar a nivel industrial y aprovechando proveedores y el tejido industrial local.	Dentro del área de Energía, somos los coordinadores del proyecto europeo LIFE Superbiodiesel, para la obtención de biodiesel a partir de residuos grasos animales. Si son proyectos relacionados con el hidrógeno, no tenemos en activo ningún proyecto nacional o europeo.		
AIMPLAS		LAURELIN: Selective CO2 conversion to renewable methanol. Proyecto Europeo en el que se optimiza el uso del hidrógeno y CO2 para obtener metanol como combustible renovable par la industria.		Desde AIMPLAS se organizará una jornada online gratuita sobre hidrógeno renovable (fecha sin definir)
Alener	Asociados al clúster andaluz del hidrógeno, asociación superior de ingeniería de andalucía, asociación española del hidrógeno, etc. Diseñan y ejecutan proyectos de generación de hidrógeno verde a través de energía solar fotovoltaica para uso industrial o de almacenamiento de energía	Proyecto PIONEROS 23 - H2GreenCity: producción de hidrogeno renovable de tecnologia PEM de 1 MW de potencia, mediante Planta Solar Fotovoltaica de 2 MW con sistema de almacenamiento de enrgia de 1MWh para uso industrial, entre otros.		

Tabla 5.1. Listado de Proyectos (1/8).

Entidad	Contactos/actividades con sectores industriales	Proyectos en los que están involucrados	TRL	Comunicación de eventos públicos
Ariema	Uso del hidrógeno como materia prima en refinerías, producción de amoníaco, etc. Sustituyendo el hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles por hidrógeno verde (vía electrolisis) se consigue reducir las emisiones de CO ₂ enormemente.	ValorH2 aborda la investigación en tecnologías, materiales y procesos en distintas etapas de la cadena de valor del hidrógeno: la generación, la compresión, el almacenamiento y transporte, y el uso, en un proceso de metanación de CO ₂ recuperado en la industria química (reactivo químico)		
Base Sistemas	Como ingeniería, colaboramos con la industria ligada a procesos (Químico, Energético, Tratamiento de aguas y Papel). Nuestra actividad se centra en dotar a los procesos de información de valor (instrumentación, analítica) y procesarlos para un mayor control de su proceso (sistemas de control). Desplegando e integrando las arquitecturas de control necesarias para gestión de la planta.	Preferentemente proyectos relacionados al desarrollo del uso del H₂ en industria ligados a movilidad, con especial interés en hidrogeneras (PROYECTO TMB IBERDROLA, FUSION FUEL – EXOLUM) o hidrolíneas (EMT PALMA MALLORCA). Proyectos en los que hemos trabajado como ingeniería de control de la planta.		Base Sistemas, como socio activo de la Asociación Española del Hidrógeno, Clúster Andaluz del Hidrógeno y Clúster de la Energía de Aragón, asiste a todos los eventos que patrocinan o colaboran con estas entidades.
Cartif	Centro de investigación aplicada surgida de la Universidad de Valladolid. Enfocada a casi todos los sectores económicos: energía, alimentación, industria, construcción, etc. Amplia oferta de ensayo en ámbitos como el energético, agroalimentario, fabricación de materiales o digitalización 3D. Cuenta con laboratorios de biocombustibles sólidos y materiales	Producción y almacenamiento de hidrógeno y gas natural renovables: gasificación catalítica super crítica, reformado con vapor seguido de tratamiento con WGS		
CENER	Centro nacional de energías renovables, desarrolla investigación aplicada en energías renovables y presta soporte tecnológico a empresas. Desarrolla proyectos de I+D+i para aplicación industrial	SOFC4GreenGrid: investigación y desarrollo industrial de tecnologías de almacenamiento de energía verde, concretamente en las pilas de combustible de óxido sólido, que permiten transformar la energía química del hidrógeno verde en eléctrica		
CIDAUT	Introducción de hidrógeno renovable como combustible para los consumidores intensivos de energía térmica.	Proyectos de H ₂ vinculados con el sector industria: H ₂ METAMO, COLHIBRI, AIHRE	4-5	
CIIAE	Centro Ibérico de Investigación en Almacenamiento energético. Desarrollo de tecnologías para la producción, almacenamiento y uso de hidrógeno para la producción de combustibles sintéticos y productos químicos. Escala laboratorio, prototipado y planta piloto.	Ninguno por el momento		
CIRCE	Mapeo de necesidades de H ₂ a nivel nacional, por parte de la industria y del sector de movilidad para grupos inversores en producción de H ₂ (SmartEnergy+Qair) Proyectos europeos relacionados con el H ₂ (valles de H ₂ y nuevos modelos de negocio). Proyectos privados para descarbonización del sector vitivinícola (Acciona). Estudio de aprovechamiento de corriente residual de H ₂ para el sector minero (Lain Technologies).	Sector Privado Planes de descarbonización para industrias con alto consumo de energía incluyendo el H ₂ como vector energético (ASCER, sector cerámico).	>7	Asistencia a World Hydrogen Energy Conference 2022 (presentación de artículo en seguridad). Organización del evento de "Descarbonización de las industrias intensivas" para la industria y la banca en Aragón. Comunicación en prensa regional sobre el potencial de ayuda a las empresas por parte de CIRCE.

Tabla 5.1. Listado de Proyectos (2/8).

Entidad	Contactos/actividades con sectores industriales	Proyectos en los que están involucrados	TRL	Comunicación de eventos públicos
CIRCE	Mapeo de necesidades de H ₂ a nivel nacional, por parte de la industria y del sector de movilidad para grupos inversores en producción de H ₂ (SmartEnergy+Qair) Proyectos europeos relacionados con el H ₂ (valles de H ₂ y nuevos modelos de negocio). Proyectos privados para descarbonización del sector vitivinícola (Acciona). Estudio de aprovechamiento de corriente residual de H ₂ para el sector minero (Lain Technologies).	Sector Privado Planes de descarbonización para industrias con alto consumo de energía incluyendo el H ₂ como vector energético (ASCER, sector cerámico).	>7	Asistencia a World Hydrogen Energy Conference 2022 (presentación de artículo en seguridad). Organización del evento de "Descarbonización de las industrias intensivas" para la industria y la banca en Aragón. Comunicación en prensa regional sobre el potencial de ayuda a las empresas por parte de CIRCE.
CIRCE	Actividades internas de formación (seguridad, transporte, generación, combustión). Preparación de convocatoria PERTE para Porcelanosa. Charlas con gasistas sobre aspectos relacionados con el H ₂ (Carburon/Enagas/AirLiquide). Contactos de fabricantes de tanques para H ₂ (Lapesa), equipos de ósmosis inversa (Tesacua), fabricantes de electrolizadores (Plug&Power), fabricantes de pilas de H ₂ (Ballard), suministradores de membranas para gases con contenido elevado de H ₂ (GECO, Evonik, Generon, UBE entre otros).			
CNH2		Macbeth: Proyecto Europeo de cuya parte encomendada al CNH2 soy responsable. Se trata del desarrollo de catalizadores y membranas y su aplicación real en cuatro líneas distintas, siendo una de ellas la obtención de hidrógeno a partir de reformado de gas natural, mediante un reactor que está siendo fabricado y será recibido y puesto en marcha en el CNH2 para su testeo. Destacan entidades nacionales como Tecnalia y CSIC.		
Ecointegral	Detección de oportunidades de negocio en los sectores en los que Ecointegral IDP trabaja (química, petroquímica, industria básica, etc.).	Ninguno por el momento		Recientemente Ecointegral IDP ha participado en el II Foro Nacional de Industria Auxiliar, celebrado el 7 y 8 de marzo en Huelva.
EnergyLab	Tiene una línea de I+D de industria que abarca: industria digital, simulación y modelado matemático avanzado aplicado al medioambiente y eficiencia térmica industrial	Consolidación Unidad Mixta de Gas Renovable: generación de hidrógeno verde, se generará a través de la electrolisis del agua, producción de biohidrógeno		
ETFUELS	Intereses alrededor de la descarbonización para desbloquear todo el potencial de las renovables a escala industrial	Proyecto PIONEROS 23 - H2OSSA: planta de producción de hidrógeno y metanol verde		

Tabla 5.1. Listado de Proyectos (3/8).

Entidad	Contactos/actividades con sectores industriales	Proyectos en los que están involucrados	TRL	Comunicación de eventos públicos
FAEN	Contactos con principales sectores industriales del Principado de Asturias (siderurgia, química, cemento, vidrio, cerámicos,...) a través de la mesa regional del hidrógeno que coordina	En Asturias se han lanzado tres proyectos de investigación en usos industriales: Hydrogen Hub Asturias: Puesta en marcha de la planta piloto que servirá de pruebas para el uso de hidrógeno renovable en la industria. Se probará uso de H ₂ y mezclas con gases siderúrgicos y químicos CMIX-H ₂ : Desarrollo de sistema de combustión mixta intensivo en H ₂ renovable en procesos de secado industrial. Desarrollo de pequeña planta piloto en ATOX para testeo de quemadores que usen H ₂		
Fundación del Hidrogeno Aragón	Centro de investigación de carácter privado y sin ánimo de lucro, creado para promocionar la utilización del H ₂ como vector energético	HIGH2 FURNACES: desarrollo de hornos híbridos de hidrogeno con altas tasas de sustitucion en ambito industrial.		European Hydrogen Energy Conference (EHEC) 2024
Fundación Hidrógeno Aragón	Miembro fundador proyecto GetHyGA (Valle del hidrógeno de Aragón)	Evaluación del comportamiento de mezclas hidrógeno/gas natural	4-5	
Fundación Hidrógeno Aragón		PID2020-114985RB-I00: Combustible de aviación sostenible a partir de glicerina y residuos sólidos urbanos	4-5	
Fundación Hidrógeno Aragón		PID2020-114936RB-I00: Biocombustibles avanzados con emisiones negativas integradas	4-5	
Fundación Hidrógeno Aragón		Además de proyectos industriales, estamos trabajando con diferentes instituciones en proyectos de I+D+I en el diseño de Gemelos Digitales tanto de plantas de generación de H ₂ como de NH ₃		En 2023, por ejemplo, hemos asistido a eventos como: RENMAD GENERACIÓN H ₂ , EXPOFIMER, I ENCUENTRO MULTISECTORIAL DEL CLÚSTER ANDALUZ DEL HIDROGENO, GENERA, ENERGYEARH ₂
Fundación Hidrógeno Aragón				Otros eventos que tenemos previsión de asistir a lo largo de este año son: EXPOQUIMIA H ₂ , GREEN GAS MOBILITY SUMMIT 2023, V ENCUENTRO SECTORIAL DEL HIDRÓGENO (ARIFEMAL III GASES
Fundación Hidrógeno Aragón		Liderazgo de diversos paquetes de trabajo en múltiples proyectos H ₂ 2020/HE en ejecución: CO2SMOS, WINNER GA Nº 101007165, SYMSITES GA Nº 101058426, AMBHER GA Nº 101058565 y ALL-in ZERO GA Nº 101069888. En estos proyectos se desarrollan materiales para aplicaciones electroquímicas y de catálisis, orientados a producción de hidrógeno y otros vectores energéticos, y productos químicos de valor.		https://manisescityofceramics.es/ev-entos/mes/2023-03/
Fundacion Hidrógeno Aragón	Valles de Hidrógeno	GREENHYSLAND (Deployment of a H ₂ Ecosystem on the Island of Mallorca; Grant No. 101007201; Clean Hydrogen Partnership) https://greenhysland.eu/	>7	EHEC, Bilbao II Foro Corredor del Ebro, Tarragona

Tabla 5.1. Listado de Proyectos (4/8).

Entidad	Contactos/actividades con sectores industriales	Proyectos en los que están involucrados	TRL	Comunicación de eventos públicos
Fundacion Hidrógeno Aragón		HEAVENN (H2 Energy Applications in Valley Environments for Northern Netherlands; Grant No. 875090; FCH2JU) https://heavenn.org/		
Fundacion Hidrógeno Aragón		NAHV (North Adriatic Hydrogen Valley; Grant No. 101111927; Clean Hydrogen Partnership) https://www.nahv.eu/		
Fundacion Hidrógeno Aragón		SH2AMROCK (Sourcing Hydrogen for Alternative Mobility, Realising Opportunities and Creating Know How in Ireland; Grant No. 101112039; Clean Hydrogen Partnership)		
Fundacion Hidrógeno Aragón		IMAGHyNE (Investment to maximise the ambition for Green Hydrogen in Europe; Grant No. 101137586; Clean Hydrogen Partnership)		
GreenE W2H2 (antigua Hidrógeno Circular SL)	AEI 2022: Investigación base en la generación de hidrógeno por medio de técnicas de gasificación a partir de mezclas de fracciones rechazo de residuos que acaban en vertederos y modelos de simulación para su optimización sep-22abr-23.	Sigen2H2: Generación de hidrógeno por medio de técnicas de gasificación, a partir de mezclas de rechazo de residuos destinados a vertederos. EVACAR: Desarrollo de recubrimientos basados en EVA-carbón activado con propiedades aislantes para el almacenamiento de hidrógeno. Estratégico-GVA:Aprovechamiento de residuos de biomasa de la Comunidad Valenciana para la producción de hidrógeno verde mediante procesos termoquímicos y su utilización en el sector cerámico.	6-7	
GreenE W2H2 (antigua Hidrógeno Circular SL)		BioEnH2: Estudio de obtención, almacenamiento y distribución de energía e hidrógeno renovables a partir de biomasa como vector para una transición energética sostenible. MoeBios: Improving waste management of biobased plastic and the upcycling in packaging, textile and agriculture sectors.		
H2B2		Ad-Grhid: objetivos, mejora de la densidad energética del almacenamiento de hidrógeno, reducción del coste de capital de los electrolizadores de óxido sólido y aumento de la eficiencia energética		
H2Site	Produce H2 renovable insitu para pequeñas y medianas empresas. Enfocados en industria y movilidad, utilizando nuestros reactores de membrana que trabajan con amoníaco, metanol, mezclas de gases, etc. Enfocados en H2 industrial para pequeños y medianos usuarios finales, permitiendo reducir el coste de H2 y controlar su evolución. Entre otros sectores	GreenH2PIPES: investigación en nuevos materiales y procesos de fabricación enfocados a la generación, almacenamiento y transporte de hidrógeno de manera competitiva.		
HIPERBARIC	Uso de HIP (hot isostatic pressing - prensado isostático en caliente) en el sector industrial (aleaciones a partir de pulvimetalurgia, mejorar las propiedades mecánicas, etc)			

Tabla 5.1. Listado de Proyectos (5/8).

Entidad	Contactos/actividades con sectores industriales	Proyectos en los que están involucrados	TRL	Comunicación de eventos públicos
IMDEA Energía	Hydrogen Europe Research, Technical Committee Cross-Cutting Research Activities, Deputy Leader Javier Dufour (IMDEA Energía)	eGHOST Establishing Eco-design Guidelines for Hydrogen Systems and Technologies, H2020-JTI-FCH-2020-1 (coordinador)	No aplica	Jornada Combustibles Sostenibles, 24-04-2024
IMDEA Energía	European Hydrogen Sustainability and Circularity Panel, Task Force Production Leader Javier Dufour (IMDEA Energía)	GREENH2-CM Posicionamiento estratégico de la Comunidad de Madrid en I+D+i del hidrógeno verde y las pilas de combustible, CM-MCIN/AEI	6	Jornada sobre Proyecto GREENH2-CM en fecha a determinar a principios de 2025
IMDEA Energía	Shyne (Spanish Hydrogen Network)	H2-MOF Membranas basadas en MOFs de nueva generación para su aplicación en tecnologías de H2: pilas de combustible y electrolizadores, MICIN NextGenerationEU PRTR (coordinador)	4	
IMDEA Energía	Participación en diversas plataformas tecnológicas: PTEH2, PTECO2, PTE-EE, Neutral Transport, Solar Concentra, M2F, PTFE	HYLIOS Sistemas fotocatalíticos innovadores para la producción de hidrógeno verde a partir de aguas residuales, MICIN NextGenerationEU PRTR	5	
IMDEA Energía	Participación en diversas asociaciones: AeH2 Asociación Española del Hidrógeno, ALINNE Alianza por la Investigación y la Innovación energéticas, GASNAM Asociación ibérica de transporte sostenible, A.SPIRE (Processes4Planet)	HyPEF Promoting an environmentally-responsible Hydrogen economy by enabling Product Environmental Footprint studies, HORIZON-JTI-CLEANH2-2023-1 (coordinador)	No aplica	
IMDEA Energía		HYPOP HYdrOgen Public OPiniOn and acceptance, HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-2	No aplica	
IMDEA Energía		HySolChem: Hybrid Reactor for Solar CO2 and N2 Conversion Coupled to WasteWater Treatment, H2020-FETPROACT-2020 (coordinador)	5	
IMDEA Energía		HYWARE Hidrógeno renovable a partir de residuos: una solución circular para regiones sin disponibilidad de terreno, MICIN-FEDER-UE (coordinador)	3-4	
IMDEA Energía		JUST-GREEN AFRH2ICA Promoting a JUST transition to GREEN hydrogen in AFRICA, HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-1	No aplica	
IMDEA Energía		NIMPHEA Next generation of improved High Temperature Membrane Electrode Assembly for Aviation, HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-1	4	
IMDEA Energía		NITRO-D-CELL Nuevo electrolizador basado en derivados de urea, IDAE NextGenerationEU PRTR	5	
IMDEA Energía		NOUVEAU Novel electrode coatings and interconnect for sustainable and reusable SOEC, HORIZON-CL4-2021-RESILIENCE-01-12	5	
IMDEA Energía		PEC2Change Novel Hybrid Photoelectrodes Against Climate Change, AEI-TED2021 PRTR	3	
IMDEA Energía		PROMETEO Hydrogen PROduction by MEans of solar heat and power in high TEmpérature Solid Oxide Electrolysers, H2020-JTI-FCH-2020-1	5	

Tabla 5.1. Listado de Proyectos (6/8).

Entidad	Contactos/actividades con sectores industriales	Proyectos en los que están involucrados	TRL	Comunicación de eventos públicos
IMDEA Energía		SH2E Sustainability Assessment of Harmonised Hydrogen Energy Systems: Guidelines for Life Cycle Sustainability Assessment and Prospective Benchmarking, H2020-JTI-FCH-2020-1 (coordinador)	No aplica	
IMDEA Energía		SOL-Future Catálisis Solar para un futuro de energía renovable AEI PLC2021 PRTR	5	
IMDEA Energía		SolarChem 5.0 Towards Digital Transition in Solar Chemistry, AEI TED2021 PRTR	3-4	
IMDEA Energía		SUNER-C SUNERGY Community and eco-system for accelerating the development of solar fuels and chemicals, HORIZON-CL4-2021-RESILIENCE-01	3	
ITE	Instituto tecnologico de la energia. Desarrollo y testeo de la tecnologia de H2 y componentes de pilas de combustible y electrolizador. Optimizacion y control de sisemas de producción y consumo de hidrógeno. Simulación de instalaciones y componentes.	Optimización del dimensionamiento de instalaciones para producción y/o consumo de hidrógeno Optimización energética de pocesos productivos para integración de tecnologías de hidrógeno SIGEN2H2, Hystec, Road4Hydrogen, sector privado		Asistencia a congresos relevantes de hidrógeno (Congreso Nacional del Hidrógeno, EHEC, European Hydrogen Week...) Partners en congresos del sector energético (iENER, eMobility Expo...)
Kemtecnia	Tienen instalacion fotovoltaica para autoconsumo para uso industrial			
Lhyfe	Primer proveedor de hidrogeno verde y renovable Trabajan con industria química (amonaco, metanol y peróxido de hidrogeno), metalurgica (hierro de reduccion directa, horno de fusión, precalentamiento de la cuchara), vidrio (recipiente de vidrio, fibra de vidrio y vidrio flotado) y cemento Tratan el hidrogeno como materia prima, como fuente de calor y como material en procesos industriales como la electronica, la atmosfera controlada y la reduccion del mineral de hierro	Proyecto PIONEROS 23: La planta de hidrógeno verde tendrá una capacidad de 15MW y suministrará hasta cinco toneladas al día a clientes industriales y logísticos locales. El objetivo es iniciar la producción en 2026.		
PlugPower	Ecosistema de hidrogeno verde, producir y licuar hidrógeno, almacenamiento de hidrogeno, etc. Crea junto con acciona, la empresa accionaplug, liderando la plataforma de servicios de hidrogeno verde en españa y portugal	Proyecto PIONEROS23 - Valle H2V Navarra: Electrolizador de 25MW en los terrenos adyacentes a la planta de biomasa Sangüesa, alimentado por energía renovable híbrida producida por una planta fotovoltaica (25MW) y un parque eólico (24MW), ambas instalaciones también de nueva construcción y en actual desarrollo. Producción total de 3.880 toneladas al año de hidrógeno verde. El objetivo es que, en torno al 90% de la producción, se destine al consumo de las principales industrias de alto consumo energético de la zona, así como para los clientes de Plug Power		
Sarralle	Sustitución del gas natural por el hidrógeno en equipos de calentamiento en siderurgia	H-ACERO (Hazitek)		

Tabla 5.1. Listado de Proyectos (7/8).

Entidad	Contactos/actividades con sectores industriales	Proyectos en los que están involucrados	TRL	Comunicación de eventos públicos
SENER	Proyectos de generación de hidrógeno a partir de energía 100% renovable, también desarrolla tecnologías de generación de H ₂ verde a partir de bioalcoholes o amoníaco. Trabajan en el mercado de industria sostenible, generación renovable, gas natural, cogeneración y eficiencia energética	Proyecto PIONEROS 23: Electrolizador alcalino para la generación de hidrógeno renovable, que posteriormente, se empleará para la producción de amoníaco verde que permitirá descarbonizar la industria química en Burgos.	>7	
SMARTENERGY	Desarrollamos e invertimos en proyectos renovables (fotovoltaica, eólica e hidrógeno verde).	ORANGE.BAT: Planta diseñada con un electrolizador de unos 100MW en Onda (Castellón) con el objetivo de descarbonizar la industria ceramista de la zona así como aportar alternativas en movilidad.	>7	
Tecnalia	Ofrecen soporte a la descarbonización de la industria combinando tecnologías de: eficiencia energética, aprovechamiento de calores residuales y electrificación; producción, transporte y almacenamiento de H ₂ bajo en carbono; biorefinería, obtención de bio-productos; valorización de residuos, bio-productos y soluciones circulares.	RENOVAGAS: planta para la producción de GN sintético a partir de la producción electrolítica de H ₂ . C2FUEL-simbiosis industrial: separar selectivamente el CO ₂ presente en el gas del horno y se combina con hidrógeno verde generado por electrolisis, para producir dimetileter y ácido fórmico		
Universidad de León	Experiencia en producción y consumo de hidrógeno por vía electroquímica, fermentativa o combinación de ambas	Tecnologías, materiales y procesos para producción a pequeña escala de portadores de hidrógeno renovable (metano y amoníaco) para un aprovechamiento distribuido (H2MetAmo). Proyecto del plan PRTR.	Proyecto 5-8, Nosotros 5-6	
UNIZAR	Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno (PTEH2)	PID2021-124032OB-I00: Estudio de la oxidación de mezclas de amoníaco y combustibles obtenidos en procesos de biorefinería y su impacto sobre las emisiones contaminantes	4-5	
UPV-CSIC	Colaboración nacional e internacional con industria metalúrgica, de ingeniería y construcción en el sector de la energía, de fabricación de cerámica técnica, petróleo y gas, acero, cemento, tratamiento de residuos, de servicios de gestión medioambiental, etc	Coordinación de 2 proyectos H2020: eCOCO2 GA N° 838077 e iCAREPLAST GA N° 820770. En eCOCO2 se desarrollan materiales y catalizadores para celdas electroquímicas que permitan la hidrogenación catalítica de CO ₂ en hidrocarburos líquidos acoplada a la electrolisis de agua a 400-450 °C y hasta 3 MPa. En iCAREPLAST se desarrollan catalizadores para el upgrading de aceites de pirólisis y electrolizadores SOEC que permitan la valorización in-situ eficiente de las subcorrientes del proceso.		1.Jornada FUTURE CERAMIC de la Escuela Superior de Arte y Cerámica de Manises (Valencia) 31-marzo 2023. Conferencia a cargo de José Manuel Serra Alfaro, profesor de investigación CSIC-ITQ-UPV. Charla sobre hidrógeno verde aplicado al sector cerámico. https://www.esceramica.com/noticias/page/3/
UPVEHU	Valorización de H ₂ a metano para su uso o inyección en la red de gas: Nortegas.			EHEC, Bilbao

Tabla 5.1. Listado de Proyectos (8/8).

13. Documentos de Referencia

Esta sección presenta las fuentes documentales consultadas y utilizadas por los GT para la elaboración del presente Entregable. Los documentos listados incluyen referencias generales y transversales, así como fuentes específicas asociadas a las temáticas abordadas por cada GT.

El objetivo de esta recopilación es facilitar al lector el acceso a los documentos clave que sustentan el análisis y las propuestas contenidas en este informe.

13.1. Transversales:

Corresponde a los documentos consultados por todos los GT:

1. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)
2. Hoja de Ruta del Hidrógeno
3. Estrategia nacional de almacenamiento energético

13.2. GT Usos del H₂ en Movilidad

1. 2ZERO PARTNERSHIP SRIA 2021-2027. <https://www.2zeroemission.eu/wp-content/uploads/2021/12/2021-2Zero-SRIA-FINAL-1.pdf>
2. Hydrogen-powered aviation A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050 (mayo 2020). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/55fe3eb1-cc8a-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en>
3. Strategic Research and Innovation Agenda. Hydrogen Europe Research, (octubre 2020). <https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2021/11/20201027-SRIA-CHE-final-draft.pdf>
4. Strategic Research and Innovation Agenda 2021 – 2027. CLEAN HYDROGEN JOINT UNDERTAKING. <https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20SRIA%20-%20approved%20by%20GB%20-%20clean%20for%20publication%20%28ID%2013246486%29.pdf>
5. Strategic Research and Innovation Agenda 2021 – 2027. CLEAN Aviation JOINT UNDERTAKING. <https://www.clean-aviation.eu/strategic-research-and-innovation-agenda-sria>
6. MARITIME FORECAST TO 2050. Energy Transition Outlook 2022. DNV. <https://www.dnv.com/publications/maritime-forecast-to-2050-2022-edition-235251/>

7. A Mapping of Technology Options for Sustainable Energies and Powertrains for Road Transport Towards Electrification and other Renewable Energy Carriers. ERTRAC (diciembre 2022). <https://www.ertrac.org/wp-content/uploads/2022/12/ERTRAC-Fuels-Powertrains-Research-Needs-Mapping-Final-Version-December2022.pdf>
8. Hoja de ruta del hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable. MITERD (octubre 2020). https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/planes-estrategias/hidrogeno/hojarutahidrogenorenovable_tcm30-525000.PDF
9. (AZE) Alianza Europea para la Aviación de Cero Emisiones. https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-aeronautics-industry/alliance-zero-emission-aviation_en
10. AH2A (Alianza para el Uso del Hidrógeno Verde en la Aviación). <https://plataforma-aeroespacial.es/ah2a/alianza-h2-en-la-aviacion/>
11. Informe Clean Aviation (abril 2024). <https://www.clean-aviation.eu/media/publications/highlights-2023>

13.3. GT Usos del H₂ en la industria

1. [Hoja de Ruta del Hidrógeno](#)
2. [Hidrógeno](#)
3. [Hidrógeno como combustible: cuáles son sus ventajas | Repsol](#)
4. [AeH2 IEA-H2 Roadmap Key findings esp.pdf](#)
5. <https://ammoniaenergy.org/articles/power-to-ammonia-alternative-synthesis-technologies/>.
6. [Combustibles sostenibles de aviación | AESA-Agencia Estatal de Seguridad Aérea - Ministerio de Fomento](#)
7. <https://www.itaerea.es/saf-combustible-sostenible-aviacion>
8. <https://www.zi-online.info/en/artikel/hydrogen-combustion-for-decarbonization-of-high-temperature-process-heat-4006723.html>
9. [Hydrogen Blending into Natural Gas Pipeline Infrastructure: Review of the State of Technology Quemadores de hidrógeno - Dunphy](#)
10. [ArcelorMittal prueba con éxito la producción de acero con hidrógeno verde](#)
11. [Salzgitter y Sunfire muestran producción récord de hidrógeno verde para fabricar acero neutro en carbono - H2 Business News](#)

12. [ANFFECC ultima los detalles para iniciar las pruebas con hidrógeno en hornos de fritas cerámicas | Asociación Nacional de Fabricantes de Fritas, Esmaltes y Colores Cerámicos](#)
13. [Técnicas Reunidas lidera un proyecto para descarbonizar la industria cerámica valenciana – Técnicas Reunidas](#)
14. [Biolvegas comienza a inyectar biometano en la red de gas natural](#)
15. [La Cadena de Valor del Hidrógeno - ARIEMA](#)

13.4. GT Colaboración Internacional

1. Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA) 2021-2027, https://www.clean-hydrogen.europa.eu/about-us/key-documents/strategic-research-and-innovation-agenda_en
2. Annual Work Programmes, https://www.clean-hydrogen.europa.eu/about-us/key-documents/annual-work-programmes_en
3. European Hydrogen Bank, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen/european-hydrogen-bank_en

PTē H₂

PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL HIDRÓGENO



PTR2022-001351

