

# Estrategia de desarrollo del hidrógeno en Andalucía en el ámbito de la Ris3



Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía IDEA  
CONSEJERÍA DE EMPLEO, EMPRESA Y COMERCIO



Unión Europea

Fondo Europeo  
de Desarrollo Regional



Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía IDEA  
**CONSEJERÍA DE EMPLEO, EMPRESA Y COMERCIO**



**Unión Europea**

Fondo Europeo  
de Desarrollo Regional

Esta actuación está  
financiada por la Subvención  
Global Innovación-Tecnología-Empresa  
de Andalucía 2007-2013,  
cofinanciada en un 80% por el  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional  
e incorporada en el Programa Operativo  
FEDER Andalucía 2007-2013

Este documento es propiedad de la Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía IDEA.

Documento elaborado por la Asociación Española del Hidrógeno. Se citan a continuación los autores del documento:

Brey Sánchez, José Javier  
Castro Rosende, África

Se ha contado con la revisión final por parte de un grupo de expertos:

González, Ramón (Agencia IDEA)  
Benítez, Marta (Agencia IDEA)  
Pascual, José Antonio (Agencia IDEA)  
Jiménez, Jorge (Agencia Andaluza de la Energía)  
Torres, José Manuel (Agencia Andaluza de la Energía)  
López, Germán (Corporación Tecnológica de Andalucía)  
Guerra, José (Universidad de Sevilla)  
Galván, Eduardo (Green Power Technologies)  
Díaz, Ana (Abengoa)

Edición y maquetación: Asociación Española del Hidrógeno.  
Noviembre 2015

## 1. Introducción

Las tecnologías relacionadas con el hidrógeno y las pilas de combustible vienen empleándose en la industria desde hace décadas. Sin embargo, en los últimos dos años ha habido un incremento significativo del número de productos, proyectos, empresas e iniciativas relacionados con esta área. El motivo fundamental para este punto de inflexión ha sido, por un lado, el abaratamiento y mejora de las tecnologías asociadas y, por otro, un creciente interés en la sostenibilidad energética y medioambiental.

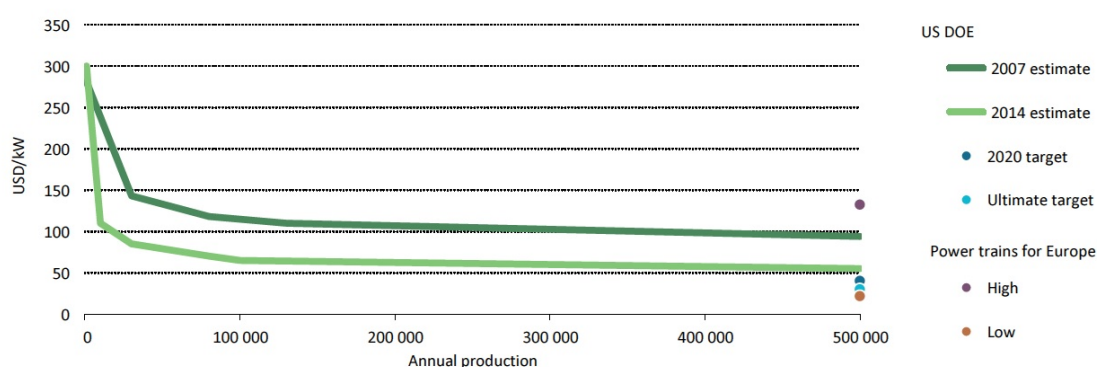


Figura 1.- Reducción de coste de las pilas de combustible poliméricas, empleadas en el ámbito del transporte (Fuente: "Technology Roadmap. Hydrogen and Fuel Cells". IEA. 2015).

El hidrógeno y las pilas de combustible contribuyen en gran medida a la sostenibilidad energética y medioambiental en tres aspectos fundamentales:

1. Por un lado, porque son sistema de poca o nula contaminación atmosférica y, en todo caso, más eficientes que los sistemas energéticos convencionales. Esto hace que los países interesados en una reducción de las emisiones miren hacia estas tecnologías.
2. Sostenibilidad entendida como seguridad del suministro; el migrar hacia un sistema basado en hidrógeno y pilas de combustible reduce las importaciones energéticas y hace, en general, a los países menos dependientes de terceros.
3. Esa reducción de importaciones conlleva también una mayor sostenibilidad económica de los países y de las regiones, que, al cambiar un sistema basado en importaciones energéticas por otro sistema basado en la generación energética local (incluso en la producción local del combustible para el transporte), pueden mejorar su balanza de pagos y crear riqueza interna.

Aprovechando la cualidad del hidrógeno de ser un vector energético, la unión de la producción y la utilización del hidrógeno da lugar a sistemas de almacenamiento; es decir, que la utilización de estas tecnologías puede contribuir a una mejor gestionabilidad de las energías renovables.

Finalmente, es importante insistir en el hecho de que, aunque, como es lógico, sigue habiendo marco para una labor de I+D orientada a optimizar la tecnología y seguir reduciendo los costes, existen ya numerosos productos disponibles en el mercado, habiéndose superado ya en muchos casos la etapa de demostración, y estando ya en la etapa de comercialización.

Todo ello ha contribuido a la creación de un "momentum" en el que se multiplican las estrategias de países y regiones que quieren alinear sus objetivos tecnológicos, medioambientales y energéticos con el hidrógeno y las pilas de combustible. Los diferentes actores quieren estar seguros de que van a poder tener una parte importante de la cadena de valor de estas tecnologías, tanto de las relacionadas con la producción de hidrógeno (electrolizadores y reformadores, fundamentalmente), como con las relaciones con la utilización del mismo para la producción de energía (fundamentalmente, pilas de combustible).

En este documento se pretende resumir brevemente tanto las áreas fundamentales de aplicación del hidrógeno y de las pilas de combustible, como sobre todo cuál podría ser el papel a desempeñar por Andalucía en cada una de ellas, en el marco definido por la Ris3, aportando indicaciones de cómo conseguirlo.

## **2. Áreas fundamentales**

### **2.1 Introducción**

Aunque el hidrógeno viene siendo tradicionalmente utilizado como ingrediente fundamental de la industria, la economía del hidrógeno abre las puertas a su utilización, como combustible, en otras áreas. A este aumento del número de aplicaciones contribuyen también las denominadas pilas de combustible; estos dispositivos son la manera más eficiente de convertir directamente el hidrógeno (o gases que lo contengan) en energía eléctrica y térmica.

Así, al habitual uso del hidrógeno como gas industrial, se unen otras cuatro importantes aplicaciones: la utilización del hidrógeno como combustible para el transporte (especialmente destacado, por su importancia, en vehículos automóviles), la generación de energía distribuida mediante pilas de combustible, la utilización del

vector hidrógeno como sistema de almacenamiento energético (incluyéndose aquí tanto sistemas "Power to Power" como sistemas "Power to Gas", que serán descritos más adelante) y otra serie de aplicaciones con carácter de "nicho de mercado", en los que la utilización de estas tecnologías tiene sentido por su peculiar naturaleza (se engloban aquí sectores como defensa, aeroespacial, etc.).

En los siguientes apartados se tratará en más detalle cada una de estas áreas.

## **2.2 Hidrógeno industrial**

Industrias como la alimentaria, la de fabricación de vidrio o acero, la industria química en general y la petroquímica en particular, etc., vienen empleando habitualmente hidrógeno, adquiriéndolo a empresas "gasistas" que se lo suministran en planta o produciéndolo "in situ" (esto último es usual, por ejemplo, en el caso de la industria petroquímica, por la gran cantidad que se requiere).

Estos ámbitos industriales están mostrando un interés creciente en el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno, porque les ofrecen oportunidades de cubrir nuevas necesidades que se están identificando (requerimientos de hidrógeno de mayor pureza, etc.) y les abren alternativas de costes competitivos, a la vez que les permiten cumplir con aspectos legislativos que se están imponiendo (reducción de impacto medioambiental).

De tal manera, dentro de las oportunidades que están surgiendo está el hecho de sustituir el mercado tradicional del hidrógeno (producido mediante reformado de gas natural y transportado a la instalación del cliente, si es necesario), por otro basado en una producción distribuida de hidrógeno renovable.

Especial mención merece el mercado del uso del hidrógeno como elemento para el refino de petróleo en el proceso de producción de gasolina. A la gasolina producida se le añade posteriormente un cierto porcentaje de bioetanol, con el objeto de disminuir la contaminación (CO<sub>2</sub> absoluto producido) y la dependencia de las importaciones de petróleo (el bioetanol se produce localmente). Pues bien, la Unión Europea está considerando en la actualidad la posibilidad de permutar esa cuota de bioetanol por el hecho de que el hidrógeno empleado en el refino sea de origen renovable. Si esto es así, vendría a incrementarse enormemente la demanda de este gas (producido mediante electrólisis, fundamentalmente, con energía eléctrica "verde"), en detrimento del tradicional hidrógeno de gas natural, lo que vendría a alterar muy favorablemente el panorama actual de producción del hidrógeno.

## 2.3 Transporte / automoción

El hidrógeno se ha utilizado, con diferente aproximación, en todos los medios de transporte existentes en la actualidad. Así, han existido demostraciones y proyectos en el sector ferroviario, naval, aeronáutico y de carretera, en este último desde autobuses hasta camiones o ciclomotores, pasando por vehículos automóviles.

En la mayoría de las aplicaciones terrestres (automóviles, autobuses y ferroviario), se cuenta con el hidrógeno como medio de propulsión (alimenta a una pila de combustible que, a su vez, produce energía eléctrica para impulsar un motor); no obstante, se ha analizado también el uso del hidrógeno en sistemas de potencia auxiliar (APU, de sus siglas en inglés) en camiones.

En lo relativo al sector naval, se ha empleado como combustible en sistemas de propulsión en pequeñas embarcaciones (recreo y turismo), así como en sistemas APU en barcos de mayor tamaño o, incluso, submarinos.

Hay que señalar que zonas medioambientalmente sensibles, ya sea por tratar de reducir niveles elevados de polución o ruido (uso de vehículos para moverse por zonas especialmente pobladas), como por ser áreas protegidas (entornos naturales de especial relevancia) o por su significación y reclamo para el sector turístico (protección de monumentos históricos, peatonalización de sectores), han promovido el uso del hidrógeno como combustible libre de contaminación; esto, por ejemplo, se ha visto ya reflejado en tranvías y pequeñas embarcaciones fluviales.

Finalmente, en el sector aeronáutico, nos encontramos con algunas versiones de APU para aviones, así como estudios de viabilidad que ya hablan de la posibilidad de emplear hidrógeno como combustible en la propulsión de aeronaves.

Pero, sin duda alguna, el sector estrella en la actualidad es el del uso del hidrógeno como combustible en vehículos automóviles. En este sentido, los proyectos han abandonado la etapa de demostración, entrando en la de comercialización.

La aprobación en 2014 de la Directiva europea relativa a la promoción del uso de combustibles alternativos para el transporte (Directiva 2014/94/EU, de 22 de octubre de 2014), siendo el hidrógeno uno de ellos, obliga a los estados miembros a promover los citados combustibles en un marco de tiempo limitado, mediante el establecimiento y la impulsión de estrategias específicas orientadas a tal efecto.

Fuel	Mode Range	Road-passenger			Road-freight			Air	Rail	Water		
		short	medium	long	short	medium	long			inland	short-sea	maritime
LPG												
Natural Gas	LNG											
	CNG											
Electricity												
Biofuels (liquid)												
Hydrogen												

Tabla 1.- Cobertura de los modos de transporte y autonomía de los principales combustibles alternativos (Fuente: "Energía limpia para el transporte: Estrategia Europea en materia de combustibles alternativos". COM(2013) 17 final).

Esta Directiva se traspone en 2015 en un Real Decreto correspondiente a la misma, que transcribe literalmente los parámetros referidos al hidrógeno. Pero, además, se crea una estrategia interministerial de impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España (2014-2020). Esta estrategia, liderada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, establece un mínimo necesario de 21 estaciones de servicio de hidrógeno en España para el año 2020 y un parque estimado de vehículos de dicho combustible para el citado año de 2.800.



## Estrategia de Impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España (2014-2020)

Propuestas de actuación  
Junio 2015



Figura 2.- Plan VEA: Estrategia nacional de impulso del vehículo con energías alternativas (Fuente: <http://www.minetur.gob.es/industria/es-ES/Servicios/Paginas/estrategia-impulso-vehiculo-energias-alternativas.aspx>).

En el momento actual, son las empresas automovilísticas asiáticas las que han tomado la delantera a nivel mundial. Al lanzamiento en Hyundai de su ix35 en 2013, ha venido a unirse el de Toyota, que, mediante su vehículo Mirai, ha levantado una gran expectación en la opinión pública. Ha de tenerse en cuenta que, acompañando al lanzamiento de este vehículo, Toyota ha anunciado el abandono del vehículo eléctrico en favor del vehículo de pila de combustible, y llevado a cabo una cierta liberalización de sus patentes. Por su parte, Honda ha anunciado recientemente el cese de sus actividades en vehículos de gas natural, para centrarse con un mayor esfuerzo en el vehículo con pila de combustible, que tiene previsto poner en el mercado en 2016.

Los fabricantes europeos y americanos, por su parte, anuncian la comercialización en serie de sus vehículos de hidrógeno entre los años 2017 y 2020.

Los vehículos que emplean hidrógeno como combustible son en definitiva vehículos eléctricos, equipados con una pila de combustible que transforma el hidrógeno en energía eléctrica que es utilizada en un motor; habitualmente, suelen hibridarse con pequeñas baterías que suministran los picos de demanda. Son vehículos con las ventajas de los eléctricos (eficiencia, emisiones nulas, reducidas emisiones acústicas), a las que añaden también las bondades de no emplear almacenamiento de energía eléctrica, sino de hidrógeno (reducido tiempo de repostaje y elevada autonomía).

Por ello la utilización del hidrógeno en estos vehículos plantea a los países que lo están adoptando un importante número de ventajas, entre las que destaca la posibilidad de un combustible renovable que puede ser producido localmente y que no produce emisiones al ser utilizado.

Para terminar, dentro del uso del hidrógeno como combustible en automoción, hay que hacer mención a la infraestructura necesaria. El uso del hidrógeno en vehículos plantea la posibilidad de producir localmente el combustible necesario para el transporte. Es decir, cada país (o región) podrá, en el futuro, autoabastecer sus necesidades en este sentido, pero tendrá que disponer de las adecuadas capacidades de producción, distribución y dispensado.

Así, en mayor o menor medida, los diferentes países trabajan en una estrategia que contemple la producción y autoabastecimiento de hidrógeno, la distribución de este gas y el dispensado en estaciones de servicio, de modo que se pueda garantizar un adecuado desarrollo de la infraestructura necesaria que permita al hidrógeno ser empleado, realmente, como un combustible alternativo.



## 2.4 Generación distribuida

El actual modelo de red eléctrica, con pocos y grandes generadores, está mostrando sus debilidades. Para solventarlas, aparecen los modelos distribuidos, en los que la generación eléctrica se lleva a cabo en un mayor número de nodos, de menor tamaño.

Este modelo de generación distribuida, capaz de acercarse mejor a la demanda, y modelarla más fielmente en el espacio y en el tiempo, se basa en la aparición de diferentes sistemas de generación eléctrica, con características distintas, y naturalezas dispares.

En este mapa, el uso del hidrógeno y de las pilas de combustible plantea numerosas ventajas, como son:

- Las pilas de combustible son equipos muy modulares, encontrarse en diferentes tamaños, desde kW hasta MW, adecuándose así a las necesidades de la demanda.
- La pila de combustible se trata de un dispositivo muy eficiente, pudiendo aprovechar esta virtud tanto para la generación de energía eléctrica, como en el ámbito de la cogeneración.
- Otra de las cualidades que muestra la tecnología es su fiabilidad, lo que la hace atractiva para aplicaciones de back-up de sistemas que requieren un especial cuidado: industria alimentaria, banca, gestión masiva de información, etc.

Aunque el número de tecnologías es mayor, las que tienen visos de competir en el mercado de masas son fundamentalmente tres: pilas de combustible poliméricas (PEMFC), de carbonatos fundidos (MCFC) y de óxido sólido (SOFC). De manera adicional, en el marco de la generación distribuida, tienen igualmente cabida tecnologías más convencionales que se están optimizando para su uso con hidrógeno: motores de combustión interna y turbinas. Todas ellas son opciones de producir electricidad y calor útil, en forma de calor o de frío, para aplicaciones en ámbitos tan diversos como una vivienda unifamiliar en una zona aislada, un centro de almacenamiento de datos con necesidad de energía de back-up o una industria que cuenta con una corriente de biogás que puede aprovechar para realizar cogeneración.

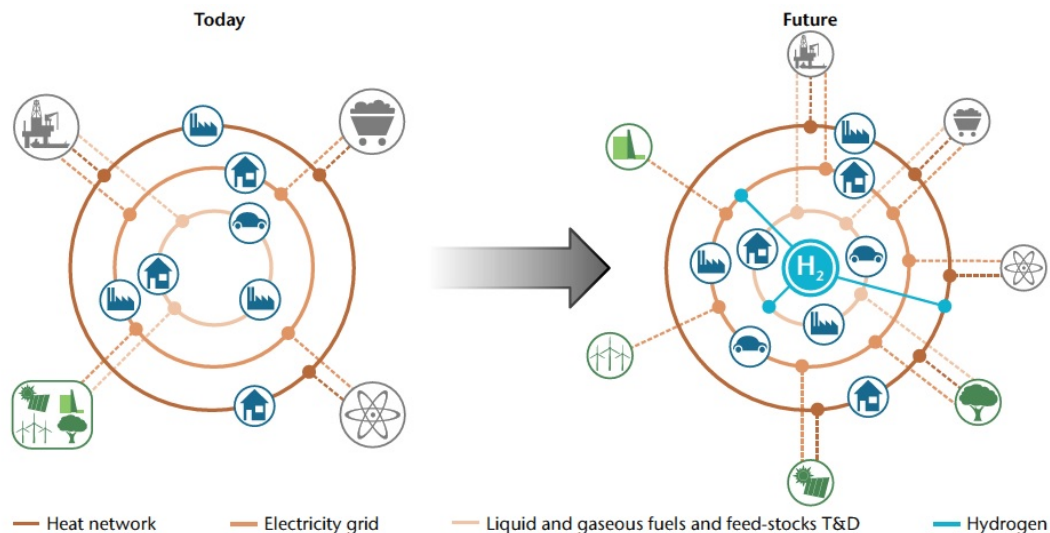


Figura 3.- Hidrógeno como vector energético, enlazando las diferentes redes: electricidad-calor-combustible (Fuente: "Technology Roadmap. Hydrogen and Fuel Cells". IEA. 2015).

## 2.5 Almacenamiento energético

La gestionabilidad de la red eléctrica se ha convertido, en los últimos años, en un aspecto fundamental de la misma; la energía no es solo evaluada y calificada por su cantidad, sino, también, por su calidad.

Son varios los aspectos que han influido en este sentido; por un lado, las fuertes variaciones en la demanda eléctrica, con consumidores distribuidos que varían, a lo largo del día y de las estaciones, su consumo; por otro lado, la progresiva incorporación a la red de fuentes de energía renovable, que, inherentemente, conllevan una aleatoriedad en su suministro.

Estas dos condiciones de contorno han llevado a lo que se ha denominado como "desacoplamiento entre la oferta y la demanda", o, dicho de otro modo, la necesidad de almacenar parte de la energía eléctrica cuando la oferta de la misma es mayor que su demanda, para ser empleada en los momentos opuestos.

Esta necesidad de almacenamiento puede variar en función de la topología de la red, de la planta de generación considerada o de la geografía. Así, de entrada, las necesidades pueden ir desde los pocos vatios\*hora, hasta el almacenamiento de MW durante días. Así, en pequeños sistemas de almacenamiento, capaces de almacenar energía para soportar picos de demanda, tenemos los supercondensadores y los volantes de inercia; en sistemas intermedios, capaces de responder con centenares de kW o algún MW durante una hora, tenemos baterías; para varios MW durante varias

horas, se consideran las sales fundidas y otros almacenamientos de naturaleza térmica; y, finalmente, para almacenar una gran cantidad de energía, durante uno o más días, se tiene la hidroeléctrica de bombeo, el aire comprimido y el hidrógeno.

Un sistema de almacenamiento de energía eléctrica basado en hidrógeno consistiría de cinco componentes clave:

- Un sistema de adecuación de potencia eléctrica de entrada.
- Un electrolizador, que produce hidrógeno (y oxígeno) a partir de energía eléctrica y agua.
- Un sistema de almacenamiento de hidrógeno.
- Una pila de combustible (o motor/turbina de hidrógeno), que produce energía eléctrica (y agua) a partir del hidrógeno almacenado (y del aire atmosférico).
- Un sistema de adecuación de potencia eléctrica de salida.

El hidrógeno cuenta, como sistema de almacenamiento, con dos ventajas fundamentales:

1. Por una parte, la potencia de entrada al sistema (que define el tamaño del electrolizador) está desacoplada de la energía almacenada (que viene dada por la capacidad del depósito que almacena el hidrógeno) y de la potencia de salida (que define la pila de combustible que convierte el hidrógeno en electricidad). Dicho de otro modo, la misma cantidad de energía (capacidad del depósito) puede tener potencias de entrada y salida diferentes, y con ello, tiempos de "llenado" y "vaciado" distintos.
2. Por otra parte, el hidrógeno puede permanecer en el depósito durante días, o incluso meses, sin degradarse, fugar o perder cualidades de ningún tipo.

Es por ello que el hidrógeno es una alternativa clara y flexible a los sistemas tradicionales de almacenamiento, con una capacidad mucho mayor. La actual limitación, como puede suponerse, viene dada por el coste de los sistemas contemplados.

El concepto Power to Power supone precisamente la solución de almacenamiento descrita hasta este momento: el almacenamiento de energía eléctrica, pretendiendo nuevamente su uso como electricidad cuando sea necesario. Un concepto novedoso que introducen las tecnologías del hidrógeno es el de Power to Gas: supone la

conversión de energía eléctrica en hidrógeno, para su uso posterior fuera del sector eléctrico. Dentro de esta vertiente, cabe su uso como combustible para el transporte (llegando a denominarse Power to Fuel), o el doble aprovechamiento de esta energía y de la infraestructura de gasoductos que transportan gas natural, volcando a la misma tanto hidrógeno puro (Power to Hydrogen) como biometano producido a partir de una fuente de CO<sub>2</sub> (Power to Methane).

La conversión de electricidad en hidrógeno, mediante electrólisis, y el posterior uso del mismo en la red de gas natural, en aplicaciones de movilidad o en la industria, puede sacar provecho de prácticamente todo el exceso de energía renovable, en un escenario de alta penetración, contribuyendo a la descarbonización de estos tres sectores.

RES integration solution		Deficit solved?	Surplus solved?	Residual load					
0	Base case situation			Surplus	+				
				Deficit	-				
1	Dispatchable generation (hydro, biomass, fossil)	✓	✗	Surplus	+				
				Deficit	-				
2	Transmission and distribution expansion	✓	✓	Surplus	+				
				Deficit	-				
3	Demand side management	✓	✓	Surplus	+				
				Deficit	-				
4	Energy storage	✓	✓	Surplus	+				
				Deficit	-				
				Power to power (PLP)	✓	✓	Surplus	+	
				Conversion to heat and heat storage	✓	✓	Deficit	-	
				Conversion to hydrogen for use outside power sector	✗	✓	Surplus	+	
							Deficit	-	

Tabla 2.- El hidrógeno es el único medio de almacenamiento que puede aprovechar todos los excedentes de energía renovable (Fuente: "Commercialisation of energy storage in Europe". McKinsey & Company, for FCH JU. March 2015).

## 2.6 Nichos de mercado

Las características de los sistemas que emplean pilas de combustible son, fundamentalmente: modularidad, alta eficiencia, bajas emisiones, bajo nivel de ruido, baja trazabilidad térmica, elevada capacidad de integración... Es decir, plantean un importante número de ventajas que las hacen, sin duda alguna, interesantes para muchas aplicaciones en las que se requiera una elevada cantidad de energía almacenada, fácilmente gestionable y convertible en electricidad y/o calor.

Esto hace que haya muchas aplicaciones en las que estas tecnologías son de interés, y en las que una adecuada aplicación lograría productos con mejoras significativas. No obstante, en estos momentos, el coste de estos sistemas plantea una barrera de entrada en determinados sectores, constituyendo un círculo vicioso: no se emplean estos sistemas por ser de elevado precio; el poco uso hace que se fabriquen pocas unidades; la fabricación a pequeña escala hace que los costes sean elevados.

No obstante, existen "early markets", "nichos de mercado", menos sensibles al precio, en los que las pilas de combustible y el hidrógeno se emplean hoy en día. Tres ejemplos claros son el sector defensa, las telecomunicaciones y la industria aeroespacial.

Así, como ejemplos pueden citarse los submarinos convencionales que emplean pilas de combustible para producción de energía eléctrica, las pilas de combustible alimentando boyas de instrumentación en rincones de los océanos, o su uso en vehículos espaciales para la producción de agua y energía eléctrica.

Finalmente, merece la pena destacar otras aplicaciones diferentes de las tratadas antes, que por su tamaño (poca potencia) hacen que el mercado global sea menor. Es el caso de las aplicaciones portátiles o portables. Aunque se comercialice un gran número de unidades, el valor global en MW instalados siempre será menor que la generación estacionaria o la aplicación de estas tecnologías en movilidad. En este caso el objetivo es ir a sistemas económicos, de diseño simple/sencillo.

Dentro de las aplicaciones "portables", un caso de éxito son las carretillas elevadoras. Su uso como sustituto de la batería es viable, incluso con los costes actuales. Un ejemplo de ello son las mejoras en la gestión de parques de estos vehículos industriales ("forklifts") en centros logísticos, como grandes centros de alimentación americanos o su propio Departamento de Defensa.

### 3. Situación actual

#### 3.1 La situación a nivel internacional

Sin duda alguna, EEUU (y, sobre todo, zonas como California y Nueva Inglaterra), Japón, Corea del Sur y el Norte de Europa (Alemania, Escandinavia y Reino Unido), son las regiones del mundo que lideran el uso del hidrógeno y de las pilas de combustible. Aglutinan el mayor número de empresas y de proyectos, así como las políticas y estrategias más avanzadas para la introducción y despliegue de estas tecnologías.

En Japón, merece la pena destacar el programa ENE-Farm. Desde su lanzamiento en 2009, se han instalado más de 120.000 unidades, de entre 700 y 1.000 W de potencia, que se pretende que sean millones de unidades para 2030. Este despliegue, iba acompañado al principio de una subvención estatal de 15.000 USD por unidad; en la actualidad esta ayuda es de 4.000 USD; este descenso en la ayuda se debe a la reducción de costes lograda de estas unidades, que ha caído, en el mismo período, de los 45.000 USD en 2009 a unos 19.000 USD en 2014.

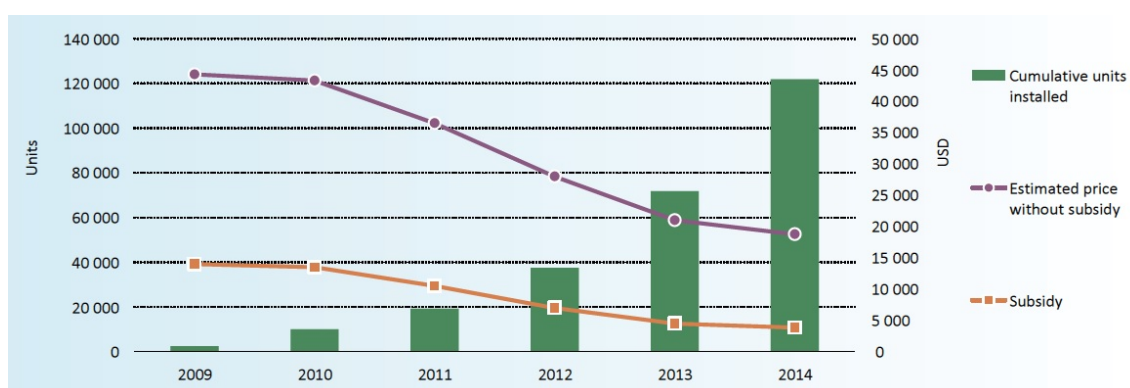


Figura 4.- Programa ENE-Farm de microgeneración: venta de unidades acumuladas, importe de la subvención estatal y evolución del precio de los sistemas (Fuente: "Technology Roadmap. Hydrogen and Fuel Cells". IEA. 2015).

En Corea del Sur, el apoyo a la cogeneración con pilas de combustible de alta temperatura (fundamentalmente, de tecnología de ácido fosfórico -PAFC- y de carbonatos fundidos -MCFC), mediante una prima directa al kWh producido mediante estas tecnologías, ha hecho que se instalen cientos de MW, impulsando fuertemente la actividad de empresas coreanas en el sector, como Posco o Doosan.

Estados Unidos y el norte de Europa, fundamentalmente, destacan por su fuerte apoyo a la utilización del hidrógeno como combustible para el transporte por carretera. Ambas geografías cuentan con ambiciosas estrategias de despliegue de

infraestructura de hidrógeno en determinadas regiones, en lo que a producción, distribución y dispensado del mismo se refiere, así como un impulso a la utilización de vehículos de pila de combustible.

En cuanto a quién lidera la política internacional del sector, cabe señalar que hace cinco o diez años, la estrategia de desarrollo de las tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible las marcaban el DoE americano, la Comisión Europea (a través de la JTI) y el NEDO japonés. De hecho incluso se llegaron a establecer organizaciones de carácter "transversal", como IPHE o PATH, con un cierto peso "político".

Sin embargo, desde hace dos a cinco años, el peso ha cambiado, desplazándose hacia alianzas más orientadas a la comercialización de productos con una cierta proyección de mercado, con un liderazgo más empresarial. Es el caso del citado ENE-Farm, de los H2Mobility aparecidos en el norte de Europa, de la California Fuel Cell Partnership, de H2USA, etc.

El proyecto H2Mobility es la pieza central de la iniciativa europea orientada a la comercialización de vehículos de hidrógeno; de hecho, no es únicamente un proyecto aislado, de un país, sino una estrategia conjunta de un número de estados miembros de la UE, lo que le dota de un carácter singular. Nacido en Alemania en 2010 (heredero, a su vez, de la Clean Energy Partnership creada en 2003), estaba originalmente financiado por el gobierno de este país, en conjunción con un conjunto de empresas (llegó a tener 16 participantes por aquella época) que comprendía fabricantes de vehículos, utilities, empresas gasistas y fabricantes de equipos. A partir de 2011, pasó a estar financiado también por la FCH JU, involucrando a más de 30 empresas y actores del sector.

H2Mobility está especialmente orientado a los vehículos automóviles de hidrógeno y al despliegue de la infraestructura necesaria para operarlos; no en balde, su creación se planteó a partir de la Letter of Understanding firmada en 2009 por Daimler, Ford, GM/Opel, Honda, Hyundai, Kia, Renault/Nissan y Toyota. Así, su objetivo final es que exista una red de estaciones de servicio de hidrógeno que permita recorrer Europa con vehículos de pila de combustible.

Aunque H2Mobility se inició, como se ha dicho, en Alemania, otros países europeos han desarrollado sus propios "H2Mobility", enganchándose al primero; así, cabe destacar el UKH2Mobility en Reino Unido, el Swiss H2Mobility suizo, el H2 Mobilité France y el The Scandinavian Hydrogen Highway Partnership (que engloba Noruega, Dinamarca y Suecia).

El análogo americano es H2USA; H2USA es una iniciativa público-privada que persigue promocionar la adopción de los vehículos de pila de combustible en EEUU; su objetivo, por lo tanto, y al igual que en el caso europeo, también incluye el despliegue de la infraestructura necesaria para la producción y suministro de este gas en estaciones de servicio. Con sede en Washington DC, y creada en el año 2013, cuenta con unos 40 participantes, entre los que cabe destacar el propio Department of Energy (DoE) americano.

H2USA establece como objetivos la seguridad del suministro energético del país, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la demostración de nuevas tecnologías, todo ello asociado al hidrógeno y las pilas de combustible.

También dentro de EEUU, merece la pena destacar el California FuelCell Partnership (CaFCP); lanzada por la Comisión de Energía del estado de California (California Energy Commission) y el California Air Resources Board en 1999, contó al principio con tan solo seis miembros privados: Ballard Power Systems, DaimlerChrysler, Ford Motor Company, BP, Shell Hydrogen y ChevronTexaco. Con sede central en California, su objetivo es promover la comercialización del vehículo de pila de combustible, como un medio para moverse hacia un futuro sostenible de mayor eficiencia energética y reducción (o eliminación) de gases de efecto invernadero y polución. Actualmente en lo que se denomina su "cuarta fase", CaFCP cuenta con 36 miembros, entre públicos y privados.

A modo de conclusión de este apartado, las siguientes tablas muestran el número de estaciones de servicio de hidrógeno (ESH2) y de vehículos impulsados mediante este gas para las cuatro geografías citadas, tanto el histórico en 2014, como el previsto para 2020, según las recientes estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía.

<u>País o región</u>	<u>ESH2 2014</u>	<u>Planificado 2020</u>
Europa	36	430
Japón	21	>100
Corea del Sur	13	200
EEUU	9	>100

Tabla 3.- Estaciones de servicio de hidrógeno, disponibles actualmente y planificadas para 2020 (Fuente: "Technology Roadmap. Hydrogen and Fuel Cells". IEA. 2015).



<u>País o región</u>	<u>Vehículos 2014</u>	<u>Planificado 2020</u>
Europa	192	350.000
Japón	102	100.000
Corea del Sur	100	50.000
EEUU	146	20.000

Tabla 4.- Vehículos rodando hoy en día y planificados para 2020 (Fuente: "Technology Roadmap. Hydrogen and Fuel Cells". IEA. 2015).

Finalmente, las siguientes figuras aportan una imagen gráfica del tamaño que ya está adquiriendo el sector, desde el punto de vista de sus ventas.

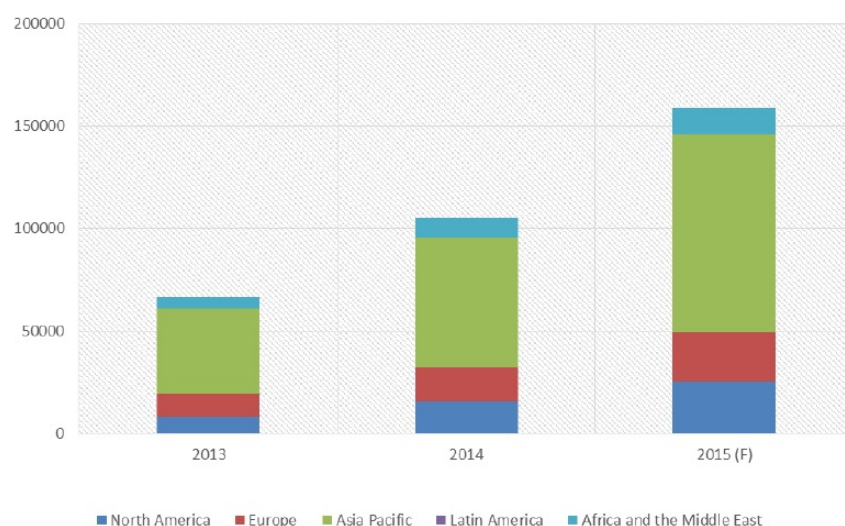


Figura 5.- Unidades de pila de combustible comercializadas en 2013-2015 (prev.), en función de la región en la que se han fabricado (Fuente: "The Fuel Cell and Hydrogen Annual Review, 2015". 4th Energy Wave. 2015).

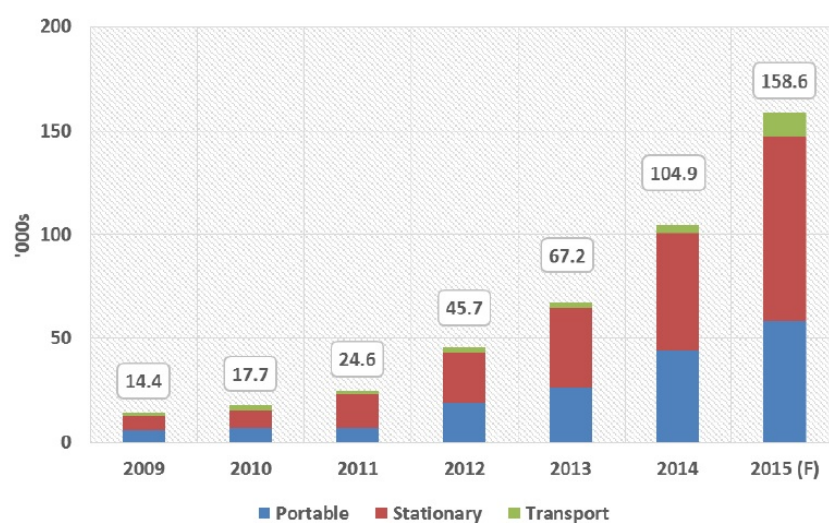


Figura 6.- Unidades de pila de combustible comercializadas en 2009-2015 (prev.), por sector de aplicación (Fuente: "The Fuel Cell and Hydrogen Annual Review, 2015". 4th Energy Wave. 2015).

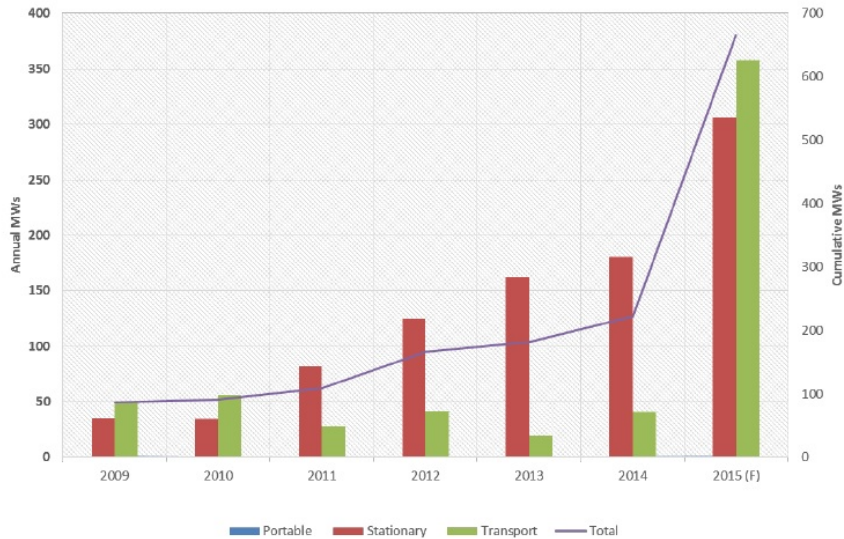


Figura 7.- Capacidad de pila de combustible instalada en 2009-2015 (prev.), por sector de aplicación (Fuente: "The Fuel Cell and Hydrogen Annual Review, 2015". 4th Energy Wave. 2015).

### 3.2 La situación a nivel europeo

Tanto las empresas como el ámbito científico-tecnológico se han agrupado para promover este sector de actividad a nivel europeo, estando cercano a la política que se moviliza desde la Comisión Europea, en Bruselas. Imagen de ello es precisamente el partenariado entre estas tres entidades, en el marco de una alianza conjunta: Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU).

NEW-IG es el consorcio industrial que aglutina empresas de todos los ámbitos que abarcan el desarrollo y aplicación de las tecnologías del hidrógeno y de las pilas de combustible: desde empresas automovilísticas a fabricantes de autobuses u otros del ámbito plenamente aeroespacial; desde empresas gasistas o petroleras, a utilities del ámbito eléctrico o empresas del área química; desde fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos, a fabricantes de pilas de combustible, electrolizadores o reformadores; desde empresas certificadoras a entidades de ingeniería o consultoría. En total, cerca de 90 empresas, de 20 países diferentes.

N.erghy es la agrupación del ámbito científico, coordinando los esfuerzos de universidades y centros de investigación y tecnológicos. En total, cerca de 65 miembros, de 20 países.

La organización del sector, a nivel europeo, se estructura en torno a tres pilares principales: el sector del transporte, que incorpora el despliegue de la infraestructura

de suministro del combustible; la producción de hidrógeno, incluyendo tanto tecnologías de electrólisis como de reformado; y la generación estacionaria de energía, cubriendo los mercados residencial, comercial e industrial.

Es en el marco de esta alianza conjunta que se define, asienta y apoya la estrategia de desarrollo y de despliegue del hidrógeno y de las pilas de combustible. Es una estrategia fundamentalmente promovida por el consorcio industrial, complementada por la agrupación científica y maquetada por la Comisión Europea para garantizar el cumplimiento de los valores que rigen a la Unión Europea.

### **3.3 La situación a nivel nacional**

Sin duda alguna, la situación nacional viene caracterizada, para empezar, por las dos asociaciones del sector “decanas” a nivel nacional: la Asociación Española del Hidrógeno (AeH2) y la Asociación Española de Pilas de Combustible (Appice). Ambas desarrollan una importante labor de difusión y de estrategia, organizando eventos como el World Hydrogen Energy Conference 2016 (la AeH2, en Zaragoza) o Iberconappice 2017 (Appice, pendiente de definir la ubicación).

Les sigue la Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible (PTE-HPC), lanzada y coordinada por la AeH2, que aglutina a más de 300 personas. Esta plataforma cuenta con el respaldo y la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad.

A nivel regional, la Fundación para el Desarrollo de Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón, más conocida como la “Fundación del Hidrógeno de Aragón” o FH2, promueve, desde esa región, estas mismas tecnologías, contando con un fuerte respaldo del gobierno autonómico y las empresas regionales.

Otro actor relevante es el Centro Nacional del Hidrógeno (CNH), localizado en Puertollano (Ciudad Real), que cuenta con financiación tanto del gobierno de Castilla – La Mancha, como del gobierno de España.

En lo que se refiere a centros de investigación, merece la pena destacar a diferentes universidades, CSIC, INTA y Ciemat, así como a centros privados como Cidaut, Tecnalia o Cidetec.

En lo relativo a empresas, destacan Abengoa, Air Liquide, Carbuos Metálicos, Cepsa, Endesa, Gas Natural, Iberdrola o Repsol.

Un reflejo de la evolución de este sector tecnológico se puede respirar a su vez en la propia evolución de la implicación de la Administración central. Los inicios fueron apadrinados por el actual Ministerio de Economía y Competitividad, tanto desde su departamento de fomento de colaboración público-privada en el ámbito de la energía, como desde el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI): dichos inicios venían marcados por su carácter de I+D y por la necesidad de analizar la tecnología desde una perspectiva internacional.

En la actualidad, se está migrando a una interrelación con el Ministerio de Industria, en sus áreas de energía, de gestión empresarial, etc., así como con el Ministerio de Fomento, por su gestión de las infraestructuras: se refleja con ello que estas tecnologías están ya afrontando el mercado y sus necesidades.

## **4. El caso de Andalucía**

### **4.1 Introducción**

La región andaluza no ha sido ajena a estos desarrollos y avances, apostando por nuevas tecnologías energéticas orientadas a la sostenibilidad.

Como líder en energías renovables, puede partir de esa posición de liderazgo para conseguir que la región se sitúe, en el plazo de diez años, entre las primeras de Europa, buscando soluciones al almacenamiento energético, la eficiencia energética o la generación distribuida, mediante la aplicación de estas tecnologías.

Andalucía, importadora de energía para el transporte como el resto de las comunidades autónomas españolas, tiene la oportunidad de convertirse en productora de su propio combustible, empleando para ello fuentes locales y renovables, convirtiéndose incluso en exportadora de este combustible limpio y sostenible.

A lo largo de los siguientes apartados se irá analizando la situación actual, el futuro deseable y una estrategia que permita alcanzar este último de una manera realista y con la mínima inversión posible.

### **4.2 El entorno Ris3**

Europa está apostando por la especialización, en aras a promover un nuevo modelo económico que sirva de motor, en el que se fomenta la competitividad de las diferentes regiones a través, entre otras, de la innovación, la tecnología y la internacionalización.

De tal manera, se está insistiendo en una “especialización inteligente”, en la que se promueve la identificación de características específicas y ventajas competitivas de cada región, el aprovechamiento de las capacidades propias de un territorio, de manera que desarrollándolas permite la apertura y competitividad de los mercados objetivo. Ese desarrollo vendrá dado en muchos casos de una interacción entre activos locales y fuentes externas, permitiendo el resultado explotar las cadenas de valor identificadas por la región.

Ris3 conforma precisamente la estrategia de innovación para esta especialización inteligente. Este ejercicio de estrategia requiere en un primer lugar del establecimiento de un catálogo de oportunidades de especialización para una región. Por otra parte, requiere del establecimiento de una visión, entendida como el resultado al que se pretende llegar, la política final que empuja a la región a apostar por una serie de acciones. Dentro de dicha especialización se requiere de una labor de priorización, orientada al uso eficiente de los recursos para lograr el impacto establecido.

En su conjunto, muy resumidamente, Europa aboga por tres pilares principales en su visión de cara a 2020: innovación, sostenibilidad (economía baja en carbono) y creación de empleo.

En línea con estos principios, Andalucía, en particular en lo que respecta a la sostenibilidad, aboga por un uso eficiente de la energía, la puesta en valor de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Parte de explotar una posición de liderazgo mundial en el desarrollo y explotación de tecnología ligada a las energías renovables. Y extiende el interés a ser competitivo en nuevos modelos de desarrollo sostenible (basado en energías renovables) y nuevos modelos de movilidad sostenible (abarcando tanto aspectos intermodales, entre los diferentes medios de transporte, como el entorno urbano).

De tal manera, Andalucía, dentro de sus ocho prioridades de especialización, orienta la séptima al desarrollo de soluciones de energías renovables, eficiencia energética y construcción sostenible. Dos de sus líneas de acción (nº 72 y 73) se basan en gran medida en las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible:

- Redes inteligentes de energía, “smart grids”: en los ámbitos de captación, conversión, transporte y almacenamiento
- Sistemas de alta capacidad de almacenamiento de energía

Se aprovechan por tanto las bondades de estas tecnologías en los ámbitos de conversión eficiente de energía, diversificación de las fuentes y almacenamiento de energía de alta capacidad y duración.

Desde el ámbito de la energía, se introducen sinergias a su vez con el sector del transporte, en el ámbito de la movilidad sostenible, y en el sector estratégico aeroespacial.

### **4.3 Estado actual de la tecnología en Andalucía**

En 2012, la Agencia Andaluza de la Energía editó la publicación "Estado de las tecnologías del hidrógeno y de las pilas de combustible de Andalucía".

La actividad en hidrógeno y pilas de combustible comienza en Andalucía, de la mano del INTA, en el año 1989; a partir de ahí, se fueron añadiendo otros centros de investigación, y empresas, que hoy constituyen un importante tejido en torno al sector.

Es, precisamente, este tejido, unido a la experiencia de esta región en áreas como las energías renovables, lo que hace que Andalucía tenga una importante oportunidad en este sector tecnológico.

En lo relativo a OPI, Universidades y Centros de Investigación, Andalucía cuenta con 22 grupos de investigación, incluidos en el Paidi, cuya área de trabajo incluye al hidrógeno y/o a las pilas de combustible, destacando geográficamente la provincia de Sevilla y, por tecnologías, las asociadas a la producción (TEP). De los grupos de investigación citados en este documento, 19 grupos pertenecen a universidades y tres grupos al CSIC. Se citan igualmente dos OPI, la Plataforma Solar de Almería y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) ubicado en Arenosillo (Huelva). Durante los últimos años se han ido desmontando las infraestructuras existentes en el INTA, que han dado soporte además a Tesis Doctorales de los grupos de investigación, y que sería necesario apoyar para valorizar el conocimiento generado, así como las instalaciones existentes.

La actividad de los grupos de investigación es muy dispersa y con escasa interrelación entre ellos, lo que resta potencial a su actividad. Es muy significativo que ningún grupo de investigación andaluz u OPI participe en N.erghy.

La mayor parte de los 22 grupos de investigación desarrollan también actividad en el campo de las energías renovables, situación que facilitaría el desarrollo del binomio hidrógeno-energías renovables.

En cuanto a empresas, destaca de nuevo la provincia de Sevilla, habiendo un amplio reparto en cuanto a naturaleza, actividad y productos de las mismas. Se citan siete empresas con proyectos en curso en 2012 y 46 con interés a corto plazo en estas tecnologías. Abengoa Hidrógeno, Green Power Technologies o Endesa se pueden citar como ejemplos de empresas con actividad en Andalucía relacionadas con el hidrógeno y las pilas de combustible.

Durante el período 2001-2009, analizado en el informe, se han invertido en la comunidad autónoma andaluza casi 40 millones de euros, distribuidos a lo largo de 58 proyectos. Cabe destacar que esta cifra ha sido ya ampliamente superada en los cinco años siguientes (2010-2014). Más de la mitad de los proyectos hacen referencia a la producción de hidrógeno, destacando los de producción renovable.

## **5. Oportunidad para Andalucía**

Andalucía ha venido apostando por la sostenibilidad como uno de sus pilares de especialización inteligente; y esta sostenibilidad está estrechamente ligada al uso del hidrógeno como vector energético y como combustible, y a la utilización de las pilas de combustible para generación de energía. De este modo, merece la pena destacar tres áreas fundamentales en las que Andalucía puede liderar este sector:

- Redes inteligentes de energía: aprovechar alternativas de generación distribuida, de la gestión de redes que permite un vector energético como el hidrógeno, del enlace (la conexión) entre redes energéticas electricidad-calor-combustible, de la descarbonización del transporte.
- Almacenamiento de energía de alta capacidad: opción de fomentar el aprovechamiento de EERR, gestionando su intermitencia para su integración en la red eléctrica, mediante modularidad, flexibilidad y almacenamiento.
- Mercados estratégicos: incorporación de estas tecnologías de almacenamiento de energía para un sector como el aeroespacial.

Entre las fortalezas que la región andaluza tiene para ello, cabe destacar un sector de I+D fuertemente desarrollado, una experiencia previa en el caso de las renovables, una administración decidida a implantar mejoras en el tejido energético-industrial y la presencia de importantes empresas del sector. Igualmente se considera una fortaleza para la región, extensible también a otras tecnologías, la existencia de un cluster empresarial multisectorial como la Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA), en el

que empresas (grandes y Pyme) e investigadores de diferentes sectores de actividad se encuentran en contacto , pudiendo contribuir a la dinamización de este sector.

Esta región debe establecer como objetivos, en este sentido, los siguientes:

- De especialización en determinados sectores de la tecnología, especialmente en aquellos relacionados con la producción de hidrógeno renovable y local, o el almacenamiento energético (de origen renovable) empleando estas tecnologías.
- De conocimiento, en forma de know-how, número de patentes, centros de investigación alineados con la estrategia, empresas adheridas a la misma, etc.
- De globalización de la estrategia, de modo que se establezcan contactos y relaciones con los principales actores internacionales del sector, con acuerdos en las áreas estratégicas.
- De cadena de valor, para asegurar que los centros de investigación, empresas y demás agentes del conocimiento contribuyan al desarrollo de productos y servicios que sean solicitados por el mercado.
- De adhesión al territorio, de modo que Andalucía sea un referente geográfico en el ámbito de estas tecnologías.
- De creación de empleo, entendida no solo como la creación de nuevos puestos de trabajo, sino también como la manera de evitar que se pierdan otros, al producirse cambios sectoriales asociados con estas tecnologías.
- De creación de riqueza y desarrollo de la economía, apostando por un sistema energético, basado en hidrógeno y pilas de combustible, local y sostenible.

A modo de referencia, se incluyen a continuación algunas de las principales magnitudes relacionadas con la oportunidad que estas tecnologías suponen para la comunidad autónoma andaluza:



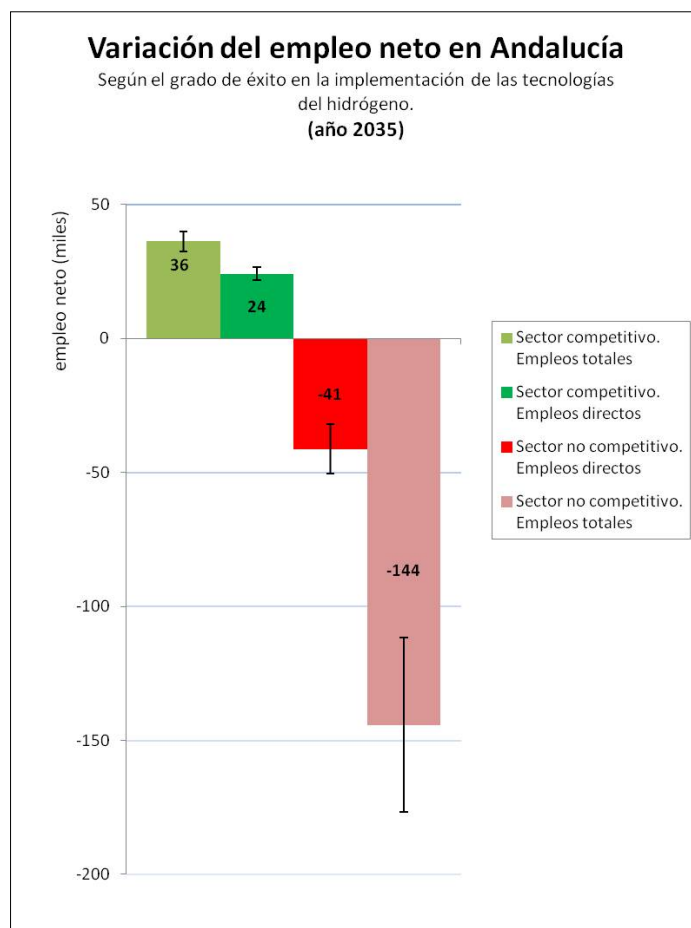


Figura 8.- Proyección de la variación del empleo neto en Andalucía en 2035 (Fuente: "Oportunidades de la Economía del Hidrógeno para las PYME en Andalucía", elaborado por la Asociación Española del Hidrógeno para la Agencia IDEA. 2015).

#### a) Empleo

Con las medidas de apoyo adecuadas, que fomentasen tanto la utilización del hidrógeno como combustible y como vector energético, como la utilización de pilas de combustible para la generación energética, así como con la promoción del desarrollo tecnológico, económico e industrial de las tecnologías asociadas, se podría promover la creación de 36.000 empleos netos para el año 2035, evitando además la pérdida de otros 140.000 empleos para ese mismo año, si las decisiones estratégicas no fuesen alineadas en este sentido.

Estas cifras se extrapolan a partir de los datos existentes para España, en la que el diferencial, para el citado año, entre puestos de trabajo creados y destruidos es de, aproximadamente, un millón.

#### b) Mercado del hidrógeno como combustible

Estimando que España, en el año 2030, estará pagando anualmente una factura de 60.000 millones de USD por importaciones de barriles de petróleo para el transporte, a Andalucía le corresponderá una cuantía cercana a los 8.000 millones USD anuales.

La posibilidad de utilizar hidrógeno, producido localmente a partir de recursos renovables, se presenta como una alternativa real al uso tradicional de combustibles fósiles para el transporte. Aunque, ya hay fabricantes de vehículos que comercializan automóviles con pilas de combustible producidos en serie, son múltiples las cuotas de penetración que se consideran para el año 2030, variando entre el 5 y el 25% en función de la geografía y el escenario considerados.

En cualquier caso, asumiendo una penetración del 10% de los vehículos de hidrógeno en Andalucía para 2030, se estaría considerando un mercado anual de 800 millones de USD en hidrógeno para el transporte, que dejaría de emplearse para importar combustible fósil y se revertiría a los productores locales del combustible alternativo.

#### c) Almacenamiento energético e integración con energías renovables

La Agencia Internacional de la Energía cifra para el año 2050 en 140.000 millones de USD el mercado total mundial de almacenamiento de energía. A partir de esta cifra, pueden considerarse las cuotas de mercado que asumirán las distintas tecnologías en función de la necesidad de duración de ese almacenamiento, así como tener en cuenta el porcentaje correspondiente a Andalucía por su potencial de energías renovables dentro de la Unión Europea. Todo ello, lleva a establecer un mercado en esta comunidad autónoma para el almacenamiento de energía en forma de hidrógeno superior a los 1.300 millones de USD anuales para el año 2050, suponiendo un coste de 150 USD/MWh.

## 6. Plan de actuación

En el presente apartado se expone una propuesta de plan de actuación para el caso de Andalucía. Se proponen diferentes escenarios, e iniciativas para llevar a cabo, señalando, además, qué agentes son los necesarios y cuáles son las principales palancas a movilizar para lograr el éxito.

## 6.1 Necesidad de infraestructuras

Con el término "infraestructuras", se engloban, realmente, dos tipos distintos de iniciativas:

1. Las que sirven de base para hacer representativo un ámbito de aplicación (las que se exponen en este apartado).
2. Y las redes de conocimiento y capacidades que dan soporte, y a la vez se alimentan de dichas iniciativas (que se tratan en el apartado siguiente).

En lo relativo a la infraestructura para el transporte, habría que atender al número de vehículos y al número de estaciones de servicio de hidrógeno.

En la actualidad, Andalucía cuenta con unas 1.800 estaciones de servicio convencionales, de un total de 10.500 que hay en España (ambos datos, aproximados); esto supone algo más de un 17%. Si se considera este mismo porcentaje, Andalucía debería establecer para 2020 unas cuatro estaciones de servicio de hidrógeno, como mínimo, en su territorio, que garantizaran una adecuada cobertura, para cumplir con el objetivo de 21 que tiene España para ese mismo año.

Esto es perfectamente factible, a partir de los embriones ya existentes (Andalucía cuenta con dos estaciones de servicio de hidrógeno en la provincia de Sevilla) y una mínima inversión.

Más adelante, haciendo un cálculo aproximado, de cuatro estaciones de servicio de hidrógeno en 2020 habría que pasar a 20 lo antes posible (puede establecerse como marco temporal 2023), siendo el objetivo de 30 para 2025 y 100 para 2030. Detalles más específicos en este ámbito (estaciones de servicio y vehículos) se encuentran en el documento "Planificación del despliegue de las estaciones de servicio de hidrógeno necesarias para facilitar el uso de este gas como combustible en Andalucía", elaborado a la vez que el presente informe.

En lo relativo a vehículos, habría una rampa creciente desde los 500 vehículos estimados para 2020 en Andalucía (porcentaje que le corresponde a esta región de los 2.800 referenciados en la estrategia nacional), hasta los 100.000 que se estiman para 2030.

Ello supondría que, para 2025, habría que disponer de una infraestructura de producción de hidrógeno con una capacidad de producción cercana a 40.000 kg/día (permitiría cubrir aproximadamente las necesidades de una flota de 50.000 vehículos), unida a una adecuada infraestructura de distribución de este gas. Este hidrógeno podría producirse a partir de fuentes de energía renovable (electrólisis mediante electricidad de origen solar o eólico, reformado de biocombustibles, etc.) o mediante reformado de gas natural (menos deseable por su dependencia energética, pero más económico).

Como objetivo a corto/medio plazo, cabría considerar la puesta en marcha de un proyecto de demostración en una flota cautiva, como es el sector del taxi, en las ciudades de Málaga y Sevilla, siendo estos los nodos que acumulan más tráfico en la geografía andaluza, permitiendo la vertebración de la región a lo largo del eje de la autovía A-92. Esta actuación permitiría demostrar la viabilidad de esta tecnología en el sector de automoción, con una cierta masa crítica, mediante la producción de hidrógeno renovable. Por otra parte, contribuiría a divulgar el uso eficiente del hidrógeno a la sociedad andaluza, de la misma manera que se ha hecho con los vehículos híbridos.

No obstante, esto cubriría, únicamente, la parte relativa a hidrógeno empleado como combustible para el transporte, y Andalucía debe mirar, como mínimo, también hacia otro importante sector: el del almacenamiento energético.

Así, es importante que Andalucía cuente con, al menos, una planta de almacenamiento de energía en forma de hidrógeno para el año 2020. Esta planta debe producir el hidrógeno desde fuentes de energía renovable (eólica, solar) aplicadas a electrolizadores (unos 5-10 MW de potencia), y emplear ese hidrógeno tanto para demostrar aplicaciones de power to gas, como de power to power. Aparte de lograr una pequeña mejora en la gestionabilidad de la red eléctrica andaluza, esta planta pionera en el sur de Europa permitiría el desarrollo y validación de tecnologías del almacenamiento energético basadas en hidrógeno.

En lo relativo a la instalación de pilas de combustible, sería deseable establecer un plan que permitiese una penetración de generación de energía distribuida, mediante pilas de combustible estacionarias, al uso de lo que han hecho países como Japón o Corea del Sur. En este sentido, un objetivo para 2025 sería lograr una generación de 50 MW de energía eléctrica mediante pilas de combustible, equivalente, por ejemplo, a un 5% (aproximado) de la actual capacidad de cogeneración en Andalucía.

Como acción a corto plazo, se consideraría la puesta en marcha de instalaciones de pila de combustible a nivel de plantas de demostración, siguiendo el ejemplo de las actuaciones financiadas en el campo de la energía solar en edificios públicos. Específicamente, se propondría financiar una instalación de demostración en dos hospitales públicos, con la instrumentación adecuada y vinculadas en su seguimiento a un grupo de investigación, con objeto de demostrar y divulgar la tecnología del hidrógeno y pilas de combustible.

## **6.2 OPI y universidades**

En estos momentos, España y Andalucía cuentan ya con OPI, Universidades y Centros Tecnológicos privados muy activos en el ámbito del hidrógeno y de las pilas de combustible. Existen ya en Andalucía grupos de excelencia en distintas áreas tecnológicas relacionadas con el ámbito del hidrógeno y las pilas de combustible: electroquímica, acondicionamiento de potencia, transporte, sistemas de control y gestión energéticas, etc. Promover nuevos centros desde cero, en los escenarios temporales que se están considerando, sería un esfuerzo demasiado grande para obtener un resultado limitado; por ello, se proponen dos alternativas:

- Reforzar los actuales centros existentes, de modo que puedan ser referentes en su sector. En este sentido, tenemos diferentes universidades andaluzas (Sevilla, Huelva, Jaén, Pablo de Olavide...), institutos del CSIC (Ciencia de Materiales de Sevilla), centros de otras entidades (como INTA o Ciemat), etc. que podrían beneficiarse de contar con una estrategia de alineación y un programa que les orientase en el rumbo a tomar. Interesaría además revalorizar y actualizar las instalaciones del INTA en Arenosillo para no perder la inversión realizada en infraestructuras de investigación, ni el conocimiento generado; el papel del INTA se considera además relevante para aprovechar su experiencia en el campo de la certificación, homologación y normalización en el campo de la energía solar.
- Por otra parte, si bien se cuenta con un centro de referencia nacional (el Centro Nacional del Hidrógeno, en Puertollano, Ciudad Real) y otras pequeñas infraestructuras de hidrógeno, no hay nada a nivel nacional en lo relativo a grandes plantas de almacenamiento energético o cogeneración (ver apartado anterior); estas primeras plantas podrían servir para demostrar la tecnología, pero también para promover el desarrollo interno de tecnología y para evaluar empíricamente los desarrollos locales. Incluso, podrían valer como plantas de prueba y verificación de nuevas tecnologías o productos.

En lo relativo a redes de conocimiento, sería de especial importancia la creación de redes de intercambio de información, de evaluación conjunta de resultados de proyectos, de realización de estudios específicos o pruebas (centros de análisis y ensayo), así como de centros de certificación y homologación.

Sería muy conveniente también perseguir el "hermanamiento" de estas redes con sus homólogos europeos e internacionales, algo habitual en universidades y centros de investigación, y de especial relevancia en este ámbito.

En lo que a "capacidades científicas y tecnológicas" a desarrollar, una lista no exhaustiva, sería:

- Tecnología y conocimiento en materiales (catalizadores, adsorbentes para purificación, sustancias para almacenamiento de hidrógeno, materiales resistentes a corrosión y ambientes agresivos).
- Electrónica de potencia.
- Sistemas de gestión y control.
- Integración térmica.
- Desarrollo de instrumentación y de sistemas de medida.

Todas ellas son disciplinas con gran carácter científico-técnico, que pueden dar lugar a una ventaja competitiva, mejorando la tecnología, permitiendo el desarrollo de propiedad intelectual e industrial, etc.

Cabe citar en este punto, habiéndose ya mencionado a lo largo del documento, el interés de vincular la actividad de los grupos de investigación a las necesidades del sector empresarial. En este sentido, el apoyo de un clúster como Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA) puede ser importante a nivel de financiación y de favorecer la conexión ciencia-empresa.

### **6.3 El papel de las grandes empresas. Efecto tractor**

El papel de las grandes empresas en este ámbito es importante, dado el elevado importe de las inversiones iniciales a realizar en estas tecnologías. Es necesaria la involucración de las mismas, de cara a asumir parte de estas inversiones, siempre con el aliciente de recuperarlas en el futuro con las ventas.

Sin duda alguna, ha de establecerse un plan de reuniones con las principales empresas andaluzas, de modo que se les den a conocer las tecnologías del hidrógeno y de las pilas de combustible: el principal escollo de estas tecnologías en la actualidad es el desconocimiento que existe de su potencial. Existen empresas tractoras, así como algunas empresas de base tecnológica; precisamente el número de estas últimas que ha aflorado no es muy numeroso, aun a pesar de contarse con capacidades para abordar parte de los desafíos tecnológicos que se van a abordar en estos desarrollos, debido a que no se han detectado las posibilidades y oportunidades que este mercado supone.

Así, deberían exponerse a las empresas andaluzas las ventajas y potencial de esta nueva tecnología, y sus relaciones con los diferentes sectores. Desde la posibilidad de producir hidrógeno "in situ" para el sector industrial, hasta el uso de este gas como sistema de almacenamiento; desde el uso de pequeñas pilas de combustible para sistemas remotos de telecomunicación, hasta la posibilidad de cogenerar con grandes pilas de combustible; desde los cambios a implementar en el sector de la automoción, hasta las posibilidades que plantea el migrar a un combustible producido de un modo local y distribuido. Las posibilidades son infinitas.

Estas tecnologías, sin duda, son además una importante herramienta de internacionalización de la empresa andaluza. Clientes y proveedores del sector del hidrógeno y de las pilas de combustible pueden hallarse con facilidad en países como Alemania, EEUU, Canadá, Japón, Corea del Sur, Reino Unido... Que las empresas andaluzas operen en esta área es, sin duda, una importante tarjeta de visita para la salida a otros mercados.

Pero es importante que las empresas empiecen a incluir estas tecnologías en sus planes estratégicos a corto y medio plazo, de modo que se disponga de un plan cohesionado andaluz, que nos permita estar al frente de la industria nacional en este sentido.

#### **6.4 El papel de las Pyme**

Tan importante como la involucración de las grandes empresas debe ser la involucración de las Pyme. Al programa de formación, difusión e información, ha de unirse un análisis detallado de sectores en los que las Pyme pueden destacar. Hay que tener en cuenta que, más allá del componente de internacionalización citado en el apartado anterior, este sector facilita que las Pyme crezcan en un entorno favorable para ellas, donde especialización y tecnología se convierten en importantes vectores de dicho crecimiento.

De un modo no exclusivo, se identifican algunas oportunidades para Pyme en sectores y actividades relacionados con el hidrógeno y las pilas de combustible, que tienen aún un largo recorrido de desarrollo:

a) Sistemas de almacenamiento de hidrógeno

Empresas que desarrollen sistemas de almacenamiento de hidrógeno con alguna característica diferencial sobre los ya comerciales; por ejemplo, con especial énfasis en ser su portabilidad, en ser más ligeros, o especialmente seguros, etc.

Aplicación de nuevas tecnologías, como el grafeno o la nanotecnología.

Un ejemplo de ello, es la Pyme tecnológica francesa McPhy (<http://www.mcphy.com>), que ha desarrollado unos hidruros metálicos a partir de los cuales comercializa una serie de sistemas para el almacenamiento de EERR.

b) Sensores

Se trata de sistemas de detección de hidrógeno o de análisis de gases que contengan este gas, así como de detectores de gases usualmente presentes en los procesos de producción de hidrógeno.

Las nuevas tendencias deben discurrir por sistemas económicos, sencillos y robustos, fáciles de fabricar e implementar.

Como referencia, cabe citar a la empresa estadounidense Power & Energy (<http://www.powerandenergy.com/>), con tecnología aplicada a analizadores, separadores y purificadores, que se están empleando para la certificación de composiciones para el uso del hidrógeno en transporte, industria, etc.

c) Electrónica de potencia

Diseño y construcción de sistemas de manejo y gestión de la energía eléctrica, que puedan controlar diferentes cargas y fuentes a la vez, incluyendo, especialmente, pilas de combustible y electrolizadores.

Con especial énfasis en sistemas modulares, de una elevada eficiencia y reducido coste.



Un ejemplo en esta área es la Pyme francesa Electro Power Systems (<http://electropowersystems.com/>), que aplican sus conocimientos y capacidades en electrónica de potencia, control y gestión de red al desarrollo de sistemas de almacenamiento Power to Power.

d) Catalizadores y soportado de los mismos

Fabricación de catalizadores a mediana escala, sobre diferentes soportes, con elaboraciones propias (una pequeña cartera) o de terceros (licencias o pedidos); tecnologías de reformado, técnicas químicas de producción de gases, etc.

Especialmente importantes aquéllos que sean capaces de fabricar a diferentes escalas, desde pequeñas producciones hasta grandes cantidades, o sean flexibles en cuanto a la naturaleza y geometría del soportado.

A nivel español, se podría referenciar a la empresa Ibercat (<http://ibercatsl.com/>), spin-off del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, especializada en la producción de catalizador de diferentes formulaciones y a diferentes escalas.

e) Sistemas de purificación de hidrógeno

Se trata de sistemas basados en medios mecánicos: sistemas de desplazamiento por presión (PSA), membranas de distintas tecnologías (poliméricas, paladio), etc.

Destacan especialmente aquellos productos orientados a pequeña escala (usualmente los sistemas PSA se desarrollan para plantas petroquímicas, siendo precisamente escalas inferiores las que no están disponibles en el mercado, de manera que hay un hueco sin cubrir) y los capaces de filtrar hidrógeno con elevada pureza (susceptible de alimentar una pila de combustible polimérica).

La empresa estadounidense Hy9 (<http://www.hy9.com/>) ha desarrollado sistemas de membrana metálica de paladio, que logran una extremada pureza de la corriente de hidrógeno de salida. Esta Pyme se ha especializado, entre otras, en dar solución a sistemas de backup de energía.

f) Conectores

Se trata de elementos de conexionado, incluyendo racores, válvulas, bridas u otros componentes destinados a la infraestructura de hidrógeno, a nivel de "tubing" y "piping".

Aún son necesarios componentes que, pudiendo manejar específicamente el hidrógeno y los gases que lo contienen, sean sencillos de implementar a la par que económicos.

Un ejemplo de empresa en este sector sería la Pyme alemana WEH (<http://www.weh.com/>), experta en conectores rápidos, válvulas de alta presión, boquereles y acoplamientos para instalaciones de trasiego de gases, etc.

Todos ellos, sectores con una baja barrera de entrada para determinadas Pyme andaluzas, pero con un gran recorrido, especialmente si se logran alianzas o acuerdos comerciales, que, en todo caso deben favorecerse.

Adicionalmente, el diseño y fabricación de bienes de equipo puede suponer un área de desarrollo para este sector empresarial. Los principales equipos que conforman el núcleo de estas instalaciones y sistemas (pilas de combustible, electrolizadores, reformadores, etc.) requieren del desarrollo de tecnologías de producción para reducir sus costes de fabricación. Este proceso podría iniciarse a partir de los componentes menos específicos de estos equipos,

Existen Pyme andaluzas que disponen de adecuadas capacidades en varios de los ámbitos tecnológicos presentados anteriormente y que podrían desarrollar nuevos productos y servicios que contribuyeran a aumentar la competitividad y reducir el time-to-market. Así, algunos ejemplos de Pyme con capacidades demostradas serían: en electrónica de potencia, gestión de sistemas de almacenamiento, etc., han demostrado un adecuado posicionamiento empresarial compañías como Green Power Technologies y Win Inertia; especializadas en sensores hay empresas que ya han trabajado en proyectos al respecto, como Mesurex.

Adicionalmente, las Pyme españolas, y algunas andaluzas, están demostrando tener capacidades para desarrollar productos y servicios novedosos, así como potencialmente competitivos en mercados internacionales. Este aspecto se refleja en el adecuado aprovechamiento que están llevando a cabo del programa Instrumento Pyme incluido en el programa H2020 de la Comisión Europea.

En varias de las áreas comentadas hay empresas andaluzas que tienen adecuadas capacidades para desarrollar productos y aprovechar herramientas de apoyo como la comentada. Adicionalmente, el apoyo de empresas tractoras de mayor tamaño permitirá acelerar el desarrollo de este tipo de productos por parte de las Pyme y aprovechar otros instrumentos de apoyo de carácter nacional e internacional.

## **6.5 La cadena del conocimiento**

En este sentido, para empezar cabe destacar dos opciones que podrían ser factibles: clusters y redes.

- Clusters en el sentido de aglutinación física (o virtual) de agentes involucrados en una misma cadena de valor.
- Redes en la línea ya introducida en la parte de OPI y universidades, de vía para compartir el conocimiento y desarrollar know-how adicional a partir de él (compartir resultados, para desarrollar modelos, etc.).

De cualquier forma, la adecuada alineación de la cadena de conocimiento con esta estrategia es clave para un logro eficaz de los resultados. Todos los agentes (ciencia básica – ciencia aplicada – empresa – usuarios) deben alinearse con los objetivos de la citada estrategia, y la difusión de la misma debe ser un aspecto fundamental a cubrir.

Se ha de lograr que unos y otros dejen de perseguir beneficios individuales (y, muchas veces, cortoplacistas), para centrarse en objetivos comunes a largo plazo (es decir, estratégicos).

Evidentemente, esto que es una obviedad resulta siempre complejo, y muchas veces imposible. Sin embargo, en este caso, en el que se trata de aspectos estrechamente relacionados con un sector tan crítico como es el energético (y, colateralmente, con la industria, la economía y el empleo), es importante que la Administración juegue un papel fundamental, no solo estableciendo y dando a conocer una estrategia, sino mostrando y demostrando claramente que el hidrógeno y las pilas de combustible juegan un papel importante en Andalucía.

## **6.6 La opinión pública**

Se engloba en este apartado no solo al “público en general” sino, además y especialmente, a los periodistas y profesionales de los medios de comunicación. Ya ha aparecido en repetidas ocasiones la necesidad y la importancia de dar a conocer

estas tecnologías, su potencial, su importancia... Eliminar los miedos y reducir los temores. Esto es importante a todos los niveles y, para lograrlo, es importante una adecuada campaña.

No es posible establecer una estrategia sin que se conozcan los principios básicos de las tecnologías en torno a las cuales se desarrolla; ni crear la demanda, o garantizar un uso adecuado de las mismas, sin que los usuarios finales (el público) estén adecuadamente informados.

En cualquier caso, la concienciación pública es clave en estas tecnologías; desde para evitar las asociaciones (erróneas) con el accidente del zeppelin alemán Hindenburg o la bomba de hidrógeno, hasta para dar a conocer las ventajas (renovabilidad, producción local, sostenibilidad) de las mismas. Una educación adecuada, y a diferentes niveles, debe lograr alinear a la sociedad con el uso futuro generalizado y seguro del hidrógeno y de las pilas de combustible.

## **6.7 El papel de la Administración**

Se resumen a continuación algunas de las medidas que se recomiendan para la correcta implantación de la estrategia definida:

- Facilitar y promover actividades de homologación, normalización y certificación.
- Simplificación de los trámites administrativos para sistemas, equipos e instalaciones relacionadas con estas tecnologías.
- Coordinar la oferta formativa; asegurar que las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible se encuentran recogidas en los diferentes planes de estudio.
- Impulsar proyectos de I+D específicos, especialmente orientados a OPI, Universidades y centros de investigación.
- Fomentar y financiar proyectos de demostración, orientados al desarrollo de la infraestructura definida anteriormente.
- Impulsar y facilitar la participación de empresas y grupos de investigación andaluces en organismos, cuerpos y asociaciones de carácter nacional e internacional.

- Mantener una página web en la que se vaya informando del estado del desarrollo de la infraestructura; algo especialmente útil en el caso de la asociada al transporte por carretera.
- Promover y facilitar redes de conocimiento, que faciliten la transmisión de know-how dentro de la cadena de valor.
- Favorecer la adquisición y uso de vehículos con pila de combustible, mediante el acceso a plazas de aparcamiento o carriles prioritarios, la exención de impuestos, o la ayuda directa a la adquisición.
- Priorizar la adquisición de estos vehículos en el establecimiento de flotas que dependan, directa o indirectamente, de la administración pública.
- Regular la identificación de productos, proyectos o instalaciones que usen este tipo de tecnologías, de modo que puedan ser conocidos y reconocidos por el público, destacando el valor que aportan.
- Favorecer, mediante mecanismos de Compra Pública Innovadora, el establecimiento de la infraestructura de hidrógeno y pilas de combustible.
- Trasponer, a nivel regional, la directiva europea 2014/94/EU.
- Facilitar y favorecer la generación (incluyendo cogeneración y microcogeneración) de energía eléctrica mediante pilas de combustible, en sus diferentes tecnologías.
- Favorecer e impulsar las patentes en hidrógeno y pilas de combustible.
- Facilitar la entrada de las Pyme en el sector, mediante líneas específicas de ayudas a la transferencia del conocimiento y a la creación de clusters.
- Promover foros de trabajo y puntos de encuentro entre los diferentes agentes; creación de una "Mesa Andaluza del Hidrógeno".
- Promover la generación distribuida mediante pilas de combustible.

El Fondo Europeo de Desarrollo Regional (Feder), en su nueva fase, concentrará una mayoría de sus actuaciones en cuatro objetivos temáticos, vinculados en gran medida con el alcance de este análisis: I+D+i, apoyo a las Pyme, TIC y economía con bajas emisiones de carbono. Precisamente, el instrumento de Compra Pública Innovadora se vislumbra como de gran importancia en este periodo, como palanca de innovación

que podría ayudar a conseguir que la inversión en I+D+i, pública y privada, crezca de forma muy significativa.

## 7. Conclusiones

Tras treinta años de desarrollo, la economía del hidrógeno comienza, finalmente, a despegar. Los costes de las tecnologías asociadas (producción de hidrógeno, pilas de combustible) han disminuido considerablemente en los últimos cinco años; los fabricantes de vehículos comercializan ya sus modelos de hidrógeno producidos en serie; los países trazan estrategias con el hidrógeno como eje, y despliegan infraestructuras de producción y distribución de este gas.

A las tradicionales motivaciones basadas en sostenibilidad medioambiental y lucha contra el cambio climático, se unen ahora una necesidad de asegurar el suministro energético (reducción o eliminación de las importaciones) y un deseo de las administraciones de promover el empleo y las economías locales.

En los últimos veinte años, Andalucía ha venido trabajando, desde centros de investigación y empresas privadas, en el desarrollo de estas tecnologías; al igual que el resto de regiones europeas, está preparada para dar el salto al hidrógeno, contando con un elemento diferenciador fundamental: un amplio potencial de fuentes de energía renovable y una dilatada experiencia en este sector (el de las energías renovables), que la sitúa entre las primeras a la hora de plantearse emplear el hidrógeno renovable, localmente producido, como un combustible alternativo.

Evidentemente, este salto no es sencillo; requiere de una serie de medidas, empezando por una alineación del eje ciencia-empresa con una Estrategia Andaluza del Hidrógeno que está aún por definir, pero de la que se han dado unas ideas fundamentales, en cuanto a infraestructuras, actores e inversiones necesarias. Una serie de medidas que debe incluir incentivos, apoyo de la administración y una apuesta decidida por estas tecnologías, como hizo años atrás Andalucía en lo relativo a las energías renovables.

Alemania se ha propuesto un plan por el que, para el año 2050, haya eliminado las importaciones de petróleo y gas natural, confiando plenamente en su recurso energético renovable para producir hidrógeno y electricidad, vectores con los que impulsar su industria, sus hogares y sus automóviles; no hay ningún motivo por el que Andalucía no pueda aspirar a este mismo objetivo.

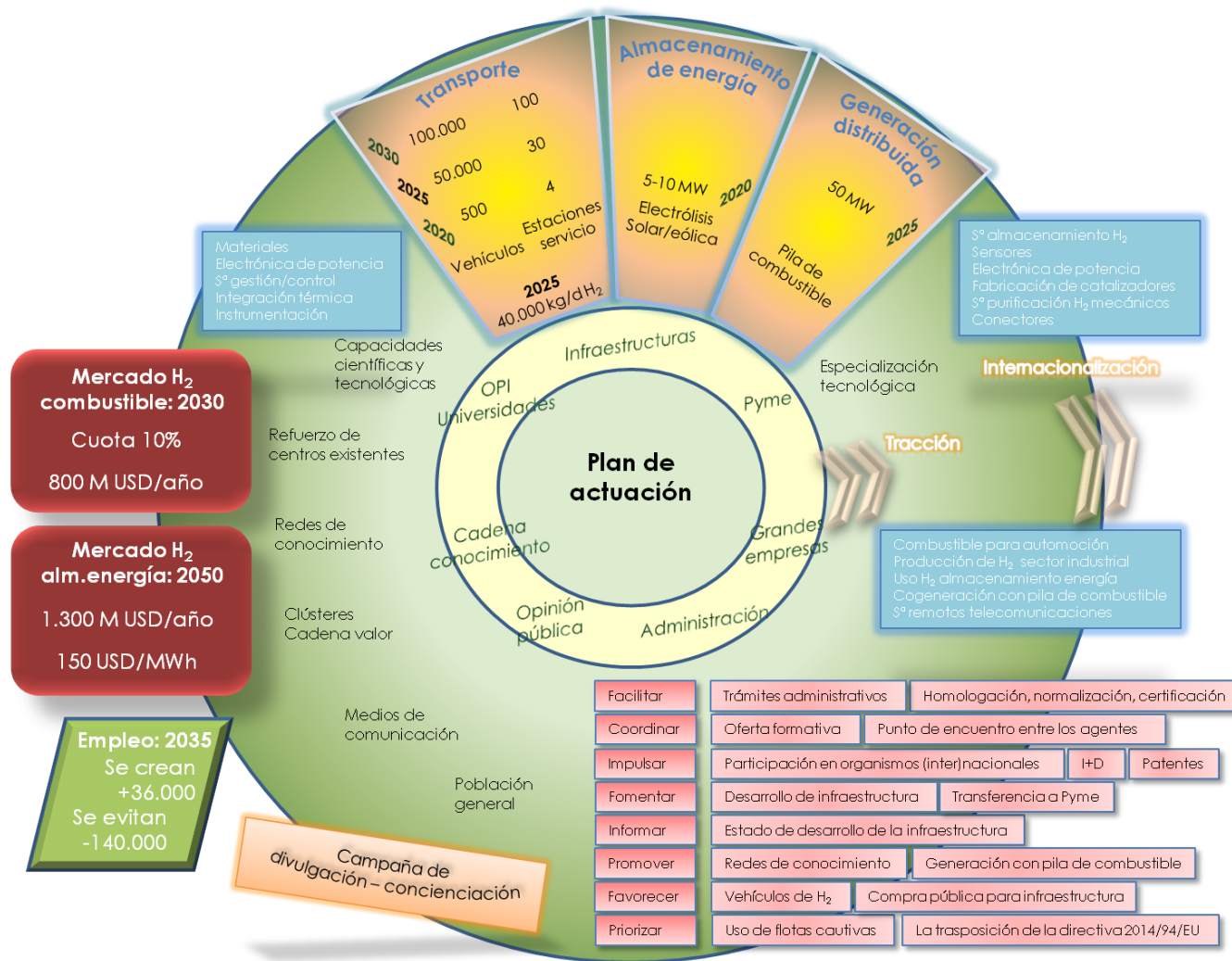


Figura 9.- Propuesta de plan de actuación, a corto/medio plazo, para facilitar el desarrollo del hidrógeno en Andalucía



Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía IDEA  
CONSEJERÍA DE EMPLEO, EMPRESA Y COMERCIO



**Unión Europea**

Fondo Europeo  
de Desarrollo Regional





[www.agenciaidea.es](http://www.agenciaidea.es)