



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

Industrias y Servicios II

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos

Informe Final

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Trabajo Práctico Grupal

2023

LEDDA, Gabriel

RONCORONI VIZCAÍNO, Justo

DATOS DE LOS AUTORES

APELLIDO(S)	Nombres(s)	Legajo	Correo electrónico
LEDDA	Gabriel	12172	gabinledda@gmail.com
RONCORONI VIZCAÍNO	Justo	12656	justorv2@gmail.com

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES	4
2.1. Historia.....	4
2.2. Emisiones de un motor.....	7
2.2.1. Niveles de emisiones.....	7
2.2.3. Partículas	8
2.3. Normas euro	9
2.3.1. Adopción en Argentina	10
2.4. Downsizing.....	10
2.5. Biocombustibles	11
2.6. Eficiencia.....	13
2.7. Ventajas y desventajas	14
3. HÍBRIDOS	15
3.1. Tipos de vehículos híbridos.....	15
3.2. Eficiencia.....	17
3.3. Ventajas y desventajas	18
4. ELÉCTRICOS	19
4.1. Historia.....	19
4.2. Elementos principales y Funcionamiento	20
4.3. Baterías.....	22
4.3.1. Tipos de baterías.....	22
4.3.2. Impacto y disposición	23
4.4. Infraestructura	24
4.5. Patentamientos de autos eléctricos.....	26
4.6. Panorama en Argentina	27
3.8.1. Marcas de autos eléctricos nacionales	28
4.7. Eficiencia.....	31
4.8. Ventajas y desventajas	32
5. HIDRÓGENO	32
5.1. Historia de la celda de hidrógeno	32
5.2. Tecnología de celdas de hidrógeno.....	34
5.3. Combustión interna	35
5.3.1. Historia	35
5.3.2. Propiedades del hidrógeno como combustible.	36
5.3.3. Emisiones.....	38
5.3.4. Autonomía y almacenamiento	39
5.4. Producción de H ₂	40
4.3.1. Reformado de metano con vapor	41

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

4.3.2. Estadísticas de producción de H2	42
5.5. Infraestructura	43
5.6. Eficiencia.....	44
5.7. Ventajas y desventajas	45
6. COMPARATIVA	46
6.1. Comparativa de eficiencias	46
6.2. Comparativa de carbono desde la fabricación hasta fin de vida útil.....	46
6.3. Comparativa precios de compra.....	48
6.4. ¿Qué pasa si pasamos todo a eléctrico?.....	49
7. CONCLUSIONES	51
8. BIBLIOGRAFÍA	52

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

1. INTRODUCCIÓN

Con la creciente preocupación mundial sobre la contaminación atmosférica y el calentamiento global, las leyes ponen fecha de vencimiento a los motores de combustión interna que utilizan hidrocarburos como combustible. Si bien la mayoría de las marcas apuestan a los vehículos eléctricos, algunas empresas buscan diversificar la propuesta para la descarbonización poniendo en juego el uso del hidrógeno como vector energético. Este se puede utilizar directamente como combustible o para generar electricidad mediante el uso de celdas. En este informe se abordarán todas las tecnologías disponibles y se analizarán las tecnologías, eficiencia, infraestructura, puntos fuertes y débiles.

2. TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES

2.1. Historia

La historia de la automoción, en sentido estricto, comienza en el siglo XVII. La palabra deriva del griego αὐτός autos, «a sí mismo», y del latín mobilis, «que se mueve», sobre todo para distinguir entre los vehículos a motor y los de tracción animal. De estos vehículos autopropulsados se conocieron muchos tipos diferentes a través de las épocas.

Una forma de clasificarlos sería el método empleado para la propulsión; desde este punto de vista, los más significativos fueron los impulsados por vapor del siglo XVIII.

El primer vehículo a vapor fue el Fardier, creado por Nicolas-Joseph Cugnot. A él se le atribuye la construcción del primer vehículo o coche mecánico autopropulsado a gran escala en torno a 1769. También construyó dos tractores a vapor para el ejército francés. Sin embargo, sus inventos se vieron limitados por problemas de suministro de agua y de mantenimiento de la presión del vapor

El ingeniero belga Etienne Lenoir construyó el primer motor de combustión interna en 1860; consumía gas de alumbrado y solamente aprovechaba el 3 % de la energía producida por la combustión. Unos años más tarde, en 1876, el alemán Nikolaus Otto lo mejoró notablemente, siendo este el primero en funcionar con el ciclo de cuatro tiempos. La máquina de Nikolaus disponía de encendido por chispa externa y accionamiento por pistones alternativos, y pese a que era demasiado grande y pesado para ser utilizado en automóviles, pronto se empezó a fabricar en grandes cantidades para aplicaciones estacionarias. En honor a su fundador, la denominación Otto quedó registrada para referirse a este tipo de motores hasta la actualidad, aunque también es popularmente conocido como motor de gasolina.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

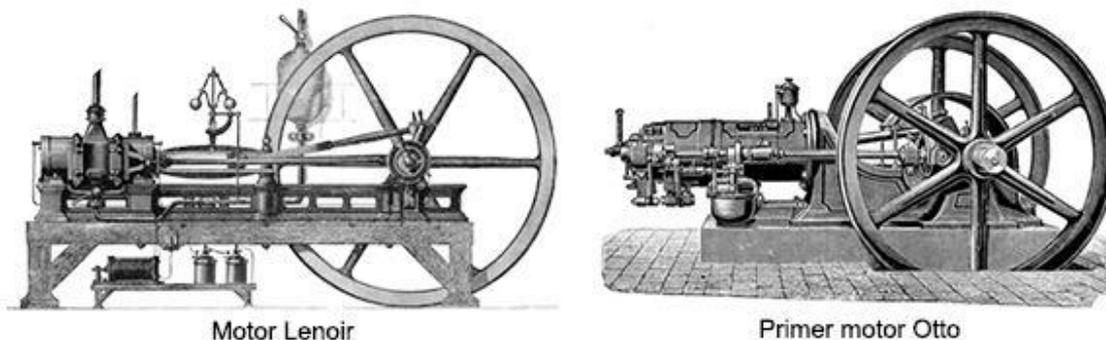


Figura 1. Extraído de: <http://www.blogmecanicos.com/>

El 29 de enero de 1886, Karl Benz obtuvo la patente alemana número 37435 del primer automóvil. Se trataba de un diseño triciclo de chasis tubular, propulsado por un motor en disposición horizontal monocilíndrico de 954 cm³ y una potencia declarada de 2/3 CV a 250 rpm. En verano del mismo año, Gottlieb Daimler presentaba su primer vehículo autopropulsado de cuatro ruedas y dos velocidades de transmisión. Consistía en un carruaje abierto de caballos con motor de un solo pistón acoplado en posición central vertical. También en 1886, Daimler aplica el motor de Maybach sobre un carruaje de cuatro ruedas. El primer automóvil comercializado por Daimler-Maybach llegó en 1889; estaba propulsado por un motor de dos cilindros en V e incorporaba una caja de cambios de cuatro relaciones.



Benz Patent-Motorwagen, el primer automóvil

Figura 2. Extraído de: <http://www.blogmecanicos.com/>

El 31 de agosto de 1908, Henry Ford comenzó a producir automóviles en una cadena de montaje con el Ford modelo T, lo que le permitió alcanzar cifras de fabricación hasta

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

entonces impensables. Ford aprovechó el empuje de la Revolución industrial y comenzó a fabricar el Modelo T, en serie. Esto era algo nunca antes visto, ya que previamente todos los automóviles se fabrican a mano, con un proceso artesanal que requería de mucho tiempo. La línea de ensamble de Ford le permitió fabricar el Modelo T durante casi veinte años, en los cuales produjo quince millones de ejemplares.

En 1892, el alemán Rudolf Diesel inventó un motor de autoencendido que funciona con combustibles pesados, y que más tarde pasaría a llamarse motor diesel. Este era de grandes proporciones y lento, diseñado en primera instancia para funcionamientos estacionarios. Su compleja construcción conllevaba altos costes de producción. Además, los primeros motores Diesel sencillos eran incómodos por su elevado nivel acústico y, en general, presentaban peor comportamiento en aceleración en comparación con los motores de gasolina. En 1897 nace el primer motor de estas características, pero no es hasta 1912 cuando se implanta en una locomotora y en 1923 en un camión.

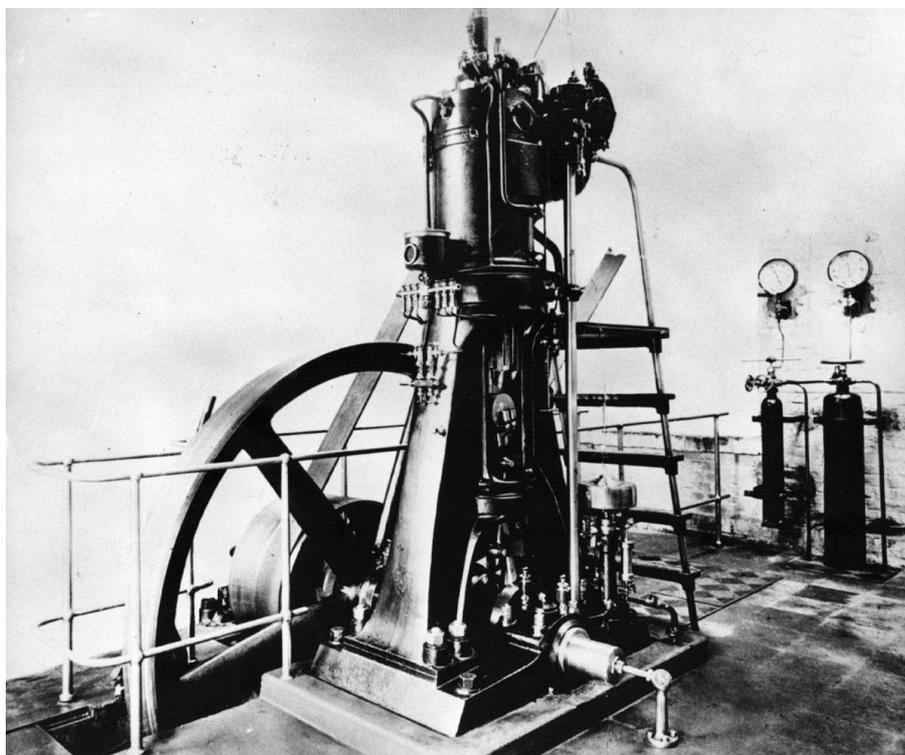


Figura 3. Primer motor diesel. Extraído de: <http://www.blogmecanicos.com/>

A partir de los años 70, el motor diesel es aceptado como tipo de propulsor rentable, gracias a la "miniaturización" impulsada por las mejoras en los materiales y en la fabricación de los motores destinados al sector de los automóviles utilitarios. En la siguiente década, el Diesel se posiciona a la altura para competir con la referencia de la época en cuanto a fuente de propulsión se refiere, es decir, el motor de gasolina.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Con el paso de los años, el sector de la automoción ha sufrido diversas crisis, tanto energéticas, del petróleo, medioambientales, etc., que han mermado la experimentación y el desarrollo continuo de los motores; sin embargo, todavía hoy siguen estando presentes en los vehículos del mercado y se sigue investigando en su evolución. Si bien las motorizaciones Otto y Diesel, durante los últimos años, han sido las más utilizadas para su montaje en turismos, hoy día están creciendo las soluciones híbridas y eléctricas, en busca de aminorar los niveles de polución del planeta y aumentar el grado de comodidad de conducción de los vehículos.

2.2. Emisiones de un motor

Existen dos clases de emisiones principales. Por un lado, están aquellas que afectan al calentamiento global y provocan el llamado efecto invernadero, como el CO₂ (dióxido de carbono). Por otro lado, están las emisiones que perjudican la salud de las personas. En esta categoría se incluyen el monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar, óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos de plomo, anhídrido sulfuroso y partículas.

En la Unión Europea, los medios de locomoción son responsables del 25 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), del 87 % de las de monóxido de carbono (CO) y del 66 % de las de óxidos de nitrógeno (NOx). Esta contaminación, además de contribuir al calentamiento global, provoca problemas en la salud de los habitantes de algunas ciudades.

No todos los vehículos emiten los distintos tipos de gases contaminantes en la misma proporción, dependerá del tipo de motor que se utilice y si usan gasolina o diesel. Los vehículos de gasolina emiten principalmente monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y compuestos de plomo. Mientras, los vehículos que utilizan diesel emiten partículas sólidas en forma de hollín que da lugar a los humos negros, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y anhídrido sulfuroso procedente del azufre contenido en el combustible.

2.2.1. Niveles de emisiones

- CO₂: de media, un coche de gasolina de tamaño medio emite en torno a 143 g/km de CO₂. Los coches con motor diésel no generan tanto dióxido de carbono, aunque generan mayores tasas de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, hidrocarburos y hollín. Esto significa que un motor de gasolina, emitirá entre un 20% y un 25% más de CO₂ que un motor Diesel de características similares.
- NOx: según la normativa Euro 6d, que entró en vigor en enero del año 2020 para las marcas y a partir del año 2021 para las ventas, el límite de emisiones para los coches de diésel es de 120 g/km, y de 90 g/km para los coches con motor gasolina.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

2.2.2. Óxidos de Nitrógeno

Se conocen como NO_x un grupo de compuestos químicos que son óxidos de nitrógeno. Tanto el oxígeno como el nitrógeno son gases inoocuos que están presentes en el aire que respiramos, el problema es cuando se combinan.

Según sea la reacción química en la que se juntan las moléculas de oxígeno y las de nitrógeno, pueden surgir varios compuestos N₂O, N₂O₃, NO₂, NO, N₂O₅... Todos estos compuestos se engloban dentro de los NO_x.

En los motores de combustión, la mayoría de los NO_x que se producen son en realidad dióxidos de nitrógeno (NO₂) que es un gas muy peligroso para la salud. Además de que es irritante en sí mismo, si se combina con hidrógeno (que también está presente en el aire y en el agua de nuestras células) se transforma en ácido nítrico.

Para eliminar los NO_x la solución es un catalizador especial. En el caso de los coches, el catalizador es una pieza cerámica con mucha superficie expuesta al paso de los gases (más o menos una hectárea) pero que está "doblada" tantas veces como para que quepa en una especie de tubo de unos 15 cm de diámetro y 30 cm de largo.

Las moléculas de NO_x, los restos de combustible sin quemar, etcétera, al estar en contacto con estos metales y con la temperatura que se acumula en el catalizador, empiezan a interactuar con el oxígeno y otros gases presentes en el escape y se convierten en otras moléculas que no son nocivas, principalmente N₂, O₂ y CO₂. Para que haya suficiente "material" en el sistema de escape como para poder transformar todos los NO_x en otras moléculas, se inyecta en el sistema de escape urea.

2.2.3. Partículas

Si las reacciones químicas que tienen lugar en los cilindros fuesen perfectas, lo único que debería generarse al quemar un hidrocarburo mezclado con aire tendría que ser agua y CO₂. Por desgracia, en la naturaleza no existen las reacciones perfectas, del mismo modo que no existe el movimiento perpetuo.

En la combustión dentro de los cilindros quedan algunas gotas de combustible que no llegan a arder por completo, además de otros productos que no reaccionan en el proceso (azufres del combustible, gases presentes en el aire, restos de aceite de la lubricación del motor...).

Las altas temperaturas que se alcanzan en los cilindros hacen que esas partículas se conviertan en cenizas que salen expulsadas por el tubo de escape. Estas partículas son muy pequeñas, tanto como para llegar a entrar en nuestro organismo y adherirse a

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

nuestras células, que las pueden llegar a absorber y provocar mutaciones en ellas, es decir, son muy cancerígenas.

Para evitarlo, como los motores diésel son los que más partículas sólidas emiten, es obligatorio desde hace ya años el incorporar un filtro antipartículas, encargado de atraparlas. Los motores de gasolina no generaban tantas partículas —prácticamente ninguna en el pasado— pero a medida que se ha mejorado su rendimiento y sus presiones de trabajo, cada vez emiten más, aunque las autoridades todavía no han legislado nada al respecto.

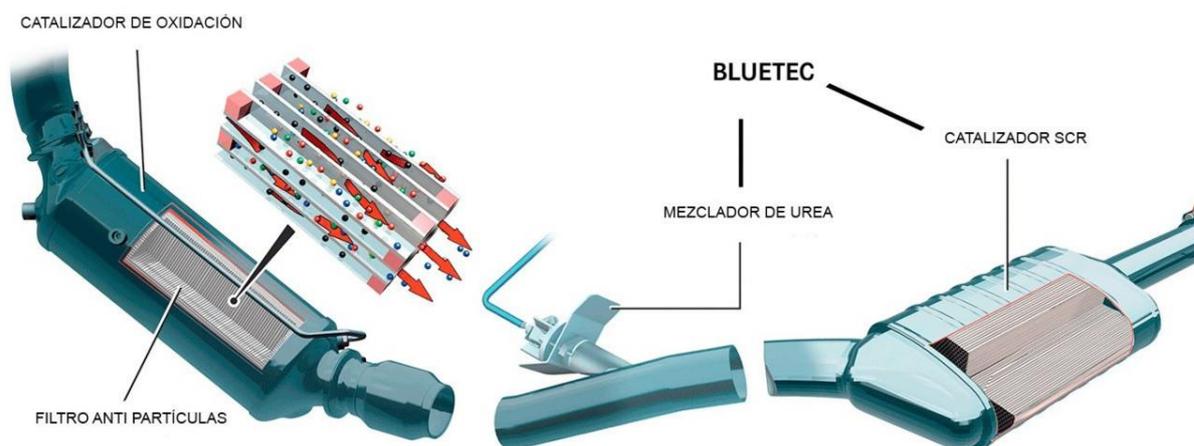


Figura 4. Catalizador de tres vías y DPF. Extraído de: <https://www.motorpasion.com/>.

Los motores diésel emplean filtros anti partículas y catalizadores NOx para reducir estas emisiones y cumplir la ley. Los motores de gasolina están por ahora exentos de esta obligatoriedad.

2.3. Normas euro

En la Unión Europea, las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos totales (THC), hidrocarburos distintos del metano (NMHC), monóxido de carbono (CO) y materia particulada (PM) están regulados para la mayoría de tipos de vehículos.

- Euro 1 (1992):
- Euro 2 (1996)
- Euro 3 (2000)
- Euro 4 (2005)
- Euro 5 (2009)
- Euro 6 (2014)
- Euro 7 (probablemente 2025)

La figura 5 resume la evolución en los límites de emisiones de las sucesivas normativas, expresados en g/KWh.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

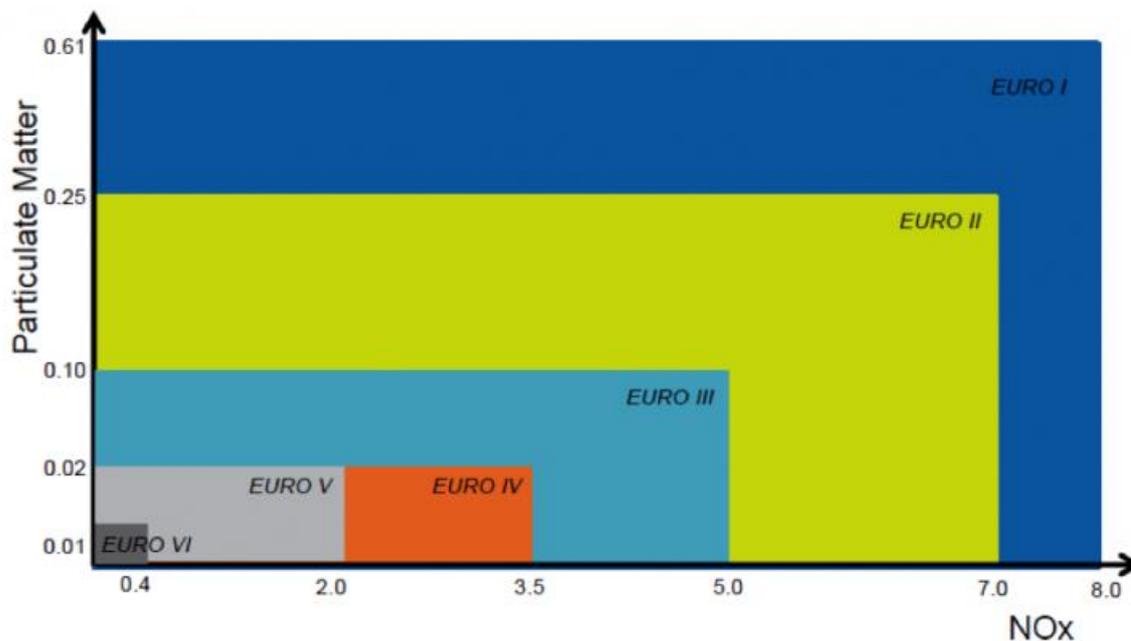


Figura 5. Evolución de las normas EURO. Extraído de: www.q8oils.com.

2.3.1. Adopción en Argentina

En Argentina aplica la Ley 24449 Decreto 779/95, Certificación de Emisiones de Vehículos 0 Km en Argentina. La misma establece la homologación de los nuevos diseños y conformidad de la producción como figuras de control de las emisiones contaminantes en vehículos 0 Km

- A partir del 2004 EURO I para vehículos Livianos y Pesados
- A partir de 2006 EURO III para Pesados
- A partir de 2007 EURO III para Livianos
- A partir de 2009 EURO IV para Livianos y Pesados
- A partir de 2015 EURO Va Solo vehículos livianos
- A partir de 2016 EURO Va para Livianos y motores pesados

Se puede apreciar que Argentina normalmente va atrasada en una generación respecto a Europa, lo cual resulta razonable para el nivel de desarrollo tecnológico.

2.4. Downsizing

El downsizing consiste en el uso de un motor más pequeño en un vehículo que proporciona la potencia de un motor más grande, mediante el uso de tecnologías recientes. El término generalmente se refiere a los motores de combustión interna tradicionales que funcionan con gasolina o diésel. Muchos fabricantes están reduciendo la capacidad del motor y el número de cilindros. Al agregar un dispositivo de admisión

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

forzada (turbocompresor o sobrealimentador) y tecnología de inyección directa, se logra un motor potente con un rendimiento similar al de un motor mucho más grande, pero con una eficiencia mejorada y emisiones de carbono reducidas. Un motor más pequeño también suele ser más ligero, por lo que el coche puede ser más ligero y, por lo tanto, más ágil. Esto reducirá la fricción, las pérdidas térmicas y la masa movida, impulsando el ahorro de combustible y reduciendo las emisiones de dióxido de carbono. En la figura 6 se puede ver la evolución del tamaño de motor, peso, potencia, volumen interior y emisiones de CO₂ de los automóviles entre 1977 y 2011.

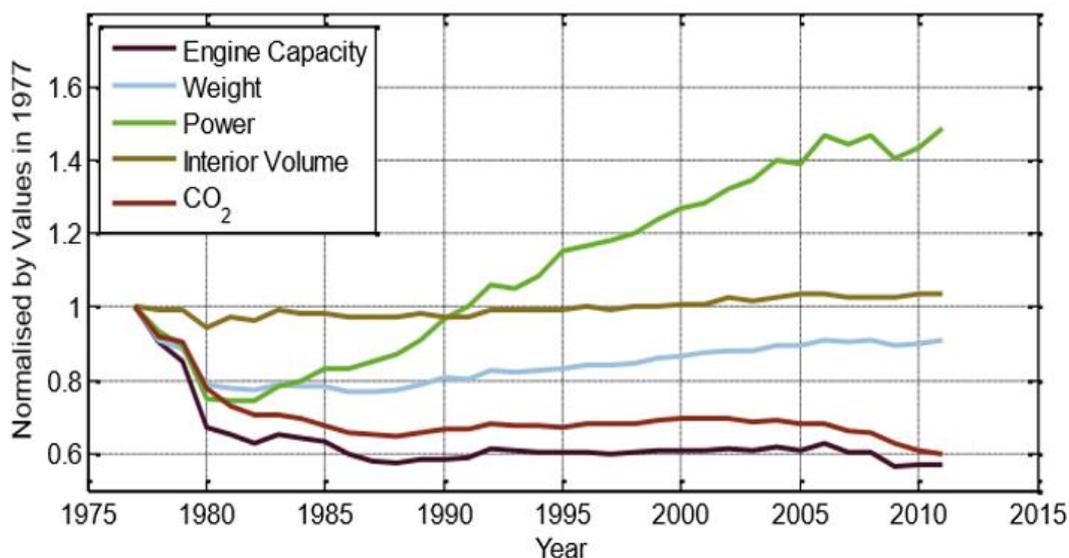


Figura 6. Evolución de cilindrada, peso, potencia, volúmen interior y emisiones de los automóviles, desde 1977 hasta 2011. Elaborado por el dpto. de ingeniería mecánica del Instituto K.N.S.

2.5. Biocombustibles

Clasificación y ejemplos de los biocombustibles

Los biocombustibles se pueden clasificar en tres grandes grupos en función de la materia prima empleada y el proceso de producción: biocombustibles de primera, segunda y tercera generación.

- **Biocombustibles de primera generación:** son aquellos que tienen su origen en cultivos agrícolas empleados en la obtención de productos para el consumo humano tales como el azúcar, el almidón, el aceite vegetal como el aceite de palma o grasas animales. Los sistemas de producción son más simples y económicos, sin embargo, tiene serias limitaciones, pues podrían poner en peligro el suministro de alimentos, así como la biodiversidad.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

- **Biocombustibles de segunda generación:** surgen ante la gran demanda de biocombustibles y se obtienen a partir de biomasa de naturaleza lignocelulósica, es decir, de naturaleza leñosa o fibrosa. Por este motivo, aunque supongan un ahorro en las emisiones, su producción es más costosa y complicada que la de los de primera generación. Este grupo de biocombustibles se produce con cultivos que no se destinan a la alimentación o que se consideran desperdicios como aceite usado, tallos, cáscaras de fruta, envolturas o vainas o virutas de madera.
- **Biocombustibles de tercera generación:** también proceden de la biomasa de productos no comestibles o desechos, pero en esta categoría se incluyen además las microalgas. En este caso, para su producción se emplean técnicas de biología molecular.

Entre los biocombustibles más populares, utilizados y desarrollados podemos encontrar:

- **Bioetanol:** se genera a través de la fermentación alcohólica de los azúcares que se encuentran en algunas especies vegetales como pueden ser la caña de azúcar, la remolacha o algunas especies cereales.
- **Biodiésel:** se produce a partir de aceites vegetales como el aceite de colza, la soja, la canola, la jatrofa. Además, estas especies vegetales se cultivan con el fin de ser utilizados como biodiésel.
- **Biogás:** El biogás es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico).

Ventajas de los biocombustibles

- El costo de los biocombustibles será menor al de la gasolina o el diésel una vez la tecnología con la que se genera esté disponible en mayor medida.
- Los procesos de producción son más eficientes; consumen y contaminan menos.
- Se trata de una fuente que se encuentra mucho menos limitada que los combustibles fósiles, que tardan miles de años en generarse.
- Se reducen las emisiones de carbono y azufre.
- Disminución de residuos.
- El nivel de seguridad es mayor en cuanto a su manejo y almacenamiento en comparación a de los combustibles fósiles.

Desventajas de los biocombustibles

- A causa de los fertilizantes nitrogenados que se emplean en los campos de cultivo, los biocombustibles de origen vegetal pueden resultar en un aumento de las emisiones de óxido de nitrógeno. Además, esto puede producir la contaminación de las aguas subterráneas con nitritos y nitratos.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

- Los biocombustibles proporcionan una menor energía que los combustibles fósiles a cantidades iguales, por lo que se necesita mucha más materia prima para igualar estos niveles energéticos.
- Algunos autores consideran que el empleo de campos de cultivo para especies vegetales destinadas al biocombustible pone en juego los campos de cultivos para la alimentación humana, haciendo que su precio suba.
- Al necesitar mayores superficies de cultivo se produce la pérdida de las áreas forestales, consumidoras de CO₂.
- Como ocurre con todas las actividades relacionadas con la agricultura, se necesitan grandes cantidades de agua para el riego de las especies vegetales.
- Durante la producción de los biocombustibles se emplean combustibles fósiles lo que, paradójicamente, por el momento resulta en que el balance de emisiones de CO₂ sea positivo, teniendo además en cuenta la deforestación que se suma a la cadena de producción.

2.6. Eficiencia

Solo entre el 12 % y el 30 % de la energía del combustible que se pone en un vehículo convencional se utiliza para moverlo por la carretera, dependiendo del tipo de manejo. El resto de la energía se pierde debido a ineficiencias en el motor y la línea de transmisión o se utiliza para alimentar accesorios. Por lo tanto, el potencial para mejorar la eficiencia del combustible con tecnologías avanzadas es enorme. Los siguientes gráficos resumen las pérdidas, separadas por tipo y asignándoles un valor.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

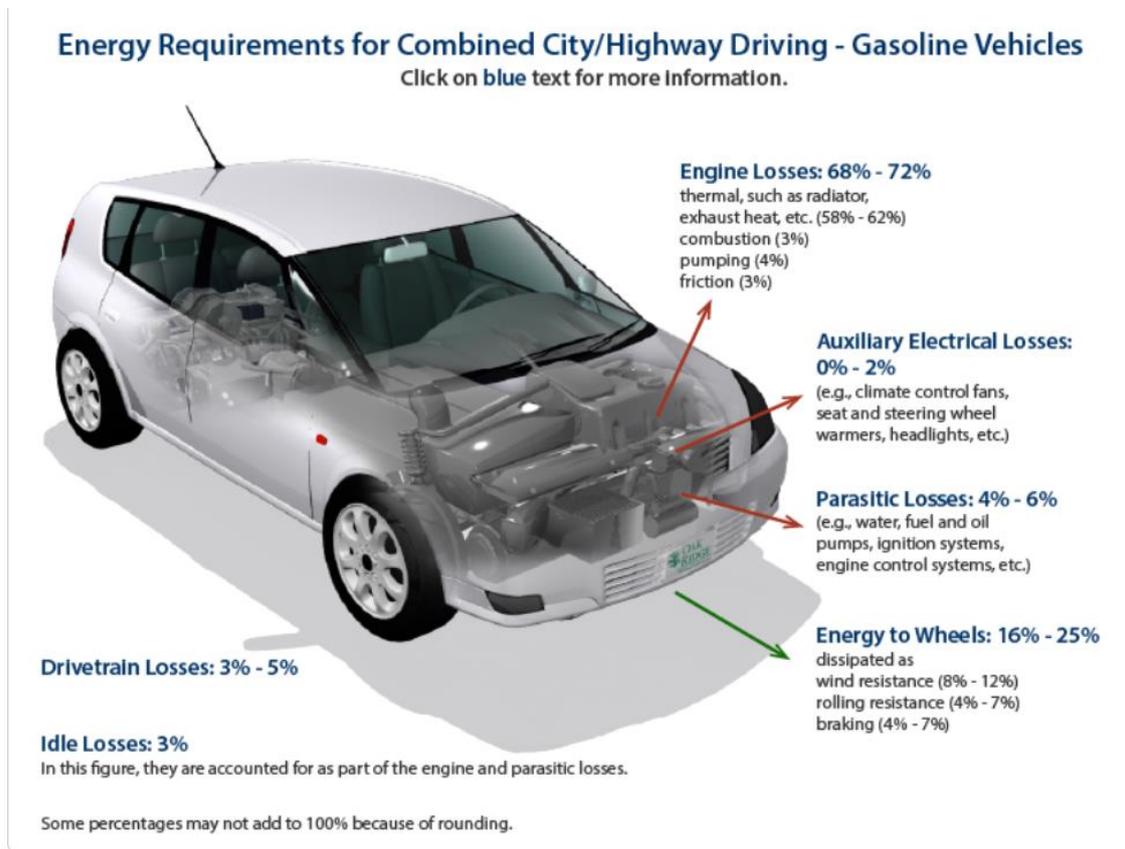


Figura 7. Eficiencia de vehículo a gasolina. Extraído de la página web de la U.S. Department of Energy <https://www.fueleconomy.gov/>.

2.7. Ventajas y desventajas

Ventajas:

- Infraestructura ampliamente difundida: Las estaciones de servicio están ampliamente difundidas en el mundo y cuentan con la densidad suficiente como para desplazarse largas distancias teniendo siempre puntos para repostar.
- Autonomía: este punto se agrega ya que es una de las características que perjudican al auto eléctrico. Un vehículo promedio a gasolina actual que cuenta con un tanque de 60L y un consumo de 6 L/100 Km tiene 1000 Km de autonomía.
- Rapidez de recarga. El tiempo de llenado del depósito de combustible ronda los 5 minutos (Los eléctricos requieren tiempo para recargarse).

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Desventajas:

- **Baja eficiencia:** El motor de combustión interna tiene grandes pérdidas. La energía se pierde en el sistema de refrigeración, escape, rozamiento entre los componentes, y en el mismo proceso de combustión. Incluso con las tecnologías actuales (turbo cargador, inyección directa, apertura variable de válvulas) sigue teniendo eficiencias bajas comparado a las demás opciones.
- **Contaminación:** Las emisiones de estos motores son inherentes a su funcionamiento, y al intentar bajar emisiones de CO₂ aumentamos las de NO_x debido a que para que un motor entregue potencia aceptable con menor cilindrada, terminamos aumentando la temperatura en la cámara de combustión.

3. HÍBRIDOS

Los vehículos eléctricos híbridos (HEV) buscan combinar los beneficios de los motores de gasolina y los motores eléctricos. Pueden diseñarse para cumplir diferentes objetivos, como una mejor economía de combustible o más potencia.

La mayoría de los híbridos utilizan varias tecnologías avanzadas:

- **Frenado regenerativo:** El frenado regenerativo recupera la energía que normalmente se pierde durante la conducción por inercia o el frenado. Utiliza el movimiento hacia adelante de las ruedas para hacer girar el motor. Esto genera electricidad y ayuda a reducir la velocidad del vehículo.
- **Accionamiento/asistencia de motor eléctrico:** El motor eléctrico proporciona potencia para ayudar al motor a acelerar, rebasar o subir pendientes. Esto permite utilizar un motor más pequeño y eficiente. En algunos híbridos, el motor eléctrico solo impulsa el vehículo a bajas velocidades, donde los motores de gasolina son menos eficientes.
- **Parada/arranque automático:** Apaga automáticamente el motor cuando el vehículo se detiene y lo reinicia cuando se presiona el acelerador. Esto reduce la energía desperdiciada por el ralenti.

3.1. Tipos de vehículos híbridos

Microhíbrido y Mild Hybrid (MHEV)

Los coches microhíbridos y *Mild Hybrid* o híbridos suaves (MHEV) emplean una batería de mayor capacidad (normalmente de 12 o 48 V) que almacena energía cinética en su interior. **No puede impulsar al coche por sí mismo** de forma completamente eléctrica. La función de estos sistemas es ofrecer una opción de hibridación asequible que ayude a reducir el estrés del motor ayudándolo a arrancar o detenerlo antes de tiempo.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Gracias a esta tecnología, un coche micro híbrido puede reducir sensiblemente las emisiones de gases de escape (en torno a un 15% en el caso del CO₂) y el consumo de combustible. Su eficacia está enfocada al **ámbito urbano**, donde se producen múltiples arranques y paradas.

Híbrido combinado (HEV)

También conocidos como híbridos puros o, simplemente. Son los que más han proliferado, dado que se comportan como un coche de combustión tradicional. El motor eléctrico de este tipo de híbridos es lo suficientemente potente para mover el vehículo por sí mismo.

El híbrido combinado puede funcionar como un eléctrico puro. Pero, si se pide una fuerte aceleración o una velocidad de circulación de tres cifras, el motor térmico entrará en funcionamiento. El ahorro de combustible se hace especialmente notorio en los cortos recorridos, y el consumo de CO₂ se reduce en un 35%.

Híbrido enchufable (PHEV)

En los vehículos híbridos enchufables (PHEV), el motor eléctrico adquiere casi todo el protagonismo. De hecho, las baterías son hasta 10 veces más grandes que en un híbrido combinado. Consecuentemente, al haber más energía para almacenar, se puede rodar a una velocidad mayor sin necesidad de consumir ni una sola gota de combustible, así como disponer de una aceleración más contundente a base de electricidad pura y dura.

Aun así, el motor de combustión sigue siendo necesario. Sin él, no se podrían alcanzar los valores de potencia máxima.

Frente a un eléctrico puro, el híbrido enchufable puede recargarse más rápido. Sobre un coche convencional, ahorra bastante combustible en distancias cortas, aunque pasados los 50 o 60 kilómetros el beneficio se equipara a los de un híbrido convencional. Y aunque reúne las bondades y ventajas de un híbrido puro y de un coche cero emisiones, presenta algunos inconvenientes que los puede hacer antieconómicos.

Para medias y largas distancias, los híbridos enchufables no son la opción ideal: son más caros y no más eficientes que un modelo HEV. Su elevado coste de adquisición también los hace difíciles de amortizar. Necesitan ser cargados diariamente, y aunque pueden funcionar solo con combustible, el elevado peso del vehículo y su tamaño lo haría muy ineficiente. Además, recargar las baterías puede tomar hasta cinco horas, dependiendo de la infraestructura eléctrica.

Híbrido en serie/Eléctrico de autonomía extendida

Similar a un híbrido enchufable. El motor eléctrico domina sobre el térmico, pero a diferencia de estos últimos, el propulsor de gasolina tan sólo entra en funcionamiento cuando la batería ha agotado por completo su energía. Es decir, es un coche que

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

siempre se comporta como un eléctrico, pero que utiliza un motor de combustión para extender su autonomía. Las ventajas y desventajas también son prácticamente las mismas.

	MHEV	HEV	PHEV	En serie
Función Start/Stop	Si	Si	Si	Si
Asistencia de par eléctrico	Si	Si	Si	Si
Frenada regenerativa	Si	Si	Si	Si
Modo eléctrico Puro	No	Si	Si	Si
Recarga de batería en circulación	No	Si	Si	Si
Recarga de batería en toma de corriente	No	No	Si	Si

Figura 8. Comparativa de autos híbridos. Elaboración propia

3.2. Eficiencia

Alrededor del 21 % al 40 % de la energía del combustible que pones en un híbrido se usa para moverlo por la carretera, dependiendo del tipo de manejo. Los híbridos son más eficientes que los vehículos convencionales comparables, especialmente en la conducción con paradas y arranques, debido al uso de tecnologías de frenado regenerativo, conducción/asistencia de motor eléctrico y arranque y parada.

Aun así, gran parte de la energía se pierde debido a ineficiencias en el motor, la línea de transmisión o se usa para alimentar accesorios.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

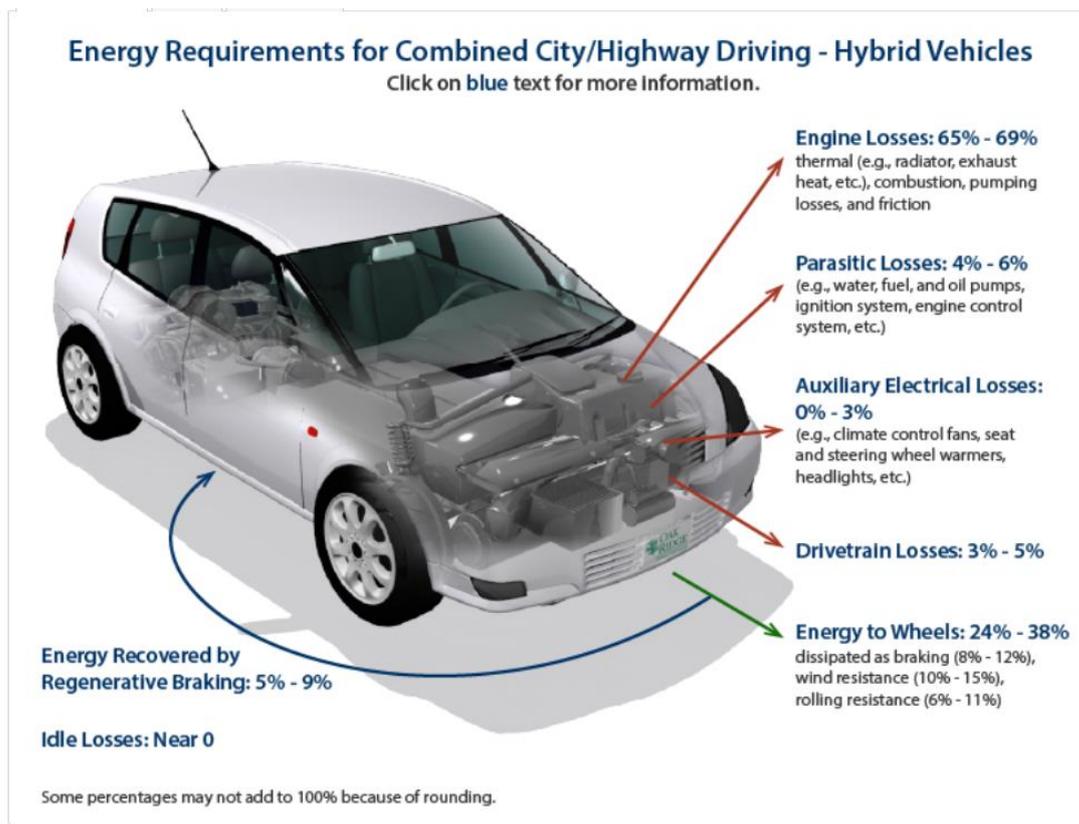


Figura 9. Eficiencia de vehículo híbrido. Extraído de la página web de la U.S. Department of Energy <https://www.fueleconomy.gov/>.

3.3. Ventajas y desventajas

Ventajas:

- Infraestructura ampliamente difundida (HEV): es la misma que utiliza un vehículo convencional.
- Mayor eficiencia (en ciudad) y su consecuente ahorro de combustible: El ahorro de combustible se produce cuando hay arranques y paradas sucesivas. En ruta el auto consume lo mismo que un ICEV.
- Menos emisiones que un convencional (Proporcional al ahorro de combustible).
- Menos ruido (el motor eléctrico es silencioso).

Desventajas:

- Precio. Suelen ser un poco más costosos que los convencionales, pero a medida que pasan los años esta brecha está disminuyendo.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

- Reparaciones más costosas, debido a que se requiere mano de obra más calificada.
- Contaminación, ya que, a pesar de ser más eficiente, sigue siendo un vehículo que trabaja con un motor de combustión interna y genera emisiones de CO₂, NOx, etc. Además, debe tenerse en cuenta la disposición de la batería una vez terminada su vida útil.
- Mayor peso: ya que incorpora dos plantas motrices.

4. ELÉCTRICOS

4.1. Historia

El vehículo eléctrico fue el primero de los automóviles que se desarrollaron, hasta el punto que existieron eléctricos anteriores al motor de cuatro tiempos sobre el que el motor diésel y Otto de gasolina, basaron el automóvil actual. Entre 1832 y 1839 (el año exacto es incierto), el hombre de negocios escocés Robert Anderson, inventó el primer vehículo eléctrico puro.

La mejora de la pila eléctrica, por parte de los franceses Gaston Planté en 1859 y Camille Faure en 1881, allanó el camino para los vehículos eléctricos. En la Exposición Mundial de 1867 en París, el inventor austríaco Franz Kravogl mostró un ciclo de dos ruedas con motor eléctrico. Francia y Gran Bretaña fueron las primeras naciones que apoyaron el desarrollo generalizado de vehículos eléctricos. En noviembre de 1881, el inventor francés Gustave Trouvé demostró un automóvil de tres ruedas en la Exposición Internacional de la Electricidad de París.

Los automóviles eléctricos, producidos en los Estados Unidos por Anthony Electric, Baker, Detroit, Edison, Studebaker, y otros durante los principios del siglo XX tuvieron relativo éxito comercial. Debido a las limitaciones tecnológicas, la velocidad máxima de estos primeros vehículos eléctricos se limitaba a unos 32 km/h, por eso fueron vendidos como coche para la clase alta y con frecuencia se comercializaban como vehículos adecuados para las mujeres debido a conducción limpia, tranquila y de fácil manejo, especialmente al no requerir el arranque manual con manivela que si necesitaban los automóviles de gasolina de la época.

La introducción del sistema de arranque eléctrico del Cadillac en 1913 simplificó la tarea de arrancar el motor de combustión interna, que antes de esta mejora resultaba difícil y a veces peligrosa. Esta innovación, junto con el sistema de producción en cadenas de montaje de forma masiva y relativamente barata implantada por Ford desde 1908, contribuyó a la caída del vehículo eléctrico. Además, las mejoras se sucedieron a mayor velocidad en los vehículos de combustión interna que en los vehículos eléctricos.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

A finales de 1930, la industria del automóvil eléctrico desapareció por completo, quedando relegada a algunas aplicaciones industriales muy concretas, como montacargas (introducidos en 1923 por Yale), toros elevadores de batería eléctrica, o más recientemente carros de golf eléctricos, con los primeros modelos de Lektra en 1954.

Tras varias décadas en el olvido, la crisis del petróleo de 1973 produjo un breve renacimiento en el interés por los vehículos eléctricos durante la década de 1970 y 1980, aunque tampoco llegaron a alcanzar la comercialización en masa.

Actualmente, los avances en las baterías y en la gestión de la energía, la preocupación global acerca del aumento de precios del petróleo, y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero impulsaron a varios gobiernos nacionales y locales han establecido incentivos para los vehículos eléctricos o híbridos enchufables, exenciones de impuestos y otras ayudas para promover la introducción y la adopción en el mercado de este tipo de vehículos.

4.2. Elementos principales y Funcionamiento

Toma de corriente o puerto de carga

Permite la conexión del coche a un punto de carga, ya sea una toma de corriente doméstica, una wallbox o un cargador rápido público. En muchos casos, los vehículos tienen dos puertos de carga, uno doméstico y de carga rápida.

Cargador de a bordo (o power electronic converter)

Cuando se carga la batería vía una toma de corriente doméstica, es preciso que la energía pase por el cargador. Este es un rectificador que a la salida dará una corriente y un voltaje de diferente magnitud y forma con respecto a la que entró. Básicamente, convierte la corriente alterna (AC) de entrada en corriente continua (DC), que necesita la batería. Es como el cargador de un móvil, pero que soporta potencias y voltajes muy superiores.

Pack de batería

Es el corazón del vehículo eléctrico. También llamada batería de tracción. La energía que almacena servirá exclusivamente para mover el vehículo. Por otra parte, los vehículos eléctricos poseen una batería tradicional de 12 V, como los coches térmicos, para alimentar los sistemas auxiliares, como la climatización, la iluminación, etc.

Existen de diferentes tipos, siendo la batería más utilizada en la industria la de iones de litio. Cuenta con una unidad de control que controla y gestiona las principales características de carga, como el voltaje, la corriente, la temperatura o el estado de carga. Esta unidad de control está continuamente comprobando los parámetros de todo

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

el sistema. Si en una comprobación una medición no cumpliera los niveles establecidos, el sistema se desconectaría.

Convertidor de corriente o inversor

También conocido como inversor. Este dispositivo convierte la energía de corriente continua de menor voltaje del pack de batería en energía de corriente alterna de mayor voltaje, necesaria para hacer funcionar el o los motores. Existe un convertidor secundario que reduce el voltaje para la batería de 12 V y los sistemas auxiliares.

Unidad de control del motor

La unidad de control del motor regula la velocidad, par y dirección del motor. Controla el flujo de energía entre la batería de tracción y el motor. Este es bidireccional, enviando energía al motor y al mismo tiempo es capaz de extraer energía en las fases de frenada regenerativa.

Motor eléctrico

Convierte energía eléctrica en movimiento, acciona las ruedas. El motor actúa además como generador de electricidad, tanto en aceleración como en las fases de deceleración. La mayoría de fabricantes usan motores de inducción o de imanes permanentes.

Transmisión

La mayoría de coches eléctricos cuentan con una transmisión de una sola marcha . Se debe a que un motor eléctrico entrega la totalidad del par motor en todo momento.

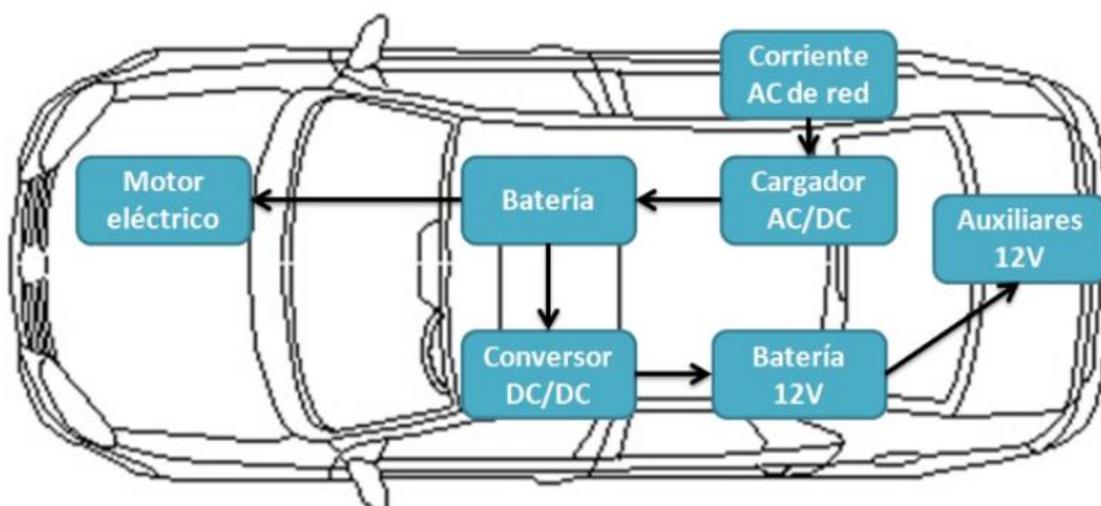


Figura 10. Partes principales de un vehículo eléctrico.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

4.3. Baterías

Como analogía, se puede pensar en que la batería de un automóvil eléctrico es el equivalente del depósito de combustible de un vehículo de combustión. En efecto, es un acumulador de energía en el que se almacena la electricidad que se transmite al motor eléctrico para que el automóvil funcione.

Se estima que de media las baterías admiten hasta 3000 ciclos de carga completos. De este modo, si esta se vaciara y rellenara cada día duraría más de ocho años.

4.3.1. Tipos de baterías

Plomo-ácido (PB-ácido)

Es la más antigua y la más usada en vehículos convencionales. Suelen tener entre 6 y 12 voltios, una autonomía de unos 100 km y se emplean fundamentalmente para funciones de arranque del vehículo, iluminación o soporte eléctrico. En la actualidad se están dejando de utilizar para proporcionar energía al motor eléctrico.

- Características: ciclo de vida limitado entre 500 y 800 ciclos de carga-descarga, densidad baja de 30-40 Wh/Kg y necesidad de mantenimiento periódico.
- Ventajas: bajo coste y buena respuesta en frío.
- Desventajas: son pesadas, el plomo es tóxico y capacidad de recarga lenta.

Níquel-cadmio (NiCd)

Son muy utilizadas en la industria del automóvil, a pesar de su alto coste y su efecto memoria, algo que no las hace la mejor solución como batería de un vehículo eléctrico.

- Características: ciclo de vida entre las 1500 y 2000 cargas y descargas, densidad de 40-60 Wh/Kg y necesidad de cierto cuidado específico.
- Ventajas: gran fiabilidad y técnicas de reciclado total.
- Desventajas: alto coste de adquisición, efecto memoria, contaminante y envejecimiento prematuro con el calor.

Níquel-hidruro metálico (NiMh)

Dentro de los tipos de baterías para coches eléctricos, esta es una de las más usadas por los fabricantes de vehículos híbridos.

- Características: ciclo de vida un poco limitado entre los 300 y 500 ciclos de carga y descarga, densidad de 30-80 Wh/Kg y un elevado mantenimiento.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

- Ventajas: reducción del efecto memoria en relación con las baterías de níquel-cadmio, además de eliminar el cadmio (un metal tóxico).
- Desventajas: menor fiabilidad, no aguanta fuertes descargas, menor resistencia a altas temperaturas y menor resistencia a altas corrientes de carga.

Ion-litio (LiCoO₂)

Un tipo de batería de reciente creación con el doble de densidad energética que las de níquel-cadmio, a pesar de tener un tercio de su tamaño.

- Características: ciclo de vida entre las 400 y 1200 cargas y descargas, densidad de 100-250 Wh/Kg y sin necesidad de mantenimiento.
- Ventajas: alta densidad energética, menor tamaño, peso ligero, alta eficiencia y sin efecto memoria.
- Desventajas: alto coste de producción, fragilidad, precisan de un circuito de seguridad y de un almacenaje cuidadoso.

Ion-litio con cátodo de LiFePO₄

Una de las ventajas de estas baterías es que no utilizan cobalto, lo que les da mayor seguridad al ofrecer una mayor estabilidad por su gran cantidad de hierro.

- Características: ciclo de vida mayor de entorno a las 2000 cargas y descargas, densidad de 90-100 Wh/Kg y sin mantenimiento.
- Ventajas: son seguras, estables y potentes.
- Desventajas: menor densidad energética y mayor coste.

Polímero de litio (LiPo)

Entre los tipos de baterías para coches eléctricos, las de polímero de litio (una variación de las de ion-litio) cuentan con una gran densidad energética y potencia, además de ser ligeras, eficientes y sin efecto memoria.

- Características: ciclo de vida por debajo de las 1000 cargas y descargas, densidad energética de 300 Wh/Kg y sin mantenimiento.
- Ventajas: ligeras y eficientes.
- Desventajas: alto precio y ciclo de vida menor.

4.3.2. Impacto y disposición

Las baterías de automóviles eléctricos, al igual que las de los móviles, ordenadores y otros dispositivos, se van desgastando con el tiempo hasta llegar el momento de ser inútiles. Estas se pueden aprovechar en la fabricación de móviles o dar energía a otros

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

dispositivos, mediante un adecuado reciclaje. Este reciclaje aún no supone un gran problema, pero dentro de 10-15 años habrá un gran volumen de baterías desgastadas.

Existen 2 procesos de reciclaje de las baterías de coches eléctricos. El más barato consiste en triturar la batería. El problema de este proceso es que se salvan pocos materiales. El otro método es despiezar la batería de forma más exhaustiva. De esta se salvan gran parte de los materiales, aunque es más caro en dinero y tiempo.

De las baterías de litio se puede recuperar casi el 80% de los componentes en los mejores casos. Pero, a pesar de esto, actualmente sólo se recicla alrededor del 5% de estas baterías de este modo. Muchas de ellas se acumulan en vertederos o se incineran, lo que produce un importante impacto medioambiental.

Por otro lado, es importante tener en cuenta que las baterías de litio contienen ácidos y otras sustancias tóxicas que hay que almacenar, pues no se pueden reciclar. Por ello, será necesario habilitar "cementeros" para el almacenamiento de estas sustancias.

Debido a que el proceso de reciclaje de las baterías aún no está muy optimizado, muchos fabricantes prefieren la reutilización de estas baterías dándoles un nuevo ciclo de vida. Se reutilizan como sistemas de alimentación para otros fines, por ejemplo iluminar un campo de fútbol, mantener encendidos semáforos y farolas, almacenamiento de energía para particulares en sus casas, etc.

4.4. Infraestructura

A medida que aumentan los mercados de vehículos eléctricos, el acceso a la carga pública también deberá expandirse. Hoy en día, la mayor parte de la carga de vehículos eléctricos se realiza en residencias y lugares de trabajo. Los consumidores esperan cada vez más los mismos servicios, simplicidad y autonomía para los vehículos eléctricos que para los vehículos convencionales.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

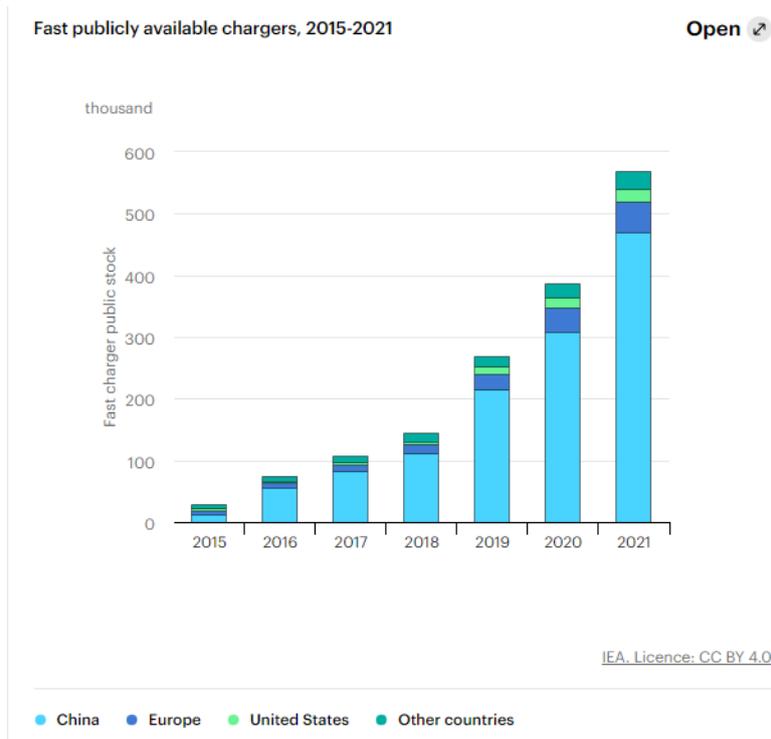
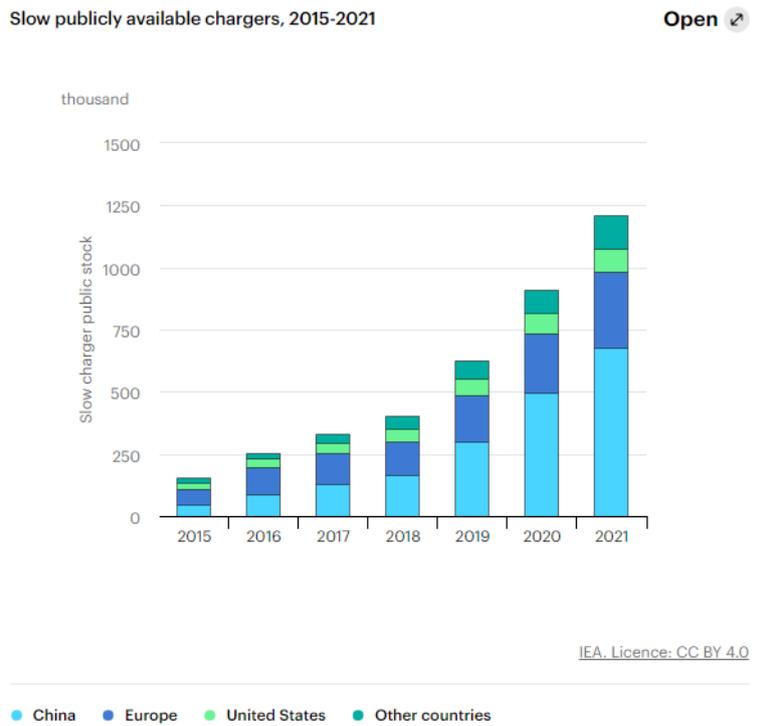


Figura 11. Cargadores rápidos públicos por zona. Extraído de la web de la Agencia Internacional de la Energía. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>



Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Figura 12. Cargadores lentos públicos por zona. Extraído de la web de la Agencia Internacional de la Energía. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>

Los puntos de carga de vehículos eléctricos disponibles públicamente aumentaron casi un 40 % en 2021

Los cargadores de acceso público en todo el mundo se acercaron a 1,8 millones de puntos de carga en 2021, de los cuales un tercio eran cargadores rápidos. Casi 500000 cargadores se instalaron en 2021, más que la cantidad total de cargadores públicos disponibles en 2017. La cantidad de cargadores de acceso público aumentó un 37 % en 2021, que es inferior a la tasa de crecimiento de 2020 (45 %) y a las tasas de despliegue previas a la pandemia. La tasa de crecimiento anual promedio fue de casi el 50 % entre 2015 y 2019. En 2021, la carga rápida aumentó un poco más que en 2020 (48 % frente al 43 %) y la carga lenta mucho más lenta (33 % frente al 46 %).

Como en años anteriores, China es el líder mundial en número de cargadores disponibles públicamente. Cuenta con alrededor del 85% de los cargadores rápidos del mundo y el 55% de los cargadores lentos. Esto refleja el liderazgo demostrado de China en el sector de los vehículos eléctricos, así como sus características urbanas muy densamente pobladas.

4.5. Patentamientos de autos eléctricos

En el siguiente gráfico se puede ver la cantidad de autos eléctricos vendidos, por año y por región, y qué porcentaje representan respecto del total de autos vendidos cada año.

Electric car sales more than doubled in China, continued to increase in Europe and picked up in the United States in 2021

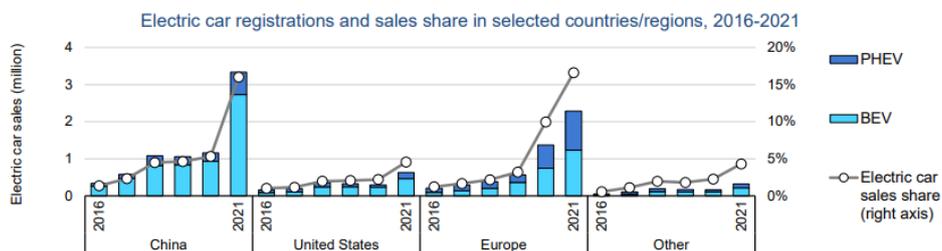


Figura 13. Cantidad de EV vendidos por año y por zona, y porcentaje respecto al total de vehículos. Extraído de la web de la Agencia Internacional de la Energía. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>

Analizando el gráfico vemos que el mayor crecimiento se da en China el cuál aumentó en sólo un año (2020 - 2021) el market share de 5% a 17%. En Europa comenzó un crecimiento sostenido a partir de 2019, logrando un market share similar al de China. En Estados Unidos el crecimiento es menor ya que no hay tantas políticas que promuevan

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

el uso de EVs. En el resto del mundo, la falta de fomento e infraestructura tiene un pie en el freno para el crecimiento de esta tecnología.

4.6. Panorama en Argentina

Análisis de patentamientos 2022.

En 2022 se vendieron un total de 7.849 vehículos entre híbridos y eléctricos en la Argentina, revela un informe de la Asociación de Concesionarios de Automotores de la República Argentina (Acara). Esto significa que el mercado “verde” creció un 33 por ciento, ya que en 2021 se habían patentado 5.871 unidades.

De los 7.849 patentamientos, 7.588 correspondieron a vehículos híbridos y 260 a eléctricos puros. Este número representa, a su vez, un aumento del 231,9 por ciento frente a 2020, cuando se comercializaron 3.488 unidades ecológicas.

El año pasado no sólo creció el negocio en unidades, sino que además se sumaron catorce modelos a la oferta. Tal es así que del top 10 de modelos más vendidos, tres llegaron al mercado argentino durante 2022.

El informe de Acara explica que “entre las novedades del año pasado, un hecho relevante es la aparición de la marca Coradir, de producción nacional y que puso un producto dentro del top 5 de ventas”.

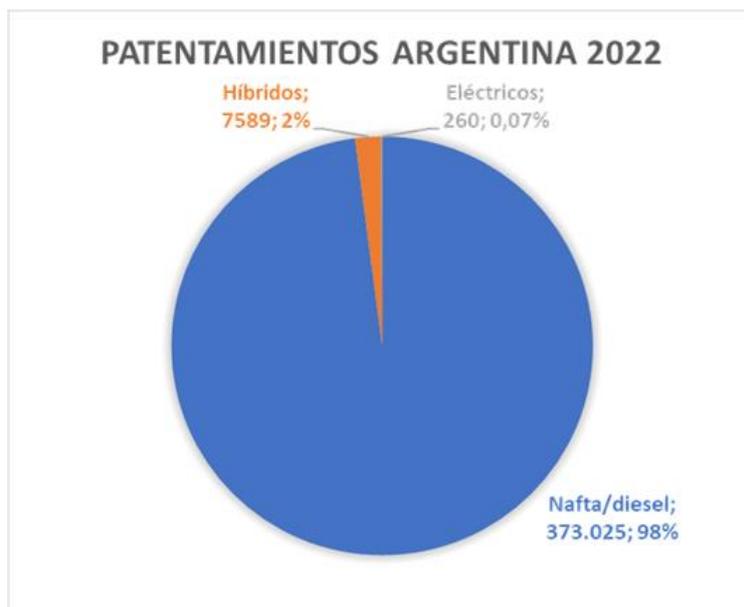


Figura 14. Cantidad de autos vendidos en Argentina en 2022 por clase. Elaborado en base a datos de la Asociación de Concesionarios de Automotores de la República Argentina.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Marcas líderes.

En términos de marcas, las dos principales son Toyota y Ford, que representan el 91,8% de los patentamientos. Toyota, sin embargo, es claramente la marca que mejor logró posicionarse y hoy vende el 86% de los vehículos con motorización alternativa en Argentina.

Cuáles son los híbridos y eléctricos más vendidos de la Argentina

A simple vista se destacan los dos modelos de Toyota que se fabrican en Brasil y que, por tanto, pueden obviar los cupos para la importación de vehículos de extrazona con arancel preferencial. Todos los demás ingresan al país pagando el AEC del 35% si pretenden hacerlo por fuera del beneficio preferencial que otorga el Estado Nacional.

- Toyota Corolla Cross: 4.390 patentes emitidas en 2022
- Toyota Corolla: 1.830
- Toyota Rav4: 357
- Ford Kuga: 348
- Coradir Tito (eléctrico): 192
- Toyota C-HR: 140
- DS 7 Crossback: 121
- Ford F-150: 116
- Peugeot 3008: 56
- Mercedes Benz C300: 50
- Nissan Leaf (eléctrico): 37
- Lexus NX: 29
- Lexus ES: 25
- Audi A4: 21
- Lexus RX: 21

3.8.1. Marcas de autos eléctricos nacionales

La electrificación no es exclusiva de las grandes marcas tradicionales. Hay alternativas locales que asomaron en el último tiempo, como Coradir (que fabrica los modelos Tito y la camioneta Tita), la cordobesa Volt, Sero Electric (producido en Castelar, provincia de Buenos Aires) y Hamelbot, de Misiones, con distintos modelos de citycar eléctricos (cuya circulación es limitada). El alto precio de las baterías se refleja en los precios de estos vehículos y en su escasa autonomía y velocidad máxima. Al analizar las características de los mismos, veremos que siempre hay un compromiso entre estos puntos.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

CORADIR (Tito)



Figura 15. TITO S5. Extraído de la web de CORADIR.

- Precio 18.750 - 28.250 USD.
- Principales características (Tito S5-300):
 - Batería Litio LFP 21 KWh 2000 ciclos.
 - Autonomía 300 km.
 - Carga en 8 hs.
 - Cargador a 220V.
 - Motor asíncrono 4,5 KW.
 - Velocidad máxima 65 Km/h.
 - Dimensiones 2950x1500x1565 mm.

SERO electric



Figura 16. SERO Electric Sedán. Extraído de la web de SERO Electric.

- Principales características:
 - Batería Litio 4x110 Ah / Plomo 4x134 Ah.
 - Autonomía 100 Km Litio / 45 Km Plomo.
 - Carga en 5 - 7 hs.
 - Cargador a 220V.
 - Motor 4 KW.
 - Velocidad máxima 50 Km/h.
 - Peso 490 Kg.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Volt motors (E1)



Figura 17. Volt Motors E1. Extraído de la web oficial de Volt Motors.

- Precio: USD 20.000 + IVA.
- Principales características:
 - Motor brushless 8 kW.
 - Par motor 180 Nm.
 - Batería tipo Lithium LiFePO4 11 kWh.
 - Tipo de cargador: conectado a toma 220v 10amp.
 - Tiempo de carga: estándar, de 0 a 100% en 6h.
 - Velocidad de 110 km/h.
 - Autonomía nominal: 150 km.
 - Peso 450 kg. aprox.
 - Largo: 2953 mm. Ancho sin espejos: 1590 mm. Alto: 1520 mm.

Hamelbot (BIPLAZA C-R2 Auto Urbano Eléctrico)



Figura 18. Hamelbot CR-2. Extraído de la web oficial de Hamelbot.

- Precio: USD 6600 + IVA.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

- Principales características:
 - Motor brushless 1.5 kW.
 - Batería tipo Li-ion 60V.
 - Tipo de cargador: conectado a toma 220v 10amp.
 - Tiempo de carga: 6h

4.7. Eficiencia

Los vehículos eléctricos (EV) son más eficientes que sus contrapartes a gasolina. Un sistema de propulsión eléctrica EV solo es responsable de una pérdida de energía del 15% al 20% en comparación con el 64% al 75% de un motor de gasolina. Los vehículos eléctricos también utilizan el frenado regenerativo para recuperar y reutilizar la energía que normalmente se perdería al frenar y no desperdiciar energía al ralentí.

Los vehículos eléctricos tienen una eficiencia del 60 % al 73 %, dependiendo del tipo de manejo. Sin embargo, si se cuenta la energía recuperada del frenado regenerativo (es decir, se vuelve a contar cuando se reutiliza), los vehículos eléctricos tienen una eficiencia del 77 % al 100 %.

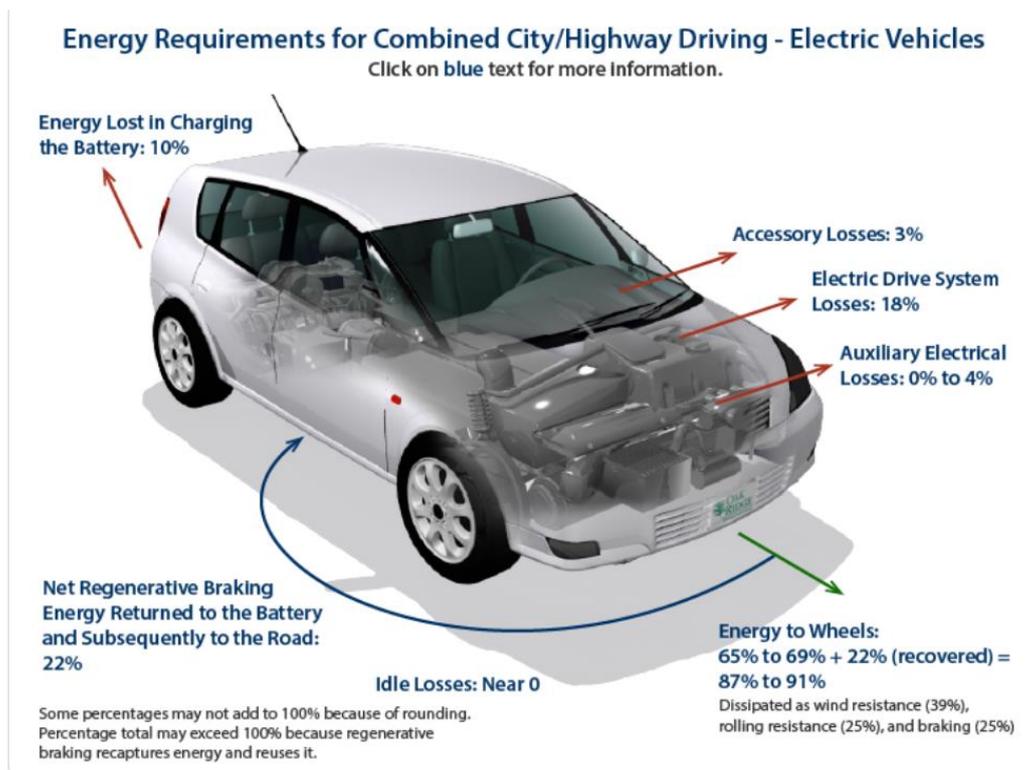


Figura 19. Eficiencia de vehículo eléctrico. Extraído de la página web de la U.S. Department of Energy <https://www.fueleconomy.gov/>.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

4.8. Ventajas y desventajas

Ventajas:

- Energía eficiente. Los vehículos eléctricos convierten el 77% de la energía eléctrica de la red en energía aprovechable en las ruedas. Los vehículos de gasolina convencionales sólo convierten alrededor del 12%–30% de la energía almacenada en la gasolina para accionar las ruedas.
- Amigable con el medio ambiente. Los vehículos eléctricos no emiten contaminantes del tubo de escape, aunque la planta de energía que produce la electricidad puede emitirlos. La electricidad de las centrales nucleares, hidroeléctricas, solares o eólicas no genera contaminantes en el aire.-
- Beneficios de rendimiento. Los motores eléctricos brindan un funcionamiento silencioso y suave y una aceleración más fuerte y requieren menos mantenimiento que los motores de combustión interna (ICE).
- Reducción de la dependencia energética. La electricidad es una fuente de energía doméstica.

Desventajas

- Autonomía. Los EV tienen una autonomía menor que la mayoría de los vehículos convencionales, aunque actualmente están mejorando. La mayoría de los vehículos eléctricos pueden viajar más de 160 km con una carga y algunos pueden viajar más de 450 km según el modelo.
- Tiempo de recarga. La recarga completa de la batería puede tardar de 3 a 12 horas. Incluso una "carga rápida" al 80 % de su capacidad puede tardar 30 minutos.
- Las baterías para vehículos eléctricos están diseñadas para una vida útil prolongada y pueden durar de 12 a 15 años en climas moderados y de 8 a 12 años en climas severos. Sin embargo, estas baterías son costosas y reemplazarlas puede ser costoso si fallan.

5. HIDRÓGENO

5.1. Historia de la celda de hidrógeno

La primera pila de combustible que utilizaba hidrógeno data de 1842, año en el que el físico galés William Grove se propuso el milagro de producir electricidad partiendo del agua. Aunque su invento no tuvo recorrido alguno, al siglo siguiente el ingeniero británico Francis T. Bacon retomó la labor de Grove para crear la primera pila de combustible del siglo XX.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

La pila de combustible de hidrógeno de Bacon no fue algo espontáneo, sino el fruto de casi dos décadas de trabajo que empezaron en 1939, con una pila de 5 kW.

Los ingenieros de la NASA aprovecharon los resultados de la pila de hidrógeno de Bacon para aplicarlos, a partir de la década de los años 60, a los cohetes propulsados por hidrógeno. Antes que eso, y durante casi 80 años, el hidrógeno había ayudado a la conquista de los cielos mediante dirigibles. El motivo era diferente: la ligereza del hidrógeno en estado gaseoso.

Ahora bien, las propiedades inflamables del hidrógeno también contribuyeron a su extinción comercial, sobre todo, tras el desastre del Hindenburg en 1937.

El planeta vivía una época en la que el motor de combustión mostraba su verdadera hegemonía. Aun así, los resultados de Francis T. Bacon con la pila de combustible de hidrógeno fueron convenciendo a muchos agentes de la industria que otro tipo de mecánicas no solo eran posibles, sino también viables.

La tendencia a dar con vehículos alimentados por hidrógeno tomó más vigor a partir de la crisis de los años 70, en los que el medio ambiente empezó a atisbarse como un motivo de preocupación creciente.

Toyota se unió a la carrera por el hidrógeno en los años 90. Aunque no fue el primero de los fabricantes, sí ha sido uno de los que más ha apostado y más confianza real ha depositado sobre las innovaciones relacionadas con el hidrógeno.

Comenzó los trabajos en una pila de combustible (FVC) propia en 1992. Como elemento imprescindible asociado, también se centró en el desarrollo de los depósitos de hidrógeno.

Toyota combinó sus avances en el campo de los motores híbridos eléctricos con la pila de combustible, combinando ambas tecnologías. Cuatro años después, en 1996, llegó el primero de varios prototipos. El Toyota FCEV-1 integraba la primera pila de combustible de Toyota en un Toyota RAV4 de primera generación.

Casi al mismo tiempo, Toyota estrenaba una familia de conceptos Highlanders a hidrógeno bajo el apellido FCHV. Estos desarrollaban una potencia cuatro veces superior a la de su antecesor, con 90 kW. La autonomía apenas superaba los 200 kilómetros reales.

El campo de batalla técnico se centró en aumentar la presión de los depósitos de hidrógeno hasta alcanzar los 700 bares. Este hito para el coche a hidrógeno lo alcanzó Toyota en 2008, con el Toyota FCHV-adv. El modelo alcanzaba los 830 kilómetros de autonomía, pero bajo los criterios del ciclo de homologación japonés de la época.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

A principios de la anterior década, Toyota decidió imprimir un giro decisivo para acelerar la llegada real del coche con pila de combustible de hidrógeno. Así, abandonó (de momento), la idea de montar su tecnología en un SUV.

Este fue el génesis del Toyota Mirai, que alcanzó el mercado en 2014. El fabricante dio el paso de borrar de la mente de los conductores los apellidos y las siglas de la pila.

Desde entonces, el fabricante japonés está dedicando buena parte de su hoja de ruta a mejorar las prestaciones del hidrógeno y ayudar a desplegar la infraestructura necesaria y sostenible que requieren las hidrogeneras. Sin ellas, este tipo de movilidad carece de sentido.

En la actualidad, la segunda generación del Toyota Mirai observa con confianza a sus antecesores, gracias a una motorización que alcanza los 182 CV (134 kW) y 300 Nm de par, y un tanque de 5,6 kg distribuido en tres depósitos que le ayudan a homologar (en WLTP) 650 kilómetros.

5.2. Tecnología de celdas de hidrógeno

Las celdas de combustible de membrana de electrolito de polímero (PEM) que se utilizan en los automóviles, también llamadas celdas de combustible de membrana de intercambio de protones, usan combustible de hidrógeno y oxígeno del aire para producir electricidad. La figura a continuación muestra cómo funciona una celda de combustible PEM.

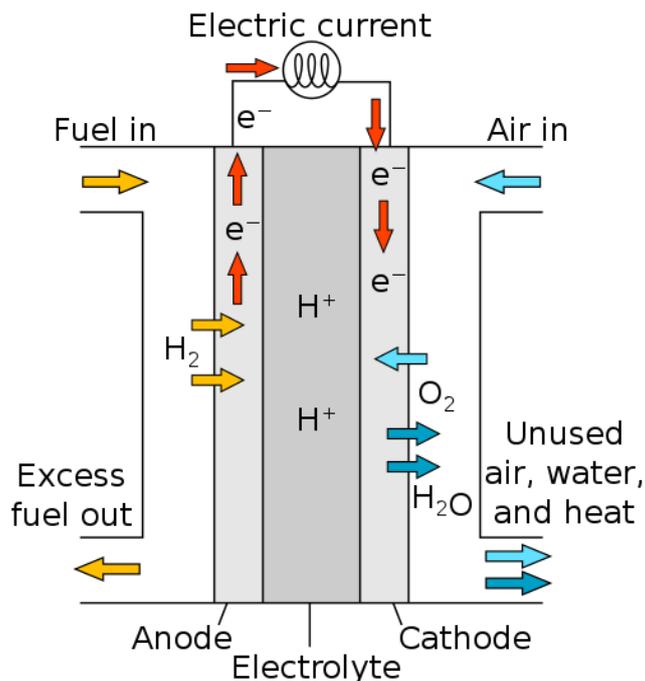


Figura 21. Celda de hidrógeno. Extraída de <https://rosetta-technology.com/>.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

La mayoría de las celdas de combustible diseñadas para su uso en vehículos producen menos de 1,16 voltios de electricidad, lo que dista mucho de ser suficiente para alimentar un vehículo. Por lo tanto, múltiples celdas deben ensamblarse en una celda de combustible. La energía potencial generada por una pila de celdas de combustible depende del número y tamaño de las celdas de combustible individuales que componen la pila y el área de superficie del PEM.

La celda cuenta con dos electrodos, un ánodo y un cátodo. El oxígeno pasa sobre un electrodo y el hidrógeno sobre el otro. El hidrógeno se pone en contacto con una lámina de platino o paladio, que permite la separación de dicho hidrógeno en un electrón y un protón. El flujo de electrones generado es utilizado para abastecer de energía al motor eléctrico, y los protones atraviesan la membrana electrolítica, formando agua al combinarse con el oxígeno.

5.3. Combustión interna

5.3.1. Historia

Francois Isaac de Rivaz diseñó en 1806 el motor De Rivaz, el primer motor de combustión interna que funcionaba con una mezcla de hidrógeno y oxígeno. Paul Dieges patentó en 1970 una modificación de los motores de combustión interna que permitía que un motor de gasolina funcionara con hidrógeno.

La Universidad de la Ciudad de Tokio ha estado desarrollando motores de combustión interna de hidrógeno desde 1970. Recientemente desarrollaron un autobús y un camión alimentados con hidrógeno.

Mazda ha desarrollado motores Wankel que queman hidrógeno. La ventaja de usar ICE (motor de combustión interna) como Wankel y motores de pistón es que el costo de reacondicionamiento para la producción es mucho menor. La tecnología existente de ICE todavía se puede utilizar para resolver aquellos problemas en los que las celdas de combustible aún no son una solución viable, por ejemplo, en aplicaciones de clima frío.

Entre 2005 y 2007, BMW probó un automóvil de lujo llamado BMW Hydrogen 7, propulsado por un ICE de hidrógeno. Hablaremos más de este vehículo en las siguientes secciones.

Alset GmbH desarrolló un sistema de hidrógeno híbrido que permite que el vehículo use combustibles de gasolina e hidrógeno individualmente o al mismo tiempo con un motor de combustión interna. Esta tecnología se utilizó con el Aston Martin Rapide S durante la carrera de las 24 Horas de Nürburgring. El Rapide S fue el primer vehículo en terminar la carrera con tecnología de hidrógeno.

El desarrollo de motores de combustión interna de hidrógeno ha recibido más interés recientemente, particularmente para vehículos comerciales pesados. Parte de la

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

motivación para esto es como una tecnología puente para cumplir con los objetivos climáticos futuros de emisiones de CO₂, y como una tecnología más compatible con el conocimiento y la fabricación automotriz existentes.

En mayo de 2021, el Toyota Corolla Sport equipado con un motor de hidrógeno, ingresó a la carrera de la serie Super Taikyu "NAPAC Fuji Super TEC 24 Hours" y completó la carrera de 24 horas. Toyota pretende aplicar sus tecnologías de seguridad y el conocimiento que ha acumulado a través del desarrollo de vehículos de celda de combustible y la comercialización del Mirai. En noviembre de 2021, cinco fabricantes de automóviles de Japón (Kawasaki Heavy Industries, Subaru, Toyota, Mazda y Yamaha Motor) anunciaron de forma conjunta que asumirán el reto de ampliar las opciones de combustible mediante el uso de motores de combustión interna para lograr la neutralidad en carbono, a nivel mundial. Su opinión común es que los motores de combustión interna no son el enemigo y que necesitamos diversas soluciones para desafiar la neutralidad del carbono. En el evento, Yamaha Motor presentó el motor de hidrógeno V8 de 5.0 litros que se basa en el motor Lexus 2UR.

En junio de 2022, Toyota reveló el progreso de sus esfuerzos en la Serie Super Taikyu en la Serie ENEOS Super Taikyu 2022. Dicen que la autonomía se mejoró en aproximadamente un 20%, la potencia se mejoró en aprox. 20% y el par se mejoró en aprox. 30%. Además, se agregan proveedores de hidrógeno y su transporte se vuelve más eficiente para apoyar la carrera. En julio de 2022, Isuzu, Denso, Toyota, Hino Motors y Commercial Japan Partnership Technologies Corporation (CJPT) anunciaron que comenzaron la planificación y la investigación fundamental sobre motores de hidrógeno para vehículos comerciales pesados con el objetivo de utilizar aún más los motores de combustión interna como una opción para lograr la neutralidad de carbono.

En agosto de 2022, Toyota realizó una demostración del GR Yaris H2, una versión especial con motor de hidrógeno del Toyota GR Yaris, durante la novena ronda del Campeonato Mundial de Rally (WRC) en Ypres.

En septiembre de 2022, Kawasaki presentó un motor de combustión de hidrógeno que utiliza el mismo inyector que el Corolla de hidrógeno, basado en la Ninja H2.

5.3.2. Propiedades del hidrógeno como combustible.

Las propiedades que contribuyen a su uso como combustible son:

- **Amplia gama de inflamabilidad**

El hidrógeno tiene un amplio rango de inflamabilidad en comparación con todos los demás combustibles (34:1 - 180:1). Como resultado, el hidrógeno puede quemarse en un motor de combustión interna en una amplia gama de mezclas de aire y combustible. Una ventaja significativa de esto es que el hidrógeno puede funcionar con una mezcla fina o pobre. Una mezcla pobre es aquella en la que el cantidad de combustible es menor

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

que la teórica, estequiométrica o cantidad químicamente ideal necesaria para la combustión con una determinada cantidad de aire. Esta es la razón por la cual es bastante fácil hacer que un motor arranque con hidrógeno.

Generalmente, la economía de combustible es mayor y la reacción de combustión es más completa cuando un vehículo funciona con una mezcla pobre. Además, la temperatura de combustión final es generalmente menor, reduciendo la cantidad de contaminantes, tales como óxidos de nitrógeno, emitidos en el escape. Hay un límite para qué tan pobre puede funcionar el motor, ya que la operación pobre puede reducir significativamente la potencia de salida debido a una reducción en el poder calorífico volumétrico de la mezcla aire/combustible.

- Baja energía de ignición

El hidrógeno tiene una energía de ignición muy baja. La cantidad de energía necesaria para encender el hidrógeno es de aproximadamente un orden de magnitud menor que el requerido para la gasolina. Esto permite a los motores de hidrógeno encender mezclas pobres y asegura un encendido rápido.

Desafortunadamente, la baja energía de ignición significa que los gases calientes y los puntos calientes en el cilindro pueden servir como fuentes de ignición, creando problemas de ignición prematura y retroceso de llama.

Prevenir esto es uno de los desafíos asociados con hacer funcionar un motor con hidrógeno. El amplio rango de inflamabilidad de hidrógeno significa que casi cualquier mezcla puede encenderse con un punto caliente.

- Pequeña distancia de enfriamiento

El hidrógeno tiene una pequeña distancia de enfriamiento, menor que la gasolina. En consecuencia, las llamas de hidrógeno viajan más cerca de la pared del cilindro que otros combustibles antes de que se apaguen. Por lo tanto, es más difícil apagar una llama de hidrógeno que una de gasolina. La menor distancia de enfriamiento también puede aumentar la tendencia a las contraexplosiones ya que la llama de una mezcla hidrógeno-aire pasa más fácilmente por una válvula de admisión casi cerrada, que una llama de hidrocarburo-aire.

- Alta temperatura de autoignición

El hidrógeno tiene una temperatura de autoignición relativamente alta. Esto tiene implicaciones importantes cuando se comprime una mezcla de hidrógeno y aire. De hecho, la temperatura de autoignición es un factor importante para determinar qué relación de compresión puede utilizar un motor, ya que el aumento de temperatura durante la compresión está relacionado con la relación de compresión. La temperatura

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

no puede exceder la de autoignición del hidrógeno sin causar una ignición prematura. Por lo tanto, la temperatura final absoluta limita la relación de compresión. La alta temperatura de autoignición del hidrógeno permite mayores relaciones de compresión a utilizar en un motor de hidrógeno que en un motor de hidrocarburos. Esta relación de compresión más alta es importante porque está relacionada con la eficiencia térmica del sistema.

Por otro lado, el hidrógeno es difícil de encender en una configuración de encendido por compresión o diesel, porque las temperaturas necesarias para esos tipos de ignición son relativamente altas.

- **Alta velocidad de llama**

El hidrógeno tiene una alta velocidad de llama en relaciones estequiométricas. En estas condiciones, la velocidad de la llama de hidrógeno es casi una magnitud mayor (más rápido) que la de la gasolina. Esto significa que los motores de hidrógeno pueden acercarse más a un ciclo Otto termodinámicamente ideal. En mezclas más pobres, sin embargo, la velocidad de la llama disminuye significativamente.

- **Alta difusividad**

El hidrógeno tiene una difusividad muy alta. Esta capacidad de dispersarse en el aire es considerablemente mayor que la gasolina y es ventajoso por dos razones principales. En primer lugar, facilita la formación de una mezcla uniforme de combustible y aire. En segundo lugar, si se desarrolla una fuga de hidrógeno, el hidrógeno se dispersa rápidamente, por lo tanto, las condiciones inseguras pueden evitarse o minimizarse.

- **Baja densidad**

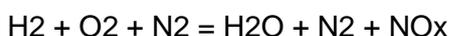
El hidrógeno tiene una densidad muy baja. Esto da lugar a dos problemas cuando se utiliza en un motor de combustión interna. En primer lugar, se necesita un gran volumen para almacenar suficiente hidrógeno para dar un vehículo con una autonomía razonable. En segundo lugar, la densidad de energía de una mezcla de hidrógeno y aire es menor y, por lo tanto, la potencia de salida es menor.

5.3.3. Emisiones

La combustión de hidrógeno con oxígeno produce agua como único producto agua:



Sin embargo, la combustión de hidrógeno con aire también puede producir óxidos de nitrógeno (NO_x):



Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Los óxidos de nitrógeno se crean debido a las altas temperaturas generadas dentro del cilindro durante la combustión. Esta alta temperatura hace que parte del nitrógeno del aire se combine con el oxígeno del aire. La cantidad de NOx formada depende de:

- Relación aire/combustible
- Relación de compresión del motor
- RPM
- Avance de encendido

Además de los óxidos de nitrógeno, trazas de monóxido de carbono y dióxido de carbono pueden estar presentes en los gases de escape, debido al aceite filtrado que se quema en la cámara de combustión.

Según el estado del motor (combustión de aceite) y la estrategia operativa utilizada (una relación aire/combustible rica o pobre), un motor de hidrógeno puede producir desde emisiones casi nulas (tan bajas como unas pocas ppm) hasta niveles altos de NOx.

5.3.4. Autonomía y almacenamiento

Para entender el problema que presenta el hidrógeno debemos analizar su densidad energética. Vemos que la densidad energética por unidad de masa es relativamente buena comparada con la gasolina. La energía que contiene 1 Kg H₂ es similar a la contenida en un galón americano (3,785 L) de gasolina.

El verdadero inconveniente es que al almacenar el H₂ en tanques a presión en estado gaseoso a 700 bar, sólo tenemos una densidad de 0,04 Kg/L H₂. Para realizar una comparativa tangible, si tuviéramos un tanque 60L, el mismo contendría 2,4 Kg de H₂, los cuales equivalen a 9 L de gasolina. Esto, en un vehículo con un consumo promedio de 6 L/100 Km nos daría tan solo 150 Km de autonomía.

Otra opción sería almacenarlo en estado líquido. Así obtendríamos una densidad significativamente mayor, de 0,07 Kg/L H₂. Esto es un 75% que a 700 bar. Para esto utilizaríamos un tanque de doble pared con alto vacío entre las mismas, y con superficies internas pulidas para minimizar la transferencia de calor por convección y radiación. El problema reside en que al calentarse lentamente el contenido del tanque, la presión aumenta y debemos liberar parte del H₂ por seguridad. Comparando con el ejemplo anterior, 60L H₂ licuado equivalen a 15,75 L de nafta, lo que nos daría una autonomía de 262,5 Km, lo cual es un valor aceptable.

Esto ya se intentó en el BMW Hydrogen 7 (2005-2007). El problema es que a las 17 horas de no utilizar el vehículo, el hidrógeno se dejaba salir a través de un catalizador que lo combinaba con O₂ para formar agua. En 10 a 12 días de no uso, el tanque se vaciaba completamente. Por suerte este vehículo podía funcionar tanto a hidrógeno como a gasolina.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

5.4. Producción de H₂

Los diversos métodos de producción de hidrógeno se clasifican por colores. Los principales colores se resumen en el gráfico que se presenta a continuación.

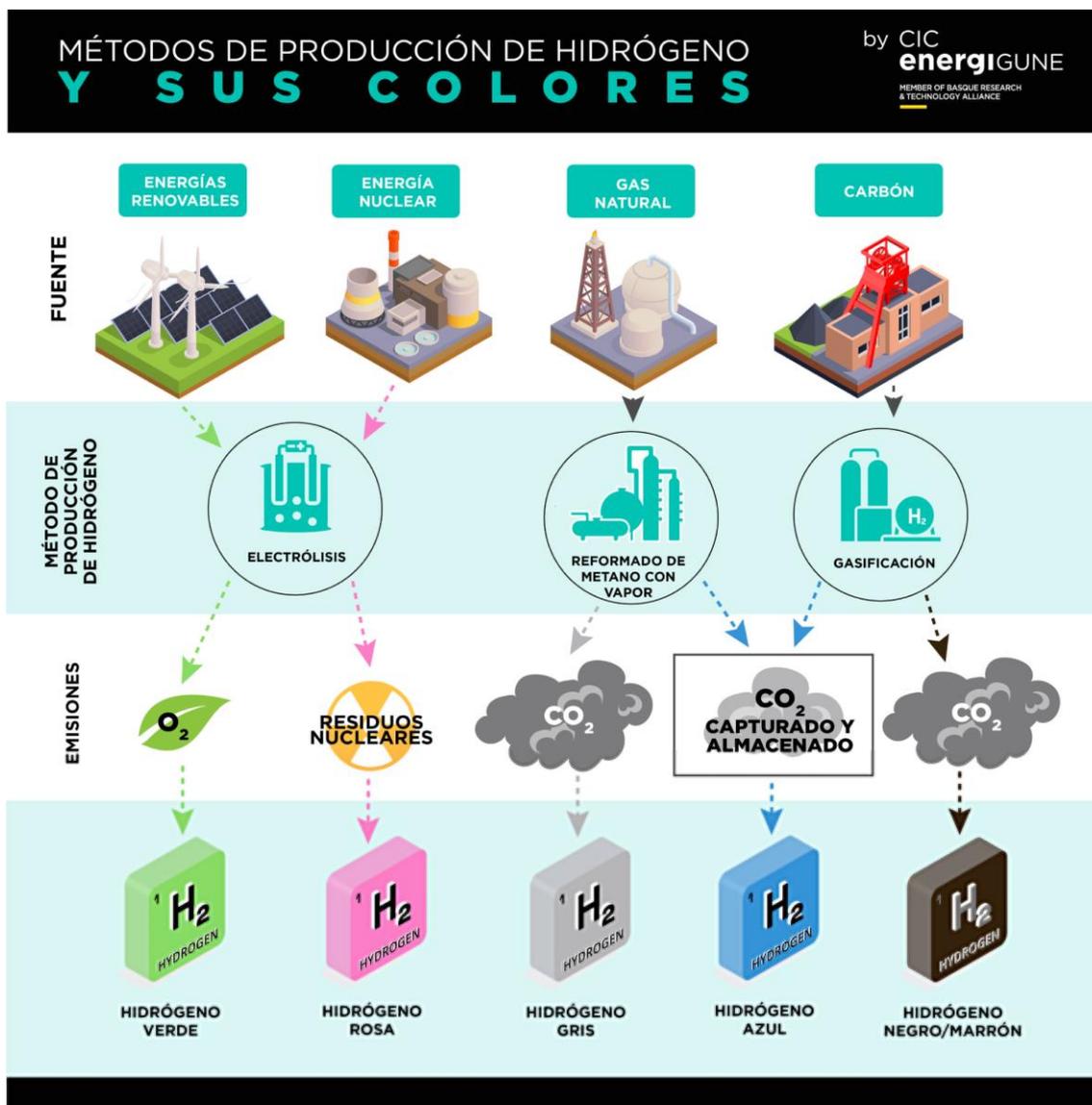


Figura 22. Colores del hidrógeno. Extraído de la web del Centro de Investigación para Almacenamiento de Energía Electroquímica y Térmica (iniciativa estratégica del Gobierno Vasco). <https://cicenergigune.com/>

Gris: El hidrógeno gris es actualmente la forma más común y más barata de producción de hidrógeno. Se utiliza como combustible y no genera por sí mismo emisiones de gases de efecto invernadero, pero sí su proceso de producción. El hidrógeno gris se crea a partir de gas natural mediante reformado con vapor, que separa el hidrógeno del gas

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

natural. Sin embargo, las tecnologías utilizadas no capturan las emisiones de carbono generadas durante el proceso, sino que se liberan a la atmósfera.

Azul: El hidrógeno azul también se extrae mediante el proceso de reformado con vapor, pero se diferencia del gris en que las emisiones de carbono liberadas se capturan y almacenan, lo que reduce las emisiones a la atmósfera, pero no las elimina. El hidrógeno azul a veces se denomina "hidrógeno bajo en carbono", ya que el proceso de producción no evita la creación de gases de efecto invernadero, simplemente los almacena.

Verde: El hidrógeno verde no genera emisiones en todo su ciclo de vida ya que utiliza energías renovables en el proceso de producción, lo que lo convierte en una verdadera fuente de energía limpia. Se fabrica electrolizando agua utilizando electricidad limpia creada a partir de energía renovable excedente de la energía eólica y solar. El proceso provoca una reacción que divide el agua en sus componentes de hidrógeno y oxígeno (el H y el O en H₂O). Esto da como resultado que no se liberen emisiones de carbono en el proceso. Es una excelente alternativa al gris y azul, pero por ahora el principal desafío es reducir los costos de producción del hidrógeno verde para convertirlo en una alternativa renovable y respetuosa con el medio ambiente verdaderamente obtenible.

Negro / marrón: El hidrógeno negro y marrón se crea utilizando cualquier tipo de carbón en el proceso de extracción. Este proceso, llamado gasificación, es el proceso en el extremo opuesto del espectro de la electrólisis del hidrógeno verde. Es un proceso establecido utilizado en muchas industrias que convierten materiales ricos en carbono en hidrógeno y dióxido de carbono. Las emisiones luego se liberan al aire, causando contaminación y convirtiéndose en el hidrógeno más dañino para el medio ambiente.

Rosa: El hidrógeno rosa se extrae mediante electrólisis alimentada por energía nuclear. Es posible que escuche que el hidrógeno rosa también se conoce como hidrógeno púrpura o rojo.

4.3.1. Reformado de metano con vapor

La mayor parte del hidrógeno que se produce hoy en día en los Estados Unidos se obtiene mediante el reformado de metano con vapor, un proceso de producción maduro en el que se utiliza vapor a alta temperatura (700 °C–1000 °C) para producir hidrógeno a partir de una fuente de metano, como el gas natural. En el reformado de metano con vapor, el metano reacciona con el vapor a una presión de 3–25 bar (1 bar = 14,5 psi) en presencia de un catalizador para producir hidrógeno, monóxido de carbono y una cantidad relativamente pequeña de dióxido de carbono. El reformado con vapor es endotérmico, es decir, se debe suministrar calor al proceso para que se produzca la reacción.

Posteriormente, en lo que se llama la "reacción de cambio de agua-gas", el monóxido de carbono y el vapor reaccionan usando un catalizador para producir dióxido de carbono y más hidrógeno. En un paso final del proceso llamado "adsorción por

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

oscilación de presión", el dióxido de carbono y otras impurezas se eliminan de la corriente de gas, dejando esencialmente hidrógeno puro. El reformado con vapor también se puede utilizar para producir hidrógeno a partir de otros combustibles, como etanol, propano o incluso gasolina.

Reacción de reformado de metano con vapor:



Reacción de desplazamiento agua-gas:



4.3.2. Estadísticas de producción de H₂

Actualmente, el 99 % de la producción de hidrógeno de EE. UU. proviene de combustibles fósiles, con un 95 % de reformado gas natural y un 4 % por gasificación del carbón. Solo el 1 % del hidrógeno de EE. UU. se produce a partir de la electrólisis. Anualmente, Estados Unidos produce más de 10 millones de toneladas métricas (MMT) de hidrógeno, y aproximadamente el 60 % se produce en instalaciones de producción de hidrógeno "dedicadas" como su producto principal.

La producción mundial de hidrógeno es de aproximadamente 70 MMT, con un 76 % producido a partir de gas natural, un 22 % mediante gasificación de carbón (principalmente en China) y un 2 % mediante electrólisis.

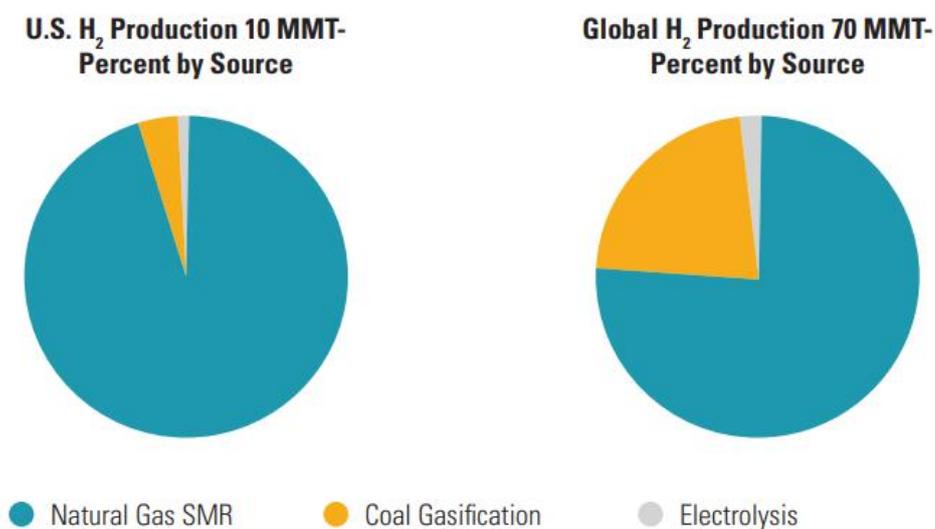


Figura 23. Producción total de hidrógeno en Estados Unidos y mundo según el método. Extraído del informe Hydrogen Strategy del U.S. Department of Energy.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Como se puede apreciar, predomina el uso de los métodos de reformado de gas natural y gasificación de carbón, pero no se aclara en qué proporción es hidrógeno “azul”. La electrólisis representa sólo el 2% de lo producido mundialmente. Tampoco se aclara si esto es hidrógeno verde o rosado.

5.5. Infraestructura

Existe una página web que lleva el seguimiento de la cantidad de estaciones de llenado de hidrógeno a nivel mundial. A modo de resumen tomamos de la página H2Stations.org los datos de cantidad de estaciones totales a nivel mundial, cantidad de estaciones por zona, y el mapa donde se ilustra su distribución.

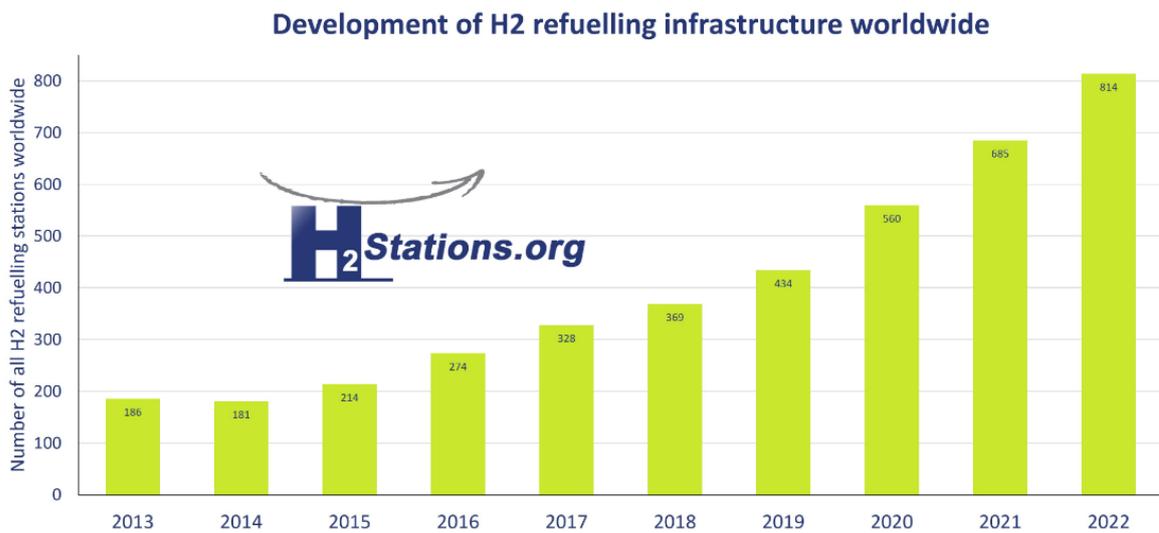
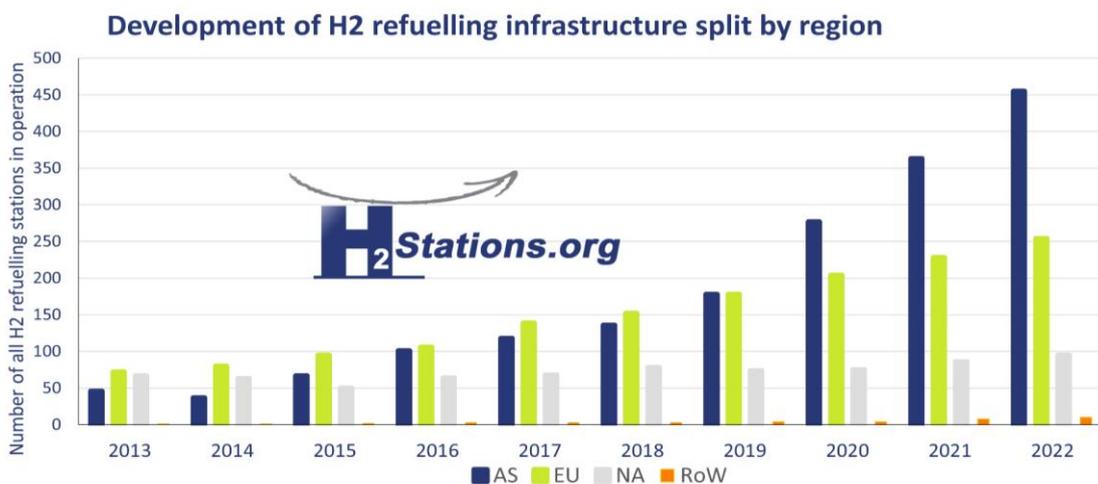


Figura 24. Cantidad total de estaciones de hidrógeno por año. Extraído de <https://www.h2stations.org/>.



Referencias: As: Asia; Eu: Europa; NA: América del norte; RoW: Resto del mundo.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Figura 25. Cantidad de estaciones de hidrógeno por zona. Extraído de <https://www.h2stations.org/>.

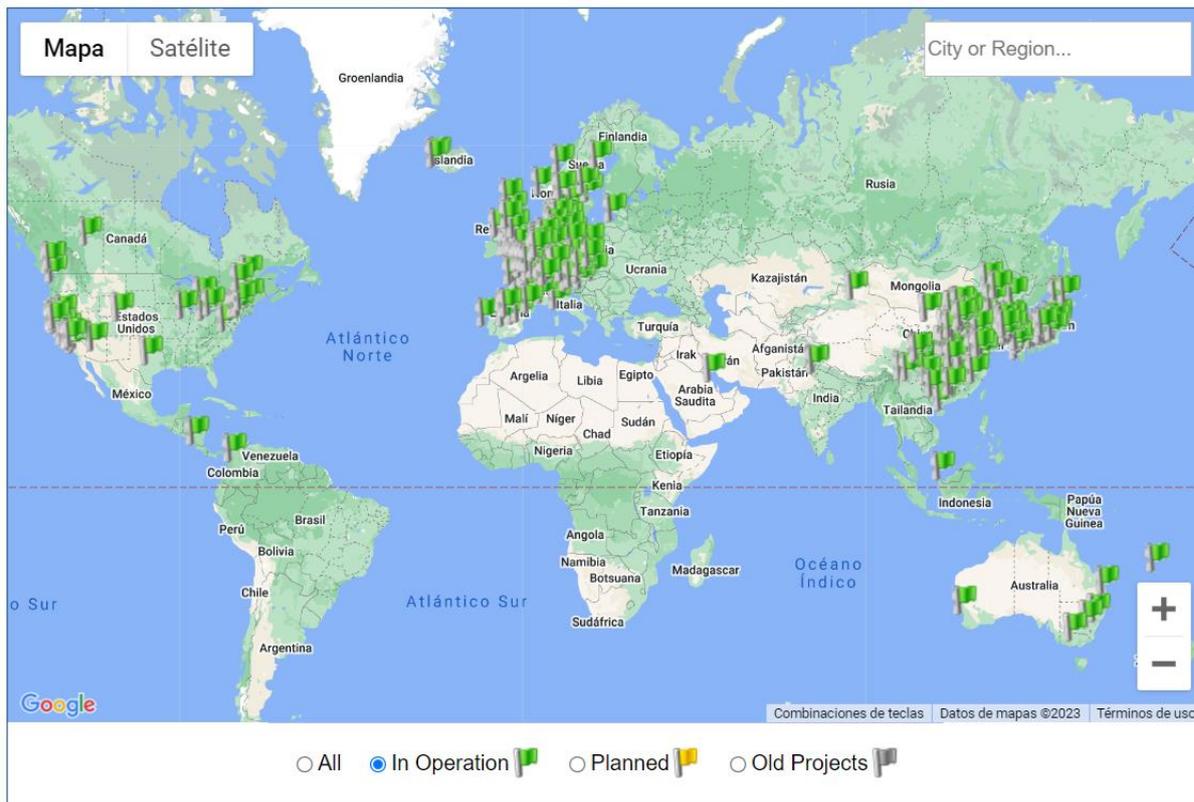


Figura 26. Mapa de estaciones de hidrógeno en operación actual. Extraído de <https://www.h2stations.org/>.

Cabe resaltar que el costo de la infraestructura para instalar una estación de hidrógeno es sustancialmente mayor que el de instalar una estación de carga rápida para autos eléctricos. El estado de California concentra 50 de las 98 estaciones que hay en Estados Unidos gracias a las políticas de fomento de este tipo de movilidad.

5.6. Eficiencia

La eficiencia de una celda de combustible de hidrógeno, en conjunto con el inversor y el motor eléctrico, ronda el 50%, mientras que la eficiencia de un HICEV es similar a la de un motor de combustión interna, es decir, del 16 al 25% de la energía del hidrógeno llega a las ruedas. Esto pone en ventaja los FCEV, ya que pueden tener hasta el doble de autonomía que un vehículo de combustión interna de hidrógeno con la misma cantidad de H2 almacenado, restando interés al uso de hidrógeno como combustible en autos nuevos.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

5.7. Ventajas y desventajas

Ventajas FCEV

- **Cero emisiones:** Los vehículos de pila de combustible no emiten GEI por tubo de escape, solo calor y agua.
- **Recarga rápida:** Los tanques de hidrógeno se recargan en un tiempo similar al de un vehículo a gasolina/diesel.
- **Buena autonomía:** Puesto que la eficiencia de la celda es de aproximadamente el 50%, la autonomía respecto de un HICEV se duplica, logrando rangos cercanos a los ICEV convencionales.

Desventajas FCEV

- **Infraestructura pobre:** El uso de FCEV está limitado a áreas con estaciones de servicio de hidrógeno. Se deben superar varios desafíos antes de que los FCEV sean una alternativa exitosa y competitiva para los consumidores.
- **Pocos modelos a la venta:** Actualmente, solo unos pocos modelos están disponibles para la venta o el arrendamiento.
- **Precio de compra alto** (Respecto a las demás categorías comparando vehículos del mismo segmento).
- **Precio del combustible alto.**
- **Durabilidad y confiabilidad de las celdas de combustible:** La durabilidad de la pila de celdas de combustible en carretera es actualmente de 120.000 Km, pero los expertos creen que los FCV deben alcanzar una vida útil esperada de 240000 Km para competir con los vehículos de gasolina. Se ve mayormente afectada por climas fríos y húmedos.

Ventajas HICEV

- **Emisiones despreciables** (frente a ICEV con hidrocarburos).
- **Construcción similar a un motor a gasolina:** eventualmente se podría adaptar una línea de producción para producir estos motores sin mucha inversión, ya que hay pocas diferencias mecánicas para funcionar con este combustible.

Desventajas HICEV

- **No hay desarrollos a nivel comercial:** los desarrollos actuales son sólo para competición automovilística o a modo de prototipo. No hay ningún vehículo con un HICEV a la venta.
- **Autonomía:** el gran volumen de H₂ necesario para lograr autonomías razonables pone en un compromiso la comodidad y espacio interior del vehículo.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

6. COMPARATIVA

6.1. Comparativa de eficiencias

A modo de resumen realizamos un cuadro donde se compara la eficiencia de las 5 tecnologías vistas, desde el depósito de combustible (o batería) a las ruedas, ordenados de mayor a menor.

BEV	FCEV	HEV	ICEV	HICEV
87-91%	45-50%	24-38%	16-25%	16-25%

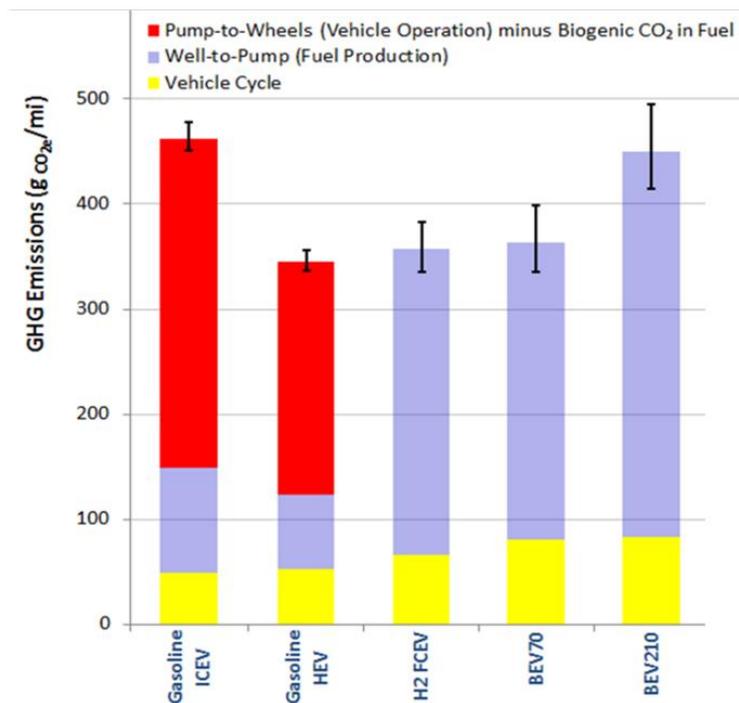
Figura 27. Tabla comparativa de eficiencias. Elaboración Propia.

Los vehículos eléctricos tienen una ventaja muy marcada sobre el resto, principalmente debido al gran rendimiento de los motores eléctricos brushless utilizados, que es normalmente mayor al 95%. Para los híbridos se considera un uso urbano, ya que en ruta su eficiencia es idéntica a un ICEV. Los vehículos que usan H2 como combustible han alcanzado en los desarrollos actuales una eficiencia prácticamente idéntica a los vehículos a gasolina o diésel, pero siguen ambos en último puesto.

6.2. Comparativa de carbono desde la fabricación hasta fin de vida útil

El análisis que se adjunta a continuación proviene de un informe del departamento de energía de los Estados Unidos realizado en el año 2014. Cabe destacar que se ha hecho en base a la matriz energética estadounidense de ese año, compuesta por un 33% de energía producida con gas natural y un 33% de carbón, mientras que el restante es energía limpia (principalmente nuclear e hidroeléctrica). La producción de hidrógeno se considera compuesta en un 99% por fuentes no renovables como se describió en la sección de producción de hidrógeno.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023



Referencias

- Gasoline ICEV: vehículos con motor de combustión interna a gasolina.
- Gasoline HEV: vehículos eléctricos híbridos con motor de gasolina.
- FCEV: vehículos eléctricos de celda de hidrógeno.
- BEV70: vehículos eléctricos, autonomía de 70 millas (110 Km).
- BEV210: vehículos eléctricos, autonomía de 210 millas (335 Km).

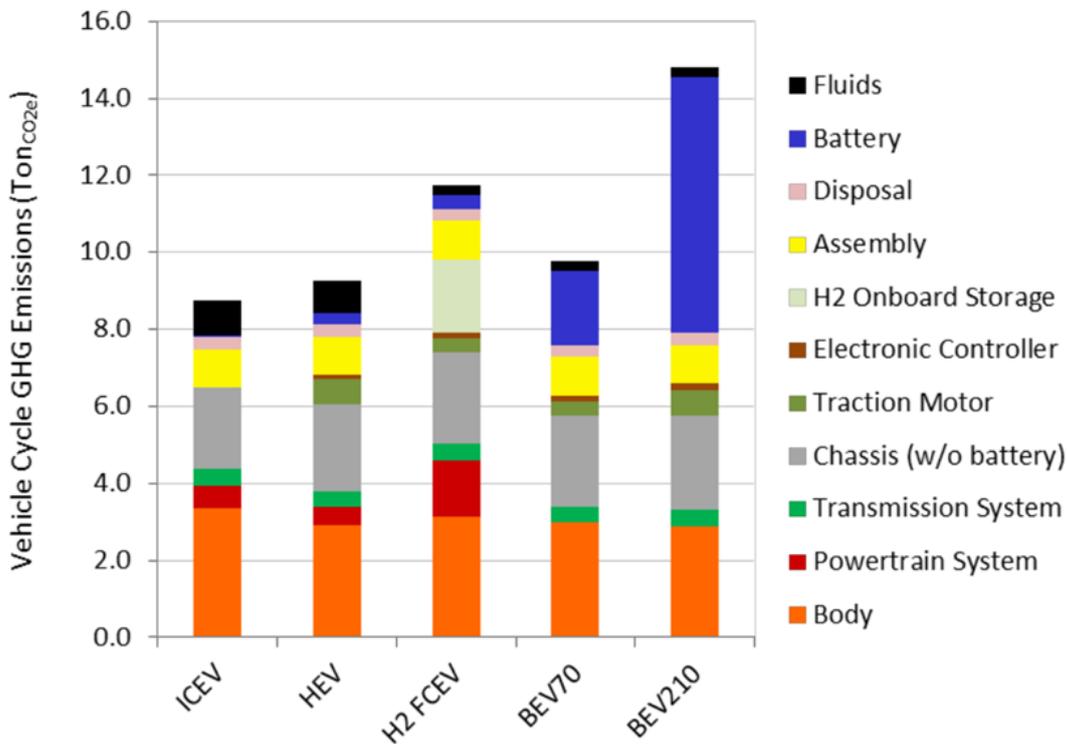
Figura 28. Emisiones en gramos de CO₂ equivalente por milla. Extraído de la U.S. Department of Energy. https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/14006_cradle_to_grave_analysis.pdf.

En el gráfico anterior se muestran las emisiones de carbono expresadas en gramos de CO₂ equivalente por milla, durante la fabricación del vehículo (amarillo), la producción del combustible o la energía que utiliza (violeta), y la operación misma del vehículo (rojo). Se quitaron algunas categorías del gráfico original para simplificar el análisis.

Como podemos observar, no hay grandes diferencias en las emisiones de CO₂ entre los distintos tipos de vehículos. Si bien los eléctricos y celda de hidrógeno no producen emisiones durante su funcionamiento, la producción de hidrógeno y energía eléctrica constituyen la mayor parte de las emisiones durante su vida útil.

A continuación se muestra un gráfico que muestra las emisiones en toneladas de CO₂ equivalente emitidas durante la fabricación y disposición de los vehículos separados en las mismas categorías del gráfico anterior.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023



Referencias

- Gasoline ICEV: vehículos con motor de combustión interna a gasolina.
- Gasoline HEV: vehículos eléctricos híbridos con motor de gasolina.
- FCEV: vehículos eléctricos de celda de hidrógeno.
- BEV70: vehículos eléctricos, autonomía de 70 millas (110 Km).
- BEV210: vehículos eléctricos, autonomía de 210 millas (335 Km).

Figura 29. Emisiones en gramos de CO2 durante la fabricación. Extraído de la U.S. Department of Energy. https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/14006_cradle_to_grave_analysis.pdf.

Como podemos ver, los eléctricos de autonomía de 335 Km son los que más CO2 emiten debido a la fabricación de las baterías, lo cual los coloca un 35% por encima de los vehículos convencionales de combustión interna. Como vimos en la figura 28, el carbono emitido durante la fabricación termina siendo insignificante frente al emitido para la producción de energía eléctrica.

6.3. Comparativa precios de compra.

Para realizar esta comparativa elegimos vehículos del mismo segmento, y sólo nos centramos en comparar el precio base de los mismos. Agregamos el dato de la autonomía de los modelos base. El motor de combustión interna a hidrógeno no se agrega, ya que como se mencionó anteriormente no existen modelos comerciales.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Categoría	FCEV	BEV	HEV	ICEV
Modelo	Toyota Mirai	Tesla Model 3	Toyota Camry	
				
Precio USD	49,500	40,240	28,655	26,320
Autonomía	650 Km	450 Km	950 Km	900 Km
Diferencia	88%	53%	9%	-

Figura 30. Comparación de precios y autonomías. Elaboración propia a partir de datos extraídos de las páginas web oficiales de Toyota y Tesla Motors.

Podemos ver que el FCEV es un 88% más caro que un ICEV, sin embargo, Toyota otorga a los compradores un crédito de USD 15000 para recargar hidrógeno, el cual tiene un plazo de 6 años para usarlo. Esto podría afectar sensiblemente la decisión de compra, pero sigue atado a la pobre infraestructura.

6.4. ¿Qué pasa si pasamos todo a eléctrico?

Este análisis lo desarrollamos limitado a los vehículos nafteros para uso urbano e interurbano. La cantidad de gasolina utilizada anualmente en Argentina para esta categoría se extrajo de la siguiente tabla, presente en un informe de diagnóstico para el sector de transporte en Argentina del año 2019, elaborado por la consultora GFA con financiamiento de la Unión Europea.

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023	

Tabla 32. Argentina: Consumo energético del sector transporte, por modo y tipo de combustible – 2017. (Valores en miles de m³)

		Nafta	Gas Oil	GNC	Aeronafta	ElectricidadKWh	Fuel oil	Fuente consumo unitario
Urbano	Moto	382,3	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Estimación
	Auto	4.625,6	271,5	1.949,7	n/a	n/a	n/a	Modelo Costop-D.N.Vvialidad
	Omnibus	n/a	844,7	n/a	n/a	n/a	n/a	Cálculo costos Min Transporte
	Ferrocarril	n/a	53,0	n/a	n/a	398,1	n/a	Datos técnicos-Información contable
	Carga automotor	6,7	521,7	6,7	n/a	n/a	n/a	Datos técnicos
Interurbano	Auto	4.216,3	205,2	595,5	n/a	n/a	n/a	Modelo Costop D.N.Vvialidad)
	Ómnibus	n/a	510,1	n/a	n/a	n/a	n/a	Modelo Costop D.N.Vvialidad
	Aéreo	n/a	n/a	n/a	752,6	n/a	n/a	Datos técnicos-Balance Energético Nacional
	Camión liviano	n/a	1.581,0	n/a	n/a	n/a	n/a	Modelo Costop D.N.Vvialidad
	Camión pesado	n/a	5.733,0	n/a	n/a	n/a	n/a	Modelo Costop D.N.Vvialidad
	Ferrocarril	n/a	85,2	n/a	n/a	n/a	n/a	Trenes Argentinos
	Fluvio-marítimo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	51,6	Dirección Nacional de Cargas y Logística
Total	mill m³-Kwh	9.231,0	9.805,4	2.551,8	752,6	398,1	51,6	
	Ton Equiv petr	7.022,0	8.451,3	2.118,0	555,0	34,2	47,7	
Balance Energético	Ton Equiv Petr	7.022,0	7.669,0	2.118,0	555,0	57,0	10,0	

Fuente: Estimaciones propias – ver texto.

Figura 31. Consumo energético del sector transporte, por modo y tipo de combustible - 2017. Extraído de Informe de diagnóstico para el sector de transporte en Argentina del año 2019, elaborado por la consultora GFA.

Del gráfico anterior extraemos el total de nafta utilizada anualmente en miles de toneladas equivalentes de petróleo, lo que se traduce en:

Consumo anual de nafta: 7.022.000 TEP

A continuación realizamos el pasaje de TEP a KWh valiéndonos de las equivalencias aportadas por el mismo documento:

Nafta	m3→tep	0,7607
Gas-oil	m3→tep	0,8619
GNC	mil m3→tep	0,8300
Aeronafta	m3→tep	0,7374
KWh	mil KWh→tep	0,0860
Fuel oil	ton→tep	0,9251

Figura 32. Equivalencias energéticas. Extraído de Informe de diagnóstico para el sector de transporte en Argentina del año 2019, elaborado por la consultora GFA.

KW totales = 7.022.000 TEP * 1000 KWh /0,0860 TEP

KW totales = 81.651.163.000 KWh

Posteriormente, afectamos este valor por la eficiencia de los vehículos nafteros. Lo que va a las ruedas en un auto a nafta es 16 - 25% de la energía contenida en la nafta. Para el cálculo consideramos un 20% de eficiencia

Total aprovechado = 81.651 GWh * 0,2 = 16.330 GWh

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

A continuación lo afectamos por la eficiencia del auto eléctrico. Un auto eléctrico aprovecha el 90% de la energía, entonces:

Total consumido por autos eléctricos = $16.330 \text{ GWh} / 0,9 = 18.144 \text{ GWh}$

Por último, consideramos las pérdidas de energía durante la carga de las baterías. Al cargarlo perdemos 5%. Esto nos da un consumo de energía total de:

Consumo total = $18.144 \text{ GWh} / 0,95 = 19.100 \text{ GWh}$

Para poder evaluar los resultados consultamos datos de la Secretaría de Energía de la Nación. El total de energía eléctrica producida en Argentina en 2021 fue de **146.566 GWh**. Con este dato calculamos la relación entre la energía que consumirían todos los autos eléctricos y el total generado.

La energía necesaria para reemplazar todos los autos nafteros por eléctricos representa el 13% de la energía generada anualmente.

Si se reemplaza todo el transporte de cargas y pasajeros (considerando el gasoil) sería un 26% aproximadamente.

7. CONCLUSIONES

Como pudimos ver en las comparativas de emisiones, todas las tecnologías emiten cantidades similares de carbono si consideramos el producido durante su fabricación, uso y la producción de su combustible/energía. Esto nos lleva a concluir que las distintas tecnologías pueden seguir conviviendo durante varias décadas. Dada la matriz energética actual, compuesta por un 60% de carbón y gas natural, y la producción de hidrógeno que proviene en un 98% de fuentes no renovables, lo único que lograríamos cambiando todo el parque automotor por vehículos eléctricos y de celda de hidrógeno es un traslado de la contaminación. Simplemente, estaríamos moviendo las emisiones de los centros urbanos a las plantas de producción de electricidad e hidrógeno, pero no lograríamos una reducción apreciable de emisiones de CO₂. Lo que realmente necesitamos para lograr un impacto positivo es llevar a cabo una transición energética hacia fuentes renovables y/o limpias. Si la energía fuera de fuentes renovables y el hidrógeno fuera sólo verde o rosa, al utilizar vehículos eléctricos o de hidrógeno reduciríamos un 80% las emisiones.

En cuanto a las tecnologías de hidrógeno, vemos que las celdas de hidrógeno tienen prácticamente el doble de eficiencia que un motor de combustión interna funcionando con hidrógeno, lo cual da como consecuencia el doble de autonomía para el mismo volumen de hidrógeno. A esto se suma el hecho de que convertir un motor de gasolina para funcionar con hidrógeno tiene cierta dificultad técnica si buscamos mantener el rendimiento y la eficiencia. Estos dos factores hacen que para vehículos livianos tenga más sentido la tecnología de celdas de hidrógeno, mientras que para vehículos de larga

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos					Grupo N°10	
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

distancia sí podrían implementarse motores de combustión a interna de hidrógeno, ya que el volúmen necesario para lograr autonomías importantes tiene menos relevancia en vehículos de gran porte. De todas maneras, si realmente se diera una transición energética, sólo tendría sentido aplicar el hidrógeno en vehículos pesados, puesto que la eficiencia en la producción de hidrógeno y su consumo en el vehículo de celdas es muy inferior a la eficiencia de producir y consumir energía eléctrica de forma directa, sumado al hecho de que la infraestructura eléctrica es mucho más simple y barata de extender. Este uso en vehículos pesados podría justificarse porque el uso de baterías en este tipo de vehículos tendría costos muy altos y el uso intensivo disminuiría su vida útil, con lo cual se incurriría en altos costos de reemplazo, sumado a la menor autonomía que presentan los eléctricos puros.

8. BIBLIOGRAFÍA

Acciona Australia. (16 de Junio de 2022). *What Are The Colours Of Hydrogen And What Do They Mean?* ACCIONA. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de <https://www.acciona.com.au/updates/stories/what-are-the-colours-of-hydrogen-and-what-do-they-mean/>

Aizarani, J. (31 de enero de 2023). *Number of hydrogen fuel stations by country 2022*. Statista. Recuperado 12 de Mayo, 2023, de <https://www.statista.com/statistics/1026719/number-of-hydrogen-fuel-stations-by-country/>

Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos. (Diciembre de 2015). *Combustibles de automoción*. Gasnam. Recuperado 10 de Mayo, 2023, de http://gasnam.es/wp-content/uploads/2016/02/Estudio-comparacion-carburantes-auto_AOP-def2.pdf

Bieker, G. (1 de Julio de 2021). *A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars*. International Council on Clean Transportation. Recuperado 16 de Mayo, 2023, de https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-LCA-passenger-cars-jul2021_0.pdf

Blázquez, L. (30 de Septiembre de 2019). *Coches híbridos: ¿Qué tipos existen? ¿Cuál me conviene más?* Noticias de coches. Recuperado 13 de Mayo, 2023, de <https://noticias.coches.com/consejos/coches-hibridos-tipos/357621>

Cano, V. (2 de Junio de 2020). *La ley de límite de emisiones que está cambiando la industria europea del automóvil*. Autobild. Recuperado 12 de Mayo, 2023, de <https://www.autobild.es/listas/ley-limite-emisiones-cambiando-industria-europea-automovil-651869>

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Certificación de Emisiones de Vehículos 0 Km en Argentina. (n.d.). Argentina.gob.ar. Recuperado 10 de Mayo, 2023, de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/certificacion_de_emisiones_de_vehiculos_0_km.pdf

College of the Desert. (Diciembre de 2001). *Module 3: Hydrogen Use in Internal Combustion Engines.* www1.eere.energy.gov. Recuperado 12 de Mayo, 2023, de https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/tech_validation/pdfs/fcm03r0.pdf

Coradir. (n.d.). *Movilidad Eléctrica - TITO S5 - 100% Puntano.* Movilidad Coradir. Recuperado 13 de Mayo, 2023, de <https://movilidad.coradir.com.ar/tito-s5/>

Delgado, V. (1 de Agosto de 2017). *Los 10 coches con más autonomía.* Autofacil.es. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de <https://www.autofacil.es/reportajes/10-coches-autonomia/144144.html>

De Mesmaeker, D. (4 de Diciembre de 2018). *Evolución en la normativa sobre emisiones de turismos y vehículos pesados.* - Sitio web oficial de Q8Oils. Q8Oils. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de <https://www.q8oils.com/es/automocion/evolucion-en-la-normativa-sobre-emisiones-de-turismos-y-vehiculos-pesados/>

El coche eléctrico: una historia que se repite. (12 de Septiembre de 2019). La Vanguardia. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20180223/47311039683/el-coche-electrico-una-historia-que-se-repite.html>

Fidalgo, R. (16 de Agosto de 2016). *No todo es culpa del diésel. Así se forman los NOx en los motores de gasolina.* Motorpasión. Recuperado 12 de Mayo, 2023, de <https://www.motorpasion.com/tecnologia/no-todo-es-culpa-del-diesel-asi-se-forman-los-nox-en-los-motores-de-gasolina>

García, G. (30 de Octubre de 2022). *Los camiones eléctricos de hidrógeno Hyundai XCIENT logran un hito histórico.* Híbridos y Eléctricos. Recuperado 14 de Mayo, 2023, de https://www.hibridosyelectricos.com/coches/camiones-electricos-hidrogeno-hyundai-xcient-hito-historico_64144_102.html

Gitlin, J. M. (31 de Julio de 2021). *Electric cars have much lower life cycle emissions, new study confirms.* Ars Technica. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

<https://arstechnica.com/cars/2021/07/electric-cars-have-much-lower-life-cycle-emissions-new-study-confirms/>

H2 Stations. (n.d.). *Hydrogen refuelling stations worldwide*. H2Stations.org. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de <https://www.h2stations.org/>

Hamelbot. (n.d.). *Urbanos Eléctricos Biplazas Inteligentes*. Hamelbot. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de <http://www.hamelbot.com/biplaz>

Hanson, E. (n.d.). *The World's Most Electric Car-Friendly Countries*. Lease Fetcher. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de <https://www.leasefetcher.co.uk/content/most-electric-car-friendly-countries>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (Mayo de 2022). *Securing supplies for an electric future*. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Recuperado 12 de Mayo, 2023, de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf>

Joseck, r., & Ward, J. (21 de Marzo de 2014). *DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record 14006: Cradle to Grave Lifecycle Analysis of Vehicle and Fuel Pathways*. DOE Hydrogen Program. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/14006_cradle_to_grave_analysis.pdf

Llamas, J. (4 de Abril de 2017). *Historia del motor de combustión interna*. Blog Mecánicos. Recuperado 11 de Mayo, 2023, de http://www.blogmecanicos.com/2017/04/historia-del-motor-de-combustion-interna_4.html

Martín, P. (6 de Julio de 2021). *Los 46 camiones de hidrógeno de Hyundai que no paran de dar vueltas por Suiza*. El Confidencial. Recuperado 16 de Mayo, 2023, de https://www.elconfidencial.com/motor/nueva-movilidad/2021-07-06/camiones-hidrogeno-pila-combustible-hyundai_3167987/

Ministerio de Economía Argentina. (18 de Enero de 2022). *Energías Renovables Gran Escala 2021*. Argentina.gob.ar. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/01/energias_renovables_2021_se-c.pdf

Moriana, L. (25 de Septiembre de 2018). *Qué son los biocombustibles, ventajas y desventajas*. Ecología Verde. Recuperado 14 de Mayo, 2023, de <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-biocombustibles-ventajas-y-desventajas-1364.html>

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Morse, I. (20 de Mayo de 2021). *A dead battery dilemma*. www.science.org. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de <https://www.science.org/content/article/millions-electric-cars-are-coming-what-happens-all-dead-batteries>

Motor Pasión. (17 de Noviembre de 2022). *La curiosa historia del hidrógeno como combustible en automoción: un relato que se empezó a escribir en... ¡1806!* Motorpasión. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/curiosa-historia-hidrogeno-como-combustible-automocion-relato-que-se-empezo-a-escribir-1806>

Muller, A., & Di Sbroiavacca, N. (Octubre de 2019). *Diagnóstico para el sector transporte. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARGENTINA*. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de https://eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/06041553_18-SectorTransportepolticas.pdf

Murias, D. (5 de Abril 2020). *Anatomía de un coche eléctrico: su sencilla mecánica, al desnudo*. Motorpasión. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de <https://www.motorpasion.com/coches-electricos/anatomia-coche-electrico-su-sencilla-mecanica-al-desnudo>

Patil, C., Varade, S., & Wadkar, S. (16 de Marzo de 2017). *A Review of Engine Downsizing and its Effects*. Inpressco. Recuperado 14 de Mayo, 2023, de <https://inpressco.com/wp-content/uploads/2017/06/Paper75319-324.pdf>

Prussi, M., Yugo, M., De Prada, L., Padella, M. and Edwards, R., JEC Well-To-Wheels report v5, EUR 30284 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-20109-0, doi:10.2760/100379, JRC121213

RACE. (2 de Septiembre de 2022). *¿Cómo son las baterías de los coches eléctricos?* RACE. Recuperado 17 de Mayo, 2023, de <https://www.race.es/como-son-baterias-coches-electricos>

Renting Finders. (n.d.). *¿Qué Son Las Emisiones De Un Coche?* Renting Finders. Recuperado 11 de Mayo, 2023, de <https://rentingfinders.com/glosario/emisiones/>

Rosetta Technology Solutions. (4 de Marzo de 2021). *Pilas de Combustible de Hidrógeno ¿Cómo funcionan?* | Rosetta. Rosetta Technology Solutions. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de <https://rosetta-technology.com/es/aula-tecnica/notas-tecnicas/pila-combustibe-hidrogeno-como-funcionan>

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Sero Electric. (n.d.). *Sero Electric*. Sero Electric – Sero es un nuevo concepto en Movilidad Alternativa, sencillo de conducir y con bajo costo de mantenimiento. Recuperado 13 de Mayo, 2023, de <https://www.seroelectric.com/>

Simon Electric. (10 de Enero de 2019). *El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento*. SIMON. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>

Suwal, R. (2014). *Aspects of Engine Downsizing | Rajan Suwal*. Academia.edu. Recuperado 15 de Mayo, 2023, de https://www.academia.edu/13524199/Aspects_of_Engine_Downsizing

Tesla. (18 de Abril de 2023). *Model S, Owner's Manual*. Tesla. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de https://www.tesla.com/ownersmanual/models/en_us/Owners_Manual.pdf

TN. (14 de Febrero de 2023). *En 2022 hubo récord histórico de ventas de autos híbridos y eléctricos en la Argentina*. TN. Recuperado 14 de Mayo, 2023, de <https://tn.com.ar/autos/novedades/2023/02/14/en-2022-hubo-record-historico-de-ventas-de-autos-hibridos-y-electricos-en-la-argentina/>

Toyota. (2023). *2023 Mirai*. Toyota. Recuperado 13 de Mayo, 2023, de https://www.toyota.com/content/dam/toyota/brochures/pdf/2023/mirai_ebrochure.pdf

Trigubó, H., Galante, N., Franzini, R., & Macchello, S. (28 de Junio de 2019). *Utilización del combustible híbrido (GNC+H2) en motores de uso vehicular*. SEDICI. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77376>

U.S. Department of Energy. (n.d.). *Alternative Fuels Data Center: Alternative Fueling Station Locator*. Alternative Fuels Data Center. Recuperado 14 de Mayo, 2023, de <https://afdc.energy.gov/stations/#/find/nearest>

U.S. Department of Energy. (n.d.). *Where the Energy Goes: Gasoline Vehicles*. Fuel Economy. Recuperado 13 de Mayo, 2023, de <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>

U.S. Department of Energy. (24 de Julio 2020). *HYDROGEN STRATEGY Enabling A Low-Carbon Economy*. Department of Energy. Recuperado 18 de Mayo, 2023, de https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/07/f76/USDOE_FE_Hydrogen_Strategy_July2020.pdf

Análisis comparativo del hidrógeno como alternativa energética a los vehículos eléctricos						Grupo N°10
Versión	01	Fecha	16/05/2023	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Volkswagen Canarias. (2023). *Baterías de Coches Eléctricos - Tipos y Características*. Volkswagen Canarias. Recuperado 14 de Mayo, 2023, de <https://www.vwcanarias.com/es/blog/tipos-baterias-coches-electricos.html>

Volkswagen México. (17 de Junio de 2022). *¿Qué es un auto híbrido y cómo funciona? | Volkswagen*. Volkswagen México. Recuperado 17 de Mayo, 2023, de <https://www.vw.com.mx/es/experiencia/innovacion/que-es-un-auto-hibrido.html>

Volt motors. (n.d.). *e1 Vehículo urbano 100% eléctrico*. VOLT motors. Recuperado 13 de Mayo, 2023, de <https://voltmotors.com.ar/e1.html>