

## Características comparativas, producción, distribución y almacenamiento de H<sub>2</sub>

José Gregorio Tovar Silva, Mg Sc UTOK

Septiembre 2020

### Consideraciones teóricas.

El poder calorífico del combustible se define como la cantidad de energía interna contenida en el combustible, siendo que cuanto más alto sea el poder calorífico, mayor será la energía contenida. La energía se puede definir como toda propiedad que se puede producir a partir de trabajo o que puede convertirse en trabajo o simplemente disiparse como calor.

Tabla 1. Poder calorífico de algunas sustancias y elementos químicos.  
(Varias fuentes, presentadas en la bibliografía de este trabajo)

Poder calorífico de algunas sustancias y elementos	
Sustancia	KJ/Kg
Gasolina	45.999
Petróleo	44.000
Gasolina de aviación	43.890
Gasóleo	42.700
Gas natural	42.000
H <sub>2</sub>	28.700
Carbón	27.000
NH <sub>3</sub>	22.491
Corcho	20.930
Madera seca	19.000
C	8.140

El poder calorífico es la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.

El poder calorífico expresa la energía que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión.

El hidrógeno (H<sub>2</sub>) es el elemento más abundante en el universo pero no se encuentra libre. Las fuentes más abundantes en el planeta Tierra es en el agua, asociado con oxígeno, y en los hidrocarburos, asociado con carbono.

Su extracción es a través de procesos muy variados, y depende de la fuente de energía y la intensidad que requiera cada uno. En la tabla 2 presentamos un compendio de ellos.

Tabla 2. Procesos para extraer H<sub>2</sub>, según la fuente de energía usada.

Procesos para producir H <sub>2</sub> según la fuente de energía para su separación			
Renovables		no Renovables	
Solar	Termólisis	Gas Natural Petróleo (GLP)	Reformados Descomposición Térmica
	Fotoelectroquímicos		
	Fotobiológicos	Carbón	Pirólisis
	Electrólisis de alta temperatura		Gasificación
Descarbonización de combustibles fósiles	Uranio	Ciclos termoquímicos	
Eólica Hidráulica Geotérmica		Electrólisis	Electrólisis de alta temperatura
			Biomasa
Pirólisis			
Gasificación			
Fermentación			

(Basado en el trabajo Aprovechamiento de recursos energéticos renovables no integrables en la red eléctrica. El caso de la producción de Hidrógeno. Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Octubre 2009. Pag 9. España.)

Se ha impuesto una clasificación de H<sub>2</sub> por la fuente energética usada para alimentar los procesos de extracción:

- H<sub>2</sub> verde. Energía eólica o solar.
- H<sub>2</sub> verde claro. Energía combinada solar/eólica/hidráulica.
- H<sub>2</sub> verde medio. Gas natural. Los gases emanados son inyectados al subsuelo.
- H<sub>2</sub> gris. Carbón o energía fósil y los gases emanados son inyectados al subsuelo.
- H<sub>2</sub> negro. A partir de combustible fósil y no se inyectan los gases de combustión.
- H<sub>2</sub> nuclear. Energía nuclear.

Los datos de costo de la extracción de H<sub>2</sub> para 2010, a partir de métodos en etapa industrial, se presentan en la tabla 3. Se ordenaron desde el más barato hasta el más caro. Y se presenta en la tercera columna una relación del costo entre ellos. El precio se muestra en \$/Kg H<sub>2</sub>.

Tabla 3. Métodos de producción de H<sub>2</sub> y costos. Factores críticos en su producción

Métodos de producción, poderación de precios y factores críticos			
Método	\$/Kg H <sub>2</sub>	Relación	Parámetro crítico
Reformado con vapor de gas natural	0,030	1,00	Costo del gas natural
Oxidación parcial de pet.	0,040	1,33	Elevada inversión inicial
Gasificación del carbón	0,061	2,03	Elevada inversión inicial
Gasificación de biomasa	0,081	2,70	Costo de energía solar
Eólica y electrólisis	0,135	4,50	Costo de generación eléctrica y electrólisis
Electrólisis de alta temperatura con energía solar	0,145	4,83	Costo de instalaciones
Hidráulica y electrólisis	0,150	5,00	Costo de instalaciones
Coletores cilindricos parabólicos y electrólisis	0,173	5,77	Tecnología embrionaria
Central solar torres y electrólisis	0,250	8,33	Inversión inicial alta
Fotovoltaica y electrólisis	0,250	8,33	Dificultad para purificar H <sub>2</sub>
Disco Stirling y electrólisis	0,270	9,00	Inversión inicial alta

(Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno. **Antonio González García-Conde**. Presidente de la Asociación Española del Hidrógeno. Director del Departamento de Aerodinámica y Propulsión. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. Pagina 11)

El almacenamiento de H<sub>2</sub> es uno de los objetivos para desarrollar una economía basada en este gas. La mayoría de las investigaciones se enfocan en hacerlo de manera compacta y ligera. Actualmente se estudian algunas condiciones y métodos: altas presiones, temperaturas criogénicas, asociado en compuestos químicos que presenten capacidad de almacenamiento y liberación de hidrógeno, ya sea mediante enlaces químicos o por fisiorción o quimisorción, que es la adhesión de H<sub>2</sub> a algunos materiales, bien sea por un proceso físico, o por reacción y adhesión química.

El H<sub>2</sub>, en comparación con los hidrocarburos (como la gasolina o el propano), es mucho más difícil de almacenar y transportar con las técnicas actuales. El H<sub>2</sub> tiene una densidad muy baja comparada con la de los hidrocarburos, por lo tanto requiere de un tanque más grande para almacenar la misma cantidad de masa. Un tanque de hidrógeno grande requeriría mayor espacio y será más pesado que un tanque pequeño utilizado para almacenar la misma cantidad. Incrementar la presión mejoraría el volumen por densidad, haciendo los tanques más pequeños, pero no más livianos. Obtener hidrógeno comprimido requiere energía para comprimir: a mayor compresión, más energía disipada en dicho propósito.

Alternativamente el H<sub>2</sub> puede almacenarse de forma líquida (como en el transbordador espacial). Sin embargo, el hidrógeno líquido requiere almacenamiento criogénico, dado que este elemento hierve alrededor de los -252.882 °C. Por lo tanto su licuefacción requiere una gran disipación de energía por el alto aporte energético para enfriarlo a esa temperatura. Hay alrededor de 64% más H<sub>2</sub> en un litro de gasolina (116 gramos) que en un litro de hidrógeno líquido puro (71 gramos). El carbón en la gasolina también contribuye a la combustión de energía, ya que es un bioelemento. ([https://es.wikipedia.org/wiki/Almacenamiento\\_de\\_hidr%C3%B3geno](https://es.wikipedia.org/wiki/Almacenamiento_de_hidr%C3%B3geno))

El H<sub>2</sub>, como un portador de energía, tiene la mayor densidad de energía gravimétrica o másica, equivalente a 120,1 MJ/Kg o 33,3 kWh/Kg. Ésta es casi tres veces más alta que los hidrocarburos líquidos, sin embargo, la densidad de energía volumétrica del hidrógeno es relativamente baja. Bajo condiciones ambientales, la densidad de energía volumétrica es de solo 0,01 MJ/l. Por lo tanto, para fines prácticos de manejo, la densidad del hidrógeno debe aumentarse significativamente al almacenarlo.

Los principales métodos de almacenamiento de hidrógeno, que han sido probados y evaluados, incluyen almacenamiento físico basado en compresión, enfriamiento, o una combinación de ambos (almacenamiento híbrido). Además, se está investigando otras tecnologías de almacenamiento de hidrógeno (hidruros metálicos, carriers orgánicos, materiales adsorbentes, nano adsorción, entre otros), aunque sólo el almacenamiento físico por compresión o licuefacción son tecnologías suficientemente maduras y están disponibles a nivel comercial. (<https://www.h2chile.cl/copia-de-produccion-del-h2>)

Otras tecnologías que están actualmente en pruebas son:

- Hidrógeno crio-comprimido.
- Hidruros metálicos.
- Portadores de hidrógeno orgánico líquido.
- Sistemas de almacenamiento superficiales (adsorbentes).

(<http://www.ariema.com/almacenamiento-de-h2>)

Almacenamiento a gran escala para abaratar costos y facilitar su distribución.

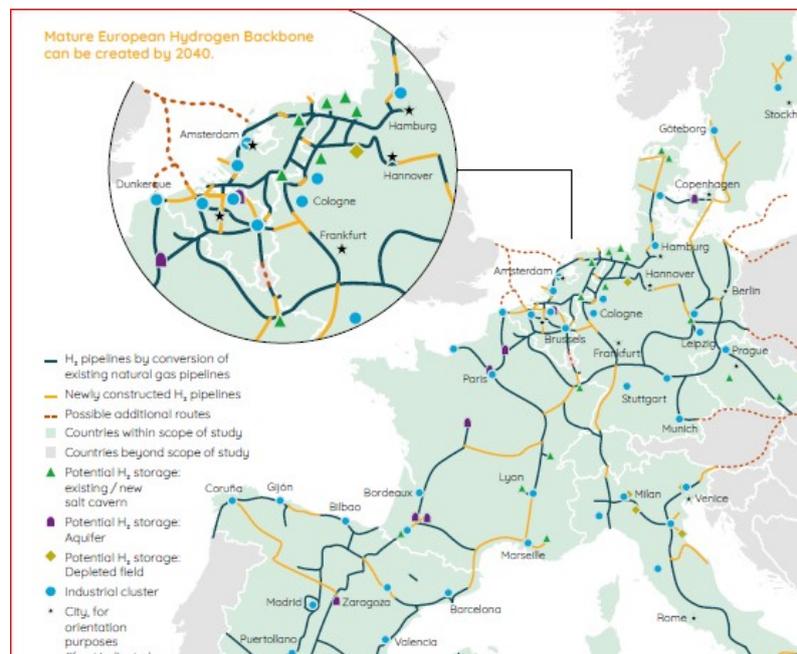


Figura 1. Propuesta de redes de H<sub>2</sub> en Europa para el 2050.

La figura 1 presenta una visión de la red planificada para la distribución de H<sub>2</sub> en Europa, en una búsqueda de bajar los precios con la cantidad de gas emitido. En este caso se usaría parte de los gasoductos existentes, con las modificaciones necesarias para actualizar la red y el sistema de compresión, así como para proteger la misma internamente, por los problemas de corrosión que el H<sub>2</sub> causa.

En este proyecto se han adherido por ahora 10 países de la Unión Europea (UE): Alemania, Francia, Italia, España, Holanda, Bélgica, República Checa, Dinamarca, Suecia y Suiza.

Se iniciará desde el 2020, y esperan tener una red activa en 2030 de 6.800 Km. Y alcanzar 23.000 Km para el 2040.

Tal esfuerzo significa una inversión estimada entre 27 y 64 mil millones de euros, si llegaran a incorporar el 75% de los gasoductos existentes, y solo construirían el resto. Ese número puede cambiar por la topografía del recorrido, las estaciones de re-presurización y la protección anticorrosiva interna. Los estudios muestran que la electricidad requerida para operar este sistema es 2% de la energía contenida en el H<sub>2</sub> transportado.

Por tanto, mientras esta red provee seguridad y mejores precios del gas transportado, los costos sobre el precio de realización del gas han sido calculados entre 0,09 y 0,17 euros por Kg de H<sub>2</sub> por cada 1.000 Km, permitiendo una distribución segura y confiable del nuevo combustible a través de grandes distancias en la UE.

La UE se presenta como un continente donde las fuentes de energía renovable tienen un gran futuro. El documento recién firmado este mes, "*Gas Decarbonisation Pathways 2020 to 2050*" describe que 1.700 trillones de Wh podrían ser producidos a partir del H<sub>2</sub> para 2050. Esta producción podría venir de diferentes fuentes: solar, H<sub>2</sub> verde y azul, y de la importación desde países vecinos.

Para finalizar este trabajo, En su último informe, la AIE predice que la generación de electricidad renovable crecerá casi un 5% y constituirá casi el 30% de la electricidad generada en 2020, a pesar de la interrupción mundial por la pandemia. Por lo tanto, en lugar de permitir que la producción y el uso de energía se recuperen a "lo mismo de siempre", existe la oportunidad de "reverdecer la recuperación", sostiene Kristalina Georgieva, directora gerente del Fondo Monetario Internacional, que recientemente emitió una guía para promover una recuperación del covid-19.

"En la mente de algunos, la crisis de salud y el gran esfuerzo que se requiere para abordarla, no significa que podemos presionar el botón de pausa en la lucha contra la otra crisis existencial que enfrentamos: la degradación del ambiente. Nada más lejos de la verdad", dijo Georgieva, y concluyó que "*una recuperación verde* es nuestro puente hacia un futuro más resistente".

- **European Hydrogen Backbone. How a dedicated Hydrogen Infrastructure can be created.** July 2020. Enagás, Energinet, Fluxys Belgium, Gasunie, GRTgaz, NET4GAS, OGE, ONTRAS, Snam, Swedegas, Teréga.
- **¿Qué papel podría jugar el H2 en una recuperación verde del Reino Unido?** Andrea Willige. Mitsubishi. Heavy Company. [https://stories.mhi.group/what-role-could-hydrogen-play-in-a-uk-green-recovery?utm\\_campaign=hydrogeneration&utm\\_medium=email&\\_hsmi=93545848&\\_hsenc=p2ANqtz--xn2ho\\_X3jjZNVw2RhUdt0n...](https://stories.mhi.group/what-role-could-hydrogen-play-in-a-uk-green-recovery?utm_campaign=hydrogeneration&utm_medium=email&_hsmi=93545848&_hsenc=p2ANqtz--xn2ho_X3jjZNVw2RhUdt0n...)
- **Economía H<sub>2</sub>: ¿Bombo, Horizonte o Aquí?** Judy Feder, editora de tecnología | 01 agosto 2020. [https://pubs.spe.org/en/jpt/jpt-article-detail/?art=7367&utm\\_source=newsletter-hsenow&utm\\_medium=email-content&utm\\_campaign=HSENOW&utm\\_content=HydrogenEconomy&mkt\\_tok=eyJpljoiT1](https://pubs.spe.org/en/jpt/jpt-article-detail/?art=7367&utm_source=newsletter-hsenow&utm_medium=email-content&utm_campaign=HSENOW&utm_content=HydrogenEconomy&mkt_tok=eyJpljoiT1)
- **El Hidrógeno. Metodologías de producción.** José Luis G. Fierro. Fuentes de energía para automoción N° 6. 21-8-20
- **Evaluación de los métodos de producción de H<sub>2</sub> a partir de biomasa.** IVAN. 13-nov-2012. Ingeniería Química.net. Copyright © 2020 ingenieriaquimica.net. Portal de Ingeniería Química. [info@ingenieriaquimica.net](mailto:info@ingenieriaquimica.net)
- **How Hydrogen can solve these 3 energy challenges.** Johnny Woolf. MHI Oil & Gas Mitsubishi Heavy Ind. 18-12-2019.
- **H<sub>2</sub> Economy: hype, horizon, or here?** Judy Feder, Technology Editor. JPT, 1-ago-20.
- **Producción biológica de hidrógeno: Una aproximación al estado del arte.** Andrea Bedoya; Juan Camilo Castrillón; Juan Esteban Ramírez; Juan Esteban Vásquez; Mario Arias Zabala. Dyna, Año 75, Nro. 154, pp. 137-157. Medellín, Marzo de 2008. ISSN 0012-7353.
- **Producción y almacenamiento de Hidrógeno.** José L.G. Fierro. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP), CSIC. Expo Zaragoza 2008, ISBN: 84-95490-88-9.
- **La estrategia de hidrógeno de la UE del miércoles debe priorizar los modos de transporte difíciles de descarbonizar.** Consultivo de medios de comunicación. Transport & Environment. 20-8-20. [https://www.transportenvironment.org/press/wednesday's-eu-hydrogen-strategy-needs-prioritise-hard-decarbonise-transport-modes?utm\\_campaign=Hydrogen&utm\\_medium=email&\\_hsmi=93545848](https://www.transportenvironment.org/press/wednesday's-eu-hydrogen-strategy-needs-prioritise-hard-decarbonise-transport-modes?utm_campaign=Hydrogen&utm_medium=email&_hsmi=93545848)



José Gregorio Tovar Silva

Ing. Petrolero. Universidad de Oriente. Instituto Tecnológico. 1977

Mg. Sc. Ingeniería de Petróleo, Perforación de pozos, Universidad de Tulsa, OK. EEUU 1991

Jubilado de PDVSA (41 años activo), con experiencia en operaciones e investigación en hidrocarburos. Ha trabajado en EE.UU, Ecuador, Bolivia y Perú en la dirección operacional y administrativa de empresas petroleras. Actualmente profesor en Construcción de Pozos en la Universidad de los Hidrocarburos de Venezuela (UVH), Presidente de ToBoGarQ Proyectos, y asesor técnico en libre ejercicio de la Ingeniería para compañías privadas y públicas, en el área de Planificación y Técnicas de Operaciones Petroleras.