Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable

# ENERGÍA

## CONOCIMIENTOS MÍNIMOS | HIDRÓGENO COMO VECTOR DE ENERGÍA

IEDS - CNEA

09

## INDICE

1. Introducción ..... 3

2. Características del HidrógenO ..... 4

3. Aplicaciones convencionales del $H_2$ ..... 4

4. Métodos de obtención ..... 6

5. Como se utiliza el Hidrógeno como combustible ..... 8

7. Comparación del $H_2$ con otras alternativas de reemplazo de petróleo ..... 10

8. El almacenamiento de $H_2$: un gran obstáculo ..... 10

REFERENCIAS ..... 13

## 1. INTRODUCCIÓN

> *- "¿Qué es lo que van a quemar en lugar de carbón? "*
> *- "Agua" exclamo Harding*
> *Julio VERNE. La Isla Misteriosa, 1874.*

En 1874, el popular escritor de ciencia ficción Julio Verne publicó un curioso libro titulado *La Isla Misteriosa*. El libro narraba las aventuras de cinco soldados del norte que se veían desviados de su camino cuando trataban huir en globo de un campamento confederado durante la guerra civil estadounidense. Finalmente consiguieron tomar tierra en una pequeña isla situada a 11.000 km de distancia de su punto de partida. Las líneas de arriba corresponden a una charla de un día cuando estaban especulando sobre el futuro de la Unión y uno de los miembros del grupo, un marinero llamado Pencroft, pregunto al ingeniero Cyrus Harding que pasaría si el comercio y la industria norteamericana se quedaran sin carbón. "¿Qué es lo que van a quemar en lugar de carbón?", preguntó Pencroft. "Agua", exclamo Harding, ante la sorpresa de todos. Harding procedió entonces a explicar su idea:

> *"La electricidad ha permitido descomponer el agua en sus elementos primitivos, lo cual hará que se convierta en una fuerza poderosa y manejable [...]. Si, amigos míos, creo que algún día se empleará agua como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno de los que esta formada, usados por separado o en forma conjunta, proporcionarán una fuente inagotable de luz y calor, de una intensidad de la que el carbón no es capaz [...]. El agua será el carbón del futuro".*

De esto hace ya más de un siglo, pero parece que, como en otras ocasiones, el tiempo acabará dando la razón al escritor, tan amigo de imaginar el futuro.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL HIDRÓGENO

Es un elemento químico simple, ligero, estable y poco reactivo a temperatura ambiente. Dicho gas es muy volátil (14 veces mas ligero que el aire). Se lo puede obtener en cantidades casi ilimitadas utilizando fuentes de energía renovables como la energía hidráulica, eólica y solar. También se lo puede obtener de sustancias fósiles como el gas natural y de alcoholes como el metanol o etanol. Es muy parecido al gas natural en muchos aspectos, con dos diferencias importantes: no puede ser fácilmente extraído haciendo un pozo como el metano y al quemarse (reaccionar con oxígeno) no produce dióxido de carbono.

**Tabla 1: Propiedades del Hidrógeno**

| | |
|---|---|
| Masa Atómica | 1,0079 g/mol |
| Temperatura de solidificación | -259,0 ºC |
| Temperatura de ebullición | -252,7 ºC |
| Densidad liquida a –252,7 ºC | 70,8 kg/m$^3$ |
| Densidad gaseosa a 0 ºC | 1,34 kg/m$^3$ |
| Poder calorífico inferior | 120 MJ/kg |
| Poder calorífico superior | 142 MJ/kg |
| Energía de liquefacción | 14112 KJ/kg |
| Capacidad calorífica (Cp a 20 ºC) | 14,3 KJ/kg.ºC |
| Límites de inflamabilidad en el aire | 4-75 (% vol) |
| Límites de detonación en el aire | 13-65 (% vol) |

*En la tabla 1 se resumen algunas propiedades del hidrógeno [1], las cuales en comparación con otros combustibles hacen de este gas una opción interesante para ser usado como combustible alternativo.*

## 3. APLICACIONES CONVENCIONALES DEL $H_2$

El $H_2$ es usado como materia prima en la industria química, metalúrgica, electrónica y alimenticia, entre otras. A su vez, varias naves espaciales, como Atlantis, usaron hidrógeno como combustible en sus cohetes. El consumo total de $H_2$ en el mundo se estima en unos 45 millones de toneladas anuales, siendo EEUU el mayor consumidor (79%), seguido por Europa (14%) y Asia (7%) [2]. La distribución del consumo según el tipo de aplicación se muestra en la figura 1 en la cual se puede apreciar que el 92% corresponde a la industria química. De este porcentaje, la

mayor aplicación reside en la industria de la síntesis del amoniaco, seguida por la refinería de petróleo y la síntesis del metanol [3]

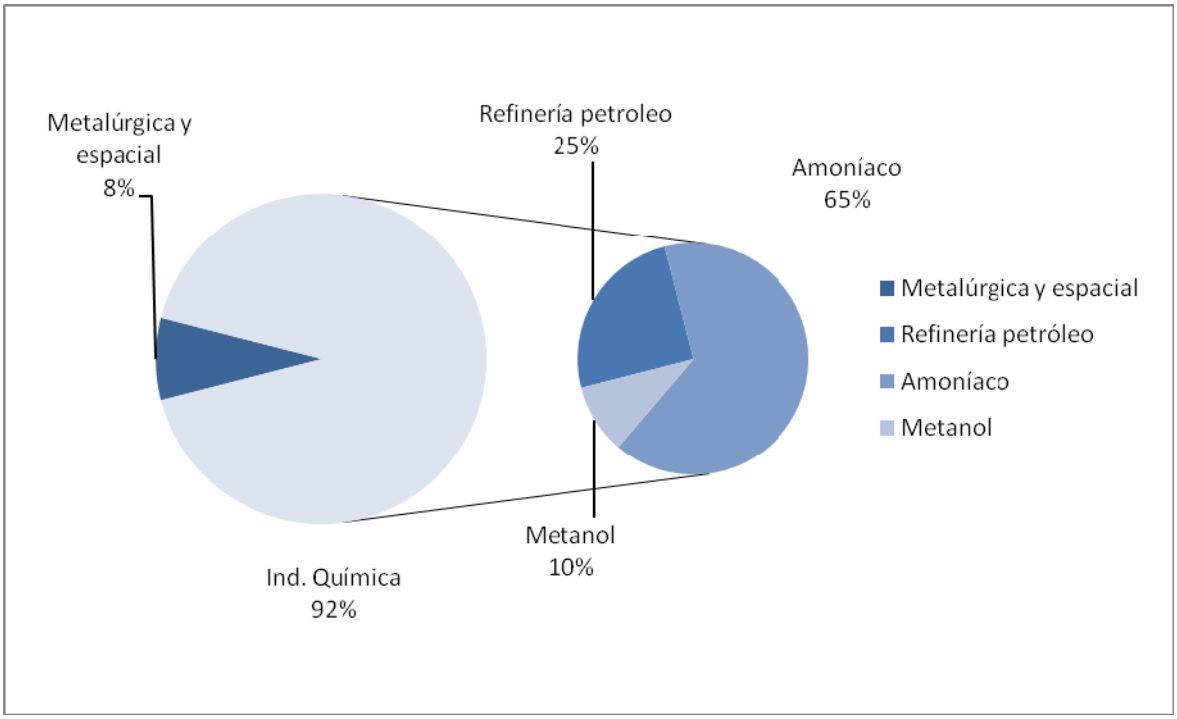


**Figura 1:** Distribución del consumo mundial de Hidrógeno

La producción de $H_2$ en la Argentina se resume en la tabla 2. Las principales aplicaciones corresponden a la síntesis de amoniaco, a la fabricación de hierro esponja y a la síntesis de metanol. YPF tiene, en Lujan de Cuyo, una planta para la hidrogenación de querosén para producir combustible para aviones conocido como JP. La industria de la alimentación usa el $H_2$ para producir margarina y existen también plantas productoras de gases especiales que suministran $H_2$ de elevada pureza

***Figura 2:*** *La primera planta comercial de producción de hidrógeno a partir de gas natural se inauguró en 1931. En la foto una planta de reformado moderna (Linde AG)*

**Tabla 2: Utilización de $H_2$ en Argentina**

| Empresa | Localización | Producto final | Capacidad (t/año) | Producción de $H_2$ ($Nm^3/h$) |
|---|---|---|---|---|
| PROFERTIL | Bahía Blanca | Amoniaco, urea | 690.000 | 7.000 |
| PASA SA | Campana | Amoniaco, urea | 115.000 | 1.145 |
| Fábrica Militar | Río Tercero | Amoniaco | 12.000 | 122 |
| YPF | Ensenada | Metanol | 25.000 | 3.600 |
| YPF | Plaza Huincul | Metanol | 400.000 | 57.500 |
| Resinfor | Gral San Martín | Metanol | 50.000 | 7.190 |
| YPF | Lujan de Cuyo | JP | | |
| SIDERCA | Campana | Hierro Esponja | | 70.200 |
| SIDERAR | San Nicolás | Hierro Esponja | | |
| AIR LIQUIDE | | Gases especiales | | |
| AGA | | Gases especiales | | |

## 4. MÉTODOS DE OBTENCIÓN

A pesar de que el hidrógeno está presente en muchas sustancias (mayoritariamente en agua, pero también en la mayoría de la materia orgánica), no se encuentra hidrógeno puro o elemental disponible como tal en la naturaleza. Sin embargo, se produce industrialmente partir de distintas materias primas. A pesar de su amplia utilización como agente químico, su aplicación energética es menor y hasta el momento como combustible únicamente se emplea para vehículos espaciales [4] y en varios prototipos de vehículos terrestres.

El $H_2$ se puede producir a partir de fuentes primarias de energía tales como combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural), de diferentes intermediarios (productos de refinería, amoniaco, metanol). A este se lo suele llamar **hidrógeno negro**.

También puede ser obtenido a partir de fuentes alternativas y renovables (biomasa, biogás, bioalcoholes y materiales de desecho). En este caso se lo llama **hidrógeno verde.**

Finalmente, **hidrógeno azul** es el que se obtiene por electrólisis del agua, separando el hidrógeno y el oxigeno usando electricidad.

En la tabla se resumen los distintos métodos de producción de $H_2$ y el estado de desarrollo de cada uno:

| Proceso de producción de $H_2$ | Estado de desarrollo |
|---|---|
| Reformado de hidrocarburos con vapor de agua | Comercial |
| Oxidación parcial de hidrocarburos | Investigación y Desarrollo |
| Reformado seco de metano | Investigación y Desarrollo |
| Reformado de alcoholes[1] con vapor de agua | Investigación y Desarrollo |
| Gasificación del carbón | Investigación y Desarrollo |
| Electrolisis del agua | Comercial |
| Ciclos termoquímicos | Investigación y Desarrollo |
| Procesos electrocatalíticos | Investigación y Desarrollo |
| Procesos fotoelectroquímicos | Investigación y Desarrollo |
| Procesos fotobiológicos | Investigación y Desarrollo |

*Tabla 3: Métodos de Obtención de $H_2$*

Actualmente y para el futuro inmediato la única opción económica viable es la producción de $H_2$ desde combustibles fósiles. Pero la producción de $H_2$ por estos métodos implica derivar hidrocarburos hacia un uso distinto del que tienen actualmente y extiende la dependencia

[1] Metanol y etanol

económica de los combustibles fósiles. La producción de $H_2$ por reformado de hidrocarburos genera, además, contaminantes como por ejemplo gases de efecto invernadero.

A largo plazo el hidrógeno deberá producirse a partir de fuentes renovables de energía, una vez que las tecnologías relacionadas estén completamente desarrolladas y puedan responder a los requerimientos de la demanda energética.

Teniendo en cuenta que las reservas de gas natural están sobrepasando las de petróleo crudo, este gas jugará un rol importante como fuente de carbón para diferentes procesos químicos y como medio de obtención de hidrógeno. Las reservas dependen, en este caso, del uso y no de la cantidad.

## 5. COMO SE UTILIZA EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE

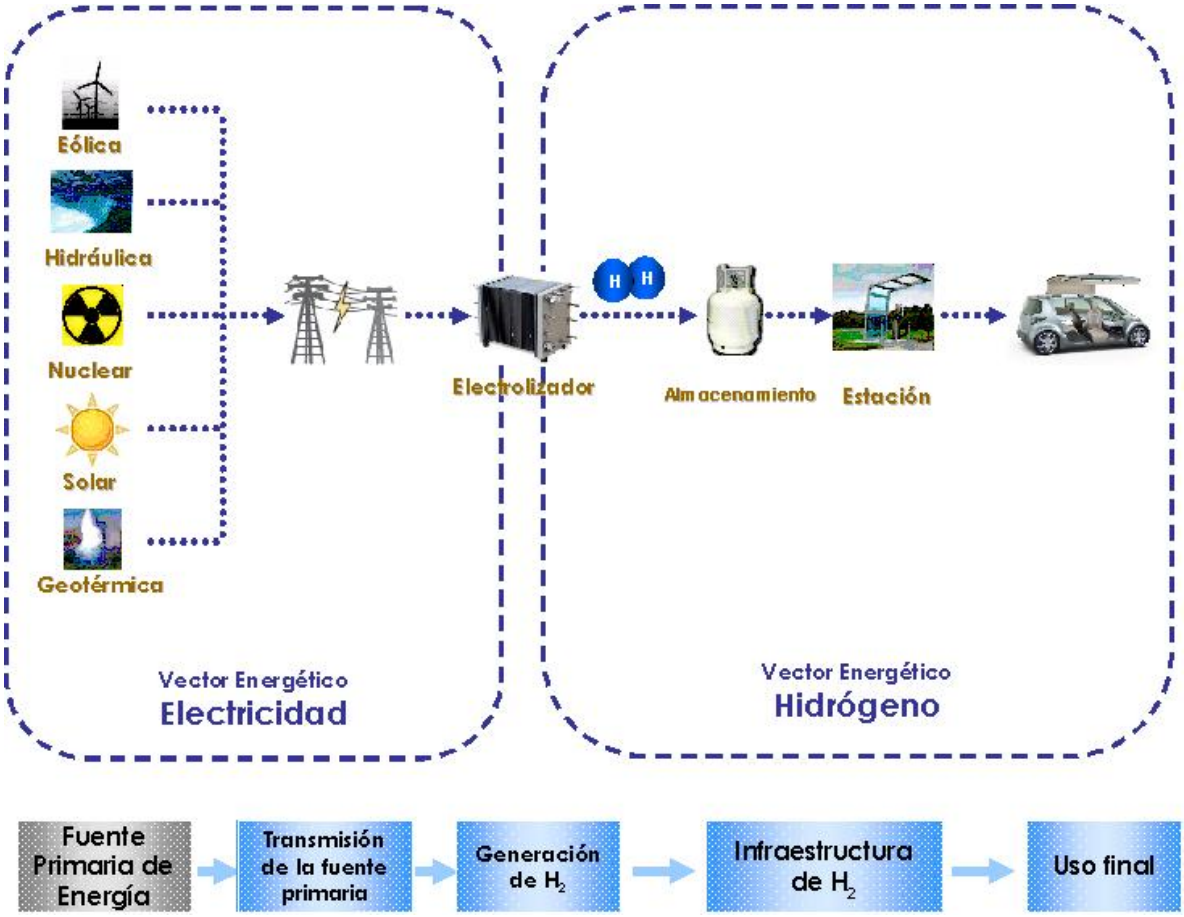


**Figura 4:** Hidrógeno como vector energético

**El hidrógeno puede usarse como combustible vehicular de dos maneras diferentes:**

- **En motores de combustión interna (MCI),** en reemplazo de los combustibles clásicos. La energía obtenida es térmica, gracias a la combustión del hidrógeno con el oxigeno, y la misma está sujeta al rendimiento de los ciclos termodinámicos.
- **En celdas de combustible,** la energía obtenida es eléctrica, gracias a la reacción electroquímica del hidrógeno con el oxigeno. Las celdas de combustible operan a eficiencias mucho mayores que los MCI.

***INFOBOX***

***Las celdas de combustible utilizan hidrógeno, ya sea de manera directa o a través de precursores que lo contienen como alcoholes o gas natural.***

En la figura 4 se puede ver un esquema que explica el concepto del hidrógeno como "vector energético" o "carrier de energía", debido a que se lo usa para transportar energía de un lugar a otro o para almacenarla.

6. Perspectivas de Uso del Hidrógeno y las Celdas de Combustible

El hidrógeno (H2) y las celdas de combustible (CC) pueden ser usados en toda aplicación donde se requiera electricidad y calor.

Hay dos grandes grupos de las aplicaciones del H2 y las CC:

1) ***Móviles (transporte): es la mayor aplicación en donde el hidrógeno es usado como un "vector energético". Existen grandes beneficios, como también dificultades, tales como la producción de grandes cantidades de H2, el establecimiento de una infraestructura de generación, distribución y almacenamiento, y la mejora de las performances de los vehículos así como la reducción de costos.***

2) ***Estacionarias: existen varias aplicaciones estacionarias, tales como: almacenamiento de fuentes intermitentes de energía, producción combinada de calor y electricidad, captura de CO2 pre combustión. Las dificultades de estas celdas son similares a las móviles con excepción a los problemas inherentes al uso vehicular.***

## 7. COMPARACIÓN DEL $H_2$ CON OTRAS ALTERNATIVAS DE REEMPLAZO DE PETRÓLEO

En el estudio del $H_2$ como alternativa energética a los combustibles fósiles hay que considerar también las otras alternativas:

- ✓ **Biocombustibles** (para una ampliación sobre el mismo ver Conocimientos Mínimos biocombustibles) que son hidrocarburos producidos a partir de materia orgánica. Como su origen no es fósil, su uso implicaría un resultado neto de emisiones de $CO_2$. Esto significa que el $CO_2$ generado por la utilización del biocombustible es adsorbido por las plantas al crecer, cuya biomasa será a su vez materia prima para la obtención de mismo. Este ciclo evita que exista una contribución neta de $CO_2$ a la atmósfera (sin embargo hay estudios que afirman que existe una emisión positiva [5]. Los biocombustibles resultan atractivos, ya que una vez producidos requieren pequeñas modificaciones en la infraestructura de distribución, almacenamiento y uso. A su vez, las performance y el costo de los vehículos no variarán sustancialmente. Una desventaja importante es que los Biocombutibles de 1ra generación compiten con los alimentos en el uso de la tierra, y tienen un potencial de producir desabastecimiento de alimentos o aumentos de precios, lo que afectaría de manera más directa a los pobres y podría incluso potenciar este drama de nuestra sociedad. Sin embargo, está apareciendo la 2da generación de biocombustibles, los cuales no competirían con los alimentos.

- ✓ **Vehículos a batería eléctrica** podrán proveer otra alternativa de cero carbón, siempre y cuando la energía con la cual se recarguen sea renovable. Sin embargo el tamaño y peso de las baterías actuales en relación a la cantidad de energía que almacenan, limita su actual aplicación para requerimientos de elevada autonomía. Los tiempos de recarga, costos y escasez de algunos metales son actuales barreras de esta alternativa. El mayor atractivo de esta opción es la existencia de la estructura (eléctrica) de abastecimiento.

## 8. EL ALMACENAMIENTO DE $H_2$: UN GRAN OBSTÁCULO

El $H_2$ es un gas a condiciones normales de presión y temperatura. Si bien la densidad de energía por peso es excelente (la mejor comparada con los otros combustibles), su densidad por unidad de volumen es baja (ver tabla 4). En otras palabras, 1 kg de $H_2$ tiene casi tres veces la energía que 1 kg de gasolina, pero ocupa mucho más volumen. Por ello hay que reducir el volumen de $H_2$ para almacenarlo, sobre todo para aplicaciones de fuentes móviles.

**Tabla 4: Comparación de diferentes fuentes de Energía [4]**

| Medios de energía | Formas de almacenamiento | Densidad de energía gravimétrica [kWh/kg] | Densidad de energía volumétrica [kWh/litro] |
|---|---|---|---|
| HIDRÓGENO | Gas (20 MPa) | 33,3 | 0,53 |
| | Gas (24,8 MPa) | 33,3 | 0,64 |
| | Liquido (-273 ºC) | 33,3 | 2,36 |
| | Hidruro Metálico | 0,58 | 3,18 |
| GAS NATURAL | Gas (20 MPa) | 13,9 | 2,58 |
| | Gas (24,8 MPa) | 13,9 | 3,01 |
| | Liquido (-162 ºC) | 13,9 | 5,8 |
| PROPANO | Liquido | 12,9 | 25,9 |
| METANOL | Liquido | 5,6 | 4,42 |
| GASOLINA | Liquido | 12,7 | 8,76 |
| DIESEL | Liquido | 11,6 | 9,7 |
| ELECTRICIDAD | Acumulador de plomo | 0,03 | 0,09 |

En general el $H_2$ es almacenado como:

- ✓ **Gas a comprimido a elevadas presiones,** a presiones superiores a 350 bar para que el volumen ocupado sea compatible con su aplicación vehicular. El desarrollo de nuevos materiales compuestos permite llegar a presiones de hasta 700 bares.
- ✓ **Liquido**, a temperaturas menores de -253 ºC. Si bien se alcanzan buenas relaciones volumen/autonomía añadimos el problema de la cantidad de energía necesaria para mantener líquido el $H_2$ (el 30 y 40%).

**En hidruros metálicos**, que son combinaciones del $H_2$ con diferentes metales, que se obtienen enfriando la mezcla metálica e introduciendo el $H_2$ a presión. Esta reacción es reversible, por lo que calentando el hidruro y reduciendo la presión se libera el $H_2$. Es una forma de almacenamiento estable y segura, pero se requiere más investigación para reducir su peso y los tiempos de carga y descarga.

**En nanotubos de carbono**, que almacenan hidrógeno con mejor eficiencia y pueden operar a temperatura ambiente, pueden llegar a ser la solución. Pero aún queda mucho por hacer en este aspecto.

En **carriers de hidrógeno**, como metanol, amoníaco, hidrocarburos, etanol o carbohidratos. Esta alternativa requiere la presencia de un reformador en el vehículo, para que la producción del $H_2$ sea "in situ" en el auto, pero evita las complejidades tecnológicas del propio almacenamiento que presentan las otras alternativas. Si bien algunas marcas han desarrollado prototipos de vehículos con esta variante (ver figura 5), aun resta un largo camino de investigación y desarrollo para alcanzar el uso masivo de la tecnología.

***Figura 5: Mazda FC-EV con metanol como carrier de $H_2$***

***INFOBOX***

***Para una autonomía de 400 km en un auto a celda de combustible se necesitan aproximadamente 4 kg de H2 (dependiendo del vehículo). Esa cantidad a presión y temperaturas ambiente ocupa casi 49.000 litros, más o menos el volumen de una pileta de natación familiar. A la presión del GNC (200 bar) 4 kg de H2 ocupan aproximadamente 250 litros y a 700 bar solamente 70 litros.***

***Para la misma autonomía se necesitarían 27 litros de etanol y 66 litros de agua [6]***

En la figura 6 se esquematiza los diferentes tipos de almacenamiento, dentro las diferentes vías.de utilización del $H_2$ como **vector energético**.

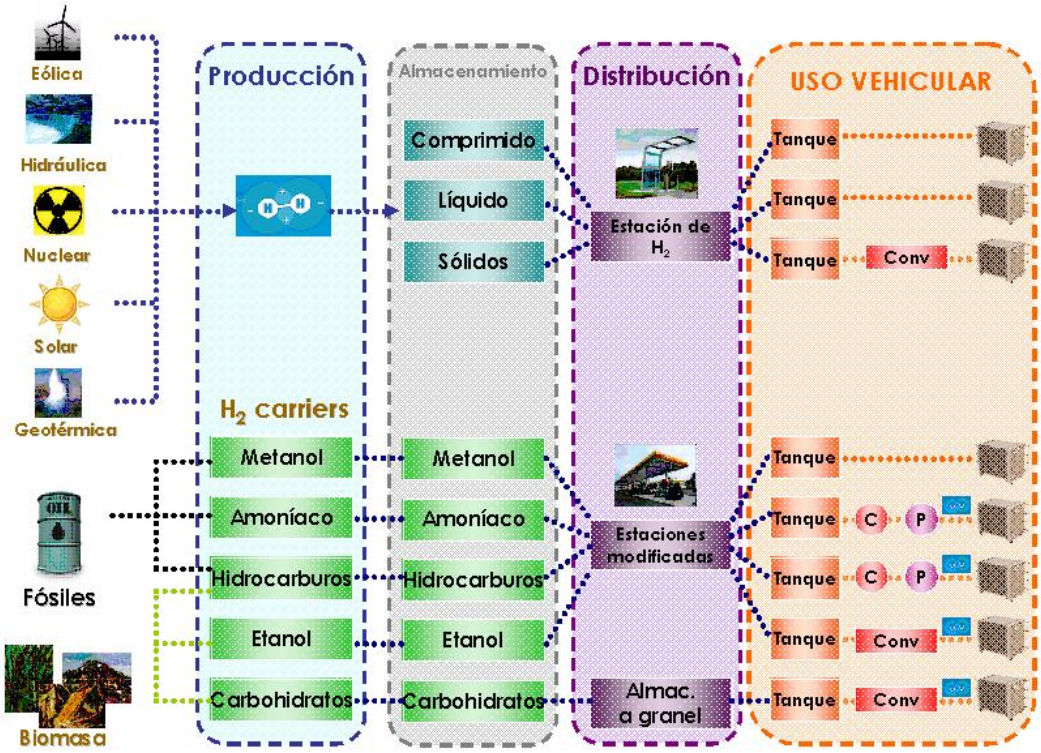


**Figura 6: Vías de uso del $H_2$ como vector energético**

## REFERENCIAS


[1] Proceso integrado de producción de energía eléctrica. Htp://leo.worldonline.es/ anroalmi/descargas/reforma.pdf

[2] Zittel, W., Wurster, R. *Hydrogen in the energy sector.* www.hyweb.de/knowledge/w-l-energiew-eng.html, 1996.

[3] www.hydrogenassociation.org/general/faqs.asp#howmuchproduced

[4] F. Carbonero, et. Al. *Hidrogeno energía del futuro*. www.uco.es/p52camaf/trabajos/ hidrogeno /hidrogen.html

[5] Eric Johnson. Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right *Environmental Impact Assessment Review*, *Volume 29, Issue 3*, *April 2009*, *Pages 165-168.*

[6] Gregorini, V., Panelati, H., Laborde M. *Análisis Técnico-Económico de la producción de Hidrógeno a partir de materias primas renovables y su aplicación a fuentes móviles*. UBA, Facultad de Ingeniería, 2007.