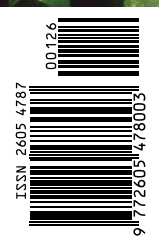


nº 126 | diciembre 2020

# ambienta

## LA APUESTA POR LOS GASES RENOVABLES





# La mascarilla es para ti, no para la naturaleza



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

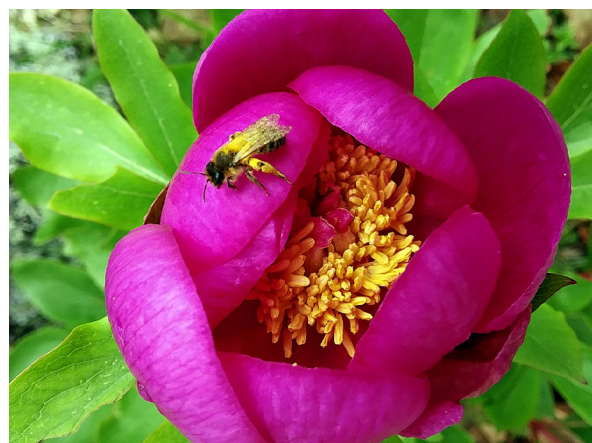
VICEPRESIDENCIA  
CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

MINISTERIO  
DE CONSUMO



- 04 Entrevista:** Javier Brey, presidente de la Asociación Española del Hidrógeno
- 10 Entrevista:** José Luis Cabo, Subdirector General de Hidrocarburos y Nuevos Combustibles. MITERD.
- 14** La apuesta por el hidrógeno verde  
Marta Maroño
- 26** Los gases renovables en la economía circular y en la lucha contra el cambio climático  
Xavier Flotats
- 34** Biogás, cómo convertir un problema en un recurso  
Francisco Repullo
- 44** La importancia de los gases renovables en la reactivación de la economía y la creación de empleo  
Emilio de las Heras
- 54** La biomasa en el punto de mira de un futuro energético protagonizado por el hidrógeno  
Luis Fernández del Pozo y Antonio Gómez Sal





**64** El hidrógeno como combustible alternativo para la descarbonización del transporte  
Carlos Merino

**70** **Iniciativas:** el caso Acuaris

**77** **En peligro:** las abejas

**80** **Es Historia:** Ricardo Pascual

**82** **Hay que ver:** Parque Natural de la Sierra de las Nieves

**86** **Unión Europea**

**88** **Publicaciones**



**Edita:**

Subsecretaría  
Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

**Portada:** Aries

**Consejo Asesor:**

Presidente: Miguel González Suela, Subsecretario MITERD

**Vocales:**

Maribel del Álamo Gómez, Directora de Ambienta  
Catalina Arévalo, Directora de Comunicación MITERD

Miriam Bueno, Consejera Técnica. S. E. de Energía. MITERD  
Elisa de Cabo, Jefa de Gabinete. S.G. para el Reto Demográfico. MITERD  
Antonio Gómez Sal, Catedrático de Ecología. Universidad de Alcalá  
Raquel González Pico, Asesora Gabinete S.E. Medio Ambiente  
Lourdes Lázaro, Coordinadora Desarrollo Corporativo UICN  
Cristina Linares, Científica titular. Instituto de Salud Carlos III  
Antonio Lucio, Presidente WWF España  
Carlos Mataix, Director itd.UPM  
Pepa Mosquera, Codirectora revista Energías Renovables  
José Manuel Naredo, Doctor en Ciencias Económicas  
Javier Pascual, Vocal Asesor Gabinete del Subsecretario. MITERD



## Javier Brey

Presidente de la Asociación Española del Hidrógeno



Javier Brey es presidente de la Asociación Española del Hidrógeno. Por tanto, es fácil suponer su posición respecto a las tecnologías del hidrógeno renovable. Pero, echando un vistazo a su currículum, nos encontramos con que es vicepresidente de la Asociación Europea del Hidrógeno, vicepresidente de la Asociación Española de Pilas de Combustible y secretario de la Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible, lo que ya confirma que es una figura del más alto nivel europeo en el campo del hidrógeno. Si vamos un poco más allá en el currículum, nos encontramos con que empezó su carrera profesional en el campo del hidrógeno en 1998 y que da clases en la Universidad Loyola de Andalucía sobre Economía del Hidrógeno y llegamos a la conclusión de que es el mayor entusiasta y el embajador número uno de las bondades de la Economía del Hidrógeno.

Y en poco más de media hora les puedo asegurar que es capaz, de una forma divulgativa, amena, clara y convincente, de ganar nuevos adeptos para la causa del hidrógeno renovable. Yo ya soy una más y espero que con sus argumentos, que aquí se exponen, seamos legión.

Antes de responder a mis preguntas Brey pregunta si puede hacer una pequeña introducción para sentar las bases del *statu quo* y así empezar a adentrarnos en este nuevo mundo energético.

### *Adentrémonos pues*

El hidrógeno se produce generalmente a partir de gas natural. Cojo gas natural, rompo la molécula, me quedo con el hidrógeno y expulso el CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Es un proceso que emite CO<sub>2</sub> y por tanto es malo para el medio ambiente, pero es barato y fácil de producir. Por eso se utiliza ampliamente en la industria desde hace 90 años. Técnicamente se llama reformado de gas natural y es un negocio que mueve decenas de miles de millones y que se utiliza para un sinnúmero de cosas: en petroquímica para la fabricación de gasolina, de amoníaco y también de vidrios, grasas hidrogenadas. Es un producto que se produce y que se utiliza muchísimo.

***“El hidrógeno es la pieza angular para las estrategias de descarbonización. Por eso ahora todos los países están introduciendo el hidrógeno en sus estrategias energéticas”***

Sin embargo, no todo el hidrógeno se produce así, hay un método que es la electrólisis del agua. Utilizando agua como materia prima y energía eléctrica, voy a romper la molécula del agua que es H<sub>2</sub>O, me quedo con el hidrógeno y tiro el oxígeno a la atmósfera. Si comparamos los dos métodos que he descrito, vemos que, en la electrólisis, mi materia prima es energía eléctrica y agua. Si la energía eléctrica es obtenida de fuentes renovables, ese hidrógeno es renovable. Sin embargo, la electricidad, hoy en día, es más cara que el gas natural. Por ello, el hidrógeno renovable es, en la actualidad, más caro de producir que el hidrógeno proveniente de reformado de gas natural.

### *Y ahí llegamos al primer problema a resolver...*

Sí, pero es que, el hidrógeno, además, es un combustible que tiene una característica fundamental, que no tiene carbono. Todos los demás combustibles tienen en sus moléculas carbono. Cuando uso un combustible tradicional produzco agua y CO<sub>2</sub>; sin embargo, al quemar hidrógeno, solo produce vapor de agua. Pero hasta ahora solo lo utilizaba la industria espacial, porque el hidrógeno es más caro que la gasolina o que el gas natural.



### *Volvemos al mismo problema*

Sí, pero todavía hay una tercera ventaja tecnológica.

En el siglo XIX se descubren las pilas de combustible. La pila de combustible es la inversa de la electrólisis. En esta, yo cojo agua y energía eléctrica y rompo la molécula para obtener hidrógeno y oxígeno. La pila de combustible une oxígeno e hidrógeno para formar agua y electricidad. Transforma, directamente, el hidrógeno en electricidad sin necesidad de calor. Cualquier generador quema diésel o gasolina y ese calor mueve un motor que produce energía eléctrica. El hidrógeno se convierte directamente, sin ruido, ni calor, ni emisiones de CO<sub>2</sub>, en electricidad.

Lo más curioso es que podemos creer que la tecnología de la pila de combustible es algo muy novedoso y, sin embargo, la pila de hidrógeno la inventó sir William Grove en 1843 y la ha utilizado la NASA desde hace muchos años. Después de un periodo de hibernación, en los años 70 del siglo pasado se pensó que se podía producir hidrógeno suficiente para prescindir de los combustibles fósiles. Esta idea se puso muy de moda con la crisis del petróleo, pero se abandonó cuando volvió a bajar el precio del petróleo. Se volvió a rescatar en los años 2000 y se ha avanzado mucho en la tecnología en la primera década del siglo XXI. Se empezaron a fabricar coches, trenes y hasta aviones con pila de combustible, pero se volvió a parar. La cuestión del hidrógeno ha ido apareciendo y desapareciendo durante décadas.

### *¿Y qué ha ocurrido ahora para que vuelva a resurgir con más fuerza?*

En estos últimos años, incluso meses, se han unido una serie de factores. Por un lado, los electrolizadores cada vez son más eficientes y más baratos. En segundo lugar, el precio de las energías renovables se ha reducido entre diez. El precio del kilovatio hora ya producido por fotovoltaica se ha reducido hasta diez veces. Nadie podría prever que iba a bajar tanto y eso ha hecho que la energía eléctrica renovable haya dejado de ser un lujo. Ya no solo es sostenible, sino que, además, es competitiva económicamente hablando.

Y la guinda del pastel es la descarbonización. En la COP 25 Europa publica su “Green Deal”: el compromiso por una descarbonización plena para 2050. Y lo apoya no solo la

**“España tiene un potencial de renovable que le va a permitir ser autosuficiente en hidrógeno. Y no solo se podrá autoabastecer, sino que puede producir más y convertirse en exportadora de combustible por primera vez en su historia”**

Unión Europea, sino muchos otros países, incluso, recientemente, China.

Hasta la COP 25 se había hablado de descarbonizaciones parciales que dejaban margen a determinados sectores para seguir contaminando, pero si la descarbonización es total, ya no tienen ningún margen, necesitan un plan para dejar de emitir. ¿Y cómo descarbonizar todos los sectores: energético, transporte, industrial y residencial?

### *Sin duda, con el hidrógeno ¿verdad?*

Comencemos por el sector energético. La descarbonización ya podemos hacerla, porque tenemos la energía eólica y la fotovoltaica. El PNIEC dice que para 2030 se van a cerrar 14 gigavatios de convencional y vamos a abrir 59 megavatios de renovable, aumentando nuestro mix energético un 74% renovable.

Pero esto supone un problema de gestión mensual o estacional. Si España instala una gran cantidad de energía fotovoltaica nos va a sobrar en verano y nos va a faltar en invierno. Necesitamos una manera de almacenar la energía de manera estacional. Esto se puede hacer gracias al hidrógeno. Podemos instalar electrolizadores y convertir a través de la electrólisis, la energía renovable en hidrógeno, almacenarlo, como hoy en día se hace con el gas natural, en reservas estratégicas y utilizarlo el segun-

**“La Asociación Española del Hidrógeno cree que se podrían llegar a crear 220 000 puestos de trabajo en los próximos diez años relacionados con el hidrógeno y sus tecnologías”**



do semestre del año. El hidrógeno, como un sistema de almacenamiento de gestión de la energía, es una solución para la descarbonización y podemos llegar a un 100 por ciento de descarbonización del sector de la energía. Y si produzco más hidrógeno todavía y almaceno más aun, lo puedo usar para el transporte.

#### *Pasamos a otro sector, el del transporte*

Un vehículo eléctrico de hidrógeno lleva un depósito de hidrógeno de 4 o 5 kilos y una pila de combustible. Por cada kilo de hidrógeno puedo recorrer 120 kilómetros. Son vehículos similares en prestaciones a los convencionales. Pueden recorrer 800 kilómetros y recargarse en 5 minutos. Y solo emiten vapor de agua. Esta tecnología se puede usar también en trenes: Talgo ha anunciado dos trenes de hidrógeno para 2021; en aviones: Airbus dice que habrá tres aviones de hidrógeno para 2035, barcos, submarinos..., puede ser un transporte alternativo para el 100% del sector del transporte.

#### *¿Y en el sector residencial?*

El gas natural se puede sustituir por hidrógeno en las casas para la calefacción, el agua caliente, y la luz; evidentemente es la sustitución de un gas por otro y habrá que cambiar aparatos, tuberías... Sí, pero ya se hizo cuando pasamos del gas ciudad a gas natural.

Se cambiaron todas las infraestructuras entonces; pues se pueden volver a cambiar y tendríamos en nuestras casas un gas producido en España y que al arder solo produce vapor de agua.

¿Y si descarbonizo también el sector industrial? ¿Y si gracias al hidrógeno puedo descarbonizar todos los sectores? El hidrógeno es la pieza angular para las estrategias de descarbonización. Por eso ahora todos los países están introduciendo el hidrógeno en sus estrategias energéticas.

#### *¿Cuál es el estado de la tecnología?*

Absolutamente madura y lista para comercializarse. De hecho, se está comercializando ya. Hay electrolizadores que funcionan, vehículos de hidrógeno..., pero falta que se empiece a desplegar una infraestructura. Al producir





grandes cantidades de hidrógeno, hay que almacenarlo y hay que transportarlo y eso es lo que hay que desarrollar ahora. En la Hoja de Ruta del Hidrógeno de España se habla de dos líneas férreas, 150 estaciones de servicio, 7500 vehículos; se habla de instalar 4 gigavatios de electrólisis de aquí a 2030, y de ir a que el 25% del hidrógeno del sector industrial sea renovable. La Hoja de Ruta establece una serie de hitos para que empiece a penetrar la Economía del Hidrógeno.

*Y para todo esto, respecto al coste de los electrolizadores, ¿cuánto han de bajar para ser una opción real?*

Ya lo son. El problema no es el coste de los electrolizadores sino el de las tecnologías. En un kilogramo de hidrógeno la mayor parte de su coste no viene de lo que cuesta el electrolizador, sino la electricidad. El 70% del coste es de la electricidad. No podemos decir que tiene que bajar el precio de los electrolizadores -que bajará- sino el precio de las renovables, que también bajará.

*¿Y de qué precios estamos hablando?*

Un kilogramo de hidrógeno fósil, producido de reformado de gas natural, puede costar de media dos euros, y el precio de kilo de hidrógeno producido desde electrólisis cuesta 7 euros. Pero el precio del hidrógeno producido a partir de electrólisis bajará según vaya bajando el precio de las renovables. Hay estudios de la Agencia Internacional de la Energía y de McKinsey que dicen que en diez años se podrá alcanzar un precio de dos euros gracias a las energías renovables y los electrolizadores que vamos a instalar en nuestro país. Ya se podrá competir en el sector industrial.

*¿Y en el sector del transporte?*

Con 0,8 kilogramos de hidrógeno, puedo recorrer 100 kilómetros. Hoy en día con un coche tradicional recorrer 100 kilómetros te cuesta, aproximadamente, 10 euros; basándonos en un consumo de 7,5 litros por 1,2 euros. El consumidor estaría más que dispuesto a consumir hidrógeno si le costara los mismos diez euros, de eso no hay duda. Pues bien, producir un kilo de hidrógeno cuesta 7 euros; transportarlo me costaría un euro más y otro para comprimirlo y hay que añadir un beneficio. No es tan grande la diferencia como se podría pensar y, por tanto, se demuestra que un coche de hidrógeno puede ser competitivo.

*Entonces ¿dónde está el problema?*

La falta de infraestructura. Tiene que haber un número importante de estaciones de hidrógeno para que los vehículos de hidrógeno prosperen. Pero lo más importante

es que las cifras salen, tanto para sector energético como para el del transporte.

*¿Qué ocurre entonces con los dos sectores restantes, el residencial y el energético?*

El hidrógeno hoy en día es más caro que el gas natural. Tiene que bajar hasta ponerse en un euro el kilo para competir con el gas natural. Según la Agencia Internacional de la Energía, para 2050 ya habremos llegado a esos precios. Por eso las empresas se están empezando a posicionar porque hay que empezar ya a moverse.

*La implantación del hidrógeno verde para 2030 ¿Es posible?*

Los objetivos que fija la Hoja de Ruta del Hidrógeno son posibles. Estamos en un momento en el que hay tanto, interés político, como empresarial, en el hidrógeno y, además, yo creo firmemente en el hidrógeno como uno de los mecanismos de recuperación económica tras el COVID. Soy muy, pero que muy optimista en ese sentido.

*¿Tiene España las condiciones geopolíticas necesarias para convertirse en uno de los países punteros en hidrógeno verde?*

Necesitaríamos unos cuantos ingredientes, y la verdad es que, los tenemos. Por una parte, Europa apuesta fuerte-

***“Los objetivos que fija la Hoja de Ruta del Hidrógeno son posibles. Estamos en un momento en el que hay tanto, interés político, como empresarial, en el hidrógeno y, además, yo creo firmemente en el hidrógeno como uno de los mecanismos de recuperación económica tras el COVID. Soy muy, pero que muy optimista en ese sentido”***





mente por el hidrógeno verde, pero para esa apuesta necesita importar hidrógeno porque no tiene la capacidad suficiente de renovable para autoabastecerse.

Por lo tanto, va a importar del este de Europa y del sur de Europa, como hoy en día importa gas natural. España tiene un potencial de renovable que le va a permitir ser autosuficiente en hidrógeno. Y no solo se podrá autoabastecer, sino que puede producir más y convertirse en exportadora de combustible por primera vez en su historia. Pero, además, Europa necesitará importar hidrógeno verde desde África a través de España, que, por lo tanto, se va a convertir en un *hub*, en un centro de hidrógeno verde para Europa, va a producirlo; va a distribuirlo y también lo va a recibir. Por su situación estratégica será un jugador muy importante del hidrógeno en Europa. Es cuestión de todos que esto salga adelante y parece que vamos por el buen camino: el Gobierno ha hecho sus deberes y ha sacado su Hoja de Ruta; las empresas han sido receptivas y han empezado a anunciar proyectos de hidrógeno verde y la opinión pública está acogiendo con agrado esta senda de mayor sostenibilidad.

#### *¿Y en cuanto a tecnologías?*

España tiene tecnología, empresas y centros de investigación que llevan trabajando desde hace dos décadas en tecnologías del hidrógeno con lo cual, no solo vamos a convertirnos en exportadores de hidrógeno, sino en desarrolladores y exportadores de tecnología y equipos.

#### *¿Qué supone todo esto en creación de empleo?*

La Asociación Española del Hidrógeno cree que se podrían llegar a crear 220 000 puestos de trabajo en los próximos diez años relacionados con el hidrógeno y sus tecnologías. Hay que tener en cuenta que hay muchos sectores que se van a ir reconvirtiendo. Sectores que trabajaban en otras áreas de la energía y de la industria que, a medida que vayamos migrando hacia la economía del hidrógeno, van a ser reconvertidos en temas relacionados con el hidrógeno. El hidrógeno, por su intersectorialidad, tiene un fuerte impacto sobre el empleo, pero, además, empleo local y de calidad.



En el sector de la energía, si se implantan los 59 gigavatios que están previstos en el PNIEC, va a bajar el precio de la energía renovable eléctrica, pero a las empresas del sector fotovoltaico se les ofrecen dos negocios nuevos. Si una empresa, además de comprar paneles o turbinas, compra electrolizadores, podrá producir, tanto energía eléctrica, como hidrógeno. Y producirá lo que mejor le venga en cada momento. Además, se abre el negocio del almacenamiento energético y esto les quita el techo para poder seguir invirtiendo en energías renovables. Por tanto, se abre negocio, se abre empleo y creación de empresas.

En cuanto al transporte, lo de menos es la fabricación del vehículo, sino todas las empresas que se mueven alrededor de la industria auxiliar. Necesitamos industria auxiliar que fabrique equipos de hidrógeno, tuberías, sensores, compresores, depósitos. Es una oportunidad muy buena para que empresas que hasta ahora fabrican una cosa fabriquen otra. Y no es tecnología especial. Realmente cualquier empresa que, hasta ahora, fabricaba estructuras de carbono puede reconvertirse y fabricar depósitos de hidrogeno, etc. Así que se abren nuevas oportunidades y nuevos mercados. Y todos esos equipos van a requerir instaladores, operarios... ¿Cuántos técnicos en fotovoltaica surgieron cuando el boom solar? Lo mismo ocurrirá con el hidrógeno: se necesitarán no solo ingenieros, sino formación profesional, técnicos, operarios, a todos los niveles. Tenemos una oportunidad muy grande si apostamos por el desarrollo nacional. El riesgo estaría en llegar tarde, lo que no parece plausible, o que cuando lleguemos no tengamos tecnología nacional y por tanto tener que importar todo, porque entonces crearemos menos puestos de trabajo que si tomamos la iniciativa desde ya, que parece que afortunadamente, es lo que se está haciendo.

*¿Qué tanto por ciento del mix energético se puede llegar a cubrir con el hidrógeno verde?*

El hidrógeno podría llegar en 2050 a la plena descarbonización de cualquier sector. Es problema es que se implanten las suficientes energías renovables para producir energía eléctrica e hidrógeno. Es un tema simplemente de

velocidades del despliegue, pero el potencial es enorme como para cubrir cualquiera de los sectores energéticos actuales.

*¿Qué opinión tiene sobre la Hoja de Ruta del Hidrógeno lanzada recientemente por el MITERD?*

Nosotros, desde la Asociación Española del Hidrógeno, creemos que la Hoja de Ruta publicada por el Ministerio es fantástica y estamos completamente alineados con ella. Creemos que tiene unos objetivos ambiciosos, pero debemos luchar por cumplirlos y que se puedan cumplir. Creemos que complementa muy bien el resto de las estrategias del Gobierno en cuanto a renovables, descarbonización, almacenamiento energético y movilidad sostenible. Al final, el hidrógeno, por su posición intersectorial toca todos los sectores y eso queda muy reflejado en la Hoja de Ruta.

*¿Cuál es el papel de la Asociación Española del Hidrógeno?*

La Asociación empezó a idearse hace 20 años y se fundó en 2002. El principal interés es defender los intereses de los socios y ser una voz única hablando del hidrógeno para aquellas empresas que trabajan en el sector. Somos la voz decana cuando se habla de lo que se hace y se puede hacer en el terreno del hidrógeno en nuestro país. Aunamos los intereses de nuestros 140 asociados y damos esa visión de cómo creemos que se debe desarrollar el hidrógeno en España. Desde hace 15 años estamos también conectados con otros países para dar a conocer lo que se hace en España a esos países y dar a conocer en España lo que se hace en esos países. Ahora, la Asociación, aparte de haber contribuido en la Hoja de Ruta, ha recibido el mandato de escribir la agenda sectorial de la industria del hidrógeno en España y para ponerla en manos del Gobierno en el primer trimestre del año que viene. Además, y por supuesto, estamos encantados de recibir a cualquier empresa que quiera trabajar en el desarrollo de la economía del hidrógeno en España.

➡ Maribel del Álamo

**“España tiene tecnología, empresas y centros de investigación que llevan trabajando desde hace dos décadas en tecnologías del hidrógeno con lo cual, no solo vamos a convertirnos en exportadores de hidrógeno, sino en desarrolladores y exportadores de tecnología y equipos”**



# entrevista

## José Luis Cabo Sánchez

Subdirector General de Hidrocarburos y Nuevos Combustibles. MITERD

*“Tenemos una industria muy potente y la posibilidad de impulsar la cadena de valor del hidrógeno renovable en España lo que va a contribuir a que podamos ser líderes dentro de la propia Unión Europea. Esto es lo que la Hoja de Ruta del Hidrógeno trata de mostrar: el potencial que tiene España para producir hidrógeno renovable a través de una electricidad renovable con costes muy competitivos, un aspecto que marca las diferencias con respecto a otros países de nuestro entorno”*



José Luis Cabo nació en una zona minera. Es fácil entender pues, porqué decidió convertirse en ingeniero de Minas. A partir de esa formación, su trayectoria profesional ha estado siempre ligada a la energía y más recientemente al hidrógeno. Su participación en la elaboración de la Hoja de Ruta del Hidrógeno le convirtió en interlocutor con todos los agentes implicados y, por ello, resulta imprescindible su aportación para entender mejor la importancia que esta Hoja de Ruta tiene en el futuro

energético de España y su trascendencia en la transición ecológica y el Reto Demográfico.

Destaca José Luis Cabo, sobre todo, la importancia del hidrógeno en la Transición Justa, en la descarbonización de la economía, en el empleo y en el transporte pesado, incluido el ferroviario donde la electrificación no es económicamente viable; en definitiva: un tren que España no puede perder.

### ¿Cuál ha sido su participación en la elaboración de la Hoja de Ruta del Hidrógeno?

He participado desde el principio, primero como Subdirector adjunto y luego como Subdirector General, tanto en la elaboración del texto inicial, como en las reuniones con las empresas, el sector público y sociedad civil para tener todos los inputs necesarios que permitiesen disponer de un texto final que finalmente se aprobó en octubre. Desde nuestra subdirección se ha valorado toda la información que nos llegaba desde las empresas para estudiarla, analizarla y construir un documento en el que se implicó y trabajó, tanto el anterior Subdirector General, como toda la Subdirección General de Hidrocarburos y Nuevos Combustibles, sin los que sin duda esto no hubiera sido posible.

### **Hoja de Ruta del Hidrógeno** MEDIDA 10:

**Identificar los polos de consumo de hidrógeno en la actualidad, fomentando e incentivando la creación de “valle o clústers de hidrógeno”. Se promoverá la constitución de Mesas del Hidrógeno Industrial junto a comunidades autónomas, administraciones locales, consumidores de hidrógeno y promotores de proyectos de producción de hidrógeno renovable, fomentando el desarrollo de proyectos piloto.**

*Una de las medidas importantes de la Hoja de Ruta se refiere a la ubicación de las plantas valle o clústers.*

El enfoque principal de la Hoja de Ruta va dirigido a fomentar la producción del hidrógeno renovable en aquellas zonas de España donde ya existe actualmente un consumo de hidrógeno, pero de origen fósil. Creemos que es lo más eficiente en el corto plazo y sin duda favorecerá la descarbonización inmediata de estas industrias que utilizan el hidrógeno como materia prima complementando el proceso de electrificación donde esta última no es la solución más eficiente o no es técnicamente viable. Esa es la línea a seguir y es lo que se planifica en la hoja de ruta hasta 2030, junto con el impulso del hidrógeno renovable en otros sectores donde pueda ser una alternativa sostenible y viable en el futuro.

### **Hoja de Ruta del Hidrógeno** MEDIDA 9:

**Elaborar estrategias de descarbonización a nivel nacional a largo plazo basadas en el hidrógeno renovable en aquellos sectores más difícilmente electrificables. Se basarán en el diálogo específico con cada sector.**

### ¿Cuál es la importancia de la implantación de las tecnologías del hidrógeno en las islas?

Tenemos unos sistemas energéticos aislados que son las islas y hay que prestarles una especial atención, así lo hacemos en la Hoja de Ruta. Existen a día de hoy proyectos piloto en marcha, por ejemplo, en Lloseta, Mallorca, para la producción de hidrógeno en diferentes usos como por ejemplo en movilidad. Vemos al hidrógeno renovable como una de las grandes alternativas que tienen las islas para descarbonizarse. A día de hoy, por ejemplo, en Canarias la mayoría de la producción de la producción eléctrica se realiza a través de combustibles fósiles; el hidrógeno renovable puede ser una de las vías que le dé a las islas la oportunidad de descarbonizarse a medio plazo. Hay que hacer una fuerte apuesta en las islas por las energías renovables y el hidrógeno verde, en los diferentes sectores identificados en la Hoja de Ruta: industria, flotas de autobuses urbanos, así como en los puertos y aeropuertos. Además, con ello se fomentará que las islas se conviertan en destinos turísticos sostenibles, alcanzando la neutralidad climática y atrayendo a nuevos visitantes a través de un turismo sostenible.

### **Hoja de Ruta del Hidrógeno** MEDIDA 47:

**Incentivar del diálogo con Portugal, Francia y otros países de la UE para impulsar la cooperación regional en el campo del hidrógeno renovable, bajo mecanismos europeos como el Connecting Europe Facility (CEF), favoreciendo el posicionamiento de la Península Ibérica en la producción del hidrógeno renovable y el potencial suministro de futuros excedentes a otros Estados miembros de la UE.**

### ¿Como estamos con respecto a la implantación del hidrógeno en comparación, por ejemplo, con Francia y Alemania?

Tanto Alemania como Francia son dos grandes potencias y tienen objetivos ambiciosos de penetración del hidrógeno en sus economías. Quizá destacaría que nuestra Hoja de Ruta del Hidrógeno hace una apuesta firme por el renovable, lo que es normal debido a la ventaja de esa gran capacidad de producción de energía eléctrica renovable a precios muy competitivos que Francia y Alemania a día de hoy no tienen.

Alemania según su Estrategia, a largo plazo, tendrá que importar hidrógeno si quiere descarbonizar todo su consumo actual de combustibles fósiles. La Hoja de Ruta identifica el potencial de España para convertirse en una de las principales potencias europeas en producción y exportación de hidrógeno renovable en el largo plazo. En esto tenemos que ir





***La implantación de las tecnologías del hidrógeno fomentará la creación de miles de puestos de trabajo, ¿cuál es, por tanto, la importancia de integrar estas tecnologías en los planes de estudio?***

Dentro de las medidas de la Hoja de Ruta, incluimos algunas de carácter transversal como el fomento del conocimiento del hidrógeno ya que es una tecnología, no nueva, pero sí que ahora se ha puesto en el foco en ella y hay que impulsar su inclusión en los planes formativos; es necesario que existan titulaciones adaptadas que formen a los distintos profesionales que vayan a trabajar en las distintas etapas de la cadena de valor del hidrógeno. Al final son medidas que van dirigidas a que España pueda ser líder y tenga planes educativos adaptados a estas tecnologías. Lo vivimos hace unos años con las renovables, que se incluyeron en los planes educativos y ahora es el momento para el hidrógeno. El fomento del hidrógeno renovable tiene la oportunidad de generar un gran número de empleos de alta cualificación y por ello los planes educativos tienen que adaptar su formación a estos futuros profesionales.

todos de la mano y la colaboración entre los Estados miembros será fundamental para reducir el coste de producción del hidrógeno renovable, algo que nos interesa a todos por igual y es lo que se plasma en la Estrategia Europea del Hidrógeno: el fomento de la cadena de valor europea.

***¿Y fuera de la Unión Europea?***

Japón tiene desde hace años una estrategia del hidrógeno y fue uno de los primeros países en apostar fuerte por estas tecnologías. Hay marcas de transporte que lideran el desarrollo de vehículos de pilas de hidrógeno. Quizá este país va un paso por delante, pero todos tenemos la oportunidad de ser líderes dentro de nuestra zona geográfica. A nivel europeo aún no se ha dado ese gran paso y por eso tenemos que destacar la posición de España y animarnos a intentar liderar ese desarrollo.

## **Hoja de Ruta del Hidrógeno MEDIDA 37:**

**Impulsar el estudio de las tecnologías del hidrógeno en los planes educativos de titulaciones existentes que tengan relación temática, a nivel de grado universitario y ciclo formativo de grado medio y superior, analizando por parte de las universidades y las autoridades educativas competentes la necesidad de titulaciones específicas dedicadas al conocimiento y desarrollo del sector del hidrógeno.**

***¿Cómo se va a pagar el coste de la implantación del hidrógeno? La cifra calculada de 8900 millones de euros, ¿es realista?***

Esos 8900 millones los calculamos a partir de información real de proyectos que íbamos conociendo y analizando detenidamente, así es como llegamos a esa cifra de inversión necesaria para alcanzar los objetivos que marca la Hoja de Ruta.

Es cierto que existen incógnitas sobre la variación de la horquilla en cuanto a la evolución del coste del hidrógeno renovable, lo que sin duda marca nuestras estimaciones de inversión. Los proyectos son reales y para alcanzar 4 gigavatios de potencia instalada en 2030 creemos que es posible con una inversión de 8900 millones de euros. Se parte de la base de una información fiable, que tendrá que ir evolucionando y lo normal y esperable es que el coste de la producción de hidrógeno renovable y de los electrolizadores se vaya reduciendo en los próximos diez años. Hay informes, como el de la Agencia Internacional de la Energía, que predice esta caída del coste del hidrógeno renovable, algo que será beneficioso para el despegue a partir de la segunda mitad de esta década. La Hoja de Ruta tiene un objetivo intermedio de 300-600 megavatios en 2024 muy en línea con lo que establece la estrategia europea y nosotros creemos que es a partir de ahí cuando crecerá de forma exponencial la potencia instalada de electrolizadores.

Pero, a día de hoy ya tenemos proyectos bastante maduros en España que son públicos y que pueden entrar en operación el próximo año; es ambicioso, pero va a funcionar. En cuanto a los mecanismos de financiación destacaríamos tres: la propia inversión privada de las empresas que es imprescindible; la

financiación de fondos europeos a través de programas como el *Innovation Fund* y en tercer lugar, pero no menos importante, mediante los fondos Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Estos mecanismos van a tener un papel fundamental para que, sobre todo en estas primeras fases de desarrollo, el coste de producción de hidrógeno renovable pueda alcanzar unos valores suficientemente bajos para hacerlo competitivo en relación con otras fuentes de energía.

### Hoja de Ruta del Hidrógeno MEDIDA 15:

**Promover los estudios y ensayos de viabilidad de la sustitución de los trenes diésel por trenes de pila de combustible de hidrógeno para su circulación por líneas parcialmente o no electrificadas, en línea con propuesto en la Estrategia Europea del Hidrógeno.**

*¿Cuál es el papel del hidrógeno en el sector ferroviario?*

En España hay bastantes líneas que no pueden ser electrificadas y que, por tanto, trabajan con locomotoras diésel y creemos que el hidrógeno puede jugar un papel importante, incluso a corto plazo. Son líneas donde económicamente no es viable la electrificación, por tanto una opción de descarbonización en estos casos podría pasar por la sustitución de las locomotoras diésel por locomotoras de hidrógeno. Tenemos ya proyectos en España de empresas pioneras en el sector ferroviario sobre la mesa y es una alternativa que aportaría muchísimos beneficios a la sociedad y a nuestros objetivos de descarbonización. En la Hoja de Ruta nos fijamos el objetivo de disponer de dos líneas comerciales que trabajarían con locomotoras de hidrógeno, pero creo y espero que ese objetivo se quede corto y podamos tener más las líneas en 2030. Este será uno de los objetivos que, afortunadamente, habrá que revisar.

### Hoja de Ruta del Hidrógeno MEDIDA 41:

**Potenciar nuevos núcleos energéticos de producción de hidrógeno renovable que contribuyan a evitar la despoblación rural y a conseguir los objetivos de reto demográfico, con especial atención a las regiones de transición justa.**

*¿Qué se pretende en la Hoja de Ruta para las regiones de Transición Justa?*

Las comarcas mineras y las zonas donde se están produciendo los cierres de las centrales nucleares y térmicas de carbón son las zonas que actualmente se denominan Zonas de Transición Justa; yo provengo de una zona minera y estoy muy cercano al

concepto de reto demográfico y de transición justa. Se pueden generar nuevas oportunidades y creo que tenemos la responsabilidad de mirar hacia estas zonas para atenuar los impactos de la transición hacia una economía descarbonizada, que tiene unos objetivos fundamentales, ser justa e inclusiva. Estas zonas pueden tener un papel fundamental en el desarrollo de estos proyectos novedosos, fomentando el empleo y el crecimiento económico de las mismas.

### Hoja de Ruta del Hidrógeno 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.**

*Son fundamentales en el cumplimiento de los objetivos a largo plazo el almacenamiento y el transporte. ¿Es necesaria la construcción inmediata de hidroductos?*

En el corto plazo preveo que no será necesario; considerando que estamos planificando una sustitución de hidrógeno fósil por hidrógeno renovable en aquellas localizaciones donde se consume, no se requiere la construcción de hidroductos porque el consumo es directo; donde se produce, se consume, no hay que transportarlo en largas distancias. Con ello evitamos los elevados costes asociados al transporte, ya sea mediante portadores de hidrógeno, en estado gaseoso o en estado líquido. En términos generales, los costes de transporte y almacenamiento pueden llegar a suponer una parte muy importante de su coste y por tanto afectar a la competitividad del hidrógeno renovable frente a otras fuentes de energía.

Sin embargo, en el largo plazo es posible que sí existan hidroductos dedicados, pero para ello es necesario que, en primer lugar, estén claros los puntos de producción y de consumo. Estamos en las primeras fases de despliegue de la tecnología. No hay que dar pasos en falso. En cuanto al almacenamiento, el hidrógeno es una de las soluciones para la integración sectorial con la posibilidad de aportar flexibilidad dentro de un sistema eléctrico con alta penetración de fuentes de producción renovable. En la estrategia de almacenamiento se aborda esta problemática y las posibilidades que tiene el hidrógeno para absorber el excedente de producción de electricidad renovable que servirá para cubrir los momentos en los que haya poco viento o sol. Este déficit de producción se podrá cubrir en el futuro con el hidrógeno renovable para volver a producir electricidad.

➡ Maribel del Álamo





# La apuesta por el hidrógeno verde

Marta Maroño Buján

CIEMAT

El mundo está apostando por el hidrógeno verde, ¿por qué?, ¿qué tiene de especial? La identificación del hidrógeno en función del color se emplea ya de forma generalizada como distintivo para establecer las estrategias e inversiones adoptadas en todo el mundo. Es por lo tanto un aspecto relevante a tener en cuenta, a pesar de que el hidrógeno, como todos sabemos, es incoloro.

Países como Japón o Australia destacan ya por un desarrollo del mercado internacional de hidrógeno verde para satisfacer su consumo mientras que otros como Marruecos o Chile apuntan a convertirse en centros interna-

cionales de producción y exportación de hidrógeno verde debido a su excepcional disponibilidad de energías renovables <sup>[1]</sup>. ¿Cómo está posicionándose Europa en esta apuesta?

## El color del hidrógeno: gris-marrón, azul, verde

El hidrógeno (H<sub>2</sub>) es la molécula más abundante en el universo, pero es muy poco frecuente encontrar hidrógeno libre porque es un gas muy poco denso que escapa con facilidad a las capas altas de la atmósfera.

La industria puede considerarse actualmente el mayor consumidor de hidrógeno, se estima un consumo mundial de más de 60 millones de toneladas de hidrógeno al año, fundamentalmente en aplicaciones industriales y dicho consumo va en aumento (figura 1) [2].

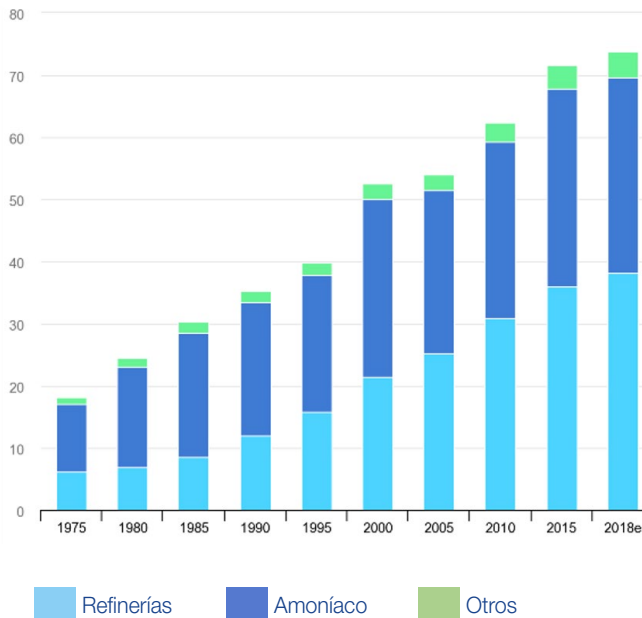
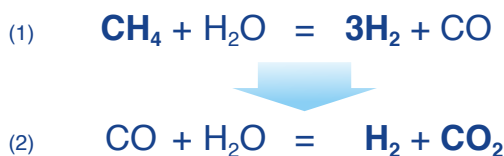


Figura 1: Crecimiento de la demanda global de hidrógeno (Mt), 1975-2018 [2]

El hidrógeno hay que producirlo y “extraerlo” de otros elementos o compuestos que lo contienen y actualmente el 96% de todo el hidrógeno producido y consumido en el mundo es de origen fósil, obtenido mediante procesos de reformado de gas natural, crudo y carbón. Así, la tecnología más extendida para la producción de hidrógeno es el reformado de gas natural con vapor de agua, de acuerdo con las ecuaciones consecutivas (1) reformado y (2) conversión del monóxido de carbono en hidrógeno:



Sin embargo, en este proceso, ventajoso para la producción de H<sub>2</sub> (4 moléculas de hidrógeno por cada molécula de metano) se produce dióxido de carbono, con el consiguiente impacto medioambiental negativo que supone su emisión a la atmósfera. Para evitar dichas emisiones surgen diferentes alternativas tecnológicas: añadir al proceso de reformado la captura del CO<sub>2</sub> producido o eliminar

completamente su producción utilizando un recurso natural sin carbono: el agua (H<sub>2</sub>O). Surge entonces la identificación del hidrógeno de diferentes colores según la tecnología empleada para su obtención:

**Hidrógeno marrón-gris:** obtenido por reformado de gas natural o carbón sin considerar la captura del CO<sub>2</sub> producido en el proceso

**Hidrógeno azul:** hidrógeno obtenido por reformado de recursos fósiles incluyendo la captura de CO<sub>2</sub> y por lo tanto evitando la emisión a la atmósfera del CO<sub>2</sub> producido en el proceso.

**Hidrógeno verde:** hidrógeno producido mediante electrolisis del agua, sin producción de CO<sub>2</sub>.

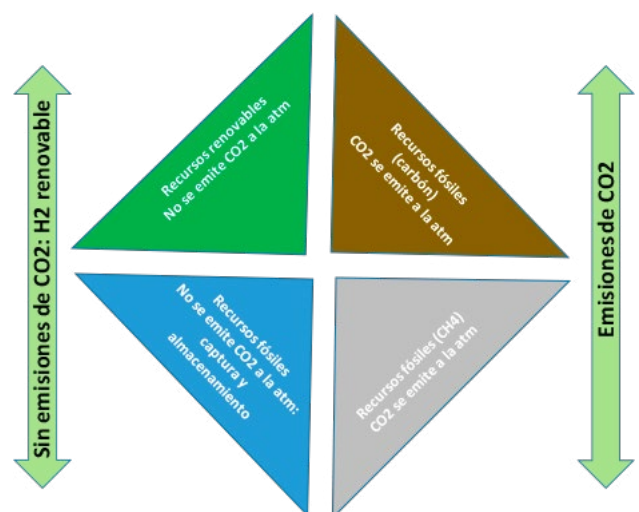


Figura 2: Los colores del hidrógeno

Desde la perspectiva de los beneficios medioambientales también se emplea el término *hidrógeno renovable* para referirse al hidrógeno verde junto con el azul, asociado frecuentemente a soluciones propuestas para la transición energética imprescindible en Europa hasta la completa sustitución del uso de recursos fósiles por recursos renovables.

## Apuesta de Europa por el hidrógeno renovable

La necesidad de alcanzar los objetivos de descarbonización se ha acelerado por fin y en muy poco tiempo hemos sido testigos de iniciativas concretas que demuestran la apuesta firme de la Unión Europea por conseguirlos: El Pacto Verde de la UE, la Estrategia Europea de Hidrógeno y la *European Clean Hydrogen Alliance* (ECHA) conforman la estructura básica sobre la que los países europeos han ido construyendo sus hojas de ruta y planes estatales de descarbonización y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.



El “Green Deal” (Pacto Verde) <sup>[3]</sup>, es la respuesta que la Unión Europea ha dado a una de las seis prioridades que la Comisión se ha fijado para los próximos cinco años: la lucha contra el cambio climático. Este plan, publicado a finales de 2019, pretende convertir a Europa en el primer continente climáticamente neutro y para ello define cincuenta acciones concretas. Estas actuaciones tienen la finalidad de iniciar una transición hacia una economía limpia y circular, reducir la contaminación y las emisiones y proteger la biodiversidad detallando además las inversiones y las herramientas que serán necesarias para poner en marcha este proceso.

En respuesta al compromiso adquirido en el Pacto Verde, en julio de 2020 se publica la *Estrategia Europea de Hidrógeno* <sup>[4]</sup> que propone la conversión de Europa en un ecosistema basado en hidrógeno renovable. La descarbonización es un objetivo prioritario de esta estrategia y, en una proyección a 2050, Europa ha definido una hoja de ruta que incluye soluciones basadas en hidrógeno verde en el que la electricidad necesaria en el proceso se obtiene de fuentes renovables (solar, eólica), reconociendo también que a corto y medio plazo otras tecnologías bajas en carbono van a ser necesarias.

En dicha estrategia, el hidrógeno desempeña un papel significativo en varios ámbitos: (1) para reemplazar a los combustibles fósiles en industrias intensivas en emisiones de CO<sub>2</sub>, como la industria del acero o la industria química o (2) para facilitar

el almacenamiento de energía producida por renovables no gestionables como eólica o fotovoltaica y la conexión entre lugares de producción y de consumo distantes entre sí.

Esta ambiciosa hoja de ruta se llevará a cabo mediante un desarrollo en tres etapas:

◆ **Fase I:** incluye la instalación de 6 GW de hidrógeno renovable en la UE producido a partir de electrólisis del agua en 2024 y la producción de 1 millón de toneladas de H<sub>2</sub> renovable.

◆ **Fase II:** el hidrógeno pasará a formar parte de un sistema energético integrado en el que se incluirá la instalación como mínimo de 40 GW de electrolizadores para 2030 y la producción de 10 millones de toneladas de H<sub>2</sub> renovable en la Unión Europea

◆ **Fase III:** de 2030 a 2050, las tecnologías de producción de hidrógeno renovable deberían haber alcanzado la madurez tecnológica necesaria para su completo despliegue a escala industrial. En particular el hidrógeno y los combustibles sintéticos derivados del H<sub>2</sub> podrían penetrar de forma significativa en numerosos sectores de la economía, desde aviación hasta sectores de difícil descarbonización.

Para apoyar estos desarrollos se constituye la *European Clean Hydrogen Alliance (ECHA)* <sup>[5]</sup>, cuya reunión de lanzamiento tuvo lugar el 8 de julio de 2020, y que facili-



**En julio de 2020 se publica la Estrategia Europea de Hidrógeno que propone la conversión de Europa en un ecosistema basado en hidrógeno renovable. La descarbonización es un objetivo prioritario de esta estrategia y, en una proyección a 2050, Europa ha definido una hoja de ruta que incluye soluciones basadas en hidrógeno verde en el que la electricidad necesaria en el proceso se obtiene de fuentes renovables, reconociendo también que a corto y medio plazo otras tecnologías bajas en carbono van a ser necesarias**

tará la definición de mecanismos para proporcionar instrumentos de financiación, imprescindibles para llevar a cabo la estrategia. Actualmente forman parte ya de esta alianza internacional casi 400 empresas, 50 organismos de investigación y más de 25 representantes de autoridades públicas.

Es muy importante también señalar que esta apuesta por el hidrógeno verde requiere la disponibilidad de energías renovables para su producción y cuyos costes deben tenerse en cuenta en el coste final del hidrógeno, todavía elevado actualmente. Sin embargo, la disminución de los costes de la energía renovable, junto con un aumento de la demanda de hidrógeno verde, podría hacer competitivo su precio para el año 2050 <sup>[6]</sup>. Adicionalmente, el despliegue del uso del hidrógeno renovable a gran escala requiere inversiones significativas en infraestructuras que las estrategias deben tener en cuenta.

Europa se dirige hacia un objetivo común y los diferentes países se van sumando poco a poco, con aproximaciones que se ajustan a sus propias necesidades y capacidades. Países como Alemania, Francia, Holanda, Reino Unido o Portugal han ido publicando sus hojas de ruta para el despliegue del hidrógeno a los cuales se ha sumado España recientemente, publicando la Hoja de Ruta del Hidrógeno <sup>[7]</sup>. La tabla 1 resume los principales objetivos y programas de financiación anunciados por algunos de los países mencionados para el periodo 2030-2050.

### Alemania

Alemania aprueba su Estrategia Nacional del Hidrógeno<sup>[8]</sup> basada en una serie de elementos clave: (1) «sólo el hidrógeno producido a partir de energías renovables (hidrógeno ‘verde’) es sostenible a largo plazo» y (2) el uso del hidrógeno producido se centrará en “el transporte marítimo, la aviación, el transporte de mercancías pesa-

das y la industria (empezando por las industrias siderúrgica y química)”. Para conseguirlo propone una inversión de 9000 millones de euros para la instalación de 10 GW de electrolizadores para 2040 y un paquete de 7000 millones de euros para los sectores indicados. Sin embargo, reconoce también que, durante un periodo de transición, el «hidrógeno azul» estará disponible en el mercado y su uso será tolerado en Alemania durante un período de transición.

***Europa se dirige hacia un objetivo común y los diferentes países se van sumando poco a poco, con aproximaciones que se ajustan a sus propias necesidades y capacidades. Países como Alemania, Francia, Holanda, Reino Unido o Portugal han ido publicando sus hojas de ruta para el despliegue del hidrógeno a los cuales se ha sumado España recientemente, publicando la Hoja de Ruta del Hidrógeno***







Instalaciones de producción de H<sub>2</sub> renovable del CIEMAT.

## Francia

El gobierno ha definido tres prioridades de la estrategia del hidrógeno <sup>[9]</sup>: (1) Francia quiere descarbonizar la industria apostando por el hidrógeno verde, 6,5 GW de hidrógeno verde para 2030 disponiendo para ello de 7200 millones de euros, (2) el desarrollo de vehículos de transporte público y de mercancías comerciales propulsados por hidrógeno, incluidos trenes y camiones de basura, en grandes territorios y (3) un programa de I + D y desarrollo de habilidades en institutos de investigación, universidades y escuelas de ingeniería el próximo año. Para ello dedicará 65 millones de euros y los 3400 millones de euros asignados al hidrógeno hasta 2023 se dividirán en un 54% en descarbonización, un 27% en transporte público y mercancías y un 19% en I+D, innovación y formación.

## Portugal

Portugal se ha marcado como objetivo último el “convertir Portugal en un país exportador de hidrógeno”. Para ello ha definido su Estrategia Nacional para el Hidrógeno de Portugal (EN-H2) 2030 <sup>[10]</sup>, en línea con Plan nacional de Energía y Clima (PNEC 2030), en el cual plantea, en ese horizonte, inversiones por valor de 7000 millones de euros en proyectos de producción de hidrógeno verde con 2,5 GW de capacidad instalada de electrólisis y “ayudas a la inversión y a la producción” de cerca de 900 millones. Plantean, además, aprovechar su moderna red de gas natural para que lo que circule por ella sea hasta un 15% de hidrógeno en 2030.

## Holanda

La estrategia nacional holandesa en hidrógeno <sup>[11]</sup> destaca la importancia del desarrollo del hidrógeno limpio (*clean*) y su relevancia para el país. A dicha estrategia le acompaña una agenda política que constituye el comienzo del programa de hidrógeno que están llevando a cabo y que está alineado con el Acuerdo Nacional del Clima (*National Climate Agreement*).

De acuerdo con dicha estrategia, el reto principal es establecer una cadena de valor del hidrógeno limpio y la segunda prioridad es contribuir a hacer una realidad la reducción de los costes de producción del hidrógeno verde. Para ello, el Acuerdo Nacional del Clima incluye la ambición de alcanzar una capacidad de electrólisis instalada de 500 MW en 2025 y de 3-4 GW en 2030.

País	Potencia instalada de electrólisis en 2030-2050	Inversión (M€)
Alemania	10 GW en 2040	9000
Francia	6,5 GW en 2030	7200
Holanda	500 MW para 2025 3-4 GW en 2050	Ayudas a proyectos: • Subvenciones a I+D+i • 35/año a proyectos piloto
Portugal	2,5 GW en 2030	7000 + 900
España	300-600MW en 2024 4 GW en 2030	8900

Tabla 1: **Objetivos e inversiones de los diferentes países hasta 2030-2050**

## Apuesta de España por el hidrógeno renovable y verde

La publicación del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC, 2020 <sup>[12]</sup>) constituye un gran avance en España hacia la descarbonización, incidiendo en un incremento significativo del desarrollo de las energías renovables para 2030 (50 GW eólica and 39 GW fotovoltaica). Este aumento de la disponibilidad de energía renovable ofrece una oportunidad única para la producción de hidrógeno verde en España, donde el consumo anual, utilizado fundamentalmente como materia prima en la industria del refino, la química y los fertilizantes, se estima en 0,5 Mt H<sub>2</sub>/año. Actualmente esta producción genera unas emisiones de 5 Mt de CO<sub>2</sub>/año, que se convierten en





830 Mt de CO<sub>2</sub>/año a nivel mundial (más del 2% de las que se generan en el mundo) y la disponibilidad de hidrógeno verde y renovable permitiría reducir el volumen de emisiones.

Desde julio de este año, España dispone ya también de una estrategia de hidrógeno, materializada en una hoja de ruta que ha publicado el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) y que “considera esencial la creación y el fomento de un entorno favorable para la oferta y demanda de hidrógeno renovable” y reconoce explícitamente que “el hidrógeno renovable es una solución sostenible clave para la descarbonización de la economía (...) y es parte de la solución para lograr la neutralidad climática en 2050 y desarrollar cadenas de valor industriales innovadoras en España y en la UE, así como una economía verde de alto valor añadido”. En la hoja de ruta del hidrógeno definida en España, se estima que para el año 2024 podría alcanzarse un valor total de potencia instalada de electrolizadores de entre 300 y 600 MW y se prevé la instalación de al menos 4 GW en 2030. La hoja de ruta incluye asimismo previsiones para el sector del transporte, industrial y eléctrico/almacenamiento de energía y recoge que serán necesarias inversiones económicas estimadas en 8900 millones de euros para la puesta en marcha de proyectos de producción de hidrógeno renovable y generación eléctrica renovable asociada, adaptaciones industriales y movilidad. La hoja de ruta contiene 60 medidas específicas que promueven el desarrollo de las tecnologías de producción de hidrógeno verde junto con otros modos de producción bajos en carbono. Algunas de las medidas, directamente relacionadas con las iniciativas de hidrógeno renovable son:

◆ **Simplificación administrativa y eliminación de barreras regulatorias:** para favorecer la competitividad del hidrógeno renovable; Creación de un sistema de Garantías de Origen (GdO),

◆ **Impulso a la aplicación del hidrógeno renovable en la industria:** elaborar estrategias de descarbonización a nivel nacional a largo plazo basadas en el hidrógeno renovable en aquellos sectores más difícilmente electrificables. Identificar los polos de consumo de hidrógeno en la actualidad, fomentando e incentivando la creación de “valle o *clústers* de hidrógeno”.

◆ **Integración de vectores energéticos:** Analizar la viabilidad de producción de hidrógeno renovable a partir de residuos; Favorecer la producción de hidrógeno a partir de biogás sostenible en los casos en los que suponga una solución medioambiental y económicamente más eficiente que el hidrógeno renovable procedente de electrólisis.

◆ **Impulso a la I+D+i:** Propiciar el desarrollo nacional de electrolizadores de grandes potencias (100 MW); Fomentar la I+D+i en las tecnologías de reciclado de elec-



**Resulta imprescindible acompañar los desarrollos a gran escala con actividades de I+D+i que permitan sustentar el avance de las tecnologías. En ese sentido, España cuenta actualmente con una gran capacidad investigadora. Según datos de la plataforma española de hidrógeno y pilas de combustible, España cuenta actualmente con más de 195 entidades con actividad en I+D+i en estas tecnologías las cuales suman una dedicación de más de 850 especialistas. El porcentaje de publicaciones científicas en hidrógeno y pilas de combustible es el doble del PIB de España y la representación de empresas tecnológicas y centros de investigación nacionales es significativa**

trolizadores, pilas de combustible y otros sistemas y componentes utilizados en la cadena de valor del hidrógeno.

Esta apuesta es muy ambiciosa, pero cuenta con el respaldo e interés de un completo entramado de agentes nacionales formado por grandes empresas y PYMES, centros de investigación, universidades, asociaciones y organismos oficiales. Un estudio reciente de las capacidades disponibles en España en relación a las tecnologías del hidrógeno <sup>[13]</sup> indica que nuestro país ha dado un extraordinario giro positivo en los últimos cinco años y que para el año 2030, la Asociación española del H<sub>2</sub> (AeH2) ha estimado <sup>[14]</sup> que el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno y de las pilas de combustible en España podría suponer una inversión acumulada de unos 3500 millones de euros y un volumen de negocio de 1300 millones de euros anuales, con una creación de 227 000 puestos de trabajo. Además, se evitaría la emisión de más de 15 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Estos análisis confirman la idoneidad del momento y la oportunidad que supone para España la apuesta por el hidrógeno renovable.

En este panorama de avances resulta imprescindible acompañar los desarrollos a gran escala con actividades de I+D+i que permitan sustentar el avance de las tecnologías. En ese sentido, España cuenta actualmente con una gran capacidad investigadora en esta área. Según datos disponibles de la plataforma española de hidrógeno y pilas de combustible PTEHPC <sup>[15]</sup>, España cuenta actualmente con más de 195 entidades con actividad en I+D+i en estas tecnologías las cuales suman una dedicación de más de 850 especialistas. El porcentaje de publicaciones científicas en hidrógeno y pilas de combustible es el doble del PIB de España y la representación de empresas tecnológicas y centros de investigación nacionales es significativa. A modo de ejemplo en la figura 2 se presenta la distribución de actividades de investigación según el tipo de entidad, extraída del estudio de capacidades realizado por el Ciemat y la AeH2 durante 2019 <sup>[13]</sup>. Es interesante observar una dedicación importante de actividades de I+D+i a las tecnologías de producción de hidrógeno, con un esfuerzo mayor de las empresas a las tecnologías electrolíticas, relacionadas con la producción de hidrógeno verde.

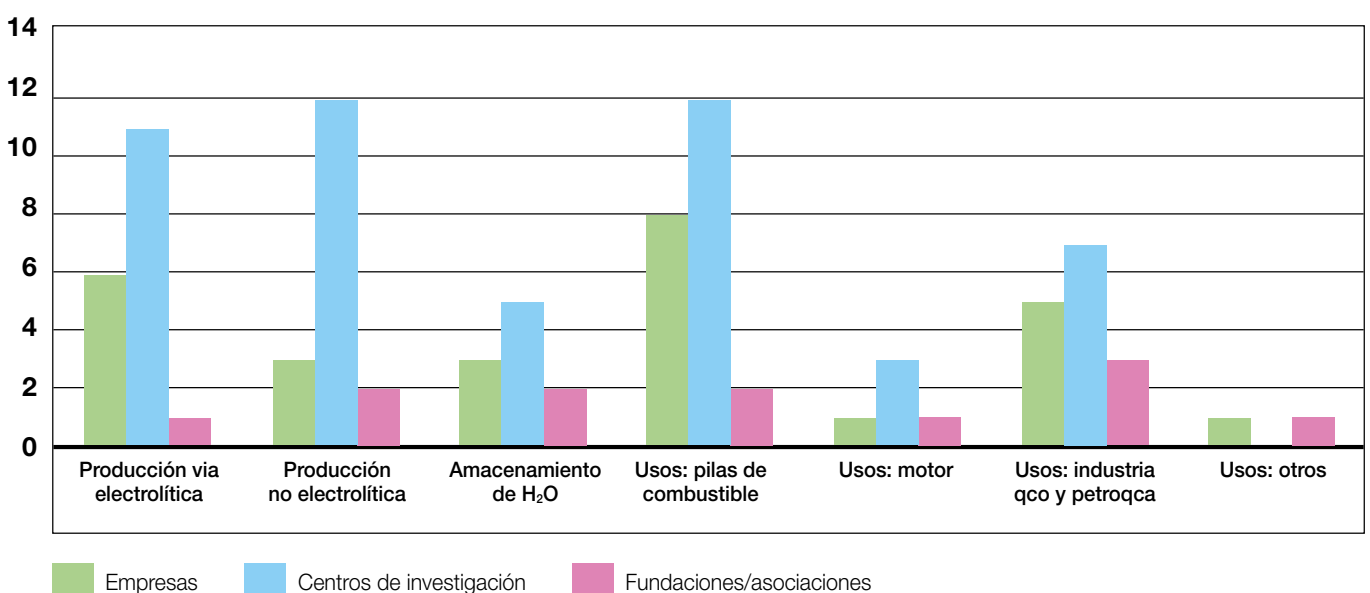


Figura 3: Distribución de actividades de investigación según el tipo de entidad <sup>[13]</sup>

## Ejemplos de grandes iniciativas de producción de hidrógeno verde en Europa

El número de iniciativas europeas de producción de hidrógeno verde ha ido aumentando de forma significativa durante los últimos años. La asociación europea *Hydrogen Europe*, en su informe *Hydrogen Europe 2020 Monitor* <sup>[16]</sup> recoge el estado de desarrollo de las tecnologías de H<sub>2</sub> en Europa y lo actualiza año a año para servir de base a decisiones políticas o inversiones en los diversos países. En relación a los desarrollos de tecnologías de producción de hidrógeno verde, también identificadas como Power-to-H<sub>2</sub> (PtH), dicho informe recoge que el país con la mayor capacidad anunciada de implantación de electrolizadores es Holanda, con 12,909 MW, seguida de España con 2,252 MW, Alemania con 1,548 MW, Francia con 1,172 MW y Portugal con 1,001 MW. Estos seis países representan el 96% de la capacidad de PtH planeada y el 66% de los proyectos planificados. La figura 3 incluida a continuación muestra esta previsión:

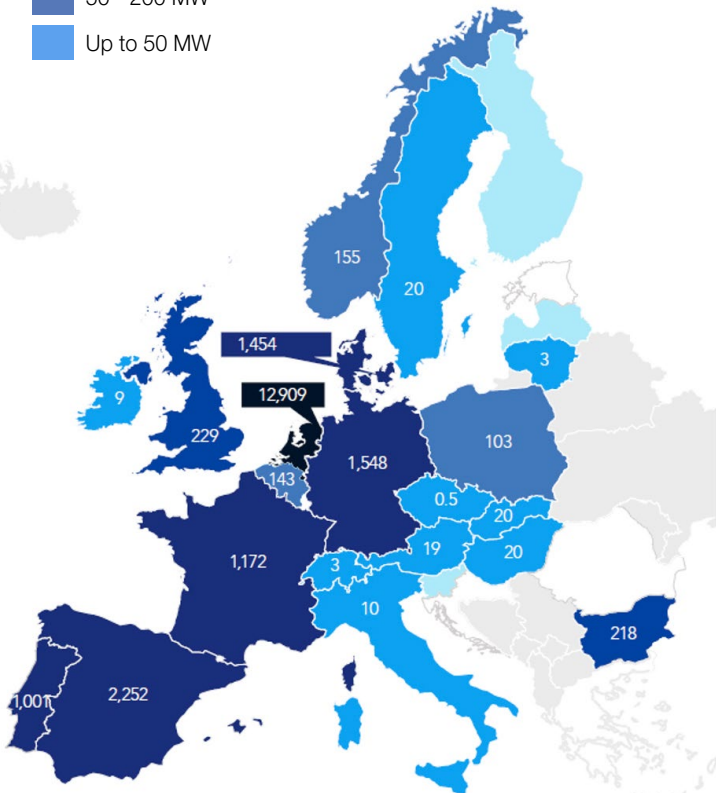
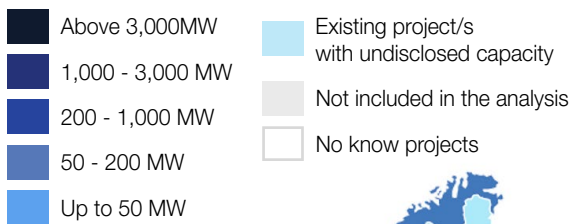


Figura 4: Mapa de las capacidades de electrolizadores previstos periodo 2020-2040 en MW. Fuente: Hydrogen Europe <sup>[16]</sup>

**En relación a los desarrollos de tecnologías de producción de hidrógeno verde, también identificadas como Power-to-H<sub>2</sub> (PtH), dicho informe recoge que el país con la mayor capacidad anunciada de implantación de electrolizadores es Holanda, con 12,909 MW, seguida de España con 2,252 MW, Alemania con 1,548 MW, Francia con 1,172 MW y Portugal con 1,001 MW. Estos seis países representan el 96% de la capacidad de PtH planeada y el 66% de los proyectos planificados**

Sin pretender realizar una descripción exhaustiva, en este apartado se resumen algunos de los proyectos recientes de demostración (gran escala) en países de la Unión Europea que han ido incorporándose a la apuesta del hidrógeno verde, con especial atención a las iniciativas españolas, y en las que el objetivo es la producción de hidrógeno verde y su uso directo por ejemplo en transporte o en la industria. Otros proyectos mencionados en este resumen abordan otros usos propuestos para el hidrógeno verde como, por ejemplo, su inyección en la red gasista o la utilización del hidrógeno producido para la producción de metanol o combustibles sintéticos. La información ha sido tomada directamente de fuentes públicas y accesibles a través de noticias y páginas web de los propios proyectos. Se incluyen algunas de ellas como referencia pero existen más disponibles:



### **Alemania: proyecto Westküste 100** <sup>[17]</sup>

Este es un proyecto pionero en Alemania que pretende demostrar la producción *offshore* de hidrógeno verde. Es un proyecto financiado por el gobierno alemán, el cual ha aportado 30 M EUR y que ayudará a la descarbonización de los sectores transporte e industria pesada en la zona noroeste de Alemania. El proyecto se desarrollará en varias fases, la primera consiste en construir un electrolizador de 30 MW y demostrar primero su correcto funcionamiento para escalar en una fase siguiente la tecnología hasta 700 MW. El proyecto incluye, además, la demostración del transporte del hidrógeno producido *offshore* mediante tuberías existentes y nuevas y la recopilación de información sobre la operación, mantenimiento, control y servicios de red de toda la planta.

### **Francia: proyecto Hygreen Provence** <sup>[18]</sup>

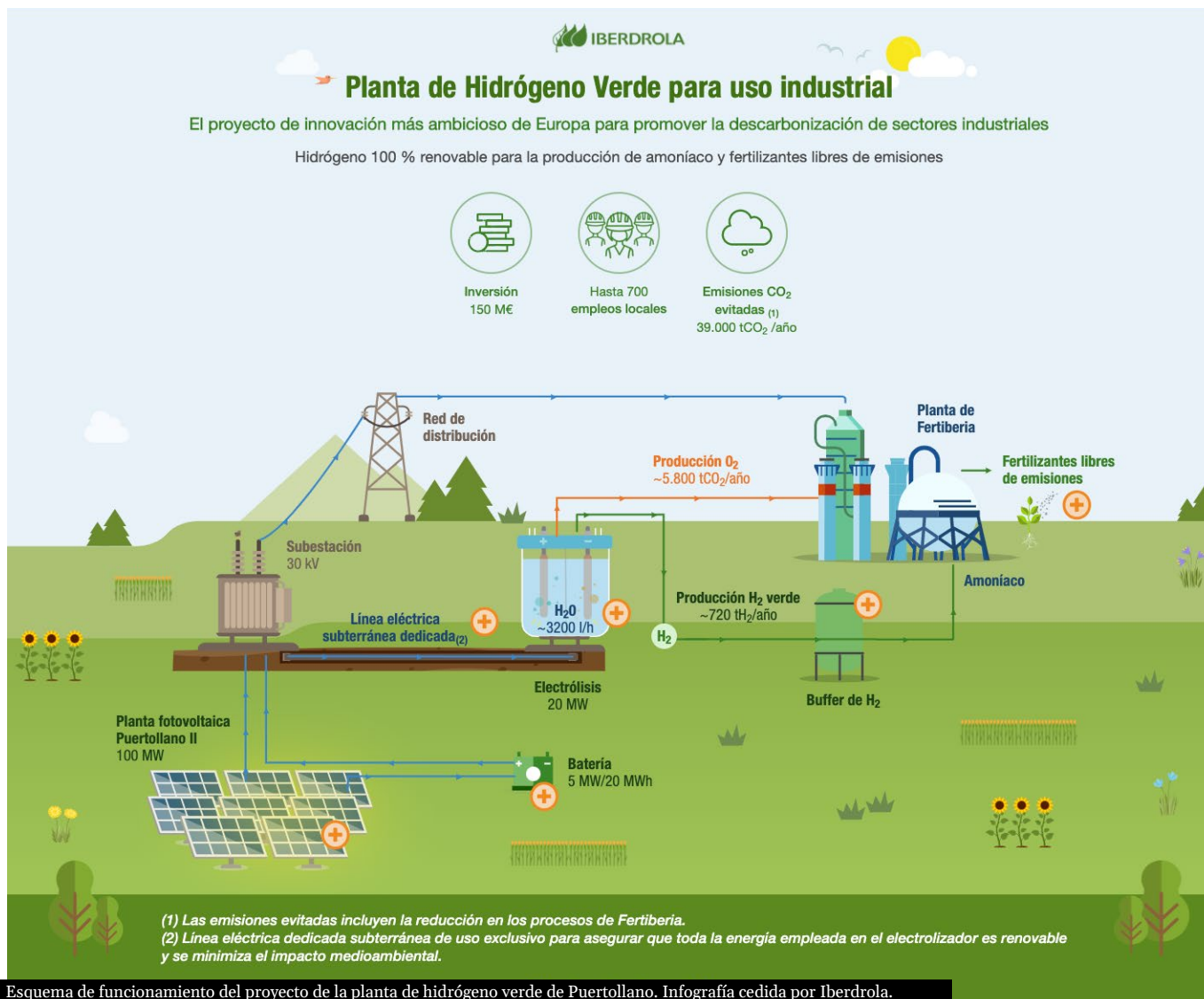
Liderado por ENGIE y apoyado por Air Liquide y DLVA (Durance, Luberon, Verdon), el proyecto Hygreen, con un presupuesto total de 300 M euros, propone la producción de 1,300 GWh de electricidad a partir de energía solar fotovoltaica y la producción de 10 000 toneladas de hidrógeno al año para su uso en transporte y almacenamiento en cavernas de sal en la región francesa de Provence Alpes

Côte d'Azur y su uso en movilidad, energía y usos industriales tanto local como regionalmente. El proyecto se propone en varias fases, la primera fase estará lista a finales de 2021 y la final en 2027. Durante la primera fase, el hidrógeno se empleará como combustible en una flota de aproximadamente 50 autobuses hasta 2023 y posteriormente se desarrollará el almacenamiento de hidrógeno en cavernas de sal hasta 2024. Finalmente, la producción fotovoltaica de hidrógeno y su almacenamiento se extenderán hasta 2027.

### **Austria: proyecto H2future** <sup>[19]</sup>

El proyecto H2future, financiado con 12 millones de euros por la Comisión Europea, pondrá en marcha en Austria (Linz) una de las mayores plantas de producción de hidrógeno verde disponibles hasta el momento, utilizando 6 MW de electrolizadores PEM (tipo Membrana Polimérica) y el hidrógeno producido (1200 Nm<sup>3</sup>/h) se inyectará directamente en la red gasista y se empleará en diferentes etapas de la producción de acero. La idea principal es usar el exceso de energía renovable para generar hidrógeno en condiciones de demanda baja, y utilizar el hidrógeno almacenado para complementar la energía renovable en condiciones de demanda alta. El proyecto tiene prevista su finalización a mediados de 2021.





### Holanda: proyecto NorthH2 [20]

En el norte de los Países Bajos se ubica el proyecto NorthH2 cuyo objetivo final es la producción de 800 000 toneladas de hidrógeno verde con 3-4 GW de electrolisis (situados en la localidad de Eemshaven) alimentados con energía eólica offshore. NorthH2 prevé la construcción de parques eólicos en el Mar del Norte, que pueden crecer gradualmente hasta una capacidad de aproximadamente 10GW. Durante 2020 se realizará el estudio de viabilidad y si es positivo y el proyecto se realiza permitirá que Holanda esté produciendo hidrógeno verde en 2027. El proyecto está liderado por Royal Dutch Shell y la compañía de gas holandesa Gasunie y pretende ser el proyecto de hidrógeno verde más grande del mundo. Según las previsiones, NorthH2 podría estar produciendo 800 000 toneladas de hidrógeno verde en 2040, con un ahorro de impuestos sobre el carbono de 1000 millones de euros en 2040, incluso si

la tasa de impuestos sobre el carbono se mantiene sin cambios a partir de 2030.

### España: proyecto de Iberdrola y Fertiberia [21]

Las empresas Iberdrola y Fertiberia se han aliado, activando una inversión de 150 millones de euros, para la construcción de la mayor planta de hidrógeno verde a partir de fuentes 100% renovables para uso industrial en Europa. La solución propuesta estará operativa en 2021 y estará formada por una planta solar fotovoltaica de 100 MW, un sistema de baterías de ion-litio con una capacidad de almacenamiento de 20 MWh y uno de los mayores sistemas de producción de hidrógeno mediante electrolisis del mundo (20 MW). El hidrógeno verde producido se usará en la fábrica de amoníaco de Fertiberia en Puertollano (Ciudad Real), actualmente una de las más eficientes de la Unión Europea con una capacidad de producción superior a las 200 000 t/año.





Planta de Cemex en Lloseta (Mallorca), donde se instalará el proyecto Green Hysland. Foto: Govern Balear.

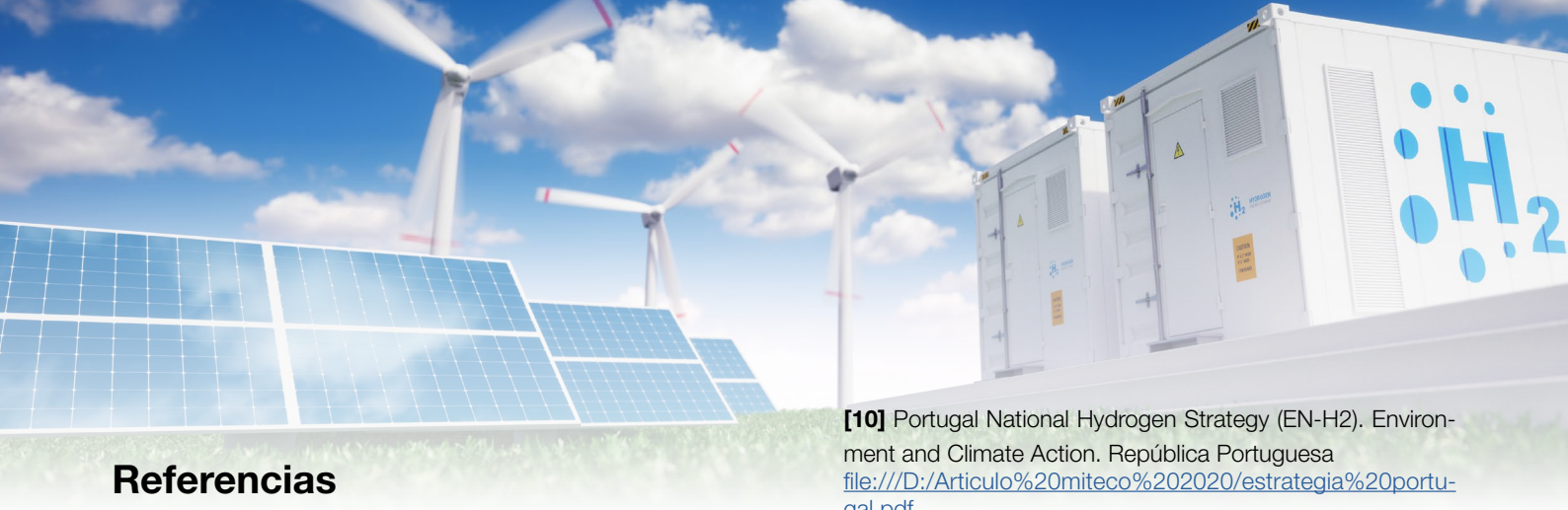
### España: proyecto Hysland <sup>[22]</sup>

El proyecto de hidrógeno verde “Green Hysland”, puede considerarse el primer proyecto estratégico (*flagship*) del Sur de Europa y creará un “ecosistema de hidrógeno verde” en las islas Baleares. Este proyecto ha sido recientemente aprobado y recibirá una financiación de 10 M€ de la Comisión Europea. Consiste en la producción, distribución y uso de al menos 300 toneladas de hidrógeno renovable al año, producido a partir de energía solar fotovoltaica y permitirá reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de la isla en hasta 20 700 toneladas al año. El consorcio, coordina-

do por Enagás, está formado por un total de 30 socios de 11 países diferentes (incluyendo países con gran potencial de renovables como Chile y Marruecos) y cuenta además con un gran apoyo institucional nacional y regional. Las aplicaciones previstas del hidrógeno verde producido incluyen preferentemente el consumo directo como combustible en vehículos de pila de combustible (flotas de autobuses y vehículos de alquiler) incluyendo la instalación de una estación de repostaje de hidrógeno, la generación de calor y energía o el suministro de energía auxiliar a ferries y operaciones portuarias.

## Conclusión

*El hidrógeno forma parte de manera indiscutible del presente y del futuro energético del mundo. Como vector energético no tiene competidor, aunque su producción a partir de fuentes renovables resulta por el momento no competitiva comparada con el hidrógeno que se obtiene de fuentes fósiles. La disponibilidad de fuentes renovables y las ventajas del hidrógeno para luchar contra el cambio climático son dos ases en la manga que los diversos países deberán jugar estratégicamente para sacar el mayor partido a sus capacidades. En este escenario España tiene muchas ventajas y ha comenzado a utilizarlas. El hidrógeno renovable ha venido para quedarse y apostar por él es ir a caballo ganador.*



## Referencias

- [1] Estrategias para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde. El caso de la Unión Europea, Alemania y Australia. Biblioteca del Congreso nacional de Chile, Asesoría Técnica Parlamentaria, julio 2020.  
[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29082/1/BCN\\_Experiencias\\_comparadas\\_en\\_Estrategias\\_de\\_desarrollo\\_del\\_Hidrogeno\\_verde\\_.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29082/1/BCN_Experiencias_comparadas_en_Estrategias_de_desarrollo_del_Hidrogeno_verde_.pdf)
- [2] IEA Hydrogen report, 2019. Global demand for pure hydrogen, 1975-2018, IEA, Paris  
<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-demand-for-pure-hydrogen-1975-2018>
- [3] El Pacto Verde Europeo COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN, Bruselas, 11.12.2019, COM (2019) 640 final.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2>
- [4] A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo Bruselas, 8.7.2020, COM (2020) 301 final.  
[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf)
- [5] Declaración de la European Clean Hydrogen Alliance  
<https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-clean-hydrogen-alliance>
- [6] Jan Cihlar et al: Hydrogen Generation in Europe: Overview of costs and key benefits. Publication office of the European Union, Julio 2020, ISBN 978-92-76-20677-4, doi: 10.2833/122757, MJ-04-20-403-EN-N
- [7] Hoja de ruta del hidrógeno. Una apuesta por el hidrógeno renovable. Marco estratégico de energía y clima. Vicepresidencia Cuarta del Gobierno de España Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, MITECO, octubre 2020.
- [8] The National Hydrogen Strategy, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, June 2020.  
[https://www.bmbf.de/files/bmwi\\_Nationale%20Wasserstoffstrategie\\_Eng\\_s01.pdf](https://www.bmbf.de/files/bmwi_Nationale%20Wasserstoffstrategie_Eng_s01.pdf)
- [9] French National Hydrogen Strategy: Por un Plan National Hydrogène Ambitieux and Cohérent. Les Propositions de la filière Hydrogène, Juliet 2020.  
<https://www.afhyac.org/>
- [10] Portugal National Hydrogen Strategy (EN-H2). Environment and Climate Action. República Portuguesa  
<file:///D:/Articulo%20miteco%202020/estrategia%20portugal.pdf>
- [11] Government Strategy on Hydrogen, Ministry of economic Affairs and Climate Policy, April 2020  
<https://www.government.nl/ministries/ministry-of-economic-affairs-and-climate-policy/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen>
- [12] Plan Nacional integrado de Energía y Clima, 2021-2030, PNIEC, enero 2020
- [13] Maroño, M. y Miguel, S.: Capacidades disponibles y potencial en España: investigación y análisis de necesidades. En "Hacia una Economía del hidrógeno en España, Cap. 10. Coordinación: José María Sánchez Hervás, Marta Maroño Buján, Catalina Torres de Mendoza, Juan Otero de Becerra, Ed: CIEMAT, 2019 Depósito Legal: M-34344-2019 ISBN: 978-84-7834-820-6 NIPO: 693-19-029-X
- [14] Visión 2030, infografía, Asociación Española del Hidrógeno (AeH2)  
[http://aeh2.org/images/stories/AEH2/ATREVIA/asoc\\_esp\\_higrogeno\\_infografia.jpg](http://aeh2.org/images/stories/AEH2/ATREVIA/asoc_esp_higrogeno_infografia.jpg)
- [15] Plataforma Española de Hidrógeno y pilas de combustible, pagina web infografía, documento interno  
[http://ptehpc.org/images/stories/190306\\_InfoDayPTE-HPC/190301\\_participacin%20espaola%20en%20la%20fch%20ju\\_aggc.pdf](http://ptehpc.org/images/stories/190306_InfoDayPTE-HPC/190301_participacin%20espaola%20en%20la%20fch%20ju_aggc.pdf)
- [16] Hydrogen Europe Clean Hydrogen Monitor, 2020.
- [17] <https://bioenergyinternational.com/heat-power/westkuste-100-renewable-hydrogen-project-secures-eur-30-million-in-funding>
- [18] <https://www.smart-energy.com/renewable-energy/engie-signs-cooperation-deal-to-participate-in-hygreen-provence-project-air-liqueur/>
- [19] <https://www.h2future-project.eu/>
- [20] <https://www.nenergybusiness.com/news/shell-north-2-hydrogen-netherlands/>
- [21] <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/iberdrola-pone-marcha-fertiberia-mayor-planta-hidrogeno-verde-para-industrial-europa>
- [22] [https://www.enagas.es/enagas/es/Comunicacion/NotasPrensa/19\\_10\\_2020\\_NP\\_Financiacion%20C3%B3n\\_Green\\_Hysland](https://www.enagas.es/enagas/es/Comunicacion/NotasPrensa/19_10_2020_NP_Financiacion%20C3%B3n_Green_Hysland)





# Los gases renovables en la economía circular y en la lucha contra el cambio climático

**Xavier Flotats Ripoll**

Profesor Emérito de Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña

## ¿Qué son los gases renovables?

Los gases renovables son los gases combustibles obtenidos de materias primas o fuentes renovables. Agrupa tres tipos de gases:

- ◆ **Biogás**, obtenido mediante el proceso de digestión anaerobia de materiales orgánicos biodegradables, como residuos orgánicos domésticos, lodos de depuradoras o deyecciones ganaderas, entre otros.
- ◆ **Gas de síntesis (*syngas*)**, obtenido mediante gasificación térmica de biomasa forestal o agrícola.
- ◆ **Hidrógeno ( $H_2$ )**, obtenido por métodos biológicos, catalíticos o electroquímicos. El esquema de producción de  $H_2$  a partir de electricidad renovable se denomina P<sub>2</sub>G (*power-to-gas*, en inglés), aporta flexibilidad al sistema energético y aumenta la capacidad de almacenamiento y distribución de energía renovable.

El aprovechamiento de los gases producidos a partir de residuos orgánicos, por digestión anaerobia o gasificación, es una forma indirecta de aprovechamiento de la energía solar fijada mediante fotosíntesis en forma de energía química, y el CO<sub>2</sub> generado por su uso es el también fijado por los organismos fotosintéticos. Por ello, estos procesos son clave en el nuevo paradigma de la economía circular y para descarbonizar el sistema energético.

Los tres gases pueden ser depurados, enriquecidos o transformados a un gas rico en metano (CH<sub>4</sub>), denominado biometano si se han utilizado métodos biológicos, o metano sintético si se han utilizado métodos fisicoquímicos para su producción o transformación. Este gas producido a partir de los anteriores puede denominarse genéricamente como gas natural renovable (GNR), tiene una composición similar a la del gas natural y, por tanto, es susceptible de ser inyectado en la red de gas para su

transporte, distribución, almacenaje y utilización en los equipos usuales a gas sin ninguna restricción. El hidrógeno también puede ser inyectado a la red, pero con restricciones (ver Figura 1).

La capacidad de almacén de energía del sistema gasista europeo es de 1100 TWh, aproximadamente igual a la energía renovable generada en Europa, 1029 TWh, en 2019. Esta capacidad de almacén, en un contexto de integración de sistemas eléctricos y gasistas, dotaría al sistema energético renovable de flexibilidad y aportaría ahorros económicos respecto un sistema que fuera exclusivamente eléctrico. La capacidad de almacén en España es de 32 TWh, del mismo orden de magnitud que el consumo eléctrico medio anual de unos 6 millones de hogares.

### Métodos de producción

La digestión anaerobia consiste en la descomposición microbológica de materia orgánica biodegradable en ausencia de oxígeno. Tiene lugar de forma natural en balsas de purines o en sedimentos orgánicos en zonas pantanosas, por ejemplo. El control del proceso para producir gas para alumbrado puede datarse en la segunda mitad del siglo XIX, y para producir electricidad a principios del siglo XX. El gas, constituido principalmente por CH<sub>4</sub>, seguido de CO<sub>2</sub> y trazas de otros compuestos gaseosos, es el resultado de una serie de reacciones, catalizadas por microorga-

***Miles de depuradoras en industrias alimentarias de todo el mundo ya utilizan sistemas de depuración anaerobia para procesar sus aguas residuales y recuperar su contenido energético. Este es un primer ejemplo de cómo los sistemas de producción de biogás aprovechan un residuo como recurso, produciendo energía y menos lodos residuales, y contabilizando la protección del medio ambiente como un ingreso o un ahorro***

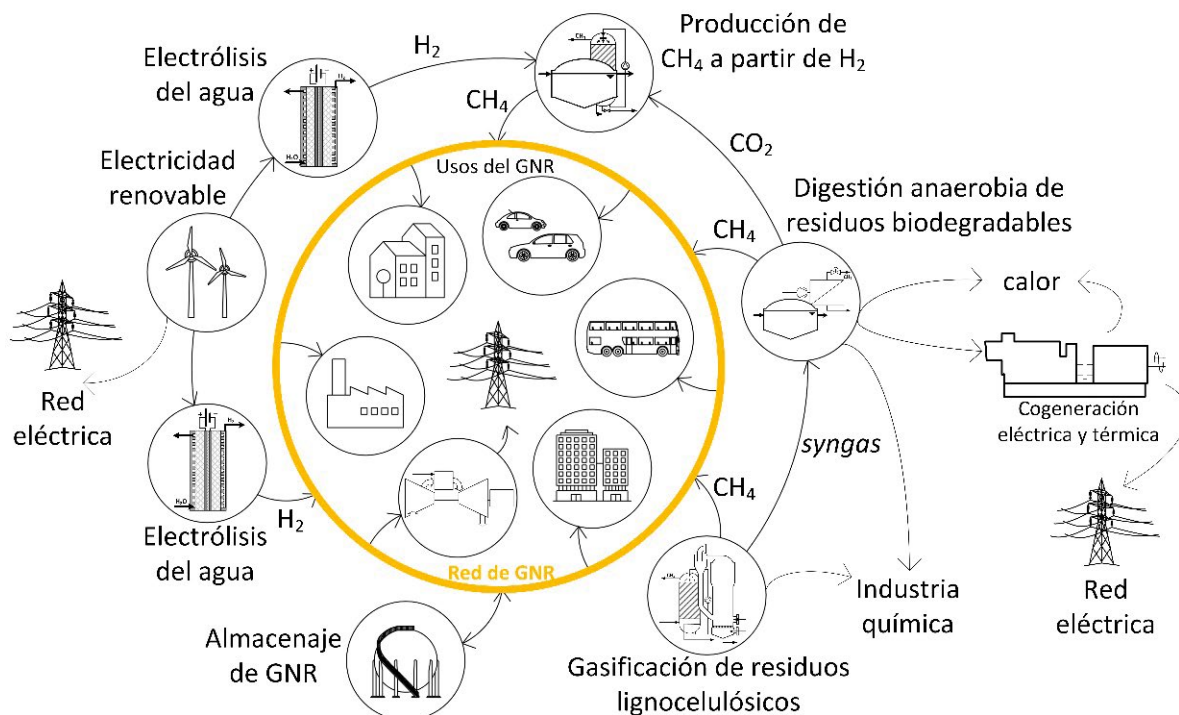


Figura 1:

**Esquema de la integración de los gases renovables en una red de gas natural renovable (GNR), y de la integración de sistemas eléctrico y de gas. Fuente: Elaboración propia.**



nismos diferentes que actúan de forma sinérgica, por las cuales moléculas orgánicas complejas se transforman a moléculas más simples hasta dar lugar a las formas gaseosas citadas. Estos microorganismos anaerobios tienen una tasa de crecimiento más baja que los aerobios y, por tanto, los tiempos de proceso son más largos, utilizan poca energía química de la contenida en la materia orgánica para su crecimiento, de manera que como resultado se produce poco lodo biológico y mayoritariamente la energía química inicial se recupera en forma de  $\text{CH}_4$ , con un rendimiento que depende de la biodegradabilidad.

Esta propiedad es interesante en sistemas de depuración de aguas residuales, como alternativa a los sistemas aerobios. Estos últimos consumen energía para transferir oxígeno y, como resultado, el carbono orgánico de las aguas se transforma en  $\text{CO}_2$  y en una masa elevada de lodo biológico, que se debe gestionar, mientras que en los sistemas anaerobios no hay que transferir oxígeno, se produce menos lodo residual y el carbono orgánico se transforma mayoritariamente en  $\text{CH}_4$ , una parte del cual sirve para el control de temperatura del proceso. Miles de depuradoras

en industrias alimentarias de todo el mundo ya utilizan sistemas de depuración anaerobia para procesar sus aguas residuales y recuperar su contenido energético. Este es un primer ejemplo de cómo los sistemas de producción de biogás aprovechan un residuo como recurso, produciendo energía y menos lodos residuales, y contabilizando la protección del medio ambiente como un ingreso o un ahorro.

Las deyecciones ganaderas, el subproducto orgánico que se produce en mayor cantidad en casi todos los países, presentan relativa baja biodegradabilidad, por ser productos ya digeridos, y por tanto relativamente baja producción de biogás. Para compensar esta deficiencia y crear instalaciones viables, es usual recurrir a la co-digestión, esto es, a la digestión anaerobia de mezclas con otros subproductos orgánicos con composición complementaria y mayor producción final de  $\text{CH}_4$ . Esto permite compartir infraestructuras y unificar metodologías de gestión para diferentes productores, pero requiere planificación y colaboración entre diferentes sectores de actividad, lo cual no resulta siempre fácil. Este es el caso de la granja de cerdos de la Figura 2, con una planta de biogás operati-



Figura 2:

Planta de codigestión anaerobia en granja de cerdos en Vila-sana (Lleida), operativa desde 2007, que cuenta actualmente con una unidad de producción de biometano para uso vehicular en el marco del proyecto Life-Methamorphosis ([www.life-methamorphosis.eu](http://www.life-methamorphosis.eu)). Foto del autor.

va desde 2007 que procesa y gestiona los propios purines y residuos de la industria alimentaria, y que actualmente cuenta con una unidad de transformación del biogás en biometano vehicular.

Controlando el proceso de digestión anaerobia en varias etapas se pueden extraer compuestos intermedios, como hidrógeno y ácidos carboxílicos (acético, propiónico, butírico...), base para la síntesis de moléculas orgánicas más complejas. También es posible producir ácido láctico o polihidroxialcanoatos (PHA), base para la producción de bioplásticos, y finalmente recuperar la energía remanente en forma de  $\text{CH}_4$ . La mineralización de la materia orgánica permite recuperar sales amoniacales y/o de fósforo, con baja o nula contaminación por materia orgánica, para su reciclaje sustituyendo fertilizantes químicos.

Existen tecnologías de digestión anaerobia adaptables a prácticamente cualquier materia prima y circunstancia, desde métodos simples para recuperar  $\text{CH}_4$  y evitar emisiones de amoníaco a la atmósfera en balsas de purines (Figura 3), hasta plantas depuradoras de alto rendimiento para aguas residuales industriales. En Europa se contabilizaron 18 200 plantas de producción de biogás en 2018, con una producción de energía primaria de 195,4 TWh, una potencia eléctrica instalada de 11,1 GW y una producción eléctrica de 63,5 TWh. De las 483 plantas que en 2018 transformaban el biogás en biometano para su inyección a la red de gas, se pasaron a 729 plantas de biometano en junio de 2020, con una producción de 23 TWh. El grado de implantación de la producción de biogás es desigual, con una producción *per cápita* de energía primaria desde 66 kWh/habitante/año en España hasta 1 MWh/habitante/año en Alemania, con una media de 382 kWh/habitante/año en la Unión Europea en 2018<sup>1</sup>. Las diferencias se explican por un diferente grado de implantación de políticas transversales en los ámbitos de la autosuficiencia energética, la lucha contra el cambio climático, la gestión de residuos y el desarrollo territorial.

El proceso de gasificación de biomasa es conocido y aplicado desde inicios del siglo XIX, con primeras patentes que datan de finales del siglo XVIII. Consiste en la oxidación parcial mediante oxígeno, aire y/o vapor, a unos 800 °C, produciendo un gas (gas de síntesis o syngas), compuesto principalmente por  $\text{H}_2$  y monóxido de carbono, con concentraciones menores variables de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , hidrocarburos y humedad, y nitrógeno si se ha utilizado aire. El origen del nombre de este gas es su uso para la síntesis de hidrocarburos líquidos y otros compuestos orgánicos, como  $\text{CH}_4$  o alcoholes. Su uso actual más habitual es la producción de energía térmica y eléctrica.



Figura 3:  
**Balsa de purines antes y después de ser cubierta para evitar emisiones de  $\text{NH}_3$  y recuperar  $\text{CH}_4$  para su uso energético. Fotos del autor (arriba) y de Agrícola AASA, Chile (abajo).**

Los subproductos orgánicos lentamente o no biodegradables son los sustratos ideales para su gasificación, esto es: residuos agrícolas y de jardinería, de cultivos leñosos, residuos forestales, residuos de la industria agroalimentaria constituidos por compuestos lignocelulósicos (cáscaras de almendra u otros frutos secos, por ejemplo) y combustible derivado de residuos (CDR), obtenido de la fracción resto de residuos municipales. El CDR suele contener una cantidad apreciable de plásticos de origen petrolquímico, lo cual le confiere la característica de material no renovable y, por tanto, el gas producido de su gasificación no debe considerarse renovable. Aun así, la gasificación es considerada una tecnología de valorización material de residuos si el syngas se destina a la síntesis de nuevos



compuestos, por lo cual debería ser un proceso a tener en cuenta como alternativa al almacén de la fracción resto en vertederos.

El syngas se puede transformar a  $\text{CH}_4$ , mediante procesos fisicoquímicos o mediante procesos biológicos, inyectándolo en un digestor anaerobio ya existente o diseñado a este fin.

El método que permite la producción masiva de  $\text{H}_2$  renovable es la electrólisis del agua utilizando electricidad de origen renovable (esquema P2G). La energía eléctrica renovable excedentaria, generada en periodos con baja demanda, presenta el limitante de su acumulación. Su transformación en  $\text{H}_2$  mediante electrólisis del agua es una alternativa que permite, o bien la acumulación y uso directo de este gas, o bien su transformación a  $\text{CH}_4$  para su inyección a la red de gas.

El  $\text{H}_2$  puede ser utilizado en procesos industriales térmicos a alta temperatura, difíciles de cubrir con electricidad renovable, como combustible en transporte pesado y como materia prima para multitud de procesos industriales, como la producción de amoníaco.

Puede inyectarse en la red de gas con ciertas restricciones, para evitar modificaciones sustanciales en la potencia calorífica del gas servido y porque puede causar corrosión en algunos equipos. Con una fuente de  $\text{CO}_2$  puede transformarse en  $\text{CH}_4$ , para ser inyectado en la red sin ninguna restricción. Un método biológico para transformar  $\text{H}_2$  en  $\text{CH}_4$  es aprovechar la reacción de metanogénesis de la digestión anaerobia, utilizando el  $\text{CO}_2$  separado del biogás para enriquecerlo a biometano, por lo cual es útil abordar proyectos conjuntos para aprovechar esta sinergia.

El potencial energético disponible estimado de los gases renovables en España está comprendido entre 61 y 95 TWh/año, pudiendo llegar a un máximo de 201-228 TWh/año, esto es, de un 25% a un 65% de la demanda actual de gas natural. Estos potenciales energéticos están compuestos aproximadamente de un 35% procedente de biogás de residuos biodegradables, un 42% de gas de síntesis de biomasa forestal y agrícola, y un 23% de hidrógeno producido a partir de excedentes de energía eléctrica renovable.

## Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

En la granja de la Figura 3, con el  $\text{CH}_4$  recuperado se ahorran una demanda de 120 t/año de gasoil y 4.620 MWh/año de electricidad, con unas emisiones estimadas por el autor de  $-0,73 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$  de energía ahorrada, aparte del ahorro en las emisiones correspondientes a la fa-

bricación de fertilizantes nitrogenados al haber evitado la pérdida de amoníaco por volatilización. Este valor de emisión negativa (evitada) de gases de efecto invernadero (GEI) ilustra un efecto muy importante de la producción y uso de biogás a partir de deyecciones ganaderas líquidas. Estos subproductos emiten de forma natural  $\text{CH}_4$  a la atmosfera (efecto invernadero 25 veces superior al  $\text{CO}_2$ ), con flujos que dependen de las condiciones climatológicas y del método de gestión utilizado en cada explotación, así como amoníaco y otros gases, que respiran los animales si el almacén es en pozos dentro de las mismas naves de cría y engorde. Retirar las deyecciones a la mayor brevedad posible tiene beneficios en la salud animal y en sus índices productivos, y aprovechar el  $\text{CH}_4$ , ya sea recuperado o bien optimizando su producción en reactores anaerobios, permite evitar la emisión previa de GEI y ahorrar la emisión correspondiente al combustible fósil que se substituye. Evitar la volatilización de amoníaco en toda la cadena de gestión de las deyecciones también contribuye a la reducción de las emisiones de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), gas con un efecto invernadero 298 superior al  $\text{CO}_2$ .

***Teniendo en cuenta el efecto negativo del transporte para las tecnologías de digestión anaerobia y gasificación, se debería reflexionar sobre la conveniencia de abordar proyectos de pequeña escala, con uso de materias primas locales, e integrados en redes de gran escala como la red de gas, o la eléctrica si es posible el uso eficiente local de la energía térmica de la cogeneración***

Intentar producir biogás con purines envejecidos no tiene ningún interés ambiental, energético o económico, porque la mayor parte del  $\text{CH}_4$  ya se habrá emitido previamente. Para contribuir efectivamente a la reducción de emisiones GEI en el sector ganadero es necesario un cambio profundo en los sistemas de manejo de las deyecciones y en la visión de estas, para pasar de la apreciación de problema al de oportunidad. También, por ejemplo, para optimizar el aprovechamiento integral de la FORM es prioritaria la participación ciudadana para su separación doméstica.

Sin considerar el transporte de los sustratos y digeridos de la digestión anaerobia, se estiman unas emisiones para deyecciones ganaderas entre  $-360$  y  $79 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$  de energía del biometano producido. Este intervalo tan amplio depende de las emisiones del digerido durante su almacenaje y del uso del  $\text{CH}_4$  perdido en el proceso. Para cultivos energéticos, utilizando el maíz para las estimaciones, las emisiones están comprendidas entre  $108$  y  $263 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$ , valores que dependen de los mismos factores anteriores y de los costes ambientales de la producción del maíz. Para otros biorresiduos las emisiones se estiman entre  $50$  y  $256 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$ . Si se compara con las emisiones de la producción de calor a partir de gas natural, los ahorros en emisiones GEI pueden llegar al  $238\%$  para deyecciones ganaderas, hasta el  $81\%$  para biorresiduos y menos del  $58\%$  para cultivos energéticos.

Los valores anteriores son los adoptados por defecto en la Directiva Europea UE-2018/2001, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. En esta Directiva se indica que los ahorros de GEI respecto de combustibles fósiles han de ser superiores al  $80\%$  para instalaciones nuevas a partir de 2021 y del  $85\%$  a partir de 2026 para poder acceder a fondos públicos. Para hacer viables algunos proyectos, la Directiva recomienda la co-digestión con deyecciones ganaderas, el único subproducto que puede dar lugar a emisiones GEI negativas.

A diferencia del biogás, existen pocos estudios sobre las emisiones GEI debidas a la producción de gas de síntesis y su transformación a  $\text{CH}_4$  a partir de biomasa. Aparte de los factores propios de los procesos de producción del gas, deben considerarse tres grupos de variables: a) preparación y transporte desde el área de producción hasta el de transformación; b) el sumidero de  $\text{CO}_2$  que representa mantener los residuos agrícolas y forestales en el suelo, que deja de serlo cuando se retiran para su uso energético; c) el efecto beneficioso que representa una buena gestión de bosques para evitar incendios forestales. Para tener en cuenta el segundo grupo de variables, es necesario adoptar un horizonte temporal largo, con la incertidumbre asociada a los escenarios futuros

a considerar. La variable siguiente en importancia es la distancia de transporte, de manera que las emisiones estimadas utilizando biomasa local, menos de  $200 \text{ km}$ , son significativamente más favorables. En esta situación, las emisiones para producir GNR pueden estar entre  $91$  y  $123 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$ , con un ahorro de emisiones para la producción de calor en el intervalo  $53 - 65\%$ , cuando se compara con gas natural.

Valores de emisión de referencia para la producción de  $\text{H}_2$  a partir de energía eléctrica renovable son del orden de  $25 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}_{\text{H}_2}$  para energía eólica,  $51 - 178 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}_{\text{H}_2}$  para energía solar fotovoltaica y alrededor de  $50 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}_{\text{H}_2}$  para energía hidroeléctrica y termosolar. La gran variación en el caso de energía solar fotovoltaica es debida a las diferencias actuales en la eficiencia de estos equipos. Suponiendo una pérdida de eficiencia del  $10\%$  al transformar en biometano e inyección a la red de gas natural, las emisiones anteriores pasarían a  $28 - 195 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$ , valores que, si se comparan con gas natural y uso para combustión, permitirían un ahorro relativo de emisiones GEI en el intervalo  $25 - 89\%$ .

Teniendo en cuenta el efecto negativo del transporte para las tecnologías de digestión anaerobia y gasificación, se debería reflexionar sobre la conveniencia de abordar proyectos de pequeña escala, con uso de materias primas locales, e integrados en redes de gran escala como la red de gas, o la eléctrica si es posible el uso eficiente local de la energía térmica de la cogeneración.

Aprovechar estos potenciales implica un ahorro en España de emisiones de GEI comprendido entre  $12,3$  y  $17,5 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq/año}$  o entre  $35,9$  y  $39,1 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq/año}$ , para los escenarios de potencial energético disponible o máximo, respectivamente. Los valores de ahorro de emisiones GEI son significativos, si se tiene en cuenta, como referencia, que la absorción de  $\text{CO}_2$  por parte de la toda la superficie forestal en España fue de  $34,2 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq}$  en el año 2017.

## Papel de los gases renovables en la economía circular

Aparte de vectores energéticos renovables, estos gases son materias primas para la industria química. Por ejemplo, el hidrógeno es clave para la producción de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), base de la producción de fertilizantes nitrogenados, que actualmente se produce mediante el proceso Haber-Bosch a partir de nitrógeno atmosférico e hidrógeno obtenido por reformado del gas natural. El gas de síntesis es una materia prima para la industria química de síntesis, y la digestión anaerobia permite diversificar su producción, desde compuestos orgánicos para la síntesis de nuevos productos hasta el propio bio-



gás y biometano, aparte que facilita la mineralización y la combinación con procesos de recuperación de nutrientes. En definitiva, los procesos de producción de gases renovables lo son de materiales para su transformación en nuevos bienes y servicios, y deberían contemplarse como prioritarios en la jerarquía de tecnologías de valorización de residuos orgánicos (ver Figura 4).

**Los procesos de producción de gases renovables lo son de materiales para su transformación en nuevos bienes y servicios, y deberían contemplarse como prioritarios en la jerarquía de tecnologías de valorización de residuos orgánicos**

El objetivo de la economía circular es que el valor de los productos y los recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible. Pasar de una economía lineal a una circular implica una transición durante la cual conviven nuevas tendencias con hábitos antiguos, con paradojas, contradicciones e incertidumbres, por lo cual es importante definir objetivos a corto, medio y largo plazo, y metodología para la revisión continua de los avances. En esta transición se debería cambiar de nomenclatura, objetivos e indicadores de los sistemas de gestión de residuos. Con la visión de la economía circular y las capacidades de procesos como la fermentación, la digestión anaerobia o la gasificación, debería sustituirse el término “tratamiento de residuos”, que se identifica como método para reducir el impacto ambiental, por el de “procesado de recursos”, que se identifica como método para producir un producto final con utilidad y valor económico, adoptando la estrategia tecnológica apropiada para, también, reducir el impacto ambiental. Los indicadores a utilizar también son importantes; así, en lugar

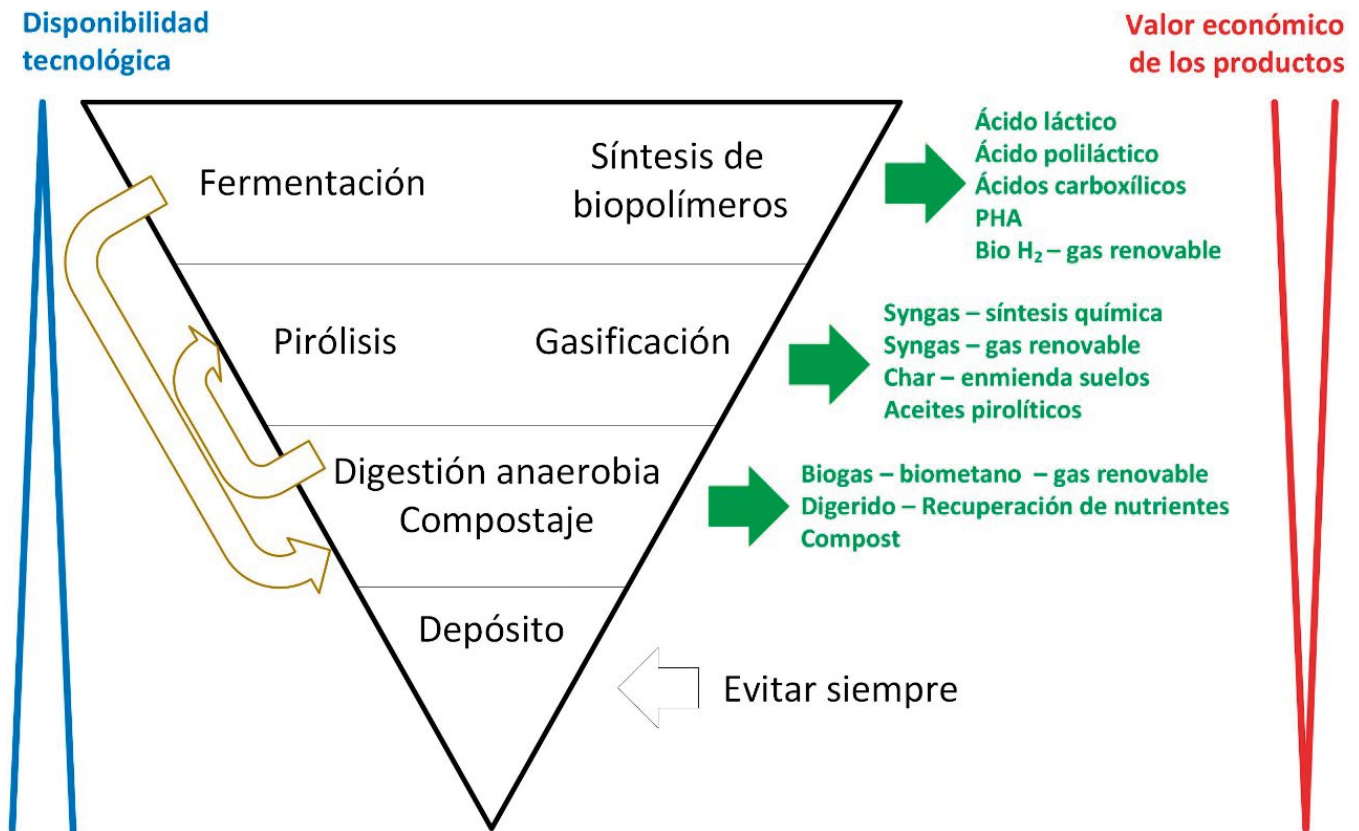


Figura 4:

Jerarquía de estrategias tecnológicas para el procesamiento de residuos (recursos) orgánicos. Fuente: Elaboración propia a partir de un esquema de J.R. Bastidas-Oyanedel (SDU, Dinamarca)

de informar sobre las toneladas de residuos tratados, lo importante deberían ser las toneladas ahorradas de petróleo, gas natural o CO<sub>2</sub> emitido, las toneladas de fertilizantes químicos sustituidos, las toneladas de nuevas materias primas producidas, o los GWh de gas o electricidad vertidos a la red correspondiente. Esto significa un cambio en los esquemas de los servicios y concesionarios dedicados a la gestión de residuos, para los cuales los clientes principales deberían ser las empresas y particulares que adquieran sus productos y energía, que siempre reclamaran una calidad mínima.

El período actual es de profunda modificación de muchos esquemas productivos y de consumo, y tanto de los ciclos de los materiales como de la energía. Abordar proyectos de gases renovables focalizando sólo en la energía sería un error, ya que optimizar su contribución a la reducción de emisiones GEI y a la economía circular implica muchos sectores de actividad (ver Figura 5), con lenguajes e intereses diferentes, que deben actuar de forma coordinada, actualizando sus objetivos y métodos, planificando políticas y actuaciones transversales, analizando los problemas de forma integral y adoptando soluciones integradas. Los gases renovables, y los procesos que los producen, tienen vocación de contribuir a este cambio de paradigma social y económico.

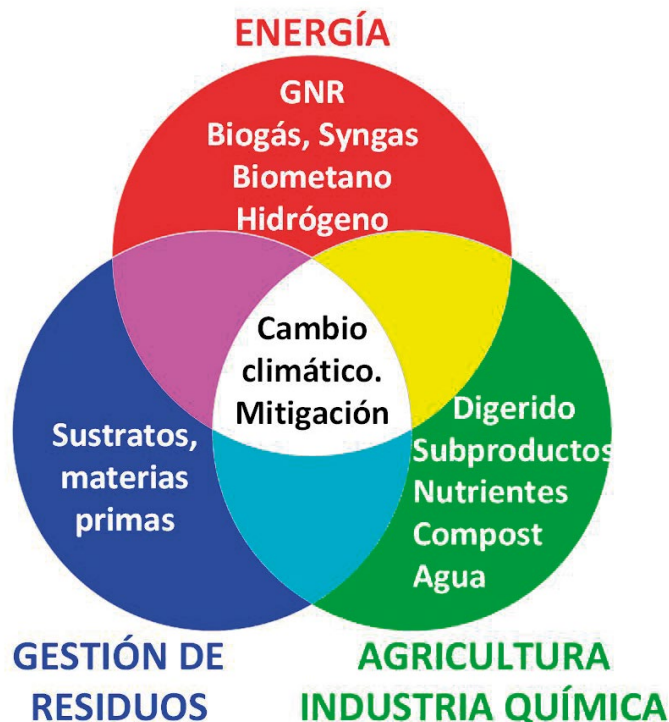


Figura 5: Visión multidimensional de los procesos relativos a los gases renovables. Fuente: elaboración propia.

***Con la visión de la economía circular y las capacidades de procesos como la fermentación, la digestión anaerobia o la gasificación, debería sustituirse el término “tratamiento de residuos”, que se identifica como método para reducir el impacto ambiental, por el de “procesado de recursos”, que se identifica como método para producir un producto final con utilidad y valor económico, adoptando la estrategia tecnológica apropiada para, también, reducir el impacto ambiental***

Referencias:

Los conceptos y valores numéricos expuestos en este artículo se desarrollan en el libro “Feliu, A., Flotats, X. (2019). [Los gases renovables. Un vector energético emergente](#). Publicaciones de la Fundación Naturgy, Madrid, 290 pp.”

<sup>1</sup> Flotats, X. (2020). [Los gases renovables: un vector energético olvidado en España](#). The Conversation, 20 julio 2020.



# Biogás, cómo convertir un problema en un recurso

**Francisco Repullo**  
Presidente de AEBIG

Planta de biogás San Ramón.  
Foto: INPER



Planta de biometano en el EDAR  
de Butarque. Foto: NEDGIA



Planta de biogás Vall D'Uixó.  
Foto: BIOVIC

España es el país europeo con el mayor censo porcino, con más de 30 millones de cabezas y ocupando el tercer lugar a nivel mundial, contando con unas 90 000 explotaciones. Pero no solo es destacable el sector porcino por su potencial ganadero, otros sectores también son importantes; somos el segundo país en Europa en ganado ovino, el tercero en avícola, el sexto en bovino..., pero eso conlleva ser también importantes generadores de purines y estiércoles, como por ejemplo ser productores de más de 50 millones de toneladas anuales de purines porcinos que emiten más de 200 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por tonela-

da en forma de metano. Esas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) tienen un potencial de calentamiento global (PCG) 25 veces superior al metano y 298 veces el óxido nitroso, que el CO<sub>2</sub> a iguales volúmenes. Pero, además, es mucho más complejo capturar el metano que el CO<sub>2</sub>, ya que aquel está mucho más diluido en la atmósfera. Para entenderlo mejor, una molécula de CO<sub>2</sub> estaría en el aire entre otras 2400 moléculas, mientras que la molécula de metano habría que capturarla entre más de 500 000. Las emisiones del sector porcino pueden alcanzar los 10

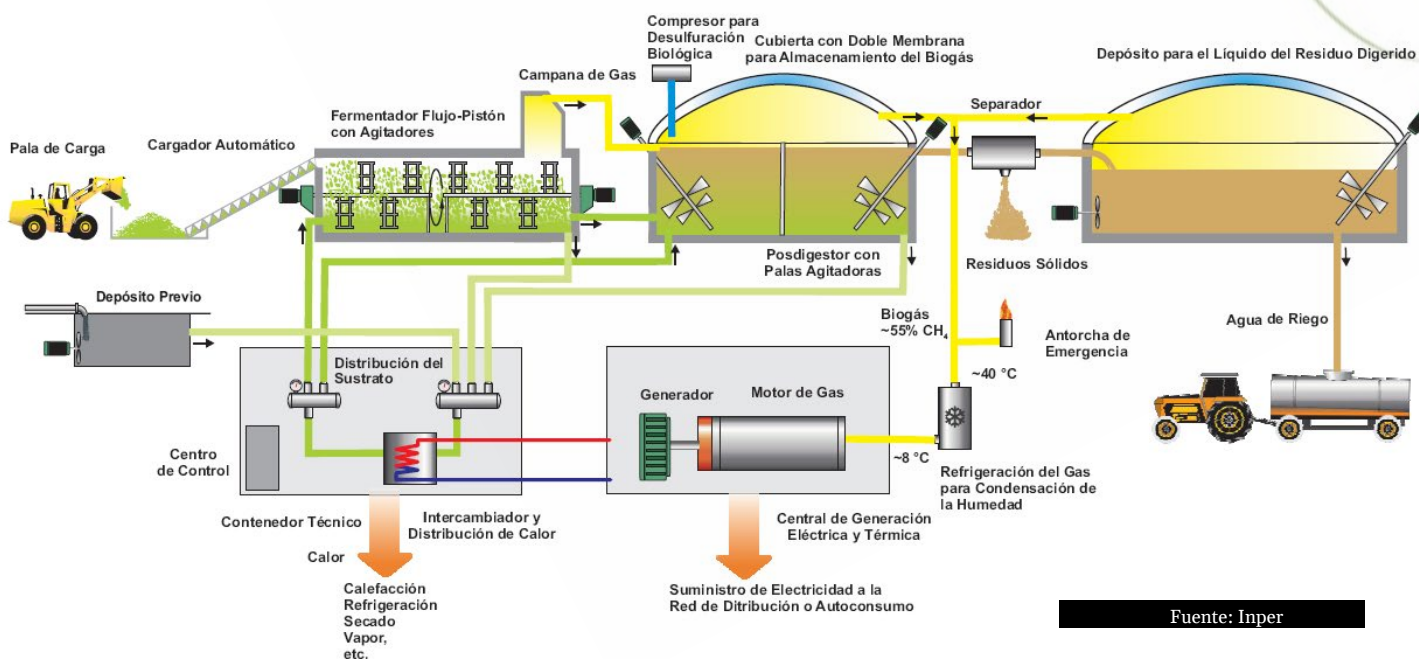
millones de toneladas de CO<sub>2</sub> eq./año. Sin olvidar, por supuesto, muchas otras emisiones nocivas que empeoran la calidad del aire que respiramos afectando a nuestra salud, como el amoníaco, emitido principalmente por los estiércoles y fertilizantes nitrogenados, siendo el sector agrícola el generador de más del 90% de dichas emisiones. El metano tampoco es ajeno a la polución del aire, ya que, además de ser un gas de efecto invernadero, es también un gas precursor del ozono troposférico, el que, manteniéndose en las capas bajas de la atmósfera puede, en concentraciones elevadas, dañar la función respiratoria y tener efectos adversos en la reproducción y crecimiento de las plantas debido a que restringe el proceso de fotosíntesis. Por otra parte, hay limitaciones a las emisiones difusas no energéticas (agrícolas, ganaderas y de gestión de residuos) que deben cumplirse.

### Biogás

Cuando los residuos orgánicos se almacenan en depósitos cerrados y en ausencia de oxígeno, se genera biogás, compuesto principalmente por metano y CO<sub>2</sub>, pudiéndose aprovechar su capacidad energética, bien sea en usos térmicos, o en motores generadores para producir electricidad (CHP), o retirando el CO<sub>2</sub> para dejarlo en una riqueza de metano superior al 90%, lo que se conoce como biometano. Este gas renovable es totalmente equivalente al gas natural, por lo que puede utilizarse indistintamente o ser mezclado en cualquier proporción y canalizarse por las mismas infraestructuras que el gas natural, para

**Las instalaciones de biogás deberían estar lo más próximas posible a los lugares donde se generan los residuos, es decir, en entornos agrícolas y ganaderos en el medio rural. Consecuentemente crean empleo y generan actividad económica en entornos rurales donde el problema actual es la despoblación. Por todo eso, sin lugar a dudas, es un auténtico modelo de economía circular**

Esquema Planta de Biogás

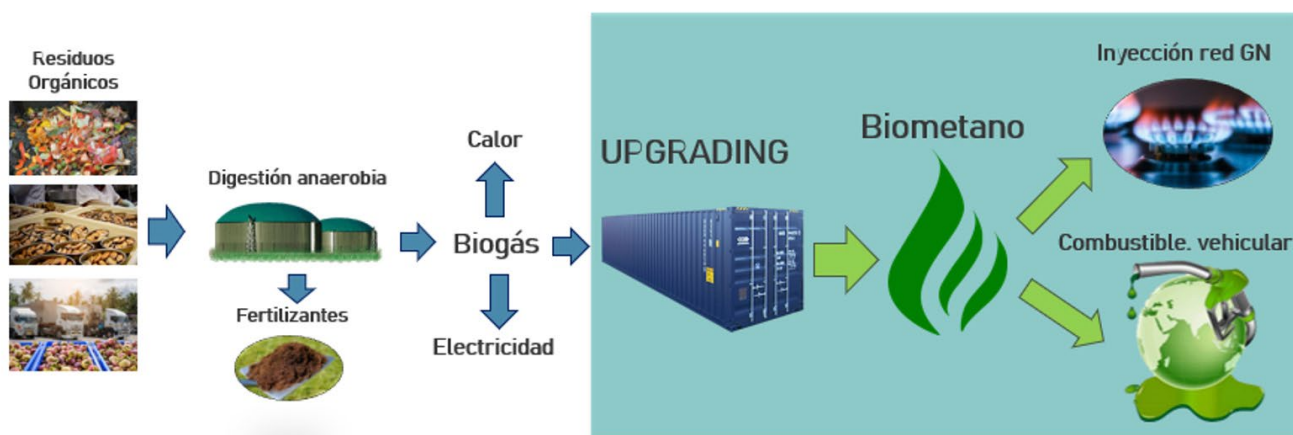


Fuente: Imper



## Proceso de obtención del biometano

El biogás puede depurarse para obtener biometano, un gas con las mismas aplicaciones que el gas natural



Fuente BIOVIC

BIOVIC  
consulting

ser consumido a nivel industrial o doméstico, sin necesidad de hacer ninguna adaptación de los dispositivos (calderas, cocinas, calefacción, etc.) que usan gas natural como combustible. También es utilizable para movilidad; al igual que el gas inyectado en la red, puede mezclarse con el GNC que se sirve en las estaciones de servicio para vehículos, ligeros o pesados, o incluso ser consumido por el sector marítimo. En los países nórdicos ya hay gasolineras (gasineras) que sirven 100% biometano sin mezcla con gas natural.

Aunque otros sectores también contribuyen de forma notable a la emisión de gases de efecto invernadero, en este artículo vamos a centrarnos en las emisiones agropecuarias y en cómo convertir un problema en un recurso. Cuando los residuos de estos sectores se tratan adecuadamente, los beneficios son múltiples, siendo además un verdadero paradigma de economía circular.

En primer lugar, al llevarlos a las plantas de biogás se evitan las emisiones de gases de efecto invernadero, los olores y los lixiviados. La digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) genera el biogás ya comentado anteriormente para sus posibles diferentes usos y la materia digerida, el digestato, es un biofertilizante cuando se satisfacen las debidas condiciones. No es el único bioproducto que puede obtenerse además de la bioenergía. Durante la digestión anaerobia, mediante procesos adicionales, pueden obtenerse bioelementos que sirven de base para otros bioproductos, como biopinturas, bioplásticos, biopolímeros, etc. Los biofertilizantes enriquecen los suelos agrícolas, devuelven nutrientes al suelo y carbono orgánico, actuando, por tanto, como sumidero natural de carbono, pudiendo

dar lugar a huellas de carbono negativas, siendo ésta la única tecnología renovable capaz de lograrlo.

La energía producida puede almacenarse y por tanto es gestionable, pudiendo servir para compensar las discordancias entre oferta y demanda de otras energías renovables intermitentes. Se genera 24 horas diarias sin interrupción reforzando la estabilidad y capacidad del sistema eléctrico. Esta es otra característica también única del biogás y biometano.

Lógicamente este tipo de instalaciones deberían estar lo más próximas posible a los lugares donde se generan los residuos, es decir, en entornos agrícolas y ganaderos en el medio rural. Consecuentemente, crean empleo y generan actividad económica en entornos rurales donde el problema actual es la despoblación. Por todo eso, sin lugar a duda, es un auténtico modelo de economía circular.

### Situación en Francia, Italia y España

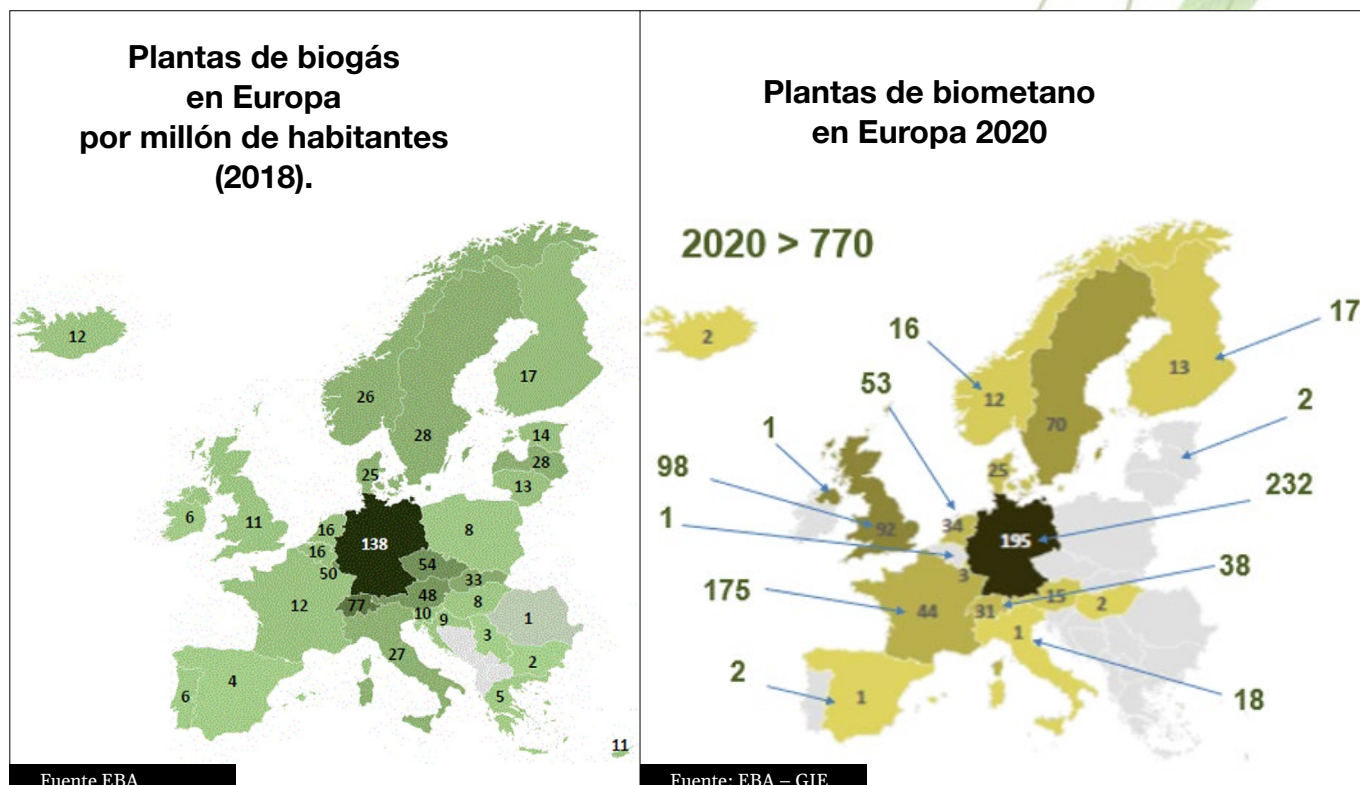
Este modelo ha sido muy bien entendido e implantado en Francia, donde el Gobierno ha hecho una apuesta fehaciente por su desarrollo. La "Ley de Transición Energética para un Crecimiento Verde" de 2015, estableció como objetivo para 2050, que el 100% del consumo de gas fuese renovable. Los agricultores y ganaderos tienen acceso a sistemas de incentivación muy atractivos para gestionar sus residuos en plantas en sus propias instalaciones o muy próximas a ellas, cuando, por ser de tamaño muy reducido, es más viable compartir una instalación por varios establecimientos. El país galo ya contaba con 26 plantas de este tipo en 2016. En la actualidad ya han superado las 175, con

**En el sector del transporte el biometano tiene un enorme potencial. Los motores de gas, una vez adaptados, permiten su utilización reduciendo las emisiones del diésel o de la gasolina, e incluso pudiendo llegar a un índice de emisiones negativas. Este uso es especialmente interesante para el transporte marítimo o de vehículos pesados, tales como autobuses o camiones. En Europa el biometano ya supone un 17% del gas utilizado como combustible. En Pamplona y La Coruña ya hay autobuses propulsados con gas renovable**

una capacidad de 3TWh/año. El ritmo de crecimiento es de una nueva instalación semanal inyectando a red, con el objetivo de llegar a la neutralidad en carbono en 2050; en ese camino tienen ya más de 1000 proyectos en el Registro de Capacidad, lo que supondrá alcanzar los 24TWh. Mientras, en España, contamos con dos plantas inyectando biometano a red, una en las instalaciones del vertedero municipal de Valdemingómez y la segunda en la estación depuradora de aguas (EDAR) en Butarque, ambas en Madrid. En cuanto al número de plantas de biogás, en nuestro país hay unas 250, frente a más de 18000 en Europa.

Otro modelo interesante es el de Italia, pionera en el concepto “BiogasDoneRight”, que consiste básicamente en

producir alimentos, forrajes y biometano de manera sostenible, mediante tecnologías agrícolas que integran la producción de biogás, cultivos secuenciales y agricultura de precisión, para generar emisiones de gases de efecto invernadero neutras, o incluso negativas, capturando y secuestrando el carbono en los suelos agrícolas. Persigue esencialmente la idea de cerrar el ciclo del CO<sub>2</sub>. Su principal característica es la integración de cultivos múltiples, en el que el cultivo principal es el comercializable para alimentos o forrajes, mientras que el cultivo secundario puede utilizarse para la producción de energía conjuntamente con las deyecciones ganaderas y otros residuos agrícolas o agroindustriales. Otra de sus características es el reciclado completo del digestato como biofertilizante, recuperando





Potencial de reducción de GEI de las industrias de biogás y biometano

Esta infografía explica los diferentes modos en los que las industrias de biogás y biometano están contribuyendo a lograr la neutralidad climática en 2050. El sector tiene el potencial de reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) en un 10-13%. El ahorro total de emisiones mediante el uso de biogás y biometano puede alcanzar hasta -240% en comparación con los combustibles fósiles.



Las plantas, como los cultivos intermedios, capturan carbono, que es almacenado en el suelo y en las mismas plantas.



La cría de animales produce grandes cantidades de estiércol, que libera metano de forma espontánea. Estas emisiones pueden evitarse utilizando el estiércol para la producción de biogás.



Durante el proceso de metanización, pueden producirse emisiones de metano a la atmósfera. Estas emisiones son marginales y lo serán aún más gracias al desarrollo tecnológico y a las crecientes medidas de control.



- El digestato se usa como fertilizante orgánico, reduciendo la producción industrial de fertilizantes minerales y sus emisiones asociadas.
- La aplicación de digestato como biofertilizante tiene la ventaja de aportar carbono orgánico al suelo en comparación los fertilizantes minerales.



El biogás y el biometano evitan las emisiones debidas al uso de combustibles fósiles en la producción de energía y calor, en la movilidad y en algunas aplicaciones industriales.

Durante el proceso de depuración del biometano, una gran parte del carbono puede reutilizarse, por ejemplo, en la producción de biocombustibles sintéticos o eliminarse permanentemente de la atmósfera.

Fuente: EBA European Biogas Association

los nutrientes minerales y reciclando carbono muy estable en el suelo.

El potencial que tiene España, y consecuentemente el problema si no se gestiona adecuadamente, es enorme. En 2018 el IDAE publicó un excelente estudio realizado por relevantes empresas y asociaciones del sector, estimando que podrían obtenerse hasta 34 TWh a partir de los residuos orgánicos accesibles y disponibles, lo que equivaldría

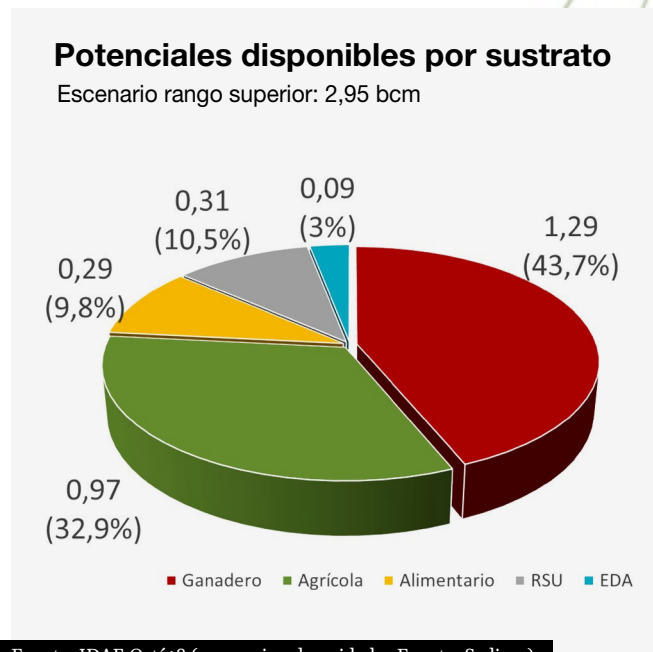
a un 65% del consumo doméstico y comercial del gas natural, o al consumo de 4 millones de vehículos pesados. Si desglosamos las diferentes fuentes, casi 15 TWh provenirían de residuos ganaderos, 11 TWh del sector agrícola, más de 3 TWh del sector agroalimentario, y el resto lo generarían los residuos orgánicos de vertederos, la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y los lodos de las estaciones depuradoras de aguas. En resumen, más de un 80% de ese potencial lo aporta el sector agronómico.

Beneficios, costes y empleo

La pregunta entonces sería, ¿por qué no se está desarrollando el sector como parecería lógico, necesario e incuestionable, al igual que ya lo están haciendo la gran mayoría de los países de la UE?

Como toda nueva tecnología, y esta hace tiempo que ya no lo es, se precisa un fuerte apoyo institucional acompañado de medidas incentivadoras a su producción e, incluso, a su consumo. Y en este sector con mucho más motivo por todas las ventajas mencionadas anteriormente que aporta a la sociedad. En un escenario puramente competitivo, si se considera únicamente como otra energía renovable más, no tiene ningún recorrido. Pero cuando se valoran todas las externalidades positivas que aporta, entonces no hay duda de que no tiene competencia, pero hay que valorarlas...

Este estudio ya lo realizó en 2018 la consultora francesa ENEA, con el compromiso de dos agencias gubernamentales. En el estudio se analizan y valoran las ayudas a la producción de biometano mostrando que no son simple-



Fuente: IDAE Oct '18 (conversion de unidades Fuente: Sedigas)



Planta de biogás en Hensbroek (Países Bajos). Foto: BIOVIC

mente un “gasto”, sino la retribución a todas aquellas externalidades positivas que aporta una gestión adecuada y respetuosa con el medio ambiente. Por tanto, la diferencia de coste del gas natural frente al biometano queda suficientemente compensada, a pesar de que el coste del biometano puede llegar a superar el triple del coste del gas natural. En el estudio se cuantifican las siguientes externalidades positivas:

- a) Emisiones de GEI evitadas,
- b) Costes evitados del tratamiento de capas freáticas,
- c) Independencia energética y balanza comercial,
- d) Generación ininterrumpida de energía almacenable y gestionable,
- e) Estabilización de volúmenes en el transporte y distribución en las redes de gas natural,
- f) Reducción de costes de tratamiento de residuos,
- g) Disminución de fertilizantes químicos así como el consumo intenso de energía que se precisa para su producción las emisiones que genera,
- h) Creación de empleo en el medio rural.

***El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 y el Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética, recogen la necesidad de impulsar el despliegue del biogás para la consecución de la neutralidad de emisiones en 2050***



En resumen, el estudio concluyó que la producción de biometano ahorra al Estado entre 33 a 35 euros por MWh gracias a las emisiones evitadas y a la creación de empleo; otros 21 euros por MWh se evitan a los consumidores por ahorro en los costes de transporte y distribución; el coste de tratamiento de los residuos orgánicos se ve reducido en unos 24 euros por MWh y no tener que emplear fertilizantes químicos, supone un ahorro a los agricultores de entre 3 a 4 MWh.

En el sector del transporte el biometano tiene un enorme potencial. Las emisiones siguen aumentando desde 2014, siendo responsables de un tercio de las emisiones europeas de CO<sub>2</sub>. Los motores de gas, una vez adaptados, permiten su utilización reduciendo las emisiones del diésel o de la gasolina, e incluso pudiendo llegar a un índice de emisiones negativas. Este uso es especialmente interesante para el transporte marítimo o de vehículos pesados, tales como autobuses o camiones, en los que la electrificación puede no ser viable. En Europa el biometano ya supone un 17% del gas utilizado como combustible. En Pamplona y La Coruña ya hay autobuses propulsados con gas renovable.

Con relación al empleo, la Consultora NAVIGANT publicó en 2019 un estudio detallado “Gas for Climate”, sobre los empleos que puede crear este sector. La proyección es que en 2050 podrían crearse entre 100 000 y 150 000 empleos directos adicionales en agricultura para el suministro de las materias primas a las plantas y entre 200 000 y 300 000 empleos directos industriales para equipamiento. Adicionalmente se crearán otros puestos de trabajo

**Recientemente el MITERD abrió una Consulta Pública previa en la elaboración de la Hoja de Ruta de Biogás, que tiene como objetivo ser la herramienta que guíe y fomente su despliegue y desarrollo, considerando su papel relevante en la transición energética y en su capacidad para integrar la economía circular en la generación de energía renovable. La consulta también planteaba cuestiones sobre aspectos sociales y ambientales, así como su potencial contribución para alcanzar los objetivos de la Estrategia Nacional frente al Reto Demográfico**



Fuente EBA: Statistical Report 2019



Planta de biogás Catí. Foto: SPD Biogás

en la construcción, los servicios, la operación y el mantenimiento de las plantas. Estos datos son extrapolables a nuestro país en función de los objetivos que se marquen.

El Proyecto europeo REGATRACE (REnewable GAs TRade CEnter), realizó recientemente una encuesta en varios países de la UE, entre ellos España, para sondear la aceptación del biometano por la sociedad. A la pregunta a consumidores y productores, actuales y potenciales, sobre qué aspecto consideraban más importante, la mayor importancia fue dada a la reducción de emisiones de GEI del biometano frente al gas natural, incluso por encima que la dada a la diferencia de costes, en la que se acepta pagar por el biometano hasta 10 euros más por MWh que por el gas natural. Este proyecto, financiado por la CE, y en el que AEBIG es participante, tiene como objetivo la creación de un sistema de comercio eficiente basado en la emisión y comercialización de Garantías de Origen (GdO) del biometano y otros gases renovables.

Además de un marco normativo que incluya un sistema de incentivación apropiado, otro condicionante para su

desarrollo es disponer de un sistema de GdOs que dote de un valor añadido a los gases renovables garantizando su origen. Esto permite a los productores recibir de un organismo aprobado por el Gobierno, la acreditación de la energía renovable producida, que puede ser comercializada a nivel nacional o en operaciones transfronterizas y ser aceptadas también fiscal y financieramente por las autoridades responsables de importaciones.

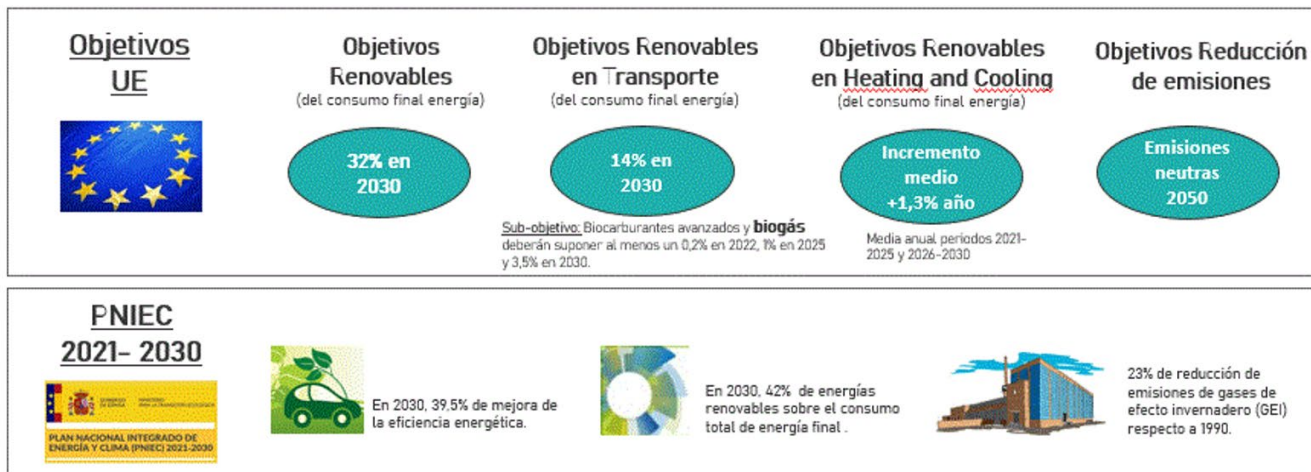
Una vez consumida esa acreditación, es redimida. El consumidor puede de esta forma compensar la compra de derechos de emisión, si estuviese sujeto a ello. Lamentablemente, tampoco se dispone todavía en España de un sistema de GdOs, al igual que sucede con la incentivación. Por ello el sector está prácticamente inoperativo esperando su despegue.

### Imparable desarrollo del sector

Pero hay también toda una serie de factores que generan optimismo y confianza en el imparable desarrollo del sector. El “Acuerdo de París” ya estableció el objetivo de al-



## Los gases renovables son claves para:



Fuente BIOVIC

BIOVIC

canzar la neutralidad climática en 2050. El “Green Deal” y la REDII son el marco estratégico a nivel europeo, que marca el camino a seguir. Los gases renovables ayudarán a conseguir esos objetivos suministrando un 14% de la energía para consumo final.

La Comisión Europea anunció en septiembre su propuesta de reducir en un 55% las emisiones de GEI en 2030 respecto a las de 1990. Como objetivos vinculantes: la energía consumida procedente del gas debería reducirse como mínimo un 20% en comparación con los niveles de 2018, mediante el uso de gases renovables y, como mínimo, deberían suponer un 11% incluyendo biometano líquido e hidrógeno. Será, por tanto esencial contar con el hidrógeno, pero por el momento, debido a que aún no existe una producción de hidrógeno verde en la UE, el principal contribuyente a la descarbonización deberá ser el biometano.

También la Directiva de la UE 2018/2001 relativa al Fomento de las Energías Renovables, establece que, para alcanzar la descarbonización de la economía, habrá que:

- ◆ Ampliar el sistema de GdO a los gases renovables
- ◆ Promocionar la producción y el consumo del biometano, así como el comercio transfronterizo
- ◆ Esquemas de apoyo: subvenciones, exenciones fiscales, cuotas, tarifas y primas...

A nivel nacional la actividad de la Administración Pública está siendo realmente esperanzadora. Por citar varias de ellas:

**El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 y el Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética,** recogen la necesidad de impulsar el despliegue del biogás para la consecución de la neutralidad de emisiones en 2050. La “Medida 1.8. Promoción de gases renovables” en el PNIEC, los señala como: “unos de los pocos vectores energéticos renovables que pueden utilizarse tanto para generar electricidad, como para cubrir demanda energética en procesos industriales de alta temperatura y en el transporte.”

**El Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética,** en su artículo 10, “Fomento y objetivos de los gases renovables”, prevé:

1. Objetivos anuales de penetración de los gases renovables en la venta o consumo de gas natural.
2. Un sistema de certificación que permita la supervisión y control.
3. Regulaciones que favorezcan la inyección de dichos gases renovables en la red de gas natural.

Recientemente el MITERD abrió una Consulta Pública Previa para la elaboración de la Hoja de Ruta de Biogás, que tiene como objetivo ser la herramienta que guíe y fomente su despliegue y desarrollo, considerando su papel relevante en la transición energética y en su capacidad para integrar la economía circular en la generación de energía renovable. La consulta también planteaba cuestiones sobre aspectos sociales y ambientales, así como su potencial contribución para alcanzar los objetivos de la Estrategia Nacional frente al Reto Demográfico.



También en el presente año se han anunciado ayudas destinadas a Proyectos de Inversión en Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica y Térmica con Fuentes de Energía Renovable cofinanciados con fondos FEDER

En octubre la CE ha anunciado la “Estrategia del Metano”, un planteamiento de conjunto para acelerar la reducción de emisiones de metano y alcanzar la neutralidad climática en 2050. Esta estrategia reconoce el alto potencial del biogás para reducir dichas emisiones en la agricultura e impulsar el desarrollo rural, que es la causante de más de la mitad de las emisiones de metano en la UE.

Es fundamental la implantación de un sistema de seguimiento, notificación y verificación, bien estructurado, para poder detectar y cuantificar con mayor precisión las emisiones de metano a lo largo de la cadena de valor del gas y que, por tanto, permita una evaluación más fiable de los resultados por haber aplicado medidas de mitigación.

Escribiendo estas líneas (4 de noviembre de 2020) el MITERD acaba de publicar la “Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050”

Sin embargo, la bioeconomía no debería focalizarse únicamente en el suministro de energía renovable, limitándola a la descarbonización. El concepto de sostenibilidad debe tener en cuenta aspectos sociales, medioambientales, de calidad del aire, económicos y el reciclaje de recursos ante una cada vez menor disponibilidad de estos, sin dejar atrás un ecosistema seguro y saludable, no solo para los seres humanos, sino también para las especies animales y vegetales.

Las conclusiones del recientemente celebrado “Madrid Forum” en su 34 edición, organizado por la Comisión Europea, en el que se debatieron las oportunidades y los desafíos relacionados con el desarrollo y la descarbonización del mercado interior del gas de la UE y su integración con otros sectores de la energía, referidas a los gases renovables, fueron entre otras:

- ✓ Incentivar la oferta y la demanda
- ✓ Certificación - metodología y criterios
- ✓ Creación de mercado
- ✓ Infraestructuras



**Para concluir, nada mejor que la declaración de la presidenta de la Comisión Europea, Ursula Von der Leyen: “Para una neutralidad climática en 2050 necesitamos un suministro 100 % de gas renovable basado en gases verdes, tales como el biometano y el hidrógeno”.**



# La importancia de los gases renovables en la reactivación de la economía y la creación de empleo

**Emilio de las Heras**

Ingeniero naval y MBA.

Experto en cambio climático y sus posibles soluciones.

<http://www.expansion.com/blogs/cambioclimatico>

La descarbonización de la economía europea y española no más tarde de 2050, implicará la sustitución casi total de los combustibles fósiles por otras formas de energía sin emisiones. Ello requerirá la electrificación renovable de dos terceras partes de todos los procesos energéticos que hoy se atienden con hidrocarburos, en los que destacan el transporte, la calefacción y la industria. Para afrontar este reto, habrá que realizar un despliegue monumental de renovables y eficiencia energética.

Igualmente, será necesario un conjunto de medidas de gestión de la intermitencia, entre las que destacan el almacenamiento, la gestión de la demanda, la digitalización de redes y ciudades, las interconexiones y la dispersión geográfica y tecnológica de los parques eólicos y fotovoltaicos.

Habrà miles de horas anuales en que la generación eólica y fotovoltaica será superior a la demanda y miles de horas en que la generación no pueda satisfacer la demanda. Por lo que se prevé la necesidad de plantas de generación de respaldo. Hoy ese respaldo se consigue en España con 26 GW de centrales de ciclo combinado a gas natural. En 2050, el respaldo que se demuestre necesario, deberá ser suministrado por gases renovables: biometano, metano sintético o hidrógeno renovable.

Cuando la generación renovable exceda la demanda, los precios de la electricidad serán tendentes a cero. Y será

el momento de utilizar todas las tecnologías de almacenamiento de energía: hidráulica reversible, aire comprimido, baterías industriales, domésticas o en coches eléctricos y la producción de hidrógeno renovable mediante electrólisis.

Igualmente, hay un potencial enorme y disperso de aprovechar residuos urbanos, industriales, agrícolas y forestales para la producción de gases combustibles de origen orgánico, que sustituyan en todo o en parte al gas natural fósil.

## Gases renovables

Son los que no emiten CO<sub>2</sub> a la atmósfera, ni en la combustión ni en la fabricación.

El principal es el **hidrógeno** obtenido por electrólisis con electricidad renovable (H<sub>2</sub>R). El obtenido por reformado

de gas natural si bien es cierto que no emite CO<sub>2</sub> al quemarlo o en la pila de combustible, sí emite CO<sub>2</sub> durante el proceso de fabricación.

El **biogás** es una mezcla de metano (CH<sub>4</sub>), CO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub> y otros gases de origen biológico. Se obtiene por digestión anaerobia de todo tipo de residuos. Claro que emite CO<sub>2</sub> al quemarlo en la caldera, pero se trata de un gas que ya teníamos, en vertederos, en el estiércol de las vacas, en los purines de los cerdos o en los restos de la agricultura y explotaciones forestales.

Si no hacemos nada con ese metano, se va a la atmósfera con capacidad de atrapar calor (el llamado efecto invernadero) 26 veces la del CO<sub>2</sub>. Además, al quemarlo, sustituimos y dejamos de quemar gas natural fósil. Por lo tanto, recuperar todo el biogás que sea posible es una actividad beneficiosa para el medio ambiente y el clima.

El **biometano** es metano que se obtiene del biogás anterior, al que se le quitan las impurezas. El CO<sub>2</sub> puede usarse para combinarlo con H<sub>2</sub>R y producir gas de síntesis. Y el **gas de síntesis renovable** se obtiene por gasificación con H<sub>2</sub>R de materiales orgánicos obtenidos de las biomásas.

Estos cuatro gases renovables pueden utilizarse, con determinadas limitaciones, en procesos energéticos reemplazando al gas natural, reduciendo hasta cero las emisiones de gases invernadero debidos a este combustible fósil.

## Posibles usos de los gases renovables

### ✓ El hidrógeno renovable

En la industria, como materia prima, en la siderurgia, en la fabricación de amoníaco (NH<sub>3</sub>) que, a su vez se utiliza para fabricar urea y fertilizantes y que puede usarse en pilas de combustible para transporte pesado (barcos). Para

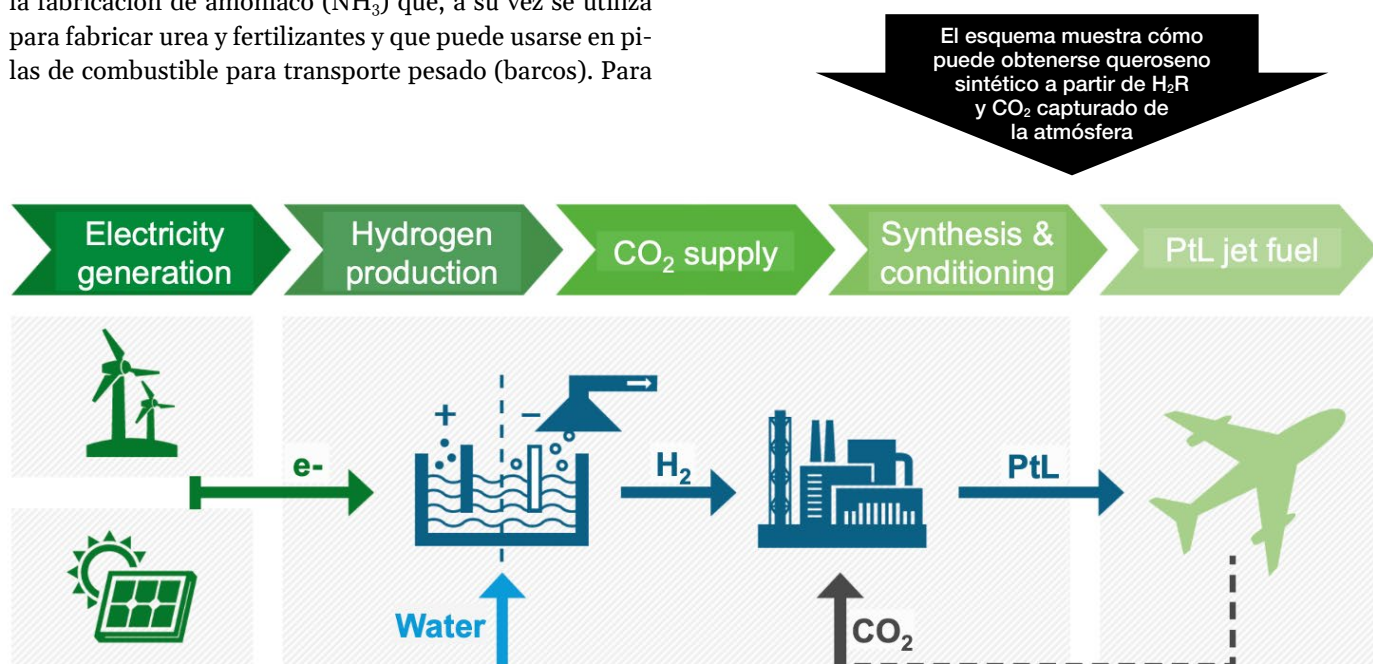
fabricar metanol y electro-combustibles que acabarán usándose en el transporte aéreo.

En procesos industriales de elevada temperatura, donde no es posible utilizar otras tecnologías como la bomba de calor y sustituyendo al gas natural fósil. Veo más fácil utilizar biometano y gas de síntesis en esta actividad, o un 5-15% de H<sub>2</sub>R inyectando en las actuales redes de gas natural, sin necesidad de inversiones adicionales.

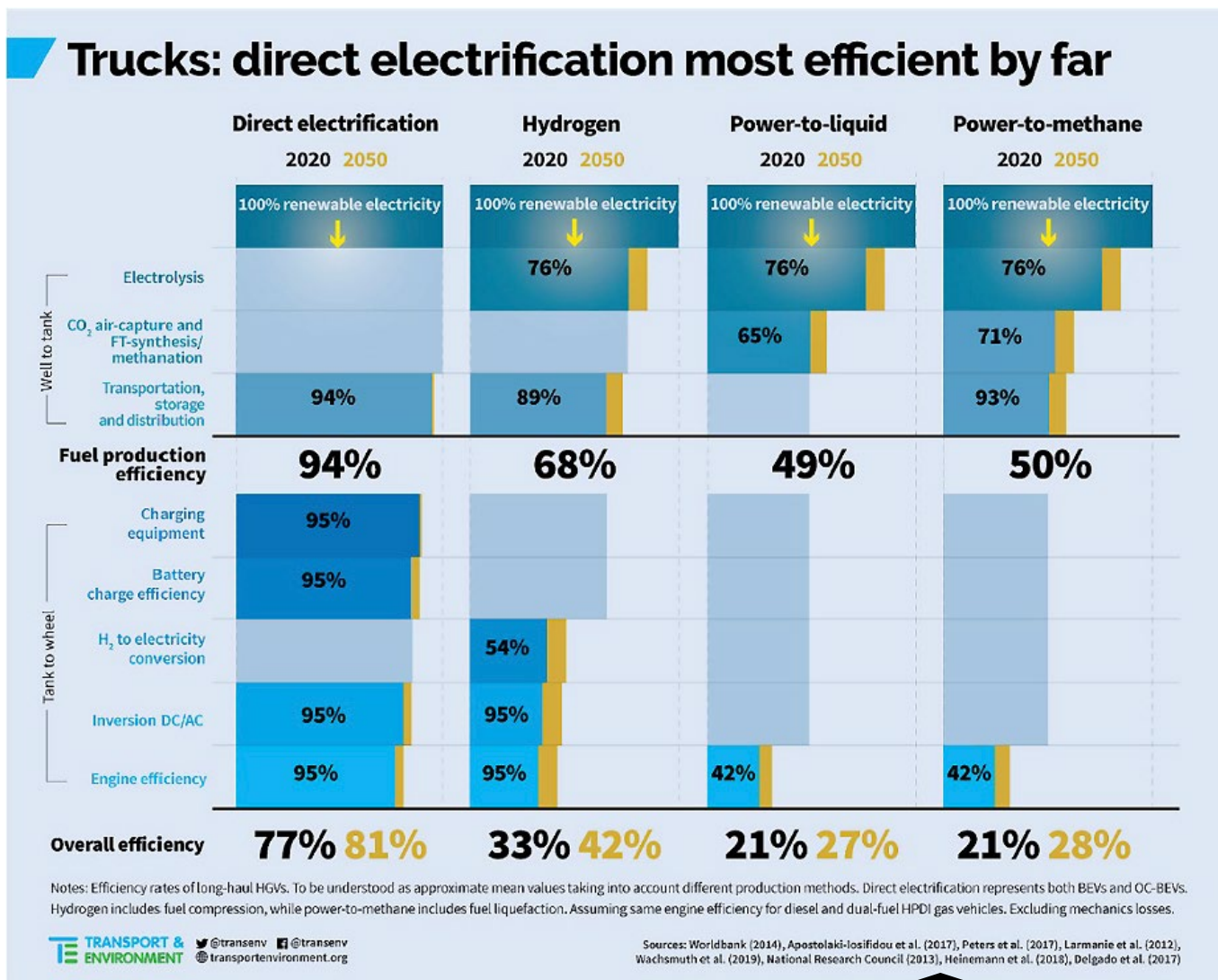
En transporte marítimo, en forma de pila de combustible a H<sub>2</sub>R o a NH<sub>3</sub>R. Uno de los problemas del H<sub>2</sub> es la elevada presión de almacenamiento (entre 300 y 800 bar). Por ello, habrá un amplio campo para la utilización del NH<sub>3</sub>R, que es más fácil de manejar, almacenar y usar. En 2050, la mayoría de la flota marítima mundial, unos 200 000 grandes buques, habrá sustituido o estará en fase de sustitución de los actuales sistemas de propulsión (casi la totalidad motores diésel a HFO-heavy fuel oil o MDO-marine diesel oil) a tecnologías de propulsión sin emisiones, entre los que destacará la pila de combustible a H<sub>2</sub>R o NH<sub>3</sub>R.

En transporte aéreo habrá varias tecnologías libres de emisiones. Hoy, todas son caras comparadas con el queroseno de aviación.

El H<sub>2</sub>R en pila de combustible implicaría propulsión a hélice, por lo que solo sería efectivo en vuelos de corta duración. Sin embargo, el gran potencial del H<sub>2</sub>R en navegación aérea será la fabricación de electro-combustibles, hidrocarburos sintéticos fabricados con hidrógeno verde. Hoy esta tecnología es muy cara, por lo que las primeras acciones de las administraciones deberían ir enfocadas a fomentar el I+D+i para el desarrollo de los electro-combustibles.







Esta gráfica, de Transport&Environment, muestra el rendimiento medido del pozo a la rueda (WTW, *well to wheel*, también conocido como *wind to wheel*) de cuatro tecnologías de propulsión eléctrica. Se ve que la electrificación directa (por catenaria, baterías o inducción) tiene un rendimiento óptimo, del 77% que puede llegar al 81%, comparado con la pila de combustible a H<sub>2</sub>, 33%-42% o electrocombustibles, 21-28%, también a H<sub>2</sub>

En transporte pesado por carretera. Hay una posibilidad para el uso masivo de H<sub>2</sub>R en pila de combustible en determinados camiones que hagan rutas con inicio y final en las redes de puertos y que necesiten elevadas autonomías y cortos tiempos de recarga. Los demás, serán eléctricos a baterías, pues su coste total de propiedad será más bajo. Y su consumo de energía mucho más bajo.

**Autobuses.** Los autobuses urbanos hacen menos de 300-400 km diarios y se mueven en entornos limitados. Su acceso a electricidad será mucho más fácil y barato por catenaria, inducción o baterías. Muy pocos serán competitivos mediante célula de combustible a H<sub>2</sub>R.

**Ferrocarril.** Solo en líneas férreas de muy costosa electrificación y baja intensidad de uso, se justificaría la pila de combustible a H<sub>2</sub>R. En todos los demás casos, el acceso a electricidad por rail o catenaria es y será mucho más competitivo.

**Turismos y furgonetas.** Dada su menor eficiencia, solo una minoría de automovilistas se decantará por el

FCEV (*Fuel cell electric vehicle*) a H<sub>2</sub>R. Y eso, dependiendo de una red de hidrogeneras que se construirá para atender las necesidades del transporte marítimo.

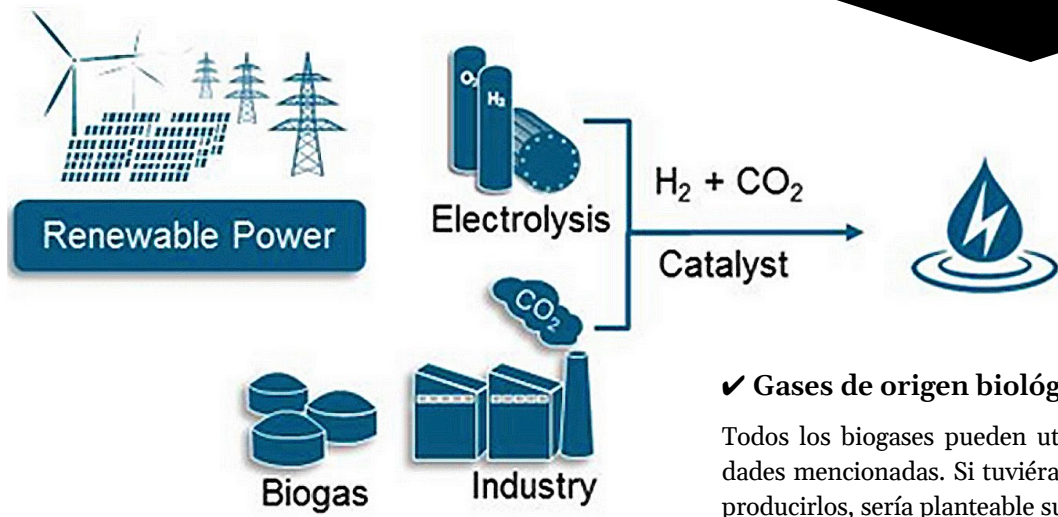
Con todo, el coste del hidrógeno será varias veces el coste de la electricidad por carga directa o baterías BEV (*batteries electric vehicle*).

Creo que no tiene sentido utilizar biometano en ningún tipo de movilidad. No hay recurso suficiente, no existe la red de gasineras que habría que construir y hay alternativas 100% sin emisiones, más baratas y eficientes.

**Calefacción doméstica.** La calefacción doméstica de todos los edificios que se construyan a partir de una determinada fecha será por bomba de calor, alimentada por electricidad renovable. Su rendimiento es hasta cuatro veces superior y no se requieren elevadas temperaturas. Quedaría la calefacción de los edificios anteriores. Sería un lujo hacerlo con hidrógeno, cuando podrá hacerse con biometano en sustitución progresiva del gas natural fósil.

**Generación de electricidad de respaldo.**

Este sí puede ser uno de los usos del H<sub>2</sub>R. Con pérdida de eficiencia, pues la electrólisis, más el almacenamiento harán muy cara esa forma de respaldo. Pero aportará la capacidad de almacenamiento de gran volumen y largo plazo.



✓ Gases de origen biológico

Todos los biogases pueden utilizarse en todas las actividades mencionadas. Si tuviéramos capacidad ilimitada de producirlos, sería planteable su uso en todas ellas. Pero no tenemos tanto potencial. Ni tiene sentido utilizar este recurso escaso en aplicaciones donde ya hay tecnologías sin emisiones mucho más eficientes, como es el transporte. Sin embargo, sí puede y debe utilizarse este tipo de gases para cogeneración local, para inyectar en la red para la sustitución progresiva de gas natural de origen fósil por metano de origen biológico. Para su uso como materia prima, en calefacción y generación de electricidad de respaldo.

Con todo, las necesidades de respaldo serán objeto de comprobación a lo largo de los próximos años, conforme se vayan desconectando las actuales térmicas de carbón y reactores nucleares. En la medida que sea necesario un respaldo por potencias significativas, se puede proceder a la progresiva sustitución del actual gas natural fósil mediante inyección en la red de biometano y H<sub>2</sub>R.

**Todas estas tecnologías hoy son más caras que las que pretenden erradicar, pues las actuales tecnologías fósiles no internalizan los daños que causan a la salud, ni al medio ambiente, ni al clima. En las actuales condiciones, los gases renovables no pueden competir ni siquiera desarrollarse. Pero las tecnologías fósiles pertenecen al pasado. Tarde o temprano, habrá que poner los medios para erradicarlas. Y la UE se ha marcado el 2050 para ese objetivo**



## Situación de partida

**Hidrógeno renovable.** Tomaremos como punto de partida la reciente Hoja de Ruta del Hidrógeno renovable:

Estos son sus objetivos. No los comparto todos, por ejemplo los 150 autobuses urbanos y 2 líneas de trenes a pila de combustible, porque creo que eso es mucho más eficiente mediante electricidad por carga nocturna y catenaria. No obstante, es un gran comienzo. Y puede haber excepciones (por tener que salvar grandes desniveles)

### Objetivos país a 2030



**Biogases.** Sobre la situación de partida en España, las necesidades potenciales y el potencial de generación de gases renovables me he basado en el libro “Los gases renovables. Un vector energético emergente”, por Alvaro Feliú Jofre y Xavier Flotats Ripoll. En nuestro país apenas hay una planta de biometano (2017), comparada con más de 500 en Europa, donde destacan Alemania, Reino Unido, Noruega y Francia. Como sea, hay gran espacio para que se pongan los medios para usar estos recursos que hoy simplemente emiten metano a la atmósfera.

Necesidades potenciales de gases renovables en España (Feliú y Flotats).  
Consumo de energía final en España, 2017 (Ktep)  
Fuente: MINETUR/IDAE(2019) <sup>94</sup>

## Necesidades potenciales de gases renovables en España

Partiré del consumo de energía final en España (2019), 82,26 MTtep (millones de toneladas equivalentes de petróleo), unos 930 TWh. De ellos, 353 TWh fueron de gas natural (31,2 Mtep, el 38%). La práctica totalidad del transporte fue servido por derivados del petróleo (otro 43%).

El objetivo de la transición energética es que, en 2050, haya desaparecido el consumo de carbón y petróleo para usos energéticos y se haya reducido en lo posible el consumo de gases. Y que estos gases sean, en la medida de lo posible, renovables.

Sector	Eléctrica	Térmica	Total
Transporte	448	35.812	34.260
Doméstico, comercios y servicios	12.269	13.137	25.406
Industria	6.833	12.919	19.752
Agricultura	497	1.905	2.402
Otros	127	316	443
<b>Total</b>	<b>20.174</b>	<b>64.089</b>	<b>82.263</b>

Pues bien, teniendo en cuenta los razonamientos anteriores sobre qué usos tendrá más sentido que sean atendidos con gases renovables, realizo las siguientes hipótesis:

**Transporte.** Solo se atenderá con gas renovable el transporte marítimo, del orden del 5% de los 33,8 Mtep = 1,7 Mtep

**Edificios.** Se atenderá con gas renovable la tercera parte de los 13,1 Mtep = 4,3 Mtep. El resto serán renovables térmicas y electricidad (bomba de calor).

**Industria.** El 50% de 12,9 = 6,4 Mtep (en usos térmicos y materia prima).

**Resto.** El 50% de 2,8 = 1,4 Mtep

Total energía servida con gases renovables = 13,8 Mtep.

A lo que habría que añadir entre el 5% y el 10% de la electricidad (respaldo) = 5 Mtep, lo que totaliza 19 Mtep, ... Unos 220 TWh. Seguramente, la cifra final será inferior, por efecto de los planes de eficiencia energética.

Es decir, electrificando todo lo electrificable, en 2050 quedará casi un 30% de la energía a ser abastecida con gases combustibles (usos térmicos, transporte pesado y respaldo, fundamentalmente). Pues bien, más nos vale que sea de emisiones CERO.

### Potencial de generación de gases renovables en España

La capacidad de producción de gases renovables, se estima (Feliú y Flotats) entre 62 y 96 TWh que podrían llegar a unos 120-130 TWh si se extrema el aprovechamiento de lodos, residuos forestales y agrícolas (sin cultivos energéticos). Si a esta cifra le sumamos los 53 TWh (ver más adelante) previstos como necesarios-disponibles de hidrógeno electrolítico, estaríamos hablando de unos 180 TWh de potencial disponible total de biogases e hidrógeno. Esto supone casi la totalidad de las necesidades estimadas en el párrafo anterior.

Si España quiere erradicar todos los hidrocarburos fósiles en 2050, sustituyendo por electricidad renovable (a) los derivados del petróleo en transporte, (b) la mitad del gas natural en calefacción e industria, y (c) reemplazar la otra



	Potencial máximo	
	TWh/a	bcm/a
Digestión anaerobia	35,8 - 53,3	3,06 - 4,56
Gasificación	121	10,37
De electricidad a gas	45 - 53,7	3,85 - 4,59
<b>Total</b>	<b>201,8 - 228</b>	<b>17,21 - 19,45</b>

	Potencial disponible	
	TWh/a	bcm/a
Digestión anaerobia	20,11 - 34,46	1,72 - 2,95
Gasificación	27,97 - 38,22	2,39 - 3,27
De electricidad a gas	13,46 - 23,07	1,15 - 1,97
<b>Total</b>	<b>61,54 - 95,75</b>	<b>5,26 - 8,19</b>

mitad por gases renovables, deberá abordar un ambicioso plan para desarrollar y desplegar estas tecnologías, en los cientos de granjas de cerdos, de pollos, de vacas; en los cientos de depuradoras urbanas e industriales, en cientos de explotaciones agrícolas y forestales. Y crear una red de electrolizadoras de H2R, plantas de gasificación y de electrocombustibles.

### Capacidad de generación de empleo

Basaré mi estimación en dos trabajos publicados recientemente en Francia sobre los gases renovables.

Un primer estudio de ADEME (Agencia para la gestión del Medio Ambiente y la Energía de Francia), estima que podrían atender el 100% de su demanda de gas en 2050 (460 TWh) mediante la fabricación local de gases renovables.

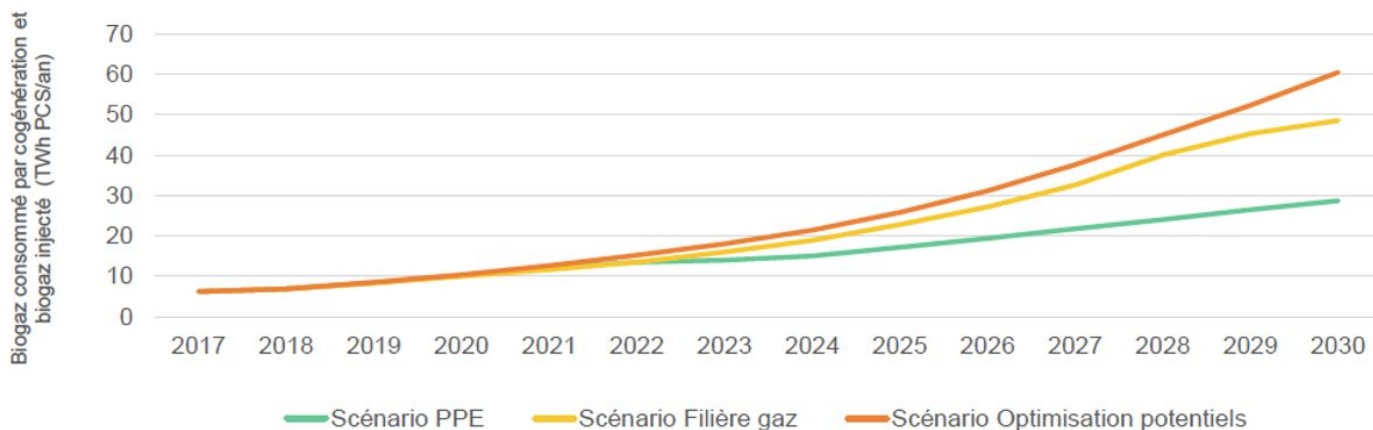
**Construir y operar instalaciones de biogás podría generar más de cien mil puestos de trabajo, muy cualificados, frenando la despoblación de la España vaciada. Evitando la emisión a la atmósfera de un metano que ya existe en esas granjas y depuradoras. Sustituyendo gas natural fósil y generando fertilizante de elevada calidad**



En este otro estudio, realizado por la empresa *Transitions*, limitado al horizonte de 2030, parten de la realidad de 2018: 11,65 TWh anuales, 800 instalaciones, 4053 empleos).

Plantean tres posibles escenarios para 2030, alcanzando cifras de producción entre 28,7 y 60,5 TWh.

## Trois scénarios de développement du biogaz testés à horizon 2030



Scénario	Consommation de biogaz (TWh PCS)		
	2023	2028	2030
PPE	14	24	28,7
Filière gaz	16	40	48,5
Optimisation potentiels	18	45	60,5

El máximo potencial, 60,5 TWh, les permitiría generar 53.168 empleos directos e indirectos (dos tercios en la operación de las plantas y un tercio en su construcción).

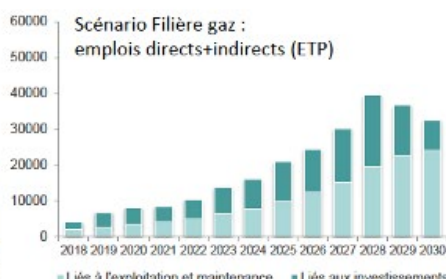
## La filière biogaz, de 17 000 à 53 000 emplois à horizon 2030



**17 667 emplois**

10 773 ETP directs / 6 894 ETP indirects

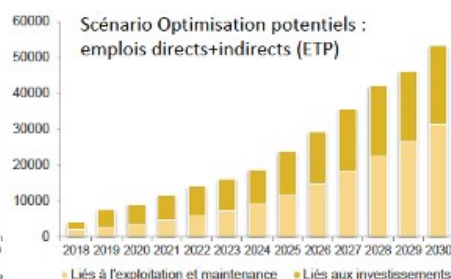
**x4** entre 2019-2030



**32 550 emplois**

20 129 ETP directs / 12 421 ETP indirects

**x8** entre 2019-2030



**53 186 emplois**

31 549 ETP directs / 21 637 ETP indirects

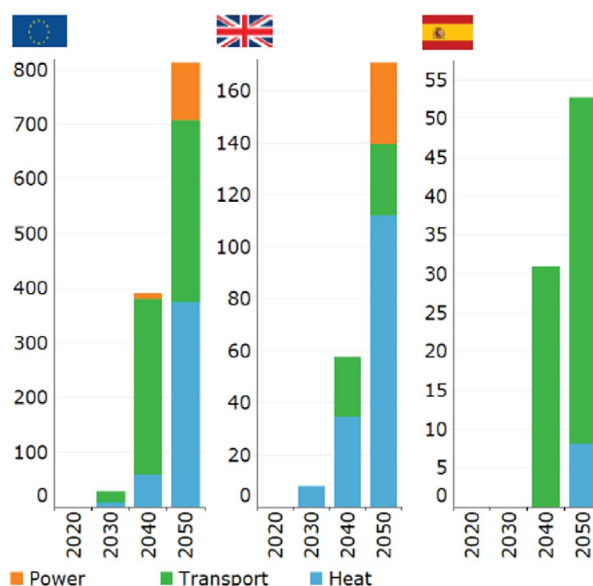
**x13** entre 2019-2030

Una extrapolación conservadora a España, en 2050, nos daría la necesidad de construcción de este tipo de instalaciones, por unos 120-130 TWh. Es la cuarta parte del potencial francés a 2050 y el doble que en 2030. Estaríamos hablando de unas 2000 plantas, la inmensa mayoría en el medio rural, cerca de las granjas, explotaciones agrícolas y forestales. Construir y operar estas instalaciones podría generar más de cien mil puestos de trabajo, muy cualificados, frenando la despoblación de la España vaciada. Evitando la emisión a la atmósfera de un metano que ya existe en esas granjas y depuradoras. Sustituyendo gas natural fósil y generando fertilizante de elevada calidad.

El potencial de generación de empleo del H<sub>2</sub>R es también importante.

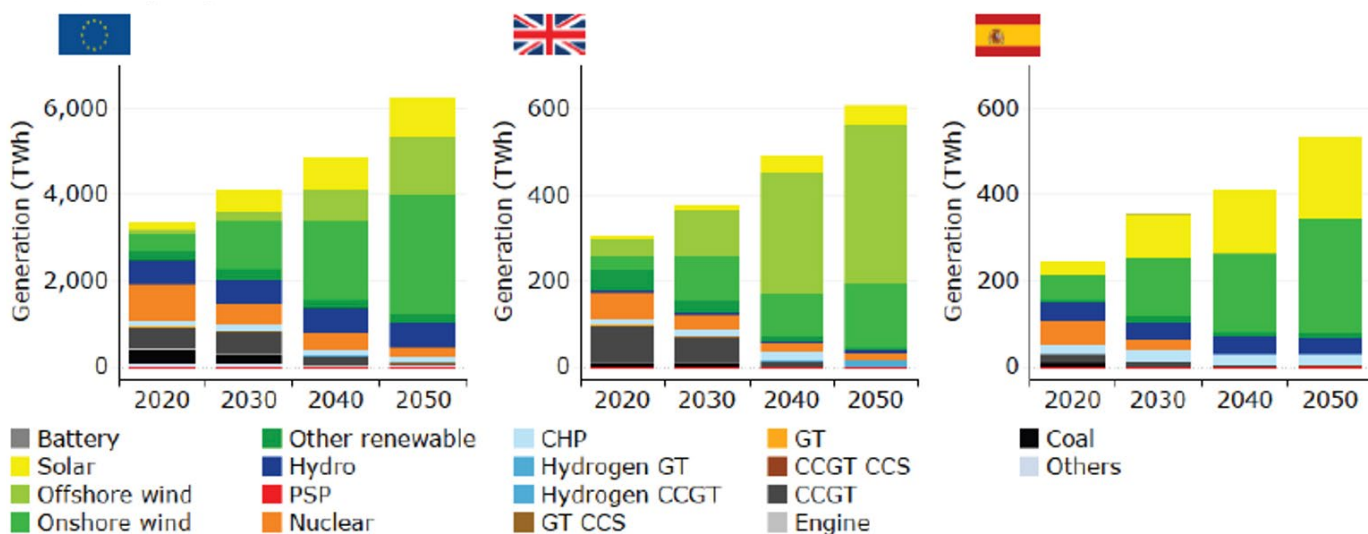
Según este trabajo de AFRY, España necesitará unos 53 TWh en capacidad de electrólisis. Y la práctica totalidad de la generación de electricidad, en 2050, será renovable, mediante solar y eólica, completada con hidráulica e hidrógeno.

### Demanda de hidrógeno (TWh)



<https://afry.com/en/zero-carbon-roadmap>

### Generación (TWh)



2050 Holistic & Efficient Roadmap for a Zero-Emissions EU Energy

Asumiendo que las electrolizadoras se alimentarán de electricidad excedente, durante unas 1000 horas anuales? implicaría unos 53TW de potencia instalada en 2050: 13 veces el objetivo del Plan Nacional de Hidrógeno a 2030. Muy ambicioso. Eso requerirá construir centenares de plantas electrolizadoras y sus tanques de almacenamiento. Esta industria es mucho más intensiva en capital que los gases biológicos y parte de este hidrógeno ha sido contabilizado en el epígrafe anterior, por lo que estimaremos su capacidad de generar empleo en la tercera parte por TWh. Resultan casi 20 000 empleos adicionales, en 2050.

Se puede crear una industria permanente de diseño, construcción, operación de estas plantas entre 2021 y 2050. La curva de aprendizaje y los factores de escala la harán progresivamente más competitiva (como ha ocurrido con la eólica, la fotovoltaica o las baterías). No puede ni debe deslocalizarse. Ha de hacerse *in situ*, con tecnología y mano de obra local. El impulso a la I+D+i debe ser primordial. La cadena de valor se extiende a la fabricación de tuberías, válvulas, compresores, intercambiadores de calor, electricidad y electrónica de potencia, calderería, componentes químicos, pilas de combustible, astilleros y



un larguísimo etcétera. Sin olvidar las necesidades de formación, desde universitaria a formación profesional.

En resumen, podrían crearse unos 120 000 empleos permanentes, de calidad, en industrias químicas, industriales, automoción, calefacción, generación de electricidad y calor, la mayoría en la España rural...

## Impacto potencial en la economía

Imposible de anticipar. Demasiadas incógnitas. Arriesgaremos una extrapolación, por definición, errónea, pero podemos acercarnos a un orden de magnitud. Todas estas tecnologías hoy son más caras que las que pretenden erradicar, pues las actuales tecnologías fósiles no internalizan los daños que causan a la salud, ni al medio ambiente, ni al clima. En las actuales condiciones, los gases renovables no pueden competir ni siquiera desarrollarse. Pero las tecnologías fósiles pertenecen al pasado. Tarde o temprano, habrá que poner los medios para erradicarlas. Y la UE se ha marcado el 2050 para ese objetivo.

El impulso a la economía de un plan como el esbozado en este artículo se basará en unas inversiones del orden de 100 000<sup>1</sup> millones de € repartidos en 30 años, para construir los miles de plantas de biogases, biometano, gas de

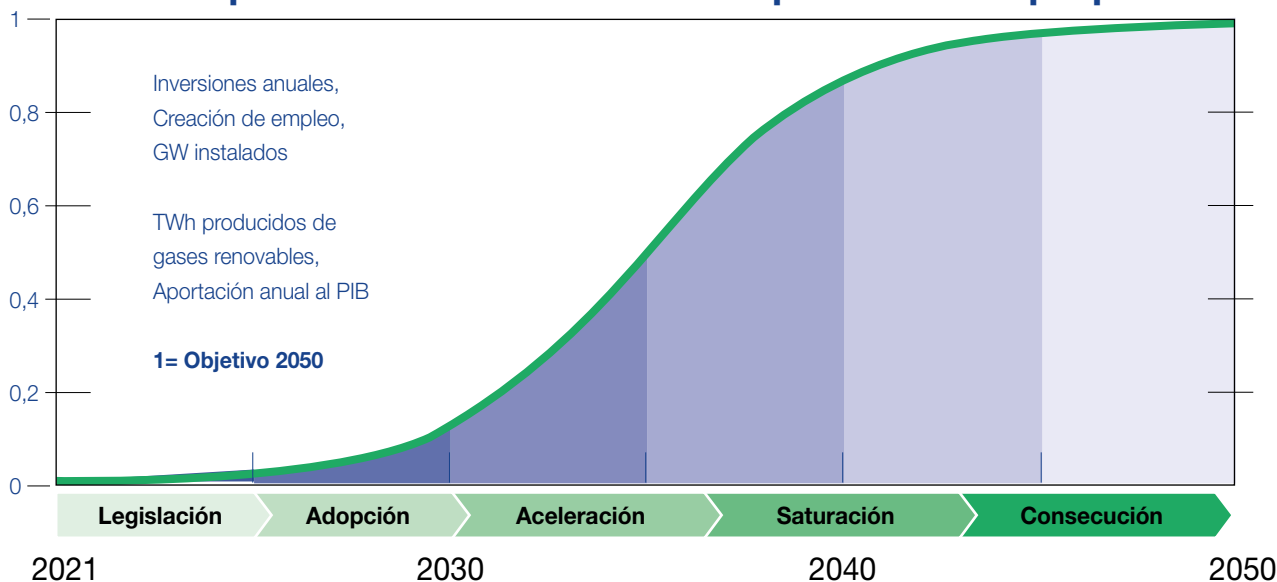
síntesis, electrolizadoras, tanques de almacenamiento y en la sustitución progresiva de importaciones de gas natural fósil, totalizando unos 110 000 M€ en estos 30 años, por 120 000 empleos locales construyendo y operando esos miles de plantas. Una vez finalizada esta transición, la aportación al PIB de este plan podría superar entre el 1%, por reducción de importaciones de gas natural, creación de empleos permanentes y exportación de hidrógeno y otros gases renovables.

Su aportación a la reactivación de la economía será necesariamente muy lenta.

No se verán sus efectos hasta transcurridos varios años. Pero será parte de la transición. Vale la pena reflexionar sobre todo esto y planificar el futuro con visión de emisiones cero en 2050.

Con todo, este sería un plan a 30 años. Partiendo de cero y con una gran incertidumbre, pues estos gases renovables deberán competir con hidrocarburos fósiles, más baratos que no internalizan sus costes externos. Dependerán de una legislación estable para descarbonizar la economía

## Forma esperable del desarrollo de un plan como el propuesto



<sup>1</sup> Las inversiones en plantas de biogás, biometano, gas de síntesis y otras, durante estos 30 años podrían estimarse como el área de un triángulo de base 30 años y altura 40 000 empleos x 40 000€ x 2 (50% mano de obra, 50% materiales) = 50 000M€. Las inversiones estimadas en la Hoja de Ruta del Hidrógeno son 8900 M€ para unas instalaciones de 4GW en 2030. Si en este teórico plan se realizasen los 53GW derivados de la estimación de AFRY, la simple proporción serían 118 000 M€. Es de esperar una fuerte reducción por curva de aprendizaje y factores de escala y duplicidades, digamos del 50%, unos 60 000 M€. Lo que totaliza algo más de 100 000 M€, en 30 años, necesariamente aproximado.

En cuanto a la posible aportación al PIB, he estimado la reducción de importaciones de gas natural, las posibles exportaciones de hidrógeno y biogases y la creación de más de 120 000 empleos locales. Con cifras de 2020, resultarían unos 15 000 M €, del orden del 1,5% del PIB. En 2050.

## Conclusión

Los gases renovables deben jugar un papel importante en la transición energética, pues algunos procesos no podrán electrificarse. Hay usos térmicos de alta temperatura y usos industriales, transporte pesado y generación de respaldo que podrán realizarse con hidrógeno renovable y biogases inyectados en la red.

Los gases de origen biológico ya los tenemos y ya emiten metano a la atmósfera con un efecto invernadero 26 veces más potente que el CO<sub>2</sub>. Por tanto, es clave diseñar un plan para poner en valor los residuos de vertederos urbanos, industriales, granjas, explotaciones forestales y limpieza de bosques. Y obtener un gas que pueda inyectarse en la red y sustituir al metano de origen fósil. Al tratarse de un recurso limitado, debe utilizarse en las aplicaciones de menor coste y donde no haya alternativas eléctricas: materia prima en la industria, usos térmicos de elevada temperatura y generación de electricidad de respaldo. La capacidad de creación de empleo de estos biogases la estimamos en unos 100 000 puestos directos e indirectos y será por la construcción de entre mil y dos mil plantas de todos los tamaños y todas las tecnologías distribuidas donde haya recurso biológico: vertederos, depuradoras, explotaciones ganaderas, agrícolas y forestales, con especial impacto en el empleo rural.

El hidrógeno renovable tiene también gran potencial. Su capacidad de almacenamiento de energía en los momentos en que el precio de la electricidad renovable excedente se acerque a cero, le otorga una grandísima oportunidad. Seguirá siendo caro, por lo que deberá utilizarse en aquellas aplicaciones en las que no haya alternativas renovables más eficientes: materia prima en la industria, procesos térmicos de elevada temperatura, respaldo y transporte pesado. La capacidad de generación de empleo del hidrógeno también será importante, casi 20 000 puestos, pues habrá que construir y operar cientos de electrolizadoras, tanques de almacenamiento, plantas de fabricación de amoníaco y de electro-combustibles, fabricación de pilas de combustible y mucha industria auxiliar. La localización preferente de estas plantas será de proximidad a las grandes instalaciones eólicas y fotovoltaicas, a las plantas de biogás y a la red de puertos.

**Los gases renovables podrían crear unos 120 000 empleos permanentes, de calidad en industrias químicas, de bienes de equipo, automoción, calefacción, generación de electricidad y calor, la mayoría en la España rural...**

Además, estas dos tecnologías originarán una gran demanda de formación y de I+D+i en universidades y centros de investigación.

Su potencial de impulso a la recuperación económica será igualmente importante, con unas inversiones estimadas en más de 100 000 M€ en los próximos 30 años y una creciente aportación al PIB, que podía llegar al 1% a partir de 2050. Pero su impacto será menos inmediato, pues los flujos monetarios no llegarán a la economía hasta transcurrido bastante tiempo. En todo caso, el momento es ahora y las ayudas europeas o nacionales a los planes de recuperación económica tras la pandemia, deben concentrarse en actividades sostenibles, de futuro, incluyendo la creación de una potente industria de biogás, hidrógeno renovable y sus derivados.

El reto es enorme y requiere una gran visión de cómo queremos que sea la energía y el transporte en 2050. Y poner los medios legislativos ya para iniciar la transición.


El efecto no será inmediato, pero estas serán industrias con futuro, generadoras de empleos de calidad, compatibles con una economía descarbonizada y desplegadas principalmente en la España vaciada.

**Nota del autor:** Lo expresado en este artículo son opiniones del autor. Agradezco la ayuda de Alvaro Feliú y Xavier Flotats, en cuyo libro he aprendido sobre estos gases y por su ayuda con los documentos franceses. Los datos son su acierto. Los errores son mis opiniones.

## Referencias:

- <https://www.expansion.com/blogs/cambioclimatico/2020/01/21/descarbonizar-el-transporte-maritimo.html>
- <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/hoja-de-ruta-del-hidrogeno-renovable.aspx>
- <https://www.fundacionnaturgy.org/publicacion/los-gases-renovables-un-vector-energetico-emergente/>
- [https://www.grdf.fr/documents/10184/1291504/100%2525\\_En\\_Study/3227170b-face-4300-96a8-f8339ffe0645](https://www.grdf.fr/documents/10184/1291504/100%2525_En_Study/3227170b-face-4300-96a8-f8339ffe0645)
- [https://projet-methanisation.grdf.fr/wp-adm/wp-content/uploads/2019/09/Etude-impact\\_emplois-biogaz.pdf](https://projet-methanisation.grdf.fr/wp-adm/wp-content/uploads/2019/09/Etude-impact_emplois-biogaz.pdf)





# La biomasa

## en el punto de mira de un futuro energético protagonizado por el hidrógeno

**Luis Fernández del Pozo.**

Consultor en Energías Renovables y Agroecología

**Antonio Gómez Sal.**

Catedrático de Ecología de la Universidad de Alcalá

*El impulso que se quiere dar al hidrógeno y otros gases “verdes” (biometano) como portadores energéticos en la transición a una economía europea descarbonizada y basada en fuentes propias de energía primaria, presumiblemente generará una demanda adicional por los recursos de biomasa procedentes de sistemas agrarios y forestales.*

*En un momento en que los países de la Unión Europea revisan su política agraria, acentuando la necesidad de unas prácticas productivas ambientalmente más sostenibles, se precisa integrar estos mismos planteamientos en la producción de bioenergía, para no caer en los errores que han venido provocando el empobrecimiento del suelo y el deterioro y simplificación de los paisajes agrarios.*





## ¿Podrá el combustible del futuro obtenerse de fuentes renovables?

Con el objetivo de descarbonizar la economía, desvinculando definitivamente el desarrollo económico de la curva creciente pero insostenible de consumo de energía fósil, las directrices de la Unión Europea plantean el fomento de los gases “verdes” en sustitución progresiva del gas natural, y generalizando su consumo en aquellas aplicaciones que guardan más posibilidades de sustituir a los derivados del petróleo, fundamentalmente el transporte. Para alcanzar la neutralidad climática, cuyo horizonte se ha marcado para 2050, uno de los objetivos señalados es que el 100 % del gas consumido como fuente de energía sea de origen renovable (el objetivo global para la economía europea es reducir un 95 % las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a las de 1990). Los gases “verdes” a los que se refiere la Comisión en el Pacto Verde europeo, son el biometano y el hidrógeno, siempre que éstos sean producidos a partir de materias primas renovables, y sin emisiones netas de gases de efecto invernadero. Especialmente sobre el hidrógeno recae un manifiesto interés, dado su alto contenido energético y la posibilidad de adaptarlo a las demandas de consumo de energía de las sociedades industriales, hasta el punto de hablarse desde hace algunos años de la futura “economía del hidrógeno”.

Pero es preciso recordar que el hidrógeno es sólo un vector energético, es decir, un medio para convertir la energía primaria en energía de consumo, al igual que la energía eléctrica. Y esto cuestiona la creencia de que el hidrógeno vaya a sustituir al petróleo, al gas o al carbón que hoy por hoy alimentan nuestra civilización. Lo que sí parece que conoceremos los ciudadanos europeos en un futuro cercano, es el suministro de estos dos gases “verdes” por las mismas redes de transporte y logística que el gas natural, en el caso del biometano compartiendo incluso los mismos gasoductos y depósitos de presurización. El hidrógeno requerirá instalaciones específicas, hidroductos, debido a su bajísima densidad (quince veces menor que el

aire), un inconveniente que ya sabe enfrentar la industria petroquímica, la cual produce y mueve importantes volúmenes de hidrógeno para diferentes utilidades.

La expectativa de hacer del hidrógeno el medio energético principal de un escenario postfósil, se basa en su comprobada versatilidad para adaptarse a diferentes formas y escalas de consumo, además de valorarse su inocuidad cuando se emite al entorno, y la posibilidad de ser manipulado con suficientes garantías de seguridad (el riesgo de explosión del H<sub>2</sub> sería menor que con la gasolina). El sueño llegará a completarse si la producción de hidrógeno se logra vincular a gran escala con sistemas renovables de generación de energía, sin emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Aunque el gas en estado libre es casi inexistente en nuestro planeta, el 11,2 % de la masa del agua son átomos de hidrógeno, y también es abundante en la madera y en todo tipo de materiales de origen biológico, lo que hace a este elemento virtualmente inagotable. La hidrólisis para separar el oxígeno del hidrógeno utilizando electricidad de generadores fotovoltaicos o eólicos, por ejemplo, es factible utilizando catalizadores y no deja ningún residuo. Pero nada es perfecto: con este método se consume mucha electricidad, y hoy por hoy, extraer el hidrógeno del agua con energías renovables, resulta bastante más caro

***En el escenario futuro que se está diseñando a través de la iniciativa europea de dar un serio impulso al hidrógeno, pensamos que tal política energética conduce irremediablemente a apostar por la biomasa como principal fuente primaria para producirlo, o al menos producirlo de forma “verde”, sin que el CO<sub>2</sub> emitido proceda de fuentes fósiles***



que la producción convencional de hidrógeno a partir de hidrocarburos.

Descendiendo a nuestro país, el pasado mes de octubre el MITERD publicó la *Hoja de Ruta del Hidrógeno*, en línea con los planes europeos. Como toda estrategia, pretende ser un marco de referencia y un impulso a la iniciativa privada en alianza con políticas públicas sectoriales. Para un país como España, la producción de hidrógeno en cantidad suficiente a partir de fuentes propias permitiría alcanzar la autonomía energética, librándose de la dependencia del petróleo y el gas natural, y sin la factura anual que estas importaciones suponen. Pero... ¿Sería realista pensar que España pueda producir en los próximos treinta años cantidades considerables de hidrógeno a partir de su capacidad instalada en energías renovables? En nuestra opinión, existirían argumentos para sospechar que esta posibilidad se nos presenta en la práctica todavía lejos. El mix de generación eléctrica en España, aunque ha hecho un esfuerzo notable por la integración de renovables y por la gestionabilidad de éstas (desarrollando redes inteligentes y derivando excedentes a centrales hidráulicas de bombeo), se enfrenta a retos importantes, entre los que podemos enumerar:

- ◆ **cubrir la casi total desaparición del carbón en la generación eléctrica**, sin que aumente la dependencia del gas natural, también fósil
- ◆ **sustituir la energía procedente de las centrales nucleares** al fin de la operatividad de éstas, previsto entre el 2027 y 2035

*En toda la UE se camina hacia una progresiva sustitución de los combustibles fósiles en calefacción, siendo la biomasa forestal su principal alternativa. En 2019 ya suponía el 86 % de toda la calefacción de origen renovable de la Unión*

**MEDIDA 41:** Potenciar nuevos núcleos energéticos de producción de hidrógeno renovable que contribuyan a evitar la despoblación rural y a conseguir los objetivos de reto demográfico, con especial atención a las regiones de transición justa.

En particular se han identificado como potenciales núcleos aquellas zonas de Transición Justa en las que se ha producido o se prevé en el corto plazo el cierre de centrales térmicas de generación eléctrica, y, por otro lado, plantas de producción de cemento y de transformación de minerales metálicos y no metálicos.

**MEDIDA 44:** Favorecer la producción de hidrógeno a partir de biogás sostenible en los casos en los que suponga una solución medioambiental y económicamente más eficiente que el hidrógeno renovable procedente de electrólisis, especialmente cuando el biogás proceda de residuos para los que no existan objetivos de reciclado, como los residuos agrarios e industriales.

Este enfoque permitiría valorizar los residuos del sector agrario e industrial, en línea con los objetivos de economía circular, y podrá ajustarse a las oportunidades de residuos agrarios que ofrecen las zonas rurales, contribuyendo a generar riqueza y empleo que evite su despoblamiento.

Trabajando en el vínculo entre Transición Justa y Reto Demográfico, se favorecerá con especial atención el hidrógeno a partir de biogás sostenible en zonas de Transición Justa cuya industria y sector agrario se ajusten a este perfil de producción.

**MEDIDA 47:** Incentivar del diálogo con Portugal, Francia y otros países de la UE para impulsar la cooperación regional en el campo del hidrógeno renovable, bajo mecanismos europeos como el Connecting Europe Facility (CEF), favoreciendo el posicionamiento de la Península Ibérica en la producción del hidrógeno renovable y el potencial suministro de futuros excedentes a otros Estados miembros de la UE.

La integración de la cadena de valor nacional en la cadena de valor comunitaria mediante la participación en iniciativas comunitarias como el IPCEI (Proyectos Importantes de Interés Común Europeo) de hidrógeno será clave para la competitividad y desarrollo de la industria en la Unión Europea.

*Hoja de Ruta del Hidrógeno. Una apuesta por el hidrógeno renovable  
Cap. 4 Líneas de acción, p. 36-37  
Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Octubre 2020  
Revisado por el Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*

- ◆ **atender la creciente demanda de la movilidad eléctrica** (vehículo eléctrico enchufable), al menos en el transporte ligero y urbano, que ya es una realidad para las empresas de automoción
- ◆ **mayor consumo eléctrico domiciliario y empresarial** por los nuevos estilos de vida y de trabajo cada vez más basados en las nuevas tecnologías de información y en la robótica
- ◆ aun pudiendo existir cierto excedente de generación, **seguirán primando dinámicas de mercado**, optándose por la venta directa de los excedentes de la red eléctrica a los países con los que estamos interconectados: Francia, Portugal, Marruecos.



◆ algunos sectores de actividad podrían **elevantar naturalmente la demanda de energía**, como el regadío agrícola, tanto para sistemas de riego, como para desalación de agua de mar, si se consuman predicciones negativas sobre la intensidad de las sequías.

A lo anterior se podría añadir que las plantas de generación solar o eólica dedicadas a la producción de hidrógeno podrían funcionar de manera aislada de la red, ya que el hidrógeno se puede almacenar y transportar después a los lugares de consumo. Siendo esto cierto, sigue quedando un problema por solucionar: crecería la demanda de suelo que requieren estas instalaciones de generación de energía; considerando que los mejores enclaves ya han sido ocupados, cualquier nueva instalación debe ser cuidadosamente escogida y negociada con el resto de intereses sobre el territorio.

## La biomasa, fuente primaria de energía

Frente a la duda que aquí planteamos respecto a que se puedan obtener cantidades importantes de hidrógeno combustible mediante hidrólisis, lo que significaría un consumo elevado de energía eléctrica difícil de asumir en un futuro próximo, existe la alternativa de sintetizarlo a partir de fuentes de biomasa, que básicamente consiste en liberar el hidrógeno contenido en la materia orgánica, por dos posibles vías (figura 1):

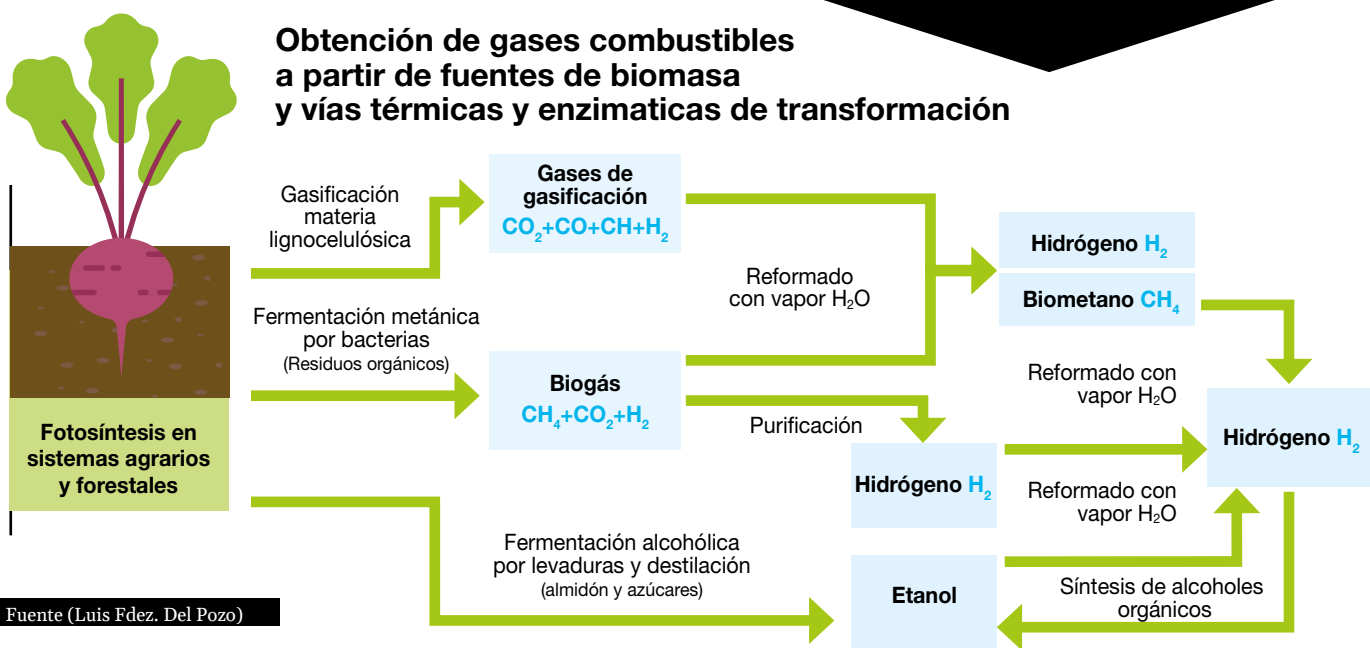
◆ la **digestión anaerobia**, que requiere la participación de microorganismos en ambiente saturado de humedad; este procedimiento ya se utiliza ampliamente en nuestro país y en toda Europa, para transformar residuos or-

gánicos en biogás, lo mismo de vertederos urbanos, que con los estiércoles y purines de granjas (porcino, avícola y lecherías, principalmente) o con ciertos residuos de la industria agroalimentaria. Además, si al biodigestor se le añaden plantas cosechadas en verde (maíz, sorgo, hierbas forrajeras) está comprobado que mejora el rendimiento en CH<sub>4</sub> del biogás

◆ procesos térmicos de **gasificación y pirólisis**; la gasificación admite cualquier tipo de materia vegetal, por lo que es el proceso idóneo para obtener hidrógeno de la madera, la paja y cualquier otro material lignocelulósico que se disponga en abundancia.

En ambos casos se obtiene una mezcla de gases, entre los que predominan el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el monóxido de carbono (CO) y el metano (CH<sub>4</sub>), con algo de gas hidrógeno (H<sub>2</sub>); tanto el biogás, como el gas de gasificación resultantes de la degradación de la biomasa son inflamables y su poder calorífico, aunque mediocre, puede ser aprovechado en quemadores convencionales. No obstante, lo más interesante es someter estas mezclas gaseosas a procesos de purificación eliminando CO<sub>2</sub> que no es combustible, y CO que es peligrosamente tóxico. Una vez purifica-

Desde tiempo inmemorial, los humanos han aprovechado el poder combustible de la biomasa. Los materiales orgánicos que se obtienen de cultivos o de extracciones forestales, son materia prima industrial de innumerables artículos y compuestos químicos. El diagrama representa cómo mediante procesos convencionales de fermentación y termoquímicos (gasificación y reformado con vapor H<sub>2</sub>O) también se pueden llegar a producir los llamados gases verdes.



Fuente (Luis Fdez. Del Pozo)



do tendremos el biometano, de similar composición que el gas natural de origen fósil, y que podrá ser almacenado, distribuido y consumido con el mismo tipo de instalaciones que éste, incluso mezclándolos, lo que permite al sector gasista descontarse emisiones de su balance de CO<sub>2</sub>.

Si el combustible buscado es el hidrógeno, podemos someter el biometano al mismo procedimiento que se hace con el CH<sub>4</sub> del gas natural y con otros hidrocarburos ligeros, mediante *reformado con vapor*; consiste en someter estos compuestos a vapor de agua calentado a varios cientos de grados de temperatura (con un catalizador que puede ser níquel), y se libera una gran cantidad de H<sub>2</sub> en la reacción. El hidrógeno purificado puede alimentar motores de combustión, pero su uso más interesante es la generación distribuida de electricidad a través de las llamadas “*pilas de combustible*”, tanto en aplicaciones móviles como estacionarias.

En el escenario futuro que se está diseñando a través de la iniciativa europea de dar un serio impulso al hidrógeno como vector energético, pensamos que, de momento, es decir, en las próximas dos o tres décadas, tal política

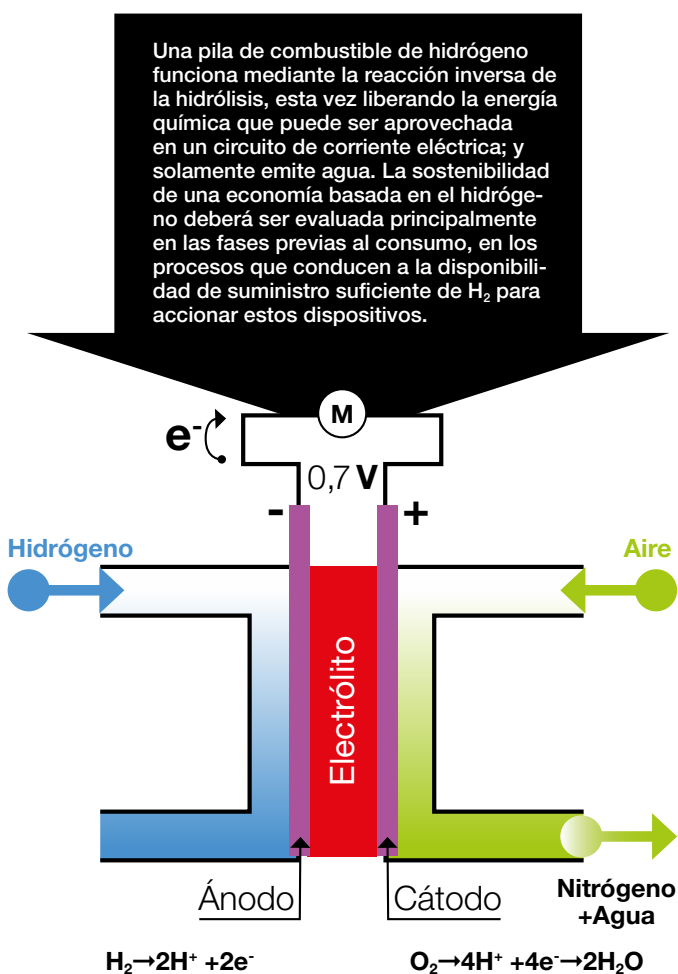
energética conduce irremediabilmente a apostar por la biomasa como principal fuente primaria para producirlo, o al menos producirlo de forma “verde”, sin que el CO<sub>2</sub> emitido proceda de fuentes fósiles. Pero la cuestión no es sólo que sea técnicamente factible, sino que, en el marco económico actual, existan los suficientes incentivos para que las biomásas de diferentes procedencias (residuos de procesos agroindustriales y ganaderos, cultivos bioenergéticos, biomasa forestal) se rentabilicen en la producción de hidrógeno antes que en otros objetivos. Como trataremos de explicar más adelante, es en los incentivos y no en la tecnología donde está el riesgo de que la producción de hidrógeno a partir de biomasa no sea una solución tan sostenible como se presenta.

Pero veamos antes qué otras producciones de biomasa de nuestro país competirían con el hidrógeno “verde” basado en este recurso: indudablemente, la prioridad de nuestra agricultura es la producción de alimentos, y particularmente la agricultura más tecnificada y de regadío, que es la más rentable en las condiciones actuales gracias a la exportación, no está en condiciones de ceder las mejores tierras con acceso a agua para otros usos.

En el futuro cercano, y dados los cambios legislativos que ya están en marcha en materia de plásticos de un solo uso, se espera que florezca progresivamente una nueva industria del envasado biodegradable, que sustituya a los actuales plásticos contaminantes, utilizando como materia prima celulosas (producto secundario de muchos cultivos) y almidón de plantas cultivadas, algunas diseñadas para tal efecto (ya hay patente sobre variedades de patata). También, por la parte de los subproductos de la industria agroalimentaria, el sector de los piensos para engorde animal recicla grandes cantidades, reincorporando los nutrientes a la cadena alimentaria, que de otra forma se desperdiciarían.

Un caso diferente y particular de la agricultura europea son los productos agrícolas orientados a la producción de etanol, principalmente a partir de la remolacha, uno de los cultivos más subvencionados de la UE; dado que el etanol, junto con el otro alcohol de cadena corta (el metanol, éste sintetizado a partir del gas natural) es un portador de hidrógeno que puede alimentar satisfactoriamente las pilas de combustible, el desarrollo de la economía del hidrógeno puede generar interesantes expectativas para el sector remolachero.

En lo que se refiere a la biomasa más abundante, la de origen forestal, o sea la madera con destino combustible, parece que también sobre ella se han establecido prioridades, para consumos de calefacción y en procesos térmicos industriales (pellets, astillas). Valga el siguiente dato: de las 50 acciones concretas que enumera el Pacto Verde de la UE (2019) para la neutralidad en emisiones de carbono,



Esquema de funcionamiento de una pila de hidrógeno. Infografía IDAE.

a la biomasa energética se le asigna el papel principal en la producción de calor, lo que a efectos quiere decir apostar por su combustión directa, ya que es la forma más eficiente de aprovechar su poder calorífico, y se dispone de tecnologías adecuadas para ello, tanto para uso domiciliario como industrial. De hecho, en toda la UE se camina hacia una progresiva sustitución de los combustibles fósiles en calefacción, siendo la biomasa forestal su principal alternativa. En 2019 ya suponía el 86 % de toda la calefacción de origen renovable de la Unión. Los países escandinavos y Austria son los actuales líderes en esta apuesta, pero también España cuenta con importantes recursos propios procedentes de la gestión de masas de coníferas y los eucaliptales, además de un combustible genuinamente mediterráneo como es el hueso de aceituna. Por otra parte, la producción, distribución y consumo de combustibles de madera, incluida la venta de leñas que se mantiene estable, reúne las mejores condiciones para beneficiar al medio rural, porque es precisamente en este ámbito en el que se produce el recurso y donde mejor puede contribuir a su desarrollo.

Antes de avanzar al siguiente punto, no quisiéramos dejar pasar por alto un asunto que consideramos del todo relevante para nuestro tema de discusión: no hace muchos años que la Unión Europea legislaba de forma en-

tusiasta favorecer con cuotas crecientes la incorporación de los llamados “biocombustibles” en el transporte: biodiésel y bioetanol, que según el discurso oficial, repetido por el sector bioenergético, tras una primera fase de desarrollo a partir de cultivos convencionales, darían paso a una “segunda generación” en la que no competirían con la producción de alimentos, porque sus materias primas serían otras, cultivadas en tierras “marginales”. Los incentivos económicos para alcanzar los tantos por ciento autorizados en mezcla de diésel y gasolinas, no tardaron en generar una burbuja de plantas de procesamiento de aceites y alcohol en la primera década de este siglo, para pocos años después cerrar o disminuir la capacidad de muchas de ellas, y tener que dar marcha atrás desde Bruselas en la normativa. Pero ¿por qué fracasó la apuesta europea por estos biocombustibles? Las razones, a nuestro entender, no hay que buscarlas ni en la tecnología que acompaña al producto, ni en la falta de mercado; al contrario, fue la toma de conciencia de los límites ambientales. Ni los países europeos eran capaces de disponer de tierras de cultivo adicionales, para siquiera sustituir un porcentaje sig-

***La producción, distribución y consumo de combustibles de madera, reúne las mejores condiciones para beneficiar al medio rural, porque es precisamente en este ámbito en el que se produce el recurso y donde mejor puede contribuir a su desarrollo***



Foto: CENEAM. O.A. Parques Nacionales.



***España cuenta con importantes recursos propios procedentes de la gestión de masas de coníferas y los eucaliptales, además de un combustible genuinamente mediterráneo como es el hueso de aceituna***



nificativo de sus importaciones de petróleo; ni la compra “certificada” de las materias primas a terceros países pudo evitar que derivara en procesos de deforestación, además de agravar perjuicios para comunidades campesinas por la especulación y acaparamiento de tierras. Y por si fuera poco el conflicto por el uso del suelo, el descrédito de los biocombustibles líquidos para el transporte llegó a su máximo cuando las revisiones científicas sobre el ciclo de vida completo de estos productos (con datos ya conocidos pero ignorados en la toma de decisiones), concluyeron que se habían calculado erróneamente los balances de energía iniciales, y que el carbono emitido por la conversión del uso del suelo a monocultivos de palma, soja, caña, maíz, etc. no estaba contabilizado.

### **El carbono orgánico que se sustrae del suelo no es “verde”**

Todos hemos aprendido en nuestra etapa escolar que el carbono que fijan los vegetales por fotosíntesis procede del CO<sub>2</sub> atmosférico, el cual a su vez procede de la respiración y la combustión. Este mismo ciclo aparece reiteradamente descrito cuando se habla de bioenergía, y es el principio básico que respalda la compensación de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero a través de proyectos de cultivo o revegetación, en el marco del mercado de carbono que se originó posteriormente al Protocolo de Kioto (aprobado en 1997; el Régimen de Comercio de Derechos

de Emisión de la Unión Europea se estableció en 2005). Pero, aunque la explicación de una relación directa entre el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y el carbono fijado por las plantas resulte tan intuitiva y práctica, es fácil darse cuenta de que el funcionamiento del ecosistema no es tan simple, porque hay otras etapas del ciclo en las que la participación del carbono es fundamental. Sin la descomposición lenta de la materia orgánica, el crecimiento vegetal acaba colapsando porque se pierden las condiciones para enraizar: por pérdida de nutrientes, degradación de la estructura del suelo (desestructuración de los agregados), compactación en ausencia de materia orgánica, falta de aireación y de retención de agua, entre otras causas. Precisamente la intensificación de la producción agrícola, una de las señas de las sociedades industrializadas, se caracteriza por maximizar la producción sin atender al equilibrio con la reposición de carbono orgánico en el suelo, indispensable para la creación de complejos organominerales que son la base de la productividad. Esta pérdida de fertilidad especialmente relevante en la agricultura industrial, se viene evitando cada año con la introducción de insumos, asumiendo los daños colaterales de los impactos de muchos de éstos: el exceso de nitratos, que a su vez contribuye a mineralizar más el suelo; la contaminación de acuíferos; la aparición más virulenta de plagas y enfermedades en los monocultivos; el avance de la desertificación provocada por los usos humanos.

Retomando la cuestión sobre los gases “verdes”, si para producir estos combustibles se utiliza materia prima vegetal, ya sean plantas enteras o partes residuales de los cultivos, incluso el estiércol de la digestión por herbívoros



***La extracción de la materia orgánica debe también mantener un equilibrio con la reposición de carbono al suelo que garantice el mantenimiento de su fertilidad. A riesgo, si no lo hace, de que la práctica agrícola sea insostenible***

domésticos, o bien material extraído de las plantas perennes (arbóreas y arbustivas), significa derivar para nuestro objetivo cantidades de carbono que de otra manera podrían completar su ciclo pasando por las cadenas tróficas del suelo, y con un manejo adecuado este carbono quedaría inmovilizado durante largos períodos de tiempo, formando parte de una estructura edáfica apropiada para la agricultura, que se incrementaría cada año. Tanto desde el punto de vista biológico como agronómico, hay acuerdo en que el carbono orgánico del suelo desempeña una función esencial para mantener la capacidad productiva de la tierra, siendo, por tanto, un claro servicio ecosistémico que beneficia a la sociedad humana que vive de ella. Por eso, la extracción de la materia orgánica, al tiempo que es indispensable para el sustento y las actividades humanas que dependen del producto cosechado, debe también mantener un equilibrio con la reposición de carbono al suelo, que garantice el mantenimiento de su fertilidad. A riesgo, si no lo hace, de que la práctica agrícola sea insostenible.

Asumiendo entonces, como se argumentó al principio del texto, que la producción de hidrógeno por hidrólisis generaría una presión sobre el sistema eléctrico basado en energías alternativas que no es solucionable a corto plazo, creemos que la futura demanda de gases “verdes” entrará en competencia con los cultivos agrícolas y otros aprovechamientos de la biomasa, si el abastecimiento de biometano e hidrógeno para el mercado energético se produce a partir de este recurso. A nuestro entender, es en la forma de gestión del suelo donde reside la cuestión de la bioenergía sostenible, y donde queremos poner nuestro foco de atención.

La reconversión energética de nuestro país basada en estos gases combustibles no puede prescindir de los agroecosistemas, y eso implica la necesidad de conocer y tomar en cuenta el funcionamiento de estos, exigiéndonos un manejo del suelo y de la cubierta vegetal que no reduzca su capacidad productiva, junto a la de prestar otros servicios esenciales, entre ellos la biodiversidad, el paisaje y su diversidad de usos. Perder el carbono orgánico del suelo es eliminar una condición indispensable para sustentar la fertilidad de la tierra, razón por la que este parámetro debiera ser considerado en cualquier valoración de sostenibilidad, etiquetado verde o certificación de neutralidad de emisiones de gases de invernadero.

Así como hay señales de mercado en el precio de los productos que penalizan el carbono emitido a la atmósfera cuando éste es de origen fósil, no hay ninguna señal relativa al carbono que se sustrae del suelo, dejando de cumplir un papel fundamental en el agroecosistema, relacionado con funciones esenciales tales como el ciclo de los nutrientes, la conservación de la fertilidad, estructura del suelo, la biodiversidad edáfica o la regulación hídrica.

### **Gestionar la producción de biomasa energética en el marco de una articulación territorial todavía pendiente**

El documento del MITERD asigna a la economía basada en el hidrógeno la reactivación industrial y económica de las llamadas zonas de Transición Justa, es decir, aquellos polos de actividad que se verán más perjudicados por las



La versatilidad del hidrógeno para cubrir la necesidad de energía del transporte y para suministrar almacenamiento y generación distribuida de electricidad, apunta a un crecimiento exponencial de la demanda de este gas en los próximos años. Surge la duda sobre qué fuente primaria de energía y material estará disponible de forma masiva para atender el despegue del hidrógeno.

## Usos del hidrógeno como vector energético

Almacenamiento de energía eléctrica, sin necesidad de baterías.

Generación distribuida de energía eléctrica mediante pilas de combustible.

- ✓ **Baja potencia:** Alimentación de aparatos electrónicos.
- ✓ **Media potencia:** Instalaciones aisladas de red, electrificación de edificios, alimentación de vehículos eléctricos.
- ✓ **Elevada potencia:** Electricidad industrial, navegación marítima.

Motor de combustión interna, directamente a hidrógeno o con biocombustibles sintetizados a partir de hidrógeno.

- ✓ **Transporte pesado terrestre.**
- ✓ **Navegación aérea.**

## Principales usos del hidrógeno en aplicaciones no energéticas

Síntesis de amoníaco para fertilizantes nitrogenados.

Procesos petroquímicos de reducción de contenido de aromáticos y de niveles de azufre en gasolinas y gasóleos.

Síntesis del metanol.

Síntesis de otros compuestos químicos y de agua oxigenada.

Hidrogenación de aceites comestibles.

Refrigeración de motores y generadores.

un coste, no hay yacimientos de estos gases, los recursos y fuentes primarias que los pueden proporcionar no son necesariamente baratos, y utilizarlos de forma masiva significa competir con otras demandas básicas que hemos apuntado. El problema, nuevamente, no se trata (sólo) de qué tecnología vamos a emplear, o cuál es el precio que el consumidor deba pagar por el combustible para cubrir su coste; seguramente el problema haya que situarlo en la discusión sobre la escala y consecuencias sobre el territorio, la población local y los recursos, de lo que queremos emprender.

En lo que se refiere al territorio, se puede caer en el error de diseñar políticas sobre los aprovechamientos de biomasa basadas en cifras globales, según las cuales nuestro país dispondría de suficientes tierras con recursos extraíbles, o con disponibilidad para implantar cultivos alternativos. A menudo se suele llamar a estos espacios “terrenos marginales”, enfatizando su carácter de activo excedentario, infrautilizado. Pero cuando se analiza el territorio desde un punto de vista integrador de funciones y procesos, se descubre que muchos de estos espacios del margen están formando parte coherente de un paisaje agrario, y contribuyen a soportar varios de los servicios que nos son imprescindibles. Forzar su productividad y eliminar sus caracteres diferenciales de biodiversidad natural y agraria, componentes y estilos de vida, es continuar con una dinámica de intensificación sobre la que ya conocemos las graves consecuencias, entre ellas el abandono rural que se pretende evitar.

Por otra parte, la estrategia para el hidrógeno deja entrever que este prometedor vector energético será objeto de un activo mercado entre países, y parece que al nuestro se le anticiparía un papel exportador hacia nuestros vecinos europeos. Frente a tal planteamiento, es preciso recordar lo que ocurre con los combustibles convencionales, en los que el hecho de estar orientados a un mercado internacional con características de oligopolio como es el petrolífero y gasístico, conlleva que se pierda el control sobre su precio. Si el hidrógeno y el biometano se desarrollan dentro del mismo esquema comercial, podría ocurrir que, si la producción local de los nuevos gases “verdes” resultara, por cumplir ciertos estándares ambientales, más cara que el precio ofrecido en el extranjero, se cayera irremediablemente en la dependencia energética (importación del más barato y cese de la producción local) o por el contrario, se prescindiera de las buenas prácticas para competir en precio. Pensemos, por ejemplo, que en los inmensos yacimientos de arenas bituminosas de Canadá ya se ha probado a generar hidrógeno inyectando oxígeno al subsuelo impregnado de hidrocarburos, incluso en los yacimientos ya explotados; una suerte de *fracking* de segunda generación que ya está atrayendo inversores.

medidas derivadas de la Transición Ecológica (petroquímica, cementeras y otras industrias intensivas en energía). Es del todo deseable que se apliquen las medidas necesarias para evitar impactos sociales como la pérdida masiva de empleos; y el marco “circular” de la *bioeconomía* bien puede ser parte de la solución. Los gases “verdes” pueden, en este sentido, ser el motor de una reconversión industrial basada en la innovación y en el respeto al medio ambiente en los centros de consumo, una reindustrialización más limpia. Pero volvamos al punto de partida: generar grandes cantidades de hidrógeno y de biometano tiene

Fuente (Luis Fdez. Del Pozo)

Para terminar, y a modo de conclusión:

¿puede ser la transformación energética de residuos orgánicos, cultivos y aprovechamientos forestales, una fuente definitiva y sostenible de gases verdes?

Nuestras posibles objeciones y precauciones van en un sentido múltiple:

- ✓ La generación distribuida que permitiría la tecnología del hidrógeno es una oportunidad de oro para apostar por un nuevo modelo de industrialización, de forma más equilibrada a la escala de las necesidades humanas y socialmente más equitativa.
- ✓ La valorización energética de los residuos orgánicos corresponde al consumo *in situ*, que es el que evita las pérdidas innecesarias por transporte y las distorsiones de mercado por operadores externos; si se quiere que sea sostenible, una medida esencial para regular el mercado de los productos de biomasa es que se grave el transporte en función de la distancia al origen.
- ✓ La reintegración de la materia orgánica al suelo es un componente fundamental de la economía circular y neutra en emisiones de gases de efecto invernadero; por tanto, la evaluación de la sostenibilidad de la bioenergía debería comenzar con un análisis riguroso de las prácticas agrarias que la sustentan.
- ✓ No hay que olvidar que buena parte de los suelos agrarios del territorio español, como consecuencia del clima y la larga historia de usos, tienen ya un déficit importante de materia orgánica y estructura deficiente. Si los residuos se dedican a usos energéticos perderemos la materia prima para un compostaje industrial que procese de forma conjunta residuos ganaderos y agrícolas, actualizando una práctica que era común en los sistemas de producción tradicionales, imprescindible para el avance hacia la sosteni-



bilidad agrícola, y que debería ser recuperada con nueva tecnología y cambiando la escala territorial del procesado.

- ✓ La transición ecológica incluye el reto demográfico, revertir el proceso de pérdida de población en las áreas rurales, ofreciendo la posibilidad de estilos de vida más asociados con la naturaleza y sus recursos. Este proceso tiene que estar apoyado en gran medida en potenciar un sector primario de calidad, basado en la agrobiodiversidad (agrícola, ganadera y forestal). Sería un error que los usos energéticos compitiesen con la diversidad (de productos, paisajes y culturas), una tendencia que ya se observa, como consecuencia del abandono y de la falta de planificación, en particular las instalaciones energéticas, considerando las escalas territoriales adecuadas.

## Referencias:

Directiva de la Unión Europea 2018/2001 de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf>

Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética. Boletín Oficial de las Cortes Generales. 29 de mayo de 2020. [http://www.congreso.es/public\\_oficiales/L14/CONG/BOCG/A/BOCG-14-A-19-1.PDF](http://www.congreso.es/public_oficiales/L14/CONG/BOCG/A/BOCG-14-A-19-1.PDF)

Hoja de Ruta del Hidrógeno: una apuesta por el Hidrógeno Renovable. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid. Octubre 2020. [https://www.miteco.gob.es/images/es/hojarutadelhidrogeno\\_tcm30-513830.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/hojarutadelhidrogeno_tcm30-513830.pdf)

J. L. G. Fierro. El Hidrógeno, metodologías de producción. Fundación General CSIC. [http://www.fgcsc.es/lychnos/es\\_es/articulos/hidrogeno\\_metodologias\\_de\\_produccion](http://www.fgcsc.es/lychnos/es_es/articulos/hidrogeno_metodologias_de_produccion)

Cuatro aportaciones de la biomasa al Pacto Verde de la UE. Biomasa News 1/marzo 2020. Revista de la Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (AVEBIOM). Valladolid. p. 46-47

Asociación Española de Biogás (AEBIG). No es cuestionable la necesidad de los gases renovables. Revista Energética n.º 199, septiembre 2020. p. 76

Asociación Española del Hidrógeno. [www.aeh2.org](http://www.aeh2.org)





Coche de hidrógeno.

# El hidrógeno como combustible alternativo para la descarbonización del transporte

**Carlos Merino Rodríguez,**

Ingeniero Industrial. Jefe de la Unidad de Aplicaciones y responsable del Laboratorio de Vehículos en el Centro Nacional del Hidrógeno.

Fotos cedidas por el Centro Nacional del Hidrógeno

El uso del hidrógeno y su despliegue en la sociedad se ha afianzado y ha tomado gran relevancia en los planes de multitud de economías como vía para la descarbonización y consecución de los niveles de reducción de emisiones, todo ello ha venido a denominarse “H2 momentum”.

Nos encontramos ante un impulso sin precedentes en el sector del hidrógeno, allanando el camino para el despliegue rápido y la llegada de inversiones. Un número cada vez mayor de actores sociales están presionando para que se tomen medidas políticas más firmes para limitar drásticamente las emisiones de carbono. El cambio climático requiere atención urgente. Si seguimos emitiendo CO<sub>2</sub> a los niveles actuales, pronto se superará el umbral de 1,5 grados centígrados, haciendo hincapié en la necesidad de tomar medidas inmediatas.

Los gobiernos están respondiendo con objetivos de descarbonización cada vez más ambiciosos. En el momento de la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Clima de 2019, 66 países habían anunciado su intención de cumplir los objetivos netos cero de emisiones de carbono para 2050. En la UE, la reglamentación incluye posibles multas por no cumplir los objetivos, y recientemente se anunció el “Green Deal” para apoyar el objetivo de emisiones netas cero. En los Estados Unidos, 25 estados formaron la “United States Climate Alliance” con el compromiso colectivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en al menos entre un 26 y un 28 por ciento por debajo de los niveles de 2005 para 2025. China ha hecho progresos considerables hacia sus objetivos de política climática de alcanzar las emisiones máximas para 2030 y cumplir su objetivo de alcanzar el 20 por ciento de la demanda de energía primaria procedente de fuentes de combustibles no fósiles con una inversión continua en tecnologías sostenibles.

A diferencia de épocas anteriores en el desarrollo del hidrógeno, la renovada atención al hidrógeno se ve reforzada por el hecho de que el uso del hidrógeno será fundamental si queremos cumplir los objetivos climáticos. Los gobiernos están reconociendo la capacidad del hidrógeno para descarbonizar sectores que de otro modo son imposibles o difíciles de reducir y su papel en la seguridad energética. Mientras tanto, los líderes de la industria en los sectores de la automoción, los productos químicos, el petróleo y el gas consideran que el hidrógeno bajo en carbono y las energías renovables son una alternativa seria para alcanzar sus objetivos de sostenibilidad.

Esta renovada atención también se produce cuando los factores clave que impulsan el hidrógeno limpio han experimentado una fuerte mejora. Por ejemplo, la electrólisis alimentada con electricidad renovable, el método de producción más común para producir “hidrógeno renovable”, se ha vuelto más asequible, ya que los precios de las energías renovables han disminuido, así como el CAPEX de electrólisis.

Los costes de la energía solar y eólica, los mayores contribuidores en la producción de hidrógeno renovable, han experimentado una disminución del 80 por ciento en la última década. Esta trayectoria de costes a la baja para las energías renovables debe continuar. Al mismo tiempo, la capacidad de electrólisis también ha comenzado a acelerarse, con al menos 55 veces más capacidad esperada para



2025 frente a 2015. Sobre la marcha de este impulso, los gobiernos han implementado un número creciente de políticas tangibles que promueven el hidrógeno. Hasta la fecha, 18 gobiernos, cuyas economías representan el 70 por ciento del PIB mundial, han desarrollado estrategias detalladas para implementar soluciones de energía del hidrógeno. Esto incluye el reciente anuncio de la coalición de gobiernos que forman la “Clean Energy Ministerial Hydrogen Initiative” para promover el despliegue global de 10 millones de vehículos eléctricos de pila de combustible “FCEV” para 2030, un aumento de cuatro veces el objetivo en los últimos dos años, y proyectos para construir 10 000 hidrogeneras para 2030.

### Algo está sucediendo ya

Mientras tanto, a medida que los gobiernos desarrollan estrategias específicas de hidrógeno, las asociaciones industriales en crecimiento proporcionan más evidencia de que algo realmente diferente está sucediendo con el hidrógeno. Más actores de la industria están reconociendo la versatilidad del hidrógeno y la caída de costes, lo que permite inversiones en una creciente gama de sectores.



Durante el mismo período, las partes interesadas han propuesto importantes inversiones a nivel mundial en segmentos como el transporte pesado de camiones, el ferrocarril y la producción de acero a partir de hidrógeno bajo en carbono o renovable.

A nivel nacional recientemente ha sido aprobada la “Hoja de Ruta del Hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable”, en donde se establece el hidrógeno verde como pieza clave para alcanzar la neutralidad climática y como facilitador para la consecución de un sistema eléctrico 100% renovable en 2050. En lo referente a movilidad se establece como objetivos a 2030, disponer de una flota de al menos 150 autobuses, 5000 vehículos ligeros y pesados, 2 líneas de trenes comerciales y maquinaria de *handling* propulsada con hidrógeno en los 5 primeros puertos y aeropuertos acompañado de la implantación de una red de 100 hidrogeneras y la instalación de 4GW de electrolisis renovable.

### Vehículos de hidrógeno

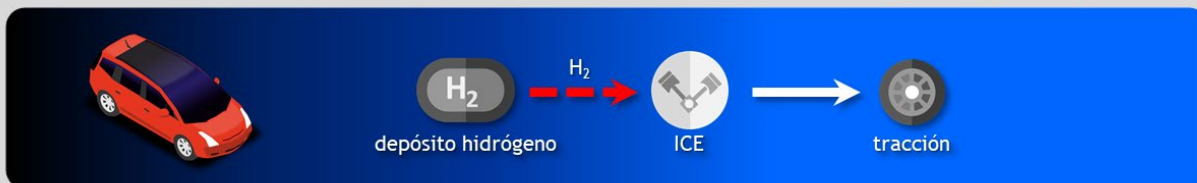
Por sus propiedades el hidrógeno es un combustible alternativo que puede ser utilizado en el transporte, con grandes ventajas en cuanto a emisiones de gases y par-

tículas contaminantes. Los vehículos de hidrógeno son catalogados como vehículos cero emisiones “ZEV” de manera local, que, unido a rutas de producción de hidrógeno verde, basadas en energías renovables, conducirían a un balance cero en el ciclo completo, del pozo a la rueda “TTW”.

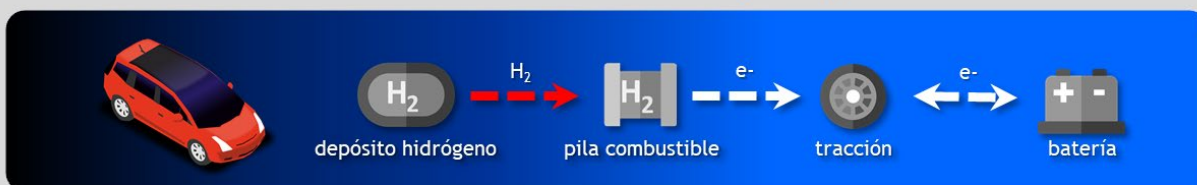
En este tipo de vehículos el almacenamiento principal de energía es hidrógeno, bien en forma de gas comprimido o licuado. Pueden ser clasificados en función de la constitución de su planta de potencia, de esta manera podemos encontrar vehículos de combustión, de pila de combustible o extensores de autonomía.

El vehículo de combustión interna alternativo de hidrógeno “HICEV”, es aquel en el que el combustible suministrado al motor de combustión es hidrógeno o una mezcla de hidrógeno. Los motores son modificados o adaptados para permitir la combustión del hidrógeno. La transmisión de la energía al eje motriz continúa siendo mediante energía mecánica. Al ser motores de combustión, la transformación del hidrógeno no es carente de emisiones contaminantes por la presencia de hidrocarburos en aquellos que funcionan con mezclas y por la potencial producción de NO<sub>x</sub> de origen térmico.

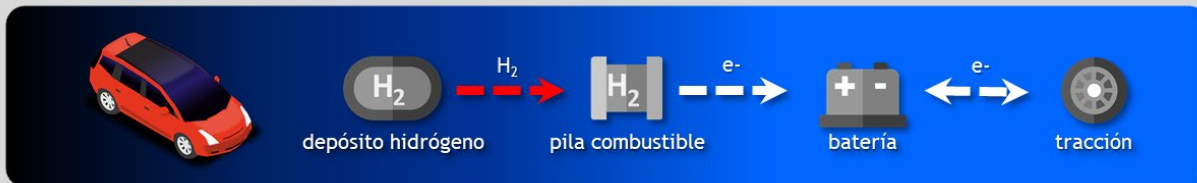
#### ✓ Motores de combustión interna alternativos de hidrógeno (HICEV)



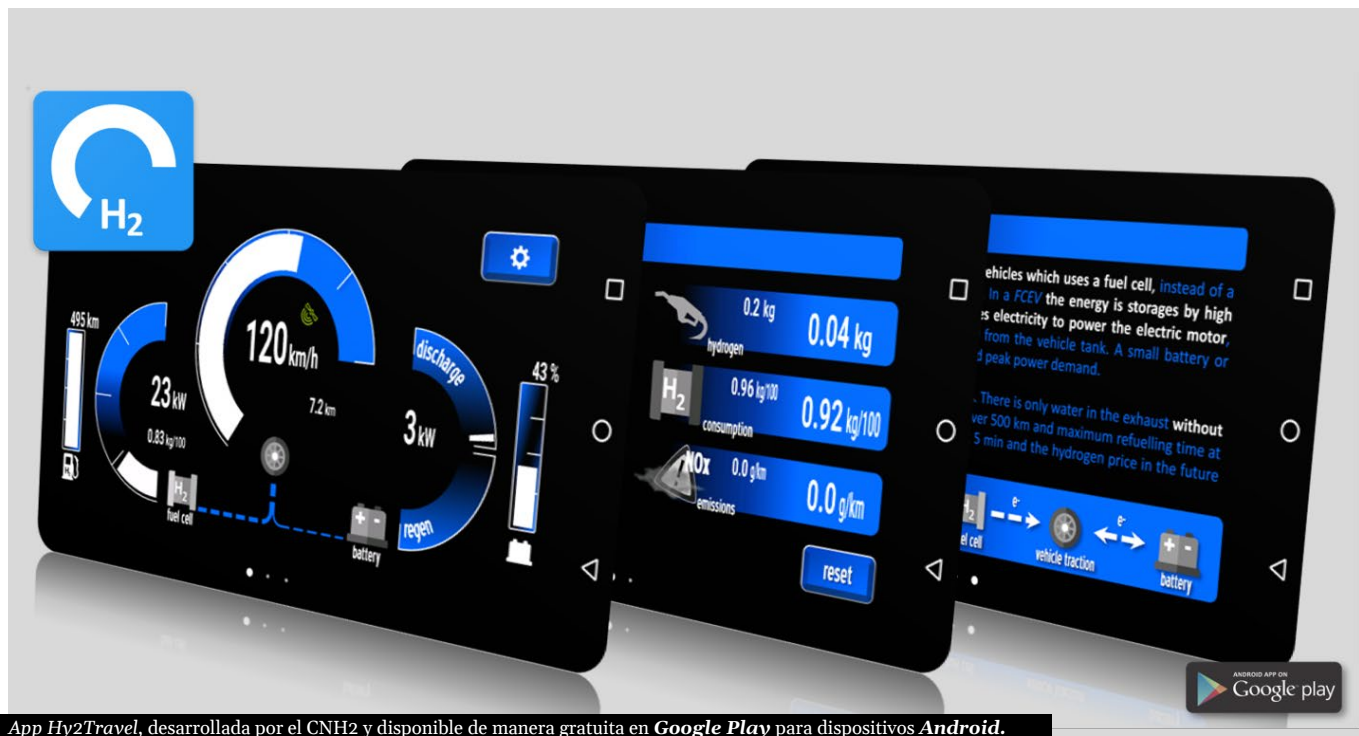
#### ✓ Vehículos eléctricos de Pila de combustible (FCEV)



#### ✓ Range Extender



Esquema de tipos de vehículos de hidrógeno.



App Hy2Travel, desarrollada por el CNH2 y disponible de manera gratuita en **Google Play** para dispositivos **Android**.

Los vehículos eléctricos de pila de combustible “FCEV”, son aquellos cuya fuente de energía eléctrica proviene de la transformación electroquímica del hidrógeno en una pila de combustible. Se trata, por tanto, de un vehículo de tracción eléctrica con las ventajas y prestaciones que ello conlleva. Este tipo de vehículo es cero emisiones locales, lo que se denomina ciclo tanque a la rueda “TTW”. El único producto de la reacción obtenido es agua y vapor de agua eliminados a través del tubo de escape. Para ayudar a conocer en detalle el funcionamiento de este tipo de vehículos puede utilizarse la App Hy2Travel, desarrollada por el CNH2 y disponible de manera gratuita en Google Play para dispositivos Android.

Por último, los extensores de autonomía “Range extender”, son vehículos eléctricos de baterías en los que es provisto un sistema de almacenamiento de hidrógeno y pila de combustible. Su funcionamiento, con ciertas diferencias, se podría asimilar a un cargador de baterías a bordo. De esta forma se incrementa la autonomía total.

De entre las diferentes configuraciones, el vehículo eléctrico de pila de combustible “FCEV”, es considerado como el vehículo de hidrógeno que se implantará mayoritariamente, si bien el resto de soluciones pueden convivir y facilitar la implantación de la infraestructura de suministro y repostaje de hidrógeno tan necesaria para el despliegue de la tecnología.

La modularidad de los sistemas de hidrógeno lo hacen adecuado para multitud de aplicaciones y escalas, desde los sistemas mas pequeños, hasta las aplicaciones mas grandes como son camiones, trenes, maquinaria pesada y aviación.

Entre las ventajas del uso del hidrógeno en vehículos encontramos:

- ✓ **Rapidez y limpieza de repostaje**, en el caso de turismos el tiempo de repostaje es aproximadamente de 5 minutos de manera limpia y segura.
- ✓ **Gran autonomía**, del orden de 600km en turismos.
- ✓ **Cero emisiones**.
- ✓ **Combustible local**, ya que puede ser producido a partir de fuentes renovables eliminando la dependencia del exterior.
- ✓ **Prestaciones no afectadas por las temperaturas climáticas**.

Adicionalmente por aplicaciones podemos citar las siguientes ventajas:

- ✓ **Su uso en carretillas en grandes centros logísticos** con una elevada operativa permite la reducción de flota, ya que no es necesario considerar tiempos inhábiles para la recarga, como ocurre con las carretillas de baterías. Adicionalmente, se incurre en una reducción en el espacio necesario para su operativa, puesto que la recarga es rápida y puede ser realizada al paso.



✓ **En turismos, camiones y autobuses** destacan la rapidez de repostaje y la autonomía, que se hace más notable conforme aumentamos el tamaño y carga del vehículo, en donde todo el transporte pesado “*Heavy Duty*” es una aplicación muy favorable para el hidrógeno.

✓ **En trenes** compite frente a la electrificación de líneas, proceso muy costoso en los que el uso de trenes de hidrógeno presenta una clara alternativa para la reducción de emisiones en este modo de transporte.

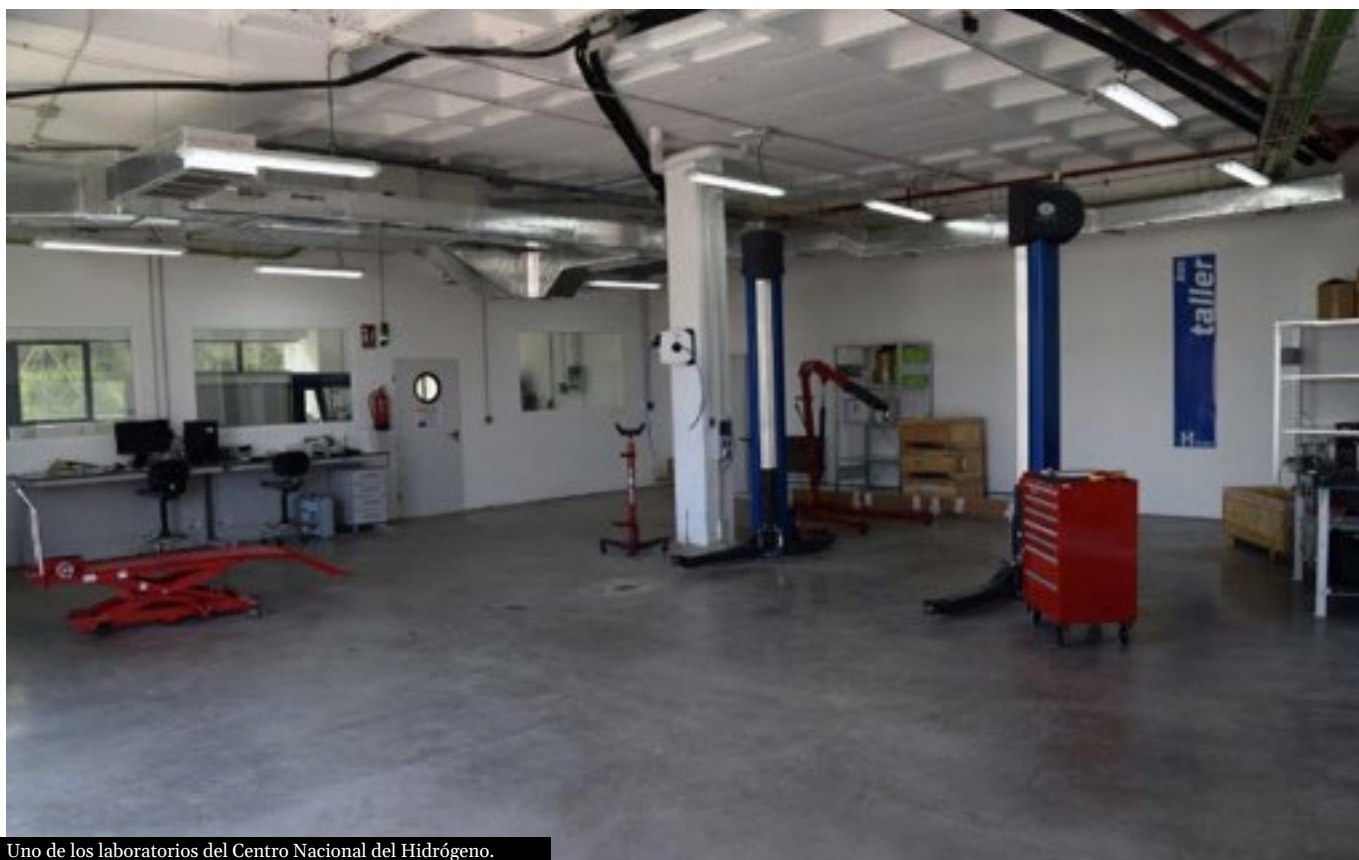
## Laboratorio de vehículos e hidrogena y proyectos en movilidad

Desde el CNH2 se apuesta e impulsa el desarrollo de la cadena del hidrógeno en todas sus vertientes y aplicaciones. En el campo de la movilidad dispone de un laboratorio de vehículos y una hidrogena experimental que actualmente se encuentra en fase de ampliación y actualización conforme a los estándares actuales. Dispone de equipos, herramientas y técnicas que no solo están a disposición de los investigadores del CNH2, sino también al servicio de la industria y la academia. La implantación y desarrollo de las tecnologías del hidrógeno presenta una gran oportunidad para la economía española y su industria del automóvil, y prueba de ello son los diferentes proyectos que desde

el CNH2 en colaboración con empresas y organismos de investigación se están desarrollando, de entre todos ellos podemos mencionar:

**Proyecto Electromovilidad Minera** (Financiado por Corfo), cuyo objetivo es el desarrollo de soluciones que logren viabilizar, de manera técnica y operativa, la adaptación de vehículos de transporte utilizados en minería, desde su actual condición de operación mediante el uso de combustible diésel, hacia una operación mediante pilas de combustibles. Contempla el desarrollo de un vehículo prototipo.

**Proyecto H2port** (Acuerdo de Subvención 826339, financiado por FCHJU y la Comisión Europea), 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. Están siendo desarrollados dos vehículos, un *reach stacker* y un *yard tractor* así como una hidrogena móvil.



Uno de los laboratorios del Centro Nacional del Hidrógeno.

**Proyecto KartH2** (2018-1-ES01-KA202-050425, financiado por MICINN - SEPIE y Erasmus+), proyecto de cooperación para la innovación y el intercambio de buenas prácticas con el objetivo de asesorar a alumnos de grado medio de formación profesional (España, Francia, Malta, Italia, Alemania) en el diseño y construcción de diversos karts con motores alimentados con distintas energías alternativas y su posterior ensayo y estudio. Se lleva a cabo el desarrollo de un kart de pila de combustible.

**Proyecto Together** (RTC-2017-5926-3, financiado por FEDER y Ministerio de Ciencia e Innovación - Agencia Estatal de Investigación), destinado a mejorar la eficiencia energética en la climatización, generación de ACS y suministro eléctrico mediante el desarrollo tecnológico y de investigación de un sistema basado en la combinación de EE.RR. y del ciclo del hidrógeno en sistemas de cogeneración de calor y frío con geotermia y máquinas de absorción. Los desarrollos del proyecto se estudian en dos laboratorios y el sistema global en un *living-lab*, bajo condiciones reales de uso. Bajo este proyecto está siendo desarrollado un sistema de recarga doméstica para vehículos de hidrógeno.

## CENTRO NACIONAL DEL HIDRÓGENO

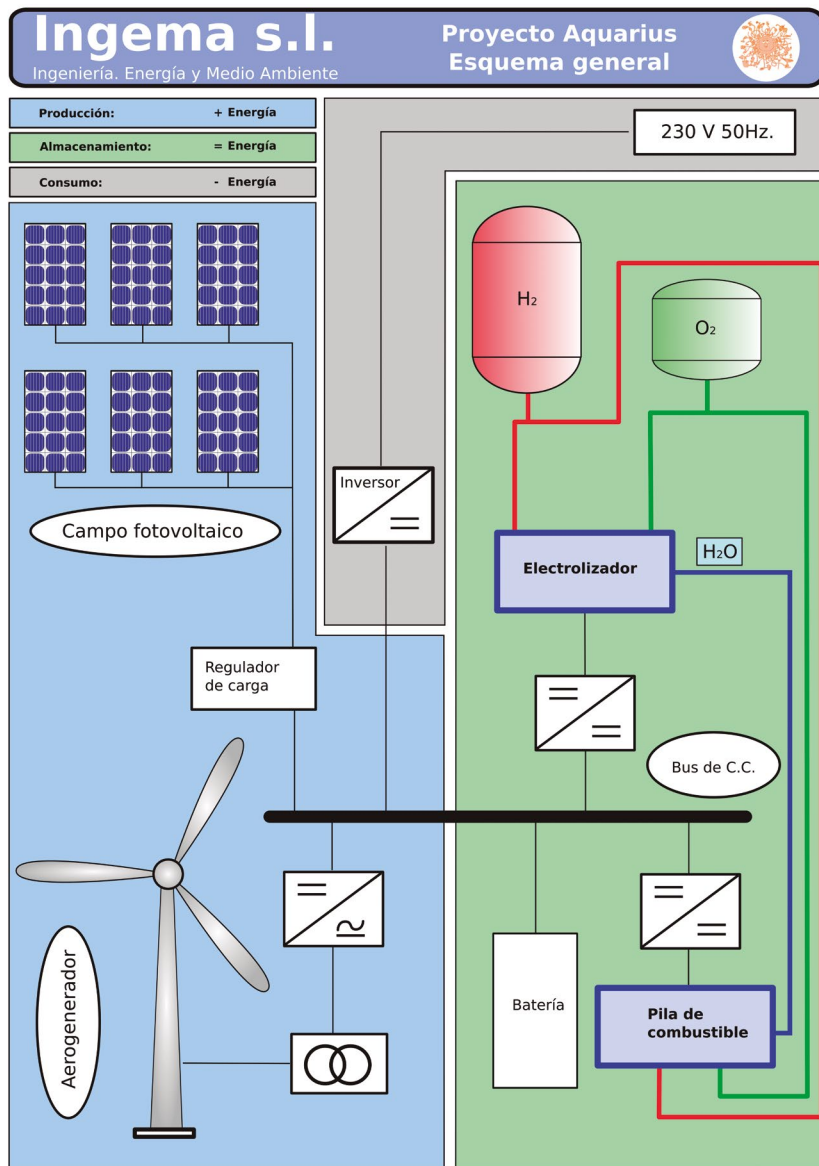
El Centro Nacional de Experimentación de Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible (CNH2), es un centro de investigación de ámbito nacional, orientado a impulsar la investigación científica y tecnológica de las tecnologías del hidrógeno y pilas de combustible, estando al servicio de toda la comunidad científica, tecnológica e industrial.

El CNH2 fue creado en 2007 como un Consorcio Público entre el Ministerio de Educación y Ciencia, actualmente Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, y la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, con una participación del 50% cada uno, y su sede se encuentra en Puertollano (Ciudad Real).



Centro Nacional del Hidrógeno.





**El Proyecto Aquarius o, dicho en extenso: Planta Piloto para el Estudio y Desarrollo de un Sistema Autónomo Basado en Hidrógeno para el Abastecimiento Continuo de Energía Eléctrica, trata de explorar la viabilidad, la casuística y las condiciones de la puesta en práctica de una idea sencilla: Paliar la discontinuidad de la producción solar fotovoltaica y eólica a base de producir un combustible como vector energético, que es, en sí mismo, un almacén de energía.**

## El caso ACUARIUS

**Pedro Pazos Morán**

Agricultor, empresario e ingeniero industrial.

La necesidad era patente puesto que en las instalaciones solares, eólicas y mixtas, aisladas de la red, que nuestra empresa, Ingema SL, viene ejecutando desde el año 1996, se producía el hecho recurrente de que por muy sobredimensionado que estuvieran y por muchos días que en verano, en primavera, o durante temporales, sobrara energía, cuando llegaba el invierno con sus cortos días, y muchos nublados, esas instalaciones, digo, entraban en crisis y era necesario recurrir al apoyo de un Grupo Elec-

trógeno, con lo que se rompía la línea del suministro autónomo renovable.

Por supuesto el almacenamiento en baterías no es viable para más de pocos días. Por otro lado, hay que decir que, así como en los campos de la captación y de la electrónica de potencia y de control se han dado grandes avances en las últimas décadas en cuanto a fiabilidad, prestaciones y bajada de precios, el desarrollo y el precio de las baterías se ha quedado estancado.

El reto que intenta abordar este proyecto es poder llevar la energía que no se aprovecha en verano hasta el invierno o, al límite, para su uso al cabo de años, por ejemplo. De este modo será posible dimensionar el Campo Fotovoltaico y/o el Aerogenerador de acuerdo a un balance anual de producción y consumo, y no semanal como hasta ahora.

El vehículo energético podría ser un combustible estable que se produjera *in situ* y fácilmente. La idea más obvia es pensar en la electrólisis y en el hidrógeno.

Tan temprano -temprano en nuestra escala de tiempo- como en 1997, nos pusimos a diseñar la producción de hidrógeno en un electrolizador, almacenarlo en un tanque a presión y quemarlo después en un turbogenerador.

Enseguida nos dimos cuenta de que el elemento más adecuado para restituir la energía eléctrica con un rendimiento mucho mayor, no era un turbo sino, la pila de combustible, tan antigua, de algún modo dejada de la mano en el s. XIX, estaba teniendo una segunda vida en la era espacial. El problema era que todavía no era un artículo comercial.

La objeción de que romper la molécula de agua requiera mucha energía, es más bien una ventaja a favor de considerar el hidrógeno como un buen combustible, puesto que su posterior reacción con el oxígeno la devolverá.

Sí es cierto, que su bajo peso específico complica su manejo en fase gas. Comprimirlo a altas presiones, e incluso licuarlo, supone una pérdida importante de rendimiento del ciclo, aunque se pueda contener en tanques de acero al carbono.

A pesar de que el bajo punto de ignición del hidrógeno representa un riesgo que hay que tener en cuenta, su alto poder de difusión y ligereza hace que resulte fácil evitar la formación de mezclas explosivas.

Aparte del almacenamiento a presión, hemos probado también a hacerlo en tanque de hidruros metálicos, por ser la variante más asequible para nosotros. Otros equipos basados en hidruro químico o en nanoestructuras de carbono pueden estar disponibles más adelante.

Muy sugerente parece la variante defendida con entusiasmo por el Prof. S. Schulien del laboratorio de Rüsselsheim (Alemania) de producir metanol o etanol capturando de



Vista general de las instalaciones del Proyecto Acuarium.



paso el CO<sub>2</sub> en industrias donde se produzca (Plantas de biomasa, bodegas, cementeras etc). En este caso sí que tenemos un combustible líquido manejable con la infraestructura existente de gasolineras.

## Antecedentes

Precisamente de los contactos con el Prof. S. Schulien surgió el Proyecto DESEF en el que incorporamos el uso del oxígeno producido, para la depuración de efluentes de granjas ganaderas. Dicho proyecto lo presentamos en el año 1999 en la convocatoria EESD del V Programa Marco de la Unión Europea. La Coordinación era INGEMA S.L. y los socios AGAFE (Alemania), KARL GRIESSER APPARATEBAU (Alemania) y la COOPERATIVA AGROGANADERA DE VALDECABALLEROS (BADAJOZ). El proyecto fue bien calificado en casi todos los criterios de la evaluación de la Comisión Europea, pero el dictamen final no resultó positivo pues se adujo que "... en este momento los equipos necesarios no están disponibles ". En parte tenían razón, aunque todos podíamos ver que se producían avances casi a diario. Tan era así, que en el año 2001 presentamos un nuevo Proyecto, OASIS, a la convocatoria PROFIT. Los socios en este caso: INABENSA (Abengoa), INGEMA, AIR LIQUIDE y CIEMAT. Proyecto que también fue valorado positivamente y, en este caso, además se le concedió apoyo financiero. Sin embargo, no se llevó a cabo por la renuncia de uno de los socios y no permitir las bases del Programa PROFIT su sustitución por otro.

Pasó el tiempo y volvimos a intentarlo en 2002 con el presente proyecto, ACUARIUS. Ingema volvía a ser la Promotora y en esta ocasión los socios, y sus representantes, fueron: El CIEMAT, Doctora Loreto Daza, AGAFE., Prof. S.Schulien, y la Universidad de Extremadura. Escuela Técnica Superior de II.II., Doctor Antonio Ramiro. Se acogió a la Línea ICO/IDAE de Financiación de Inversiones en Energías Renovables 2005 y le fue otorgada una subvención de 49 840 € y un crédito al 4% de 199 386 €, con lo que se pudo ejecutar.

## Bases

La idea de partida es estudiar en la práctica el comportamiento de una instalación de producción y almacenamiento de hidrógeno con el fin de asegurar el suministro continuo de energía eléctrica a una Unidad Aislada de Referencia (UAR).

Puesto que se aprovechan los excedentes, el coste de la energía solar y eólica necesarias para la producción de hidrógeno se puede considerar cero.

La virtualidad económica hay que establecerla más bien en la amortización de la inversión en equipos. Inversión

alta en la actualidad si se compara con el coste de lo que sustituye: el grupo electrógeno. A favor está el que se elimina el consumo de combustible fósil y se ahorra en la capacidad de las baterías.

El cometido técnico del proyecto es introducir mejoras en el diseño e integración de los equipos, para conseguir un mejor rendimiento global del ciclo Producción-Almacenamiento-Restitución y conseguir así una instalación lo más pequeña y compacta posible, que, con el tiempo, pudiera ser comercial.

El primer paso es determinar el estado del arte en cuanto a disponibilidad de los equipos necesarios. En este aspecto hay que tener en cuenta la previsible evolución del mercado en cuanto a mejoras técnicas que los haga más fiables, y el abaratamiento de precios que modificará constantemente el estudio económico.

Como Unidad de Referencia Aislada (UAR) se estableció el caserío de una explotación agroganadera de tamaño medio, habitada permanentemente, similar a muchas que ha equipado la empresa.

De acuerdo con el balance energético producción/consumo resulta la siguiente instalación:

- Campo fotovoltaico de 2000 Wp, montado en bastidor con orientación automática en dos ejes. regulador de carga 60A/24V provisto de seguimiento del punto de máxima potencia.
- Aerogenerador de 1 kw. Con disipador de energía en caso de mal funcionamiento del electrolizador.
- Inversor 24V CC/230V CA de 5 kw con picos de 7 kw.
- Batería de 525Ah/24Vcc. Intencionadamente infradimensionada respecto a una instalación convencional. De todos modos, la capacidad ideal de la batería vendrá determinada por las características de las respuestas dinámicas del electrolizador y de la pila ante las variaciones de la demanda,

A diferencia de una instalación convencional se añaden el electrolizador, la pila de combustible y los almacenamientos, y se prescinde del grupo electrógeno.

## Descripción de los equipos y líneas de investigación

### Almacenamiento

Desde el principio se decidió almacenar tanto el H<sub>2</sub> como el O<sub>2</sub>. Esto nos limitó las opciones en la elección del electrolizador pues muchos de ellos ventean el oxígeno.

En una aplicación estacionaria el O<sub>2</sub> tiene otros usos posibles, p.e. mejorar el tratamiento de efluentes orgánicos, pero lo que más nos interesaba era tenerlo a disposición

para probar a usarlo directamente para alimentar la pila de combustible, o al menos para enriquecer el aire de entrada con el fin de mejorar su rendimiento.

Para almacenar el O<sub>2</sub> se contempló sencillamente el uso de un depósito a presión y no se consideró probar otros métodos.

Para el almacenamiento de H<sub>2</sub>, sin embargo, sí que nos pareció que merecía la pena probar y comparar los dos métodos que mejor se adaptan a una instalación estacionaria: Recipientes a presión e hidruros metálicos.

En el primer caso se dispuso un primer tanque de amortiguación de 0,5m<sup>3</sup> conectado directamente al electrolizador con capacidad para 12 horas de funcionamiento y a continuación una estación de compresión que lo almacena a 30barg en un recipiente a presión de 6m<sup>3</sup>, que acumula la producción de 775 horas de marcha continuada. La estación de compresión se diseñó según el concepto de “bombeo solar/eólico conmutado directo” para que no supusiera una “carga” en el balance energético global. De hecho, cuando el electrolizador entra en funcionamiento es porque sobra sol o viento.

En consecuencia con la misma idea, en el segundo caso la camisa del tanque de hidruros se conectó con una instalación anexa de paneles solares térmicos, para regular los aportes y retirada de energía para los ciclos de absorción/desorción.

El tanque de hidruros metálicos en base a LaNi<sub>5</sub>, fabricado por LABTECH INT. LTD. Sofía, Bulgaria, tiene una capacidad de almacenamiento de 5 Nm<sup>3</sup> que corresponde a 4h de funcionamiento del electrolizador.

Otro asunto importante es el almacenamiento de energía necesario para salvar los periodos transitorios por pequeñas discontinuidades de funcionamiento y la inercia de arranque de la pila. Para este fin hemos previsto una pequeña bancada de baterías, cuya capacidad final se ajustará de acuerdo con el comportamiento de la instalación. En una segunda fase consideramos incluso la sustitución de la batería por un volante de inercia.

## Pila de Combustible

Partimos de la única pila asequible en el mercado en ese momento: Ballard, de Membrana de Intercambio de Protones (PEM). No era la pila ideal para nuestra aplicación: Por lo tanto, las primeras acciones sobre ella estuvieron encaminadas a mejorar su rendimiento.

Algunas de estas “mejoras” afectan al diseño de la pila comercial que disponemos. Otras serán imposibles de incorporar en ella. Pero la experiencia adquirida nos permitirá valorar los avances tecnológicos que se produzcan y elegir el tipo que mejor se adecúe.

En una instalación estacionaria se puede pensar en alimentar la pila con el O<sub>2</sub> puro producido en el electrolizador

y almacenado a una cierta presión. Esto permitiría eliminar el compresor de aire que incorpora con lo que aumentaría el rendimiento. Pero al perder el efecto refrigerante del aire de alimentación lo tendríamos que resolver de otro modo. Hay que decir que sabemos de entrada que esto ya ha sido resuelto en los vehículos espaciales.

## Electrolizador

El electrolizador es un equipo estándar que se puede elegir entre varios tipos con unas prestaciones parecidas. Como he comentado anteriormente requeríamos obtener ambos gases y a una cierta presión. Por esa razón y por la dimensión de nuestro proyecto nos inclinamos por un electrolizador de membrana de polímero.

Partir ya de una presión moderada de 3 barg a la salida del electrolizador, permite manejar los gases con holgura y dirigir el H<sub>2</sub> al tanque de hidruros o a un recipiente intermedio de almacenamiento, para ser usado directamente o para alimentar la estación de compresión.

A la vista de las ofertas recibidas, y tras algunos viajes de inspección, decidimos adquirir un modelo QL-5000, exento de alkali, fabricado por Shandong Saikesaisi Hydrogen Energy Co. Las características técnicas, la asistencia técnica y la disponibilidad de repuestos superaba con creces a la alternativa europea y el precio era diez veces menor (¡literal!). Incluso el fabricante introdujo las modificaciones necesarias para incorporar la recogida del oxígeno a 2,5 barg, como era nuestro requerimiento.

Durante el exitoso comisionado en Jinan, China, con la participación de nuestra parte de M.A, Peña y Aitor Pazos; y la Doctora G. Liu y Mrs Sara por parte de Shandong Saikesaisi Hydrogen Energy Co, establecimos excelentes relaciones e hicimos votos de cooperaciones futuras.

Dicho electrolizador ha funcionado a la perfección en Cañamero (Cáceres) sin necesidad de tener que recurrir a las piezas de recambio suministradas junto con el pedido.

La primera mejora que pensamos introducir en el electrolizador es modificar la fuente de alimentación. En lugar conectarse a la red de consumos de 220 V CA de la UAR, como está ahora, hacerlo directamente al bus de CC. Esto mejorará el rendimiento global.

## Bus de continua

Así hemos llamado al punto de corriente continua donde confluyen y se realiza el intercambio de las energías, recibidas del campo solar, el aerogenerador, o el electrolizador y las enviadas a consumo o a la pila de combustible, así como de la que fluye en las dos direcciones de la batería. Lo hemos representado intuitivamente como una barra que une a todos ellos.





Sala principal Acuaris.

Aparte de que se produce una cierta auto regulación, el sistema de control emite señales de mando a los diferentes elementos en base a los valores de la tensión del bus.

### Cerrar el circuito del agua

Las especificaciones del agua de alimentación del electrolizador son muy estrictas en cuanto a pureza, y en concreto conductividad. Por otro lado, el agua caliente producida por la pila es, en principio, químicamente pura. Parece obvio que, evitando la contaminación y reponiendo las pérdidas por evaporación, esa misma agua podría cerrar el circuito.

Una condición es evitar el contacto con la atmósfera, pues, de las pruebas realizadas, resulta que un agua desmineralizada aumenta continua y apreciablemente su conductividad en un recipiente abierto. Seguramente depende del tipo de ambiente en el que se encuentre.

En todo caso hay que prever un cierto drenaje y reposición para compensar la concentración en sales por evaporación.

### UAR

Para simular la Unidad Aislada de referencia dispusimos una estufa de potencia ajustable de 1 a 5 kw, un frigorífico y una bomba sumergible. Con estos elementos simulamos las cargas que corresponden a un consumo normal de una Granja Agroganadera habitada de modo permanente.

### Sistema de Control y Supervisión

Coordina el funcionamiento de todos los subsistemas.

En cada una de las líneas se instalan medidores de tensión, intensidad, presión o caudal, según proceda, todos ellos conectados al sistema central de adquisición de datos y supervisión

### Rendimiento global

El *quid* de la cuestión.

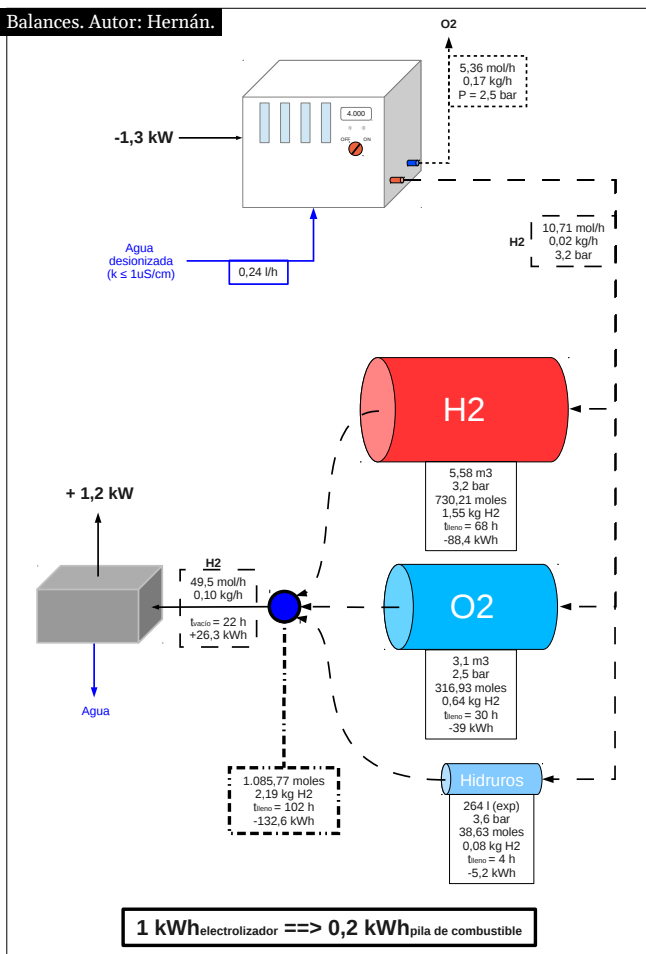
En los primeros balances de energía operando los equipos según llegaron sin introducir mejoras, resultó que por cada kWh consumido por el electrolizador, la pila de combustible entregaba a al bus de continua 0,2 kWh. Esto da un rendimiento global del 20%. No muy alto, pero aquí empieza el trabajo de Acuaris.

### Ejecución

El Proyecto se ubicó en el recinto de Ingema SL en Cañamero (Cáceres). Se aprovechó la infraestructura de la empresa para el suministro de agua, energía eléctrica y otros servicios, y se construyó una edificio ex profeso para contener los equipos y la oficina.

Durante los años 2008, 2009 y 2010, Ana Montero y Hernán Fernández, ambos Ingenieros Industriales por

Balances. Autor: Hernán.



las Universidades de Badajoz y Santiago de Compostela, respectivamente, fueron los principales encargados de operar la planta, evaluar el comportamiento y proponer mejoras.

Aunque el presupuesto inicial era limitado y se había establecido en base a tres años de ejecución, no tenía sentido dejar la planta parada posteriormente. De hecho, nuestra intención era mantenerla en servicio y acometer las mejoras necesarias, a costa de la cuenta de Investigación y Desarrollo de Ingema SL. Sin embargo, la crisis en el sector de las energías renovables, causada por los cambios regulatorios introducidos por el Gobierno con efecto retroactivo, se tradujo en una drástica disminución del volumen de negocio de la Empresa e hizo imposible mantener ese gasto. De todos modos, las instalaciones de la planta piloto se pusieron a disposición de distintas universidades para la realización de Proyectos Fin de Carrera. En ese caso Ingema proveería los servicios necesarios y una beca de manutención y alojamiento en Cañamero. La oferta sigue en pie.

Financiación	Miles de euros
Crédito ICO (al 4%)	199,36
Crédito ICO (al 4%)	199,36
Subvención IDAE	49,84
Fondos propios	106,8
<b>Total</b>	<b>356</b>



El equipo de Acuaris.



## Conclusiones

Aunque la planta piloto Acuaris está disponible y lista para volver a funcionar con pocas reformas, en el tiempo que ha estado operativa nos ha permitido llegar a algunas conclusiones.

La primera, es que se ha demostrado que con la tecnología actual, una empresa pequeña como la nuestra, puede acceder a la producción y uso del hidrógeno con el fin de probar a resolver el problema de la autonomía energética.

La segunda, es que hemos comprobado lo que ya se sabía: que el precio de la energía restituida resulta muy alto debido a los elevados precios de los equipos necesarios y al bajo rendimiento combinado del conjunto. Pero no era nuestra intención llegar ya a un producto comercial competitivo, sino avanzar por el camino que llegue a ese objetivo en sucesivas aproximaciones.

Por otro lado, hemos visto que todo se simplifica en los casos en que la producción y el consumo se realizan en el mismo emplazamiento o cerca. A este respecto hay que mencionar la opción de redes locales de gaseoductos de hidrógeno (en sí mismos ya son almacenes); tanto para

producir electricidad en pilas de combustible, como para ser usado directamente como combustible.

Respecto al almacenamiento en instalaciones fijas, nos inclinamos por los recipientes a presión. La solución de tanques de hidruros metálicos es técnicamente atractiva pero muy cara de momento: un tanque para almacenar la producción de 4 horas, es decir 0,64 kg de H<sub>2</sub>, costó 7000 €. Seguramente este costo bajará drásticamente con el avance de la tecnología y el uso de materiales más corrientes.

Un comentario que creo viene al caso aquí es que, como en todas las sendas del llamado Progreso, hay que evitar las trampas. Es ilusorio mantener el sistema energético actual, e igualmente lo es sustituirlo tal cual con energías renovables. Se choca continuamente con los límites físicos del mundo natural y compromete el bienestar y la propia vida de las personas.

A nuestra pequeña escala hemos contribuido en lo posible a resolver el problema del abastecimiento energético. Estoy convencido de que, si hay una solución, los avances técnicos y el verdadero Progreso deben discurrir por el camino de la eficiencia y el ahorro, y potenciar el Decrecimiento.



Tanque de hidruros metálicos.



# en peligro

## Las abejas



*Las conocemos como productoras de miel, pero siempre nos ha maravillado su organización social y sus cualidades como ingenieras, arquitectas, pero ¿sabemos que su minuciosa labor polinizadora es imprescindible para la continuidad de muchos alimentos fundamentales?*

Peonía. Foto: Gema Herranz, Ceneam, O.A.Parques Nacionales.

La desaparición de las abejas provocaría una crisis alimentaria y, según unas palabras atribuidas a Albert Einstein: “Sin abejas, no habría polinización, ni hierba, ni animales, ni hombres”.



Pues bien, estos insectos amables y laboriosos y tan importantes para la vida están ya en peligro de extinción. A nivel europeo, el 37% de las poblaciones de abejas están en declive. Los problemas que afectan a las abejas y otros insectos polinizadores suponen una importante amenaza para la alimentación mundial, especialmente en las zonas del planeta con dificultades para abastecer de nutrientes a los grupos sociales más desfavorecidos.

Los insectos polinizadores aportan alrededor del 10% del valor económico de la producción agrícola a nivel mundial, pero su contribución para la nutrición humana es mucho mayor. El 75% de la flora silvestre se poliniza gracias a las abejas y casi el 40% de las frutas y verduras que comemos procede de la polinización.

“La ausencia de abejas y otros polinizadores eliminaría el café, las manzanas, las almendras, los tomates y el cacao; por nombrar solo algunos de los cultivos que dependen de la polinización. Los países deben cambiar a políticas y sistemas alimentarios más amigables y más sostenibles para los polinizadores”, aseguraba José Graziano da Silva, ex director general de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO).

En el planeta existen al menos 20 000 especies de abejas silvestres y en Europa, cerca de 2500. La polinización que realizan estos insectos es el proceso natural que permite que las flores sean fecundadas para dar semillas y frutos; es decir, la piedra angular de la biodiversidad. Pero también de nuestra seguridad alimentaria: a nivel mundial, una tercera parte de los alimentos dependen de las abejas, así como un 90% de las plantas silvestres con flor, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO).

## Las razones de la reducción

Desde hace casi 30 años sabemos que las abejas están muriendo, y, aunque aún no sepamos al 100% los porqués, sí que se conocen muchas de las causas.

Entre los motivos de la reducción de la población de abejas están: la reducción de su hábitat, los incendios, las especies exógenas, los pesticidas y la pérdida de diversidad genética, informa la CNN.

Además, según un número cada vez más amplio de científicos, una de las razones podría residir en el cambio climático, que desorienta a las abejas. Estos animales tienen los ciclos climáticos muy marcados, y sus variaciones las trastocan por completo hasta el punto de interferir fatalmente en su ciclo vital.

Otras causas son el incremento de avispa asiáticas y de dos parásitos enemigos naturales de las abejas: uno interno (*Acarapis Woodi*) y otro externo (*Varroa Destructor*). Este último ácaro parásito ataca a distintas especies de abejas. Muchas de estas especies se han adaptado y pueden convivir con este parásito. No obstante, la abeja melífera no puede convivir con este ácaro y termina muriendo.

## Amenazas

Desde 2004 se han autorizado más de veinte mil sustancias químicas nuevas en la Unión Europea.

Sin embargo, desde marzo de este año 2020, la Unión Europea ha prohibido el empleo de tres neonicotinoides, habiendo quedado demostrado que influían en la muerte de las abejas. Estas sustancias se utilizan para el control de plagas sobre los cultivos que al ser absorbidos por las hojas, el tallo, las flores, el néctar y el polen de las plantas pueden pasar a las abejas afectando su sistema nervioso central. Consecuencias: parálisis o muerte.







Panal. Foto: Manimals.S.A. Ceneam. O.A. Parques Nacionales.

El aumento en el uso de neonicotinoides se dio aproximadamente en la misma época en que la cantidad de polinizadores, especialmente de abejas, empezó a disminuir en algunos países, aunque sin un patrón consistente. Este fue el primer indicio que llevó a los reguladores a examinar la seguridad de los neonicotinoides dada la importancia de las abejas para los ecosistemas y para mantener el rendimiento de los cultivos comerciales con servicios de polinización.

Además de su impacto directo en la mortalidad de abejas, se ha demostrado que los neonicotinoides afectan la conducta y rendimiento de las abejas a dosis subletales.

### Lo que podemos hacer...

Proteger los enjambres, no hacer fuegos en el campo, mantener limpios los terrenos e instalar colmenas en las fincas.

En España recientemente se ha elaborado la Estrategia Nacional para la Conservación de los Polinizadores, aprobada por Conferencia Sectorial de Medio Ambiente en su reunión de 21 de septiembre de 2020.

La Estrategia presenta, en primer lugar, un diagnóstico sobre la situación y tendencias de los polinizadores y las principales causas de su declive. Sobre la base de ese diagnóstico, incorpora objetivos y medidas en cuatro grandes áreas de actuación: promoción de hábitats favorables; mejora de la gestión de los polinizadores y la reducción de los riesgos derivados de plagas, patógenos y especies invasoras; reducción del riesgo derivado del uso de productos fitosanitarios; y realización de investigaciones que ayuden a cubrir los vacíos de conocimiento existentes y a divulgar y facilitar el acceso a esta información.

La Fundación Amigos de las Abejas nos insta a comprar la miel local y a proteger los enjambres de abejas. Enjambrar

es un proceso natural cuando las colonias de abejas deciden reproducirse. Si aparece un enjambre, ponte en contacto con la Fundación Amigos de las Abejas, desde donde gestionarán correctamente su retirada a través de nuestro proyecto de recuperación de enjambres.

Las abejas, en un enjambre, suelen ser muy tranquilas y presentan poco peligro. Se vuelven agresivas si las perturbamos o rociamos con agua, hay que dejarlas solas y esperar a que un apicultor se las lleve.

Si eres agricultor o simplemente tienes árboles frutales en tu finca, permite que las colmenas se instalen cerca. Selecciona y utiliza los productos fitosanitarios con sumo cuidado; la destrucción de los insectos polinizadores naturales comporta el riesgo de una disminución en la productividad futura.

Hasta un 70% de los cultivos producidos en España dependen de la polinización, según datos de un informe realizado por Greenpeace.

Esta ONG considera que la solución para frenar la disminución del número de abejas, a corto plazo, es prohibir los productos tóxicos para las abejas actualmente en uso, y hacer que la evaluación de riesgos de los plaguicidas sea mucho más estricta. Por otro lado, deben ponerse en marcha planes integrales de acción para salvar a las abejas. Y, según Greenpeace, la solución definitiva debería ser la adopción de la agricultura ecológica como vía para una producción de alimentos respetuosa con todos los habitantes del planeta.

La agricultura ecológica garantiza una producción sana y sostenible, ya que protege el suelo, el agua y el clima, promueve la biodiversidad, no contamina el medio ambiente con agroquímicos ni transgénicos y respeta la salud de las personas. 🌿

## Ricardo Pascual

Lola Pascual Vallés, Luis Marquina,  
Pablo Munilla y Basilio Rada



Ricardo Pascual García nació en Zaragoza en 1930. El hecho de que su padre fuera Jefe del Distrito Forestal de Zaragoza, marcó su futuro profesional y ya en octubre de 1959 fue nombrado funcionario del Cuerpo de Ingenieros de Montes del Estado.

En 1973, una vez creado el ICONA, Ricardo Pascual es nombrado Jefe de la Brigada de Caza y Pesca y Director Conservador del Parque Nacional de Ordesa. Además de su trabajo para consolidar la gestión de las Reservas Nacionales de Caza del Alto Aragón, ya entonces gran parte de su tiempo y esfuerzo lo dedicó al Parque Nacional en el que permanecería 22 años.

Tras la aprobación de la Ley de Espacios Naturales Protegidos de 1975, se inició para los Parques Nacionales un proceso de reclasificación y ampliación que llevó finalmente a la ampliación de la superficie protegida (de 9000 a 15000 has aproximadamente) abarcando no solo el Valle de Ordesa sino también el de Pineta, Escuaín y

Añisclo, éste último amenazado por la construcción de un aprovechamiento hidroeléctrico.

El proceso de ampliación del Parque fue, sin duda, una de las primeras y mayores empresas que llevaría a cabo desde el puesto de director del Parque Nacional apoyado por compañeros y amigos como Alfonso Villuendas – por entonces, Jefe Provincial del ICONA en Huesca-, o Félix Bernués, que compartió con él la dirección y gestión.

Sin duda, su gran mérito profesional fue ver publicada en abril de 1982 la Ley de Ampliación y Reclasificación del Parque. Un proceso nada fácil con el que veía finalmente salvaguardado el cañón de Añisclo y mejor protegidas otras zonas cercanas de incalculable valor ambiental. En el camino se dejó –con gran pesar- el Valle de Bujaruelo, en su opinión, merecedor de la más alta protección si no fuera por la existencia de una línea eléctrica que supuso su no inclusión.



Él mismo, para el prólogo de una separata de la revista Natura, allá por el año 1992 dedicada a Ordesa, escribiría:

*“El interés principal de la ampliación residía en asegurar la conservación de un conjunto único de ecosistemas prácticamente vírgenes, con abundantes endemismos y especies raras o en peligro de extinción. Este cambio de criterio responde a una situación global que no podemos olvidar: a finales del siglo XX la naturaleza está al borde de un deterioro irreparable y son ya muy escasos los espacios naturales íntegros o muy poco modificados por el hombre. Este hecho conlleva el que cada día la sociedad se interese más por su disfrute, lo cual supone un problema nuevo y de delicada solución: mantener el equilibrio entre un uso público que cada día tiende a ser más intensivo y agresivo, y la conservación de un medio natural que ha llegado a ser, por las circunstancias expuestas, más valioso que nunca. Ya en 1918 Lucien Briet, escritor, explorador y fotógrafo francés, auténtico impulsor de la declaración de Ordesa como Parque Nacional vaticinó: “...los soñadores acudirán de todas partes a solazarse en plena naturaleza salvaje, en un asilo cerrado por muros olímpicos, perfectamente conservados, y el cual se aparecería a las generaciones futuras, fatigadas por el desarrollo de las artes y las ciencias, como una reminiscencia del jardín del Edén...”*

*Aquellas generaciones futuras, nosotros hoy, hemos heredado en efecto un incomparable paraíso”*

La ampliación del Parque coincidió con el proceso de transferencias de competencias a las Comunidades Autónomas. La gestión de los Parques Nacionales quedó en manos de la Administración General del Estado a través del ICONA pero en el proceso de transferencias los servicios de los Parques Nacionales quedaron considerablemente mermados en recursos tanto humanos como materiales. Afortunadamente esa etapa fue corta, y a partir del año 1985, el ICONA apuesta decididamente por la futura Red de Parques Nacionales en la que Ricardo Pascual creyó firmemente siendo al mismo tiempo voz crítica y referente profesional indiscutible, enormemente respetado.

El año 1988 fue casi con seguridad su año más prolífico. El Consejo de Europa otorgó al Parque nacional el Diploma Categoría A a su conservación y gestión, incorporando Ordesa y Monte Perdido entre los escasos Parques Nacionales que ya lo tenían.

Ese mismo día se firmó la primera Carta de Cooperación con el vecino Parc National des Pyrénées, proyecto en el que Ricardo Pascual creía como una gran oportunidad y

un primer paso hacia la consecución de un futuro Parque Internacional de los Pirineos.

En el año 1994 inauguró, junto con el alcalde de Torla, el III Coloquio hispano-francés organizado por la Asociación Transfronteriza “Monte Perdido- Patrimonio Mundial” bajo el lema: “Vivir con el turismo”. Estos coloquios fueron el germen de la inscripción en 1997 del Monte Perdido como Patrimonio de la Humanidad, como reconocimiento de los excepcionales valores naturales y culturales que se reunían en torno a este macizo montañoso bajo el nombre “Pirineos-Monte Perdido: circos y cañones”

Y en el año 1995, año de su jubilación, tras un sin número de reuniones, de horas de intercambiar información con alcaldes y miembros del Patronato, de “dejarse la piel” en la absoluta necesidad y obligación para que el Parque tuviera su instrumento de planificación y gestión, vio finalmente cumplido su anhelo, con la aprobación del primer Plan Rector de Uso y Gestión. Junto con los técnicos del Parque que le acompañaban en esa época, incorporó una visión claramente conservacionista del espacio incluyendo limitaciones a prácticamente todo tipo de actividades que supusieran un deterioro de los valores ambientales del Parque con excepción de aquéllas de carácter tradicional desarrolladas por los habitantes de la zona. Paralelamente, sin embargo, la resolución del problema de los accesos, la construcción del Centro de interpretación en Torla, la construcción de la pista de Puyarruego a Buerba o la de la pista de las Cutas, son reflejo también de un deseo de llegar a un equilibrio en el desarrollo socioeconómico de los municipios del Parque.

Su carácter conservacionista le llevó además, al estudio del bucardo pirenaico y la protección de la última población que se empeñaron en hacer sobrevivir en el valle de Ordesa. Bajo su dirección se llevaron a cabo importantes actuaciones de seguimiento, mejora del hábitat y sobre todo la aprobación, mediante el instrumento financiero LIFE, y de la puesta en marcha de su Plan de Recuperación en el año 1992. Desgraciadamente, ya era demasiado tarde.

En el año 1997, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) le distinguió con el premio Fred M. Packard que se otorga en reconocimiento a contribuciones excepcionales en el campo de las áreas protegidas y conservadas “por su constante dedicación y servicio para la consecución de los objetivos de la conservación de las áreas protegidas en beneficio de la sociedad”.

Hoy, 13 años después de su muerte y 25 años después de su jubilación, quienes trabajaron con él a lo largo de los años y la gente de esas montañas le sigue recordando con cariño por lo que fue: un hombre con un profundo amor por la Naturaleza y por su profesión y un enorme respeto por los demás.

# hay que ver



Cañada del Cuervo. Foto Grupo Entorno. Junta de Andalucía

## Futuro Parque Nacional de la Sierra de las Nieves (Málaga)

El Parque Natural de la Sierra de las Nieves en la provincia de Málaga, está a punto de ser declarado Parque Nacional, a la espera de su aprobación definitiva por el Consejo de Ministros.

El futuro parque, que será el decimosexto de los que conforman la Red de Parques Nacionales, se extiende por una superficie de 23 000 hectáreas comprendidas entre los municipios de Benahavis, El Burgo, Istán, Monda, Parauta, Ronda, Tolox y Yunquera (Málaga), que impulsaron la declaración de parque nacional y han colaborado con

su protección a través de la declaración previa de parque natural y Reserva de la Biosfera. La incorporación de este espacio natural permitirá la inclusión en la Red de Parques Nacionales de paisajes sobresalientes, de una gea y flora realmente singulares y de una valiosa representación de fauna.



**Sierra de las Nieves se convertirá en el tercer espacio natural de Andalucía en alcanzar el estatus de parque nacional. Actualmente, sólo cuentan con esta distinción los espacios naturales de Doñana y Sierra Nevada, cuya proyección regional, estatal e internacional es archiconocida. Gracias, en gran parte, a la marca parque nacional.**



Pinsapo. Junta de Andalucía

La Sierra de las Nieves alberga el 65% de la superficie de pinsapar española. El abeto pinsapo (*Abies pinsapo*) y el abeto blanco (*Abies alba*) son los únicos representantes del género *Abies* en la Península Ibérica. Sin embargo, mientras que disponemos de excelentes bosques de abeto blanco en algunos de nuestros parques nacionales (como Ordesa y Monte Perdido, en Aragón, y Aigüestortes y Lago de San Mauricio, en Cataluña), el pinsapo no estaba hasta ahora presente en la Red de Parques Nacionales.

Sierra de las Nieves destaca también por sus afloramientos de peridotitas -rocas ultra básicas que constituyen una de las rocas más escasas en la corteza terrestre- y por su diversidad de hábitats y variada fauna.

Pero además, este espacio natural acumula una de las mayores cantidades de endemismos botánicos de la Península Ibérica y alberga una importante variedad de fauna silvestre, entre ellas algunas especies amenazadas.

Cuando hablamos de Sierra de las Nieves hablamos de un territorio poco alterado o transformado por la actividad del

hombre. Representa, por todo lo anterior, una importantísima muestra del patrimonio natural de la Península Ibérica.

El peculiar paisaje geológico y la extraordinaria riqueza botánica son las dos características fundamentales que hacen de Sierra de las Nieves un espacio natural relevante para integrar la Red española de Parques Nacionales. Entre los sistemas naturales que deben estar representados en esta red, de acuerdo con la ley estatal vigente en la materia, se encuentran las “formaciones y relieves singulares de montaña y alta montaña” y los “abetales y pinsapares”. Ambos se dan en Sierra de las Nieves.

Sierra de las Nieves se convertirá en el tercer espacio natural de Andalucía en alcanzar el estatus de parque nacional. Actualmente, sólo cuentan con esta distinción los espacios naturales de Doñana y Sierra Nevada, cuya proyección regional, estatal e internacional es archiconocida. Gracias, en gran parte, a la marca parque nacional.

El futuro Parque Nacional Sierra de las Nieves se encuentra ubicado en el corazón de la provincia de Málaga, en un espacio único de un gran valor paisajístico y con grandes contrastes.

En él, podemos encontrar cimas de casi 2000 m de altura junto a la sima más profunda de Andalucía –GESM- con 1101 m de profundidad. Por ello, es todo un paraíso para amantes de la montaña y de la espeleología.

Sea por uno o por otro acceso, el viajero disfrutará acercándose a estas tierras de montaña, puesto que todas las carreteras de acceso atraviesan parajes espectaculares por su naturaleza y orografía.

Su relieve es un claro ejemplo de modelado kárstico y oculta uno de los laberintos de cuevas y galerías más complejo de Andalucía. De gran riqueza botánica, con hasta 1500 tipos de plantas, el protagonista principal es el pinsapo, un abeto mediterráneo reliquia de la época glaciario de la península. Según descendemos también encontramos encinas, alcornoques, algarrobos y castaños.

El emblema animal de este espacio protegido es la cabra montés pero acoge también multitud de especies de aves



Martín Pescador. Foto: Paula Fraile. Junta de Andalucía

como el águila real, la perdicera, el búho real, el azor o el gavián. En sus ríos están presentes otras especies de interés como el corzo o la nutria.

La Sierra de las Nieves es el lugar más idóneo para la práctica del senderismo. Y caminar es sin duda la mejor manera de conocerla. La riqueza natural de la Reserva de la Biosfera de la Sierra de las Nieves permite, tanto a la población local como a los visitantes, disfrutar de unos entornos privilegiados donde contemplar la naturaleza de cerca.

Cada vez son más los que señalan al turismo de naturaleza como uno de los pilares del desarrollo sostenible. Por ello, en la Sierra de las Nieves se ha apostado por un tipo de turismo basado en el disfrute de los recursos y espacios naturales sin poner en peligro la conservación de los mismos.

Sierra de las Nieves dispone de una amplia red de senderos señalizados de pequeño y largo recorrido y con diverso tipo de dificultad, desde los senderistas más experimentados hasta familias con niños. Senderos por los que ver una enorme variedad de ecosistemas donde poder disfrutar de la flora, la fauna y el paisaje de esta Reserva Mundial de la Biosfera, y rutas que te llevarán a conocer también pueblos blancos de gran riqueza cultural y gastronómica.

La red de senderos del futuro Parque Nacional Sierra de las Nieves y su área de influencia incluye a catorce municipios: Alozaina, Benahavís, Casarabonela, El Burgo, Guaro, Igualaja, Istán, Monda, Ojén, Parauta, Ronda, Serrato, Tolox y Yunquera.

Porque si hoy podemos disfrutar de estos inmensos valores naturales no es sólo por su condición de espacio prote-





Cueva de la Tinaja. Foto: David Pérez Gutiérrez. Junta de Andalucía.

gido (Parque Natural desde 1989 y Reserva de la Biosfera desde 1995). Para ello también ha sido fundamental la sabia relación que los habitantes de este entorno han mantenido históricamente con el medio natural que les rodea.

## ¿Y qué ventajas podría tener para la zona formar parte de un parque nacional?

Muchas. Por una parte, supondrá blindar el seguro de vida para la biodiversidad del espacio que ya significa el más alto nivel de protección. Afianzará también el atractivo turístico de la zona y potenciará las oportunidades de desarrollo de sus municipios. Con la marca parque nacional los productos del territorio refuerzan su certificado de calidad y se abren nuevas vías de financiación para agricultores, ganaderos, ayuntamientos y entidades de desarrollo rural. ¿Por qué? Porque se incrementará el compromiso de inversiones públicas en materias como gestión forestal, uso público y conservación. 🌿

## Cómo llegar

La Sierra de las Nieves dispone de tres accesos principales: Desde Málaga, por la A-357, primero, y luego por la A-354 que enlaza con Casarabonela y Alozaina o bien por la A-355 en dirección a Coín y desde allí llegar a Monda y Ojén o a Tolox y Alozaina por la A-366.

**Desde Marbella**, por la A-355, que conduce hasta Ojén y más adelante conecta con el resto de los pueblos, o por la A-7176, que lleva a Istán.

**Desde Ronda**, a través de A-366 dirección El Burgo y Yunquera o bien por la A-397 dirección Parauta y Igualaja.

**Además**, el Aeropuerto Pablo Ruiz Picasso de Málaga y la estación de AVE María Zambrano se encuentran a tan sólo 40 minutos de dos de las localidades de entrada a la Sierra de las Nieves, Monda y Casarabonela.

## Ley Europea del Clima: una reducción del 60% de las emisiones para 2030

El Parlamento Europeo pide a los Estados miembros la neutralidad climática para 2050 y exige unos objetivos ambiciosos de reducción de emisiones para 2030 y 2040.

La Cámara aprobó el pasado mes de octubre su mandato de negociación sobre la Ley Europea del Clima por 392 votos a favor, 161 en contra y 142 abstenciones. La nueva ley tiene por objeto transformar la promesa política de alcanzar la neutralidad climática en 2050 en una obligación vinculante, con el fin de ofrecer a los ciudadanos y a las empresas europeas la seguridad jurídica y la previsibilidad que necesitan ante esa transformación.

Los eurodiputados insisten en que tanto la UE como cada uno de sus Estados miembros por separado deben lograr la neutralidad en las emisiones de aquí a 2050 y que, a partir de entonces, la Unión Europea deberá conseguir un saldo negativo. También piden financiación suficiente para lograr este objetivo.

La Comisión debe proponer antes del 31 de mayo de 2023, por medio del procedimiento ordinario de toma de decisiones, una trayectoria europea para alcanzar la neutralidad en carbono antes de 2050, señala el texto. Esta estrategia debe tener en cuenta el saldo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la UE hasta 2050 para limitar el aumento de la temperatura de conformidad con el Acuerdo de París. La trayectoria deberá ser revisada después de cada evaluación a escala mundial.

Los eurodiputados también quieren crear un organismo científico independiente (un consejo de la UE sobre cambio climático) encargado de evaluar si la política es coherente y supervisar los avances.

El actual objetivo de reducción de emisiones de la UE para 2030 es del 40% con respecto a 1990. La Comisión ha propuesto recientemente aumentar este objetivo a “al menos el 55%” en su propuesta modificada de Ley Europea del Clima. Los eurodiputados van aún más lejos y piden una reducción del 60% para 2030, dejando claro que el incremento de los objetivos nacionales deberá buscar la rentabilidad y la equidad.

Asimismo, quieren que la Comisión proponga un objetivo intermedio para 2040, tras realizar una evaluación de impacto, a fin de garantizar que la UE vaya por buen camino para alcanzar su objetivo para 2050.

Por último, los eurodiputados creen que la UE y los Estados miembros deben eliminar progresivamente todas las subvenciones directas e indirectas a los combustibles fósiles para el 31 de diciembre de 2025 a más tardar e insisten en la necesidad de seguir trabajando para combatir la pobreza energética.

El Parlamento iniciará las negociaciones con los Estados miembros en cuanto el Consejo haya acordado una posición común.



# “LIFE 4DOÑANA”, un proyecto para reducir un 20% el uso de agua en el cultivo de fresa de Doñana

La Unión Europea ha aprobado su contribución financiera al proyecto “LIFE 4DOÑANA”, una ambiciosa iniciativa de 2,2 millones de euros de presupuesto y más de tres años de duración destinada a fomentar la eficiencia del agua en el riego de las fresas en el entorno de Doñana. El objetivo principal de esta estrategia es reducir la utilización de los recursos hídricos y de fertilizantes en este tipo de cultivos mediante el empleo de nuevos sistemas y tecnologías de gestión de riego, por lo que además cobra especial relevancia medioambiental al contribuir a la sostenibilidad de la comarca onubense y de la zona del Espacio Natural de Doñana.

“LIFE 4DOÑANA” prevé incrementar la productividad del agua reduciendo su uso un 20%, disminuyendo un 10% el empleo de fertilizantes respecto a la práctica habitual en el cultivo de estos frutos rojos y mejorando sus rendimientos. Además, el proyecto contará con un comité de seguimiento al que se incorporarán administraciones con competencias clave en la materia, así como centros de investigación y representantes del sector.

El principal objetivo de “LIFE 4DOÑANA” es demostrar y evaluar los beneficios ambientales, productivos y económicos para cultivos en suelo a través de un nuevo Sistema de Apoyo a la Decisión de Riego (DSS, por sus siglas en inglés). Este método, basado fundamentalmente en técnicas de riego a demanda para cultivo en suelo, supone una fuerte innovación al guiar, automatizar y monitorizar de forma activa el proceso de fertirrigación (técnica que permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes a través del sistema de riego) a partir de las necesidades detectadas mediante una red de sensores, sin que sea el agricultor quien tenga que ajustar manualmente de forma rutinaria dicha operación.

En este sentido, una de las actividades clave de ‘LIFE 4DOÑANA’ será la puesta en marcha de seis fincas demostrativas de riego a demanda, donde se aplicarán herramientas y tecnologías novedosas con la idea de aportar en todo momento el agua y los nutrientes necesarios y adecuados para el cultivo. Se trata de un sistema que busca obtener mejoras en la eficiencia en el uso del agua y nutrientes en las explotaciones de fresa que cuentan con algún sistema de monitorización, como sondas de humedad, pero que continúan tomando decisiones y activando el riego de manera manual.

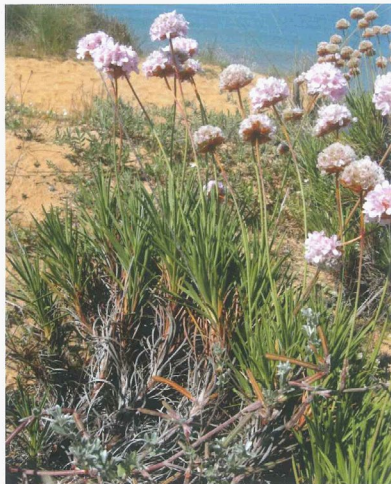


El proyecto facilitará además asesoramiento directo a, al menos, 40 productores de fresa de la zona con la finalidad de reducir su uso de agua, empleando para ello el diagnóstico de sus sistemas de riego y la elaboración de planes específicos apoyados en el uso del software especializado Irristrat. Estas acciones se verán complementadas con la elaboración de una plataforma virtual que ofrecerá formación y asesoramiento gratuito a productores de la zona para fomentar mejoras en la gestión del riego y la nutrición, así como con la ejecución de actuaciones de replicación y transferencia en Francia y Portugal.

“LIFE 4DOÑANA” está liderado por Gabinete de Iniciativas Europeas, a través de su empresa Optiriego Consulting y, además, Knitink Technologies (desarrollador de hardware y software para control y monitorización de riego), Hidrosoph (desarrollador de software para apoyo a la decisión de riego) y Famidan (instalador de riego tecnificado), así como Cooperativas Agro-alimentarias de Andalucía y el Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (Cicytex).

## PLANTAS IBÉRICAS de playas y dunas

M. García Rollán



101 páginas

## PLANTAS IBÉRICAS de playas y dunas

**M. García Rollán**

Ministerio para la Transición Ecológica

El autor, en su afán por facilitar el conocimiento de las plantas a los aficionados, ha pensado que la identificación de las especies resulta más sencilla si se describen agrupadas por ambientes. Por ello, en esta publicación se describen las plantas que crecen en los suelos arenosos de las playas y las dunas cercanas a ellas. Desgraciadamente la excesiva urbanización y los grandes temporales han acabado con muchas de las zonas donde antes se encontraban muchas especies.

En algunos sitios se han aplicado medidas de restauración o de protección y también se han instalado carteles informativos o se han realizado campañas de divulgación.

Aun así, cada vez hay menos dunas naturales bien conservadas y, por ello, el autor ha creído interesante relacionar los lugares que se consideran hábitats de interés comunitario y concretamente los que se refieren a dunas móviles embrionarias y a dunas blancas.

Todas las familias de plantas tratadas en el libro están relacionadas en orden alfabético; igualmente los géneros y las especies dentro de cada una de ellas, así como las láminas de colores. En las descripciones de las especies se ha dado preferencia a los caracteres más llamativos de cada una y cuando hay alguna parecida en el mismo grupo, se presta especial atención a la forma de diferenciarlas. De esta manera, aunque las descripciones son breves, con las ilustraciones que se incluyen, consistentes en dibujos de todas las especies y fotografías en color de la mayoría de ellas, el lector, aunque sea principiante, será perfectamente capaz de identificarlas.



# GUÍA DE IDENTIFICACIÓN DE RAPACES IBÉRICAS POR RESTOS ÓSEOS

1ª parte:

## Grandes rapaces

**Víctor García Matarranz**

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Esta guía pretende ser una herramienta de trabajo para aquellos que encuentren restos de aves y quieran averiguar a qué especie pertenecen. Existen numerosas guías de identificación de aves por su plumaje, pero no es tan fácil encontrar información referente a la descripción de especies por su esqueleto y con el ánimo de rellenar ese hueco se ha realizado este estudio.

Se trata de un acercamiento a la clasificación de algunas especies amenazadas y pretende ser un documento de consulta ágil y rápido. Su tamaño y estructura, con una gran espiral, está pensada para que se pueda utilizar en el campo sin necesidad de recurrir a medidas que vayan más allá de un metro y un calibre e, incluso, estos no serán necesarios en muchos casos.

Aunque la mortalidad de las rapaces se produce por muchas causas, suele ser bajo los tendidos eléctricos donde mayor concentración de restos se suele encontrar. El objetivo de este trabajo es animar a que se recorran esos tendidos y comprobar si hay restos de aves electrocutadas. De esta forma se podrá evaluar la peligrosidad de las líneas y su impacto real en las especies amenazadas.

Con esta guía, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico crea una nueva herramienta para alcanzar los objetivos del Real Decreto 1432/2008 de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y electrocución en líneas eléctricas, tratando de priorizar la corrección de forma que corresponda a su peligrosidad para la conservación de la fauna. Por ello se ha comenzado por las especies de aves más amenazadas que presentan un alto número de muertes por electrocución.

En concreto se estudian nueve especies de grandes rapaces ibéricas: buitre negro, buitre leonado, quebrantahuesos, águila real, águila imperial, águila perdicera, águila culebrera, búho real y alimoche.



2ª parte:

## Rapaces medianas diurnas

**Víctor García Matarranz**

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Esta es la segunda entrega de la guía de identificación de rapaces por sus restos óseos dedicada a las rapaces diurnas medianas.

En el grupo de las rapaces medianas hay solamente dos especies declaradas en peligro de extinción en España, aunque no lo están a nivel mundial. Son el milano real (*Milvus milvus*) y el águila pescadora (*Pandion haliaetus*).

La pescadora es una especie a caballo entre el grupo de las grandes y las medianas. Es la más pequeña si se incluye entre las grandes y la mayor si se engloba en las medianas aunque cabría distinguir entre los grupos de huesos, de tal modo que en las alas y el esternón tiene dimensiones de grande, mientras que los huesos de las patas y el cráneo son de mediana.

Para poder utilizar este libro independientemente del primero, se incluye el capítulo de identificación de los huesos que se estudian y cómo tomar las medidas. Es el mismo de la guía de grandes rapaces pero con algunas modificaciones que hacen referencia a características que se emplean en este grupo de rapaces medianas y no se usan con las grandes.

Quedan excluidas en este trabajo las seis pequeñas rapaces diurnas: las dos especies de cernícalos, el gavián, el alcotán, el esmerejón y el elanio, que quedan pendientes para una tercera parte. Tampoco se han tratado los halcones tagorote ni los de Eleanor por carecer de una muestra con un tamaño significativo.







# CONSTRUYE TU FUTURO

Aplica la

# ECO LÓGICA

NO SOLO ES LÓGICO,  
ES ECOLÓGICO



Genera y consume  
tu propia energía



Muévete de  
forma eficiente



Mejora la eficiencia  
energética de tu hogar

[apicalaecologica.es](http://apicalaecologica.es)  
#APICALAECOLÓGICA



Una manera  
de hacer Europa





# PARA UNA RECUPERACIÓN VERDE



## PROGRAMA EMPLEAVERDE

La Fundación Biodiversidad publica anualmente convocatorias de subvenciones para apoyar proyectos de formación y asesoramiento dirigidos a personas:

Desempleadas · Trabajadoras · Emprendedoras

Una oportunidad para crear empleo y contribuir a una recuperación verde

 [empleaverde.es](http://empleaverde.es)

---

## CONVOCATORIA EMPLEA

(Abierta)

Apoyo a la contratación de personas desempleadas

Ayudas de hasta 3.440 € por contrato

Plazo de solicitud: del 20 de febrero al 30 de septiembre de 2021

 [contratacion.empleaverde.es](http://contratacion.empleaverde.es)



VICEPRESIDENCIA  
CUARTA DEL GOBIERNO  
MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



PROGRAMA  
**emplea  
verde**



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
*El FSE invierte en tu futuro*