



Estudio sobre los  
beneficios del  
hidrógeno en  
las carretillas  
de almacenes  
logísticos

©FM Logistic Ibérica, S.L  
Sede central  
Av. Valverde, 20, 45200, Toledo

Este estudio ha sido promovido y coordinado por el departamento de medioambiente y desarrollo sostenible de FM Logistic Ibérica. Imágenes: FM Logistic Ibérica y Pexels.

Correo electrónico: [comunicacion@fmlogistic.com](mailto:comunicacion@fmlogistic.com)

Página web: [www.fmlogistic.es](http://www.fmlogistic.es)

# Índice

Sobre FM Logistic. La apuesta por el hidrógeno verde.....	2-3
Objetivo del estudio.....	4
<b>1. Emisiones de gases de efecto invernadero.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Eficiencia energética.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Autonomía.....</b>	<b>7</b>
<b>4. Tiempo de recarga.....</b>	<b>7</b>
<b>5. Capacidad de carga.....</b>	<b>8</b>
<b>6. Tiempo medio de vida.....</b>	<b>8</b>
<b>7. Mantenimiento y seguridad.....</b>	<b>9</b>
<b>8. Ciclo de vida.....</b>	<b>9-21</b>
8.1. Materias primas y fabricación.....	9-13
8.2. Funcionamiento.....	13-14
8.3. Eliminación.....	15-17
8.4. Impacto ciclo de vida-Huella de Carbono.....	17-20
8.5. Costes.....	21
<b>9. Referencias.....</b>	<b>22</b>

## Sobre FM Logistic



Fundada en Francia en 1967, esta empresa familiar es una de las principales compañías de servicios de la **cadena de suministro en Europa y Asia**, y presta servicios a clientes de los sectores de **FMCG**, sector **retail, belleza y cosmética, fabricación industrial y pharma**.

Sus servicios incluyen **almacenamiento**, servicios de **omnicanalidad, co-packing, transporte nacional e internacional, operaciones de logística urbana y comercio electrónico**, así como servicios de torre de control de la cadena de suministro.

FM Logistic opera en más de **14 países** de Europa, Asia y América Latina. Tiene unos ingresos anuales de unos 1.400 millones de euros y más de **27.000 empleados**. En cuanto a **FM Logistic Ibérica**, el cual incluye España y Portugal, tiene más de **1.000 empleados** y unos ingresos de 110 millones de euros.

Apoyar el desarrollo de cadenas de suministro omnicanal sostenibles es fundamental para la estrategia de FM Logistic, tal y como ilustra su lema: "**Supply Change**". Esta estrategia de desarrollo sostenible se basa en tres pilares: **cuidar de su personal, desarrollar servicios sostenibles de la cadena de suministro y mejorar la huella ambiental** de sus actividades. Alineada con este plan, surge la apuesta por el hidrógeno en la Plataforma Logística de Illescas (Toledo) en el marco de la transición energética mediante la instalación de una estación de producción, almacenamiento y dispensado de hidrógeno para el abastecimiento de carretillas y furgonetas de reparto.



## La apuesta por el hidrógeno verde



Según el Foro Económico Mundial, **el transporte** representa alrededor del **20% de las emisiones mundiales** de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los viajes por carretera, es decir, los coches, camiones, autobuses y furgonetas, son los **principales responsables** ya que emiten **tres cuartas partes** de las emisiones de **CO<sub>2</sub>** del transporte. Por lo tanto, la descarbonización del sector es fundamental para alcanzar el objetivo del Acuerdo de París de limitar el calentamiento global a menos de 2 grados centígrados.

FM Logistic lleva tiempo proponiendo soluciones comunes para reducir los kilómetros en vacío. Además, está probando diversas soluciones de combustibles alternativos para ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. FM Logistic distribuye desde hace años con camiones de hidrógeno en China y tiene un almacén en Neuilly con más de 50 carretillas de hidrógeno desde 2015. Cada vez se considera más la posibilidad de utilizar el **hidrógeno verde** en el transporte para **abastecer de combustible** a los **camiones** y no contaminar el ambiente. Por ello, FM Logistic ha empezado a producir hidrógeno verde en su **centro logístico de Illescas**, aprovechando los paneles solares ubicados en la superficie del almacén. Un **proyecto similar** está en marcha por parte de FM Logistic en la **región francesa de Loiret**.

El hidrógeno verde ofrece varias **ventajas**: es un gas, por lo que **puede transportarse y almacenarse**; el repostaje es tan rápido como el de un vehículo diésel o gasolina y, sobre todo, que su uso **no genera ni emisiones contaminantes ni ruido**.

Por ahora, FM Logistic utiliza principalmente el hidrógeno verde para alimentar algunas de sus **carretillas dentro del almacén**. Pero, también está estudiando la posibilidad de utilizar esta energía para el **transporte de larga distancia**, ya sea en vehículos eléctricos de pila de combustible o como ampliación de la autonomía de los vehículos eléctricos de batería. El apoyo público, la cooperación y el desarrollo de la infraestructura del hidrógeno serán claves para una mayor implantación.

FM Logistic también es una de las diez empresas que han constituido el **Clúster del Hidrógeno Verde de Castilla-La Mancha**. Esta es una iniciativa que nace con la idea de promover el desarrollo estratégico de la tecnología del hidrógeno verde y de posicionar a la Comunidad Autónoma a nivel nacional y europeo como referencia en esta energía renovable.

## Objetivo del estudio



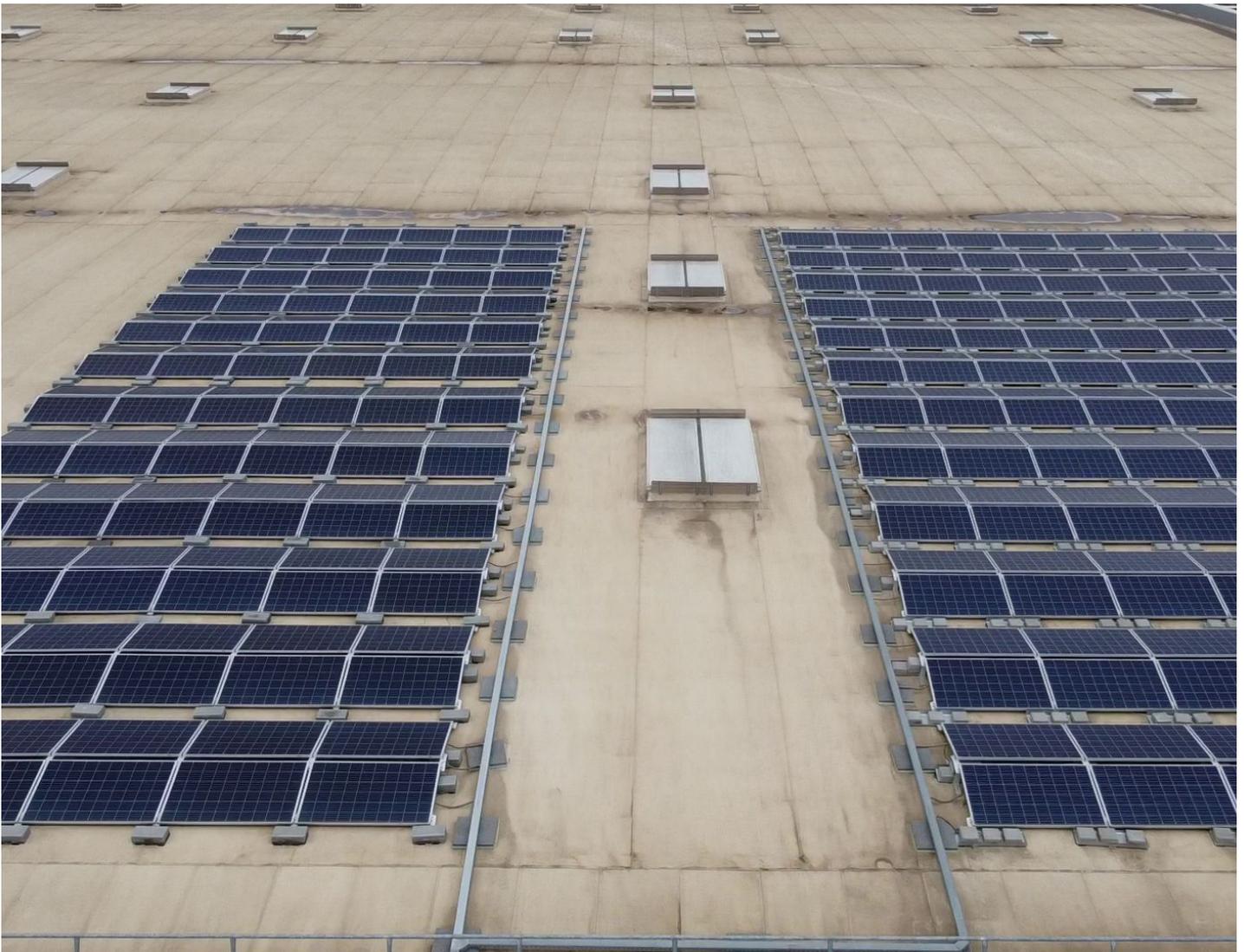
- ◆ El objetivo del presente estudio es hacer una comparativa de las características de las baterías eléctricas y las **pilas de hidrógeno** desde el punto de vista de su uso en el transporte. Para ello, se intenta explicar de forma general las ventajas e inconvenientes de cada uno de los sistemas, tanto desde el aspecto económico como energético y medioambiental.



**El estudio se divide en los aspectos y características más significativas de los diferentes sistemas que se exponen a continuación:**

### **1. Emisiones de gases de efecto invernadero**

En las baterías y la pila de hidrógeno no se produce la emisión de gases durante su uso. Adicionalmente, en nuestro caso concreto, la energía utilizada para su funcionamiento proviene de fuentes renovables in-situ, lo que además reduce las pérdidas por transporte de energía eléctrica.



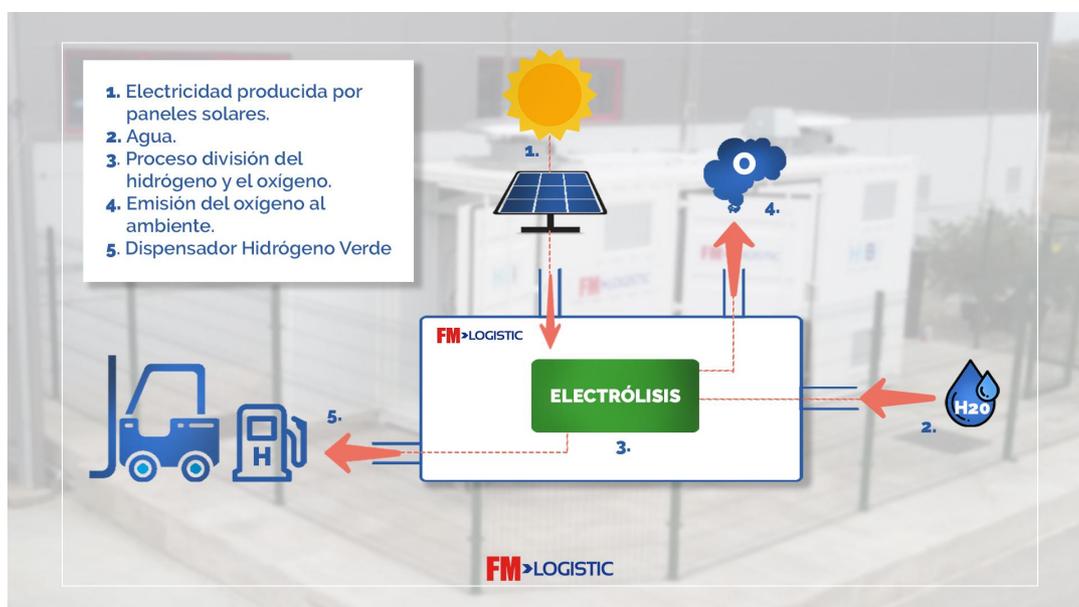
## 2. Eficiencia energética



Los sistemas de baterías tienen mayor eficiencia energética que la pila de hidrógeno. Un **90-95% frente a un 60-65%**. Las baterías transforman directamente la energía que las alimenta para el funcionamiento del vehículo. En cambio, en el caso de la pila, la energía solar fotovoltaica se utiliza para generar el hidrógeno y luego este se utiliza para generar de nuevo energía eléctrica que hace funcionar el vehículo, dando por tanto una pérdida de energía en el proceso.

Sin embargo, hablando en términos de densidad de energía (Wh/kg), la ventaja que ofrece el hidrógeno frente a los sistemas de baterías es indiscutible. Es por ello que, si se quiere aumentar la capacidad de distancia a recorrer por un vehículo, **conlleva un aumento de peso y espacio** tan importante que provoca la casi desaparición de la ventaja en la mayor eficiencia de las baterías en comparación con las pilas.

Por otro lado, hay que resaltar que la tecnología de las pilas de hidrógeno está en sus inicios y se desarrolla a un ritmo elevado, así como de los procesos generadores de hidrógeno mediante electrólisis. Por ejemplo, los procesos a partir de energía solar térmica concentrada **pueden llegar a alcanzar el 85% de eficiencia energética**. También hay ya proyectos para la obtención del hidrógeno directamente a partir de la radiación solar, sin la generación de energía previa (fotoelectrocatalisis), lo que aumentará igualmente la eficiencia energética.



### 3. Autonomía



En este aspecto, la pila de hidrógeno y las baterías de litio ofrecen una ventaja frente a la batería de plomo, que es la que ofrece menor autonomía. Un detalle interesante es la **influencia de la temperatura**, que mientras en la pila de hidrógeno no se aprecia, en las baterías se da un cierto descenso, siendo la capacidad de funcionamiento menor a bajas temperaturas.

En relación a esto podemos también comentar un aspecto a veces pasado por alto, que es el proceso de autodescarga. Esto hace referencia a la pérdida de carga que se produce en las baterías aún sin estar en uso. Es cierto que esta autodescarga es baja en las baterías eléctricas modernas si los periodos de tiempo no son largos, pero **es prácticamente inexistente** en el caso de las pilas de hidrógeno.



### 4. Tiempo de recarga

Igualmente, para el tiempo necesario en la recarga, la batería de plomo es la que presenta mayores inconvenientes, pues debido a su alto tiempo de recarga, se necesita disponer de baterías de repuesto para su cambio cuando se descargan y poder seguir utilizando la carretilla. Para una batería de litio necesitaremos igualmente un tiempo de entre 2 y 4 horas de carga dependiendo del estado de descarga de la misma. En la situación opuesta está la pila de hidrógeno, pues en **menos de 2 minutos** llegamos a tener el **depósito de hidrógeno lleno** para continuar funcionando, siendo esta una de las características más ventajosas en este sistema.



## 5. Capacidad de carga



En lo referente a la capacidad de carga, las baterías presentan ciertas desventajas frente a la pila de hidrógeno. Las baterías de plomo-ácido, por ejemplo, no deben descargarse por debajo del 20% de su carga pues puede dañar la batería. Igualmente si se hacen cargas intermitentes, la eficiencia de la batería disminuye gradualmente. En el caso de la batería de litio, la potencia disminuye a medida que se descarga, lo que se traduce en una disminución de la velocidad. Igualmente, no se recomienda realizar cargas parciales pues la eficiencia se verá afectada debido al efecto memoria que, aunque se ha limitado enormemente llegando a niveles muy bajos, es un aspecto inherente de estos sistemas, y del que carece la pila de hidrógeno, la cual **no posee un límite para su recarga** y pueden hacerse las **recargas parciales** que se precisen (similar al repostaje de los vehículos tradicionales de gasoil/gasolina).

## 6. Tiempo medio de vida



El tiempo de vida de las baterías viene expresado normalmente por ciclos de carga y en este aspecto las baterías de litio permiten muchos más ciclos que las de plomo, con una vida media que podría llegar hasta los 10 años, pero quedándose por debajo de las **pilas de hidrógeno**, cuya **vida útil ronda los 15 años**. Aunque en todo caso, la vida útil va a depender del diseño particular de cada sistema y, por supuesto, del correcto funcionamiento y el adecuado mantenimiento realizado. Es por ello que pueden encontrarse datos muy diversos en la documentación actualmente disponible.



## 7. Mantenimiento y seguridad



En cuanto al mantenimiento, la situación más desfavorable la presentan también las baterías de plomo-ácido, pues requieren de un mantenimiento intensivo de las mismas y presentan además riesgos importantes para la salud y el medioambiente por el plomo y el ácido que contienen. Las baterías de litio y las pilas de hidrógeno **no presentan dichos riesgos** (aunque las baterías de litio presentan cierto riesgo de sobrecalentamiento durante la carga) y su mantenimiento es menos intensivo.

## 8. Ciclo de vida



Dentro de este apartado debemos tener en cuenta **tres fases bien diferenciadas**: la obtención de materias primas y fabricación, la etapa de funcionamiento y la eliminación una vez llegado el fin de la vida útil.

### 8.1 Materias primas y fabricación



Entre los componentes necesarios para fabricar tanto las baterías como las pilas de hidrógeno hay metales cuya obtención a través de la minería supone impactos importantes tanto sobre el medioambiente como sobre las personas. A lo que hay que añadir una elevada cantidad de energía y recursos consumidos durante su procesamiento y fabricación. La diferencia radica en la **diversidad y las cantidades de metales** que son necesarios para cada sistema.

Las baterías de plomo-ácido, tal y como indica su nombre, tienen como componentes mayoritarios el plomo y el ácido sulfúrico; ambos pueden causar daños importantes para las personas y para el medioambiente, tanto durante su obtención y fabricación, como en el uso y el reciclaje. Las actividades con mayor impacto ambiental se presentan, por tanto, durante la extracción de plomo y en el proceso productivo.

MATERIA PRIMA	COMPOSICIÓN
Plomo (plomo, dióxido de plomo, sulfato de plomo)	65-75%
Electrolito (ácido sulfúrico)	15-25%
Separadores de plástico	5%
Caja de plástico	5%

Tabla 1. Porcentajes en peso en baterías de plomo-ácido (F. J. de Caldas 2015)

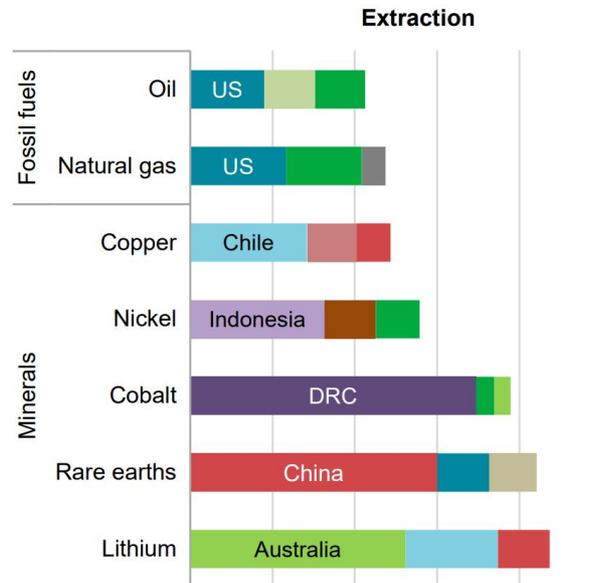
En el caso de las baterías de litio, aunque comúnmente se denominan así, el porcentaje presente de otros metales críticos (Ni, Co, Mn) es significativamente mayor que el del litio en todos los tipos (tabla). Aquí es importante apuntar que para la Unión Europea, se consideran **materias primas críticas** (CRM, «critical raw materials») a aquellas que combinan su gran importancia para la economía de la Unión y un alto riesgo asociado a su suministro. Esto último, se refiere a los **importantes impactos ambientales y humanos** durante la obtención de los metales por minería y su refinamiento, procesos que se llevan a cabo principalmente en países aún en desarrollo o con posibles inestabilidades sociales (Congo, Indonesia, Chile) (Gráfica).

Aunque aún en la actualidad se continúan desarrollando nuevas tecnologías y modelos de este tipo de baterías, sigue siendo poco probable que disminuyan de forma realmente significativa las cantidades de estos metales.

**TABLA 1**  
**INTENSIDAD DE METALES CRÍTICOS EN LA QUÍMICA DE LAS**  
**PRINCIPALES BATERÍAS (kg/Kwh)**

	Li	Ni	Co	Mn
NCA	0,1	0,67	0,13	0
NMC 111	0,15	0,4	0,4	0,37
NMC 433	0,14	0,47	0,35	0,35
NMC 532	0,14	0,59	0,23	0,35
NMC 622	0,13	0,61	0,19	0,2
NMC 811	0,11	0,75	0,09	0,09
LFP	0,1	-	-	-

Tabla 2. Metales en los principales tipos de baterías de litio (De La Torre Palacios 2020)



Gráfica 1. Porcentajes de extracción de minerales por países (IEA 2021)

Por último, la pila de hidrógeno presenta un impacto ambiental apreciable durante la **extracción y refinamiento del metal**, pero se utilizan menos metales (tabla) y en menores cantidades. Siendo el níquel (también lo era en las baterías de litio), el platino y otros metales de su grupo (PGM) los metales mayoritarios.

Estos últimos (iridio, osmio, paladio...) son metales denominados **nobles o de transición**. Son raros, lo que hace que tengan un mayor coste. Aunque esto puede entenderse como una desventaja en la composición de las pilas, es interesante comentar que la cantidad de platino utilizado en los vehículos de pila de combustible es de aproximadamente 10-20 gramos por vehículo, mientras que los catalizadores de los vehículos de combustión interna requieren aproximadamente 5-10 gramos de platino para un vehículo diésel de tamaño similar.

Además, hay datos que reflejan que son los propios fabricantes de vehículos (Honda y Toyota, por ejemplo) los que siguen buscando la reducción de las cantidades necesarias de platino para disminuir principalmente los costes asociados a la fabricación. Así, en la última década, la **cantidad de platino en los vehículos** de pila de combustible se ha reducido a la mitad.

	Copper	Cobalt	Nickel	Lithium	REEs	Chromium	Zinc	PGMs	Aluminium*
Solar PV	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Wind	●	○	●	○	●	●	●	○	●
Hydro	○	○	○	○	○	○	○	○	○
CSP	○	○	○	○	○	●	○	○	●
Bioenergy	●	○	○	○	○	○	○	○	○
Geothermal	○	○	●	○	○	●	○	○	○
Nuclear	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Electricity networks	●	○	○	○	○	○	○	○	●
EVs and battery storage	●	●	●	●	●	○	○	○	●
Hydrogen	○	○	●	○	○	○	○	●	○

Tabla 3. Minerales críticos necesarios para distintos tipos de tecnologías (IEA, 2021)

Además la tecnología de la pila de hidrógeno, como hemos indicado, **está aún en sus primeras fases**, avanzando y desarrollándose continuamente y a un ritmo importante. Esto hace que las cantidades de estos metales raros varíen significativamente de una generación a otra.

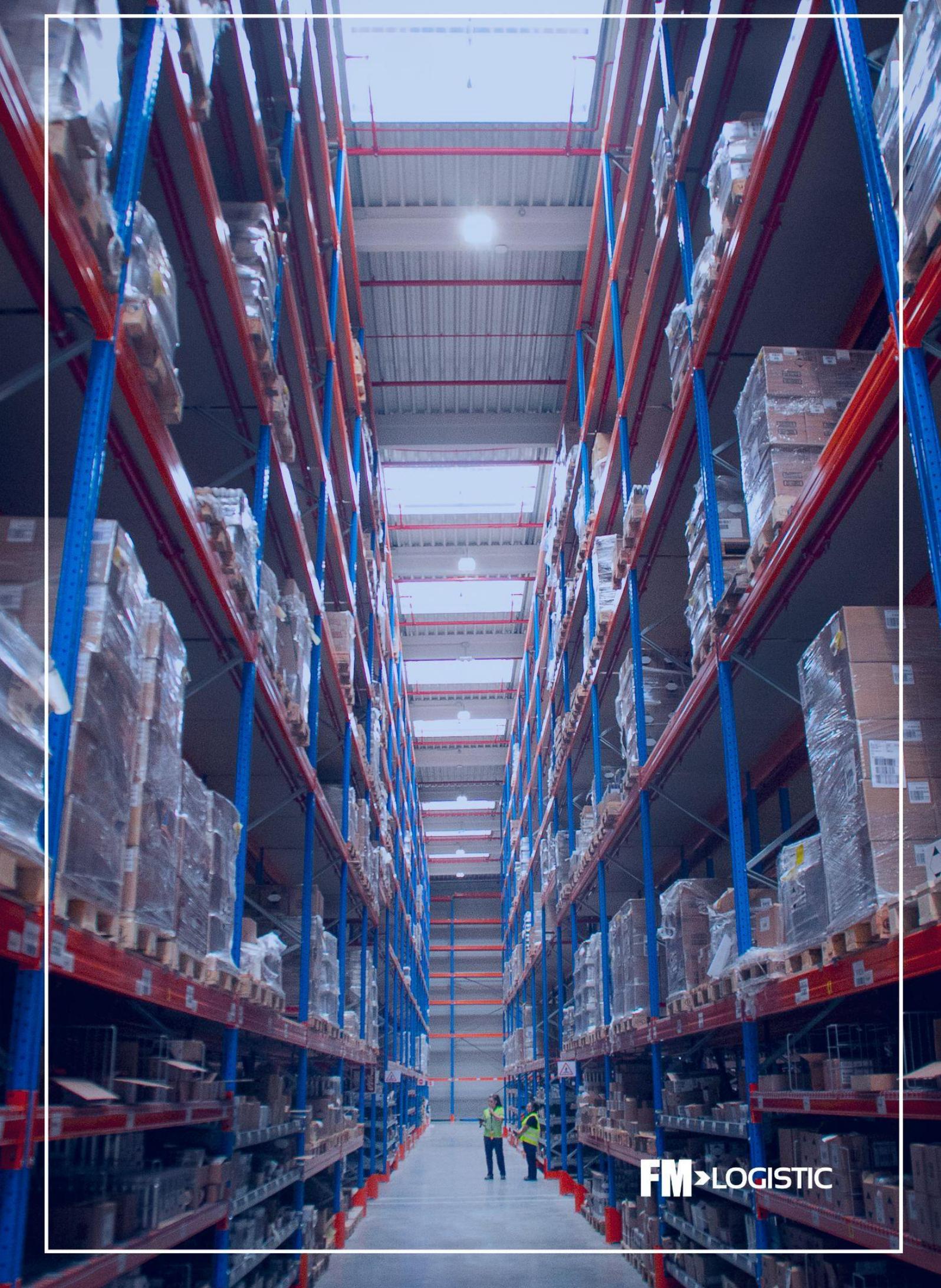
En comparación con las anteriores generaciones de pilas, **la carga de metales PGM** se ha reducido de 8 mg/cm<sup>2</sup> a 1 mg/cm<sup>2</sup> y **se espera bajar hasta 0,3 mg/cm<sup>2</sup>** para futuras generaciones. Incluso existen proyectos que, aunque están aún en fase de laboratorio, llegan a suprimir el platino en la fabricación de las pilas con el uso de otros materiales como catalizador.

## 8.2 Funcionamiento



En esta etapa, el impacto tanto de baterías eléctricas como de pilas de hidrógeno, viene determinado por el origen de la energía y del hidrógeno respectivamente. Cuando el hidrógeno es generado por fuentes de energía renovable, y este mismo tipo de energía es el suministrado a las baterías, obtenemos como resultado un ciclo de vida con menor huella de carbono. Pues como ya hemos dicho, no se produce la emisión de gases de efecto invernadero durante su uso.





### 8.3 Eliminación



Una vez agotada la vida útil de las baterías y de las pilas, hay que proceder a su retirada y eliminación siendo, por supuesto, la **reutilización y el reciclaje** los destinos más deseables.

Las baterías de plomo, siendo las de tecnología más madura, cuentan desde hace algún tiempo con procesos de recuperación y reciclaje -de plomo y otros componentes como el aluminio- más desarrollados y controlados por legislación específica. Esto no evita que sigan siendo procesos que **requieren consumos significativos de recursos y generen impactos ambientales** (emisiones y vertidos). Está claro que, para cualquier residuo, la primera opción debe ser la reutilización del mismo en un uso diferente. Sin embargo, en el caso de las baterías, y concretamente en las de litio, siguen existiendo una serie de retos tecnológicos y normativos para que la reutilización sea la opción prioritaria y crezca en escala.

El principal es su baja capacidad para competir en precio, dado el rápido descenso del coste de los nuevos sistemas. Además, las baterías retiradas deben someterse a costosos procesos de reacondicionamiento para ser utilizadas en nuevas aplicaciones. Y la **falta de transparencia de las baterías usadas** (por ejemplo, su estado de almacenamiento, capacidad restante, su diseño) complica aún más la economía.

En cuanto al reciclaje, actualmente existen varios métodos de reciclaje de baterías de litio comercialmente o a nivel piloto. Antes de ser reciclados, los paquetes de baterías deben descargarse, estabilizarse y luego desmantelarse al menos hasta el nivel de los módulos. Una vez descargados, **los componentes de las pilas pueden separarse en diferentes flujos de material** para su posterior procesamiento. En la actualidad, existen tres grandes categorías de técnicas empleadas, solas o combinadas, para el reciclaje de baterías.

Son el pretratamiento mecánico, los procesos pirometalúrgicos y procesos hidrometalúrgicos. El **pretratamiento mecánico** consiste principalmente en triturar y separar el plástico del líquido enriquecido con metal y de los sólidos metálicos. Sin embargo, **debe combinarse con otros métodos**, normalmente con la hidrometalurgia, que mediante lixiviación puede recuperar metales del cátodo como el níquel, el cobalto y el litio. Actualmente, son pocas las empresas que se dedican a este proceso.

Por otro lado, está la recuperación pirometalúrgica que utiliza la fundición a alta temperatura para reducir el componente a una aleación de cobalto, níquel y cobre. Es un **método frecuentemente utilizado** para extraer metales valiosos como el cobalto y el níquel (no así el litio), pero presenta importantes impactos medioambientales (como la producción de gases tóxicos) y elevados costes energéticos.

Los obstáculos tecnológicos para mejorar y optimizar la reutilización y el reciclaje incluyen la **falta de estandarización de los diseños** de los paquetes de baterías, módulos y celdas. Los diferentes fabricantes han adoptado distintas químicas para las baterías y tienden a no divulgar información sobre el diseño y la química de sus celdas. Esta gran variedad de tipos de baterías y químicas en el mercado **supone un gran reto para el reciclaje** y, especialmente, para la automatización de los procesos.

En cuanto a las pilas de hidrógeno, al igual que ocurre con las tecnologías de diseño y fabricación, las técnicas de recuperación y reciclado están todavía en sus fases iniciales. Esto, junto con el hecho de la **baja cantidad de pilas agotadas** por el momento, hace que en la actualidad los materiales de los sistemas de pilas de combustible no suelen reciclarse a gran escala.

En su lugar, los métodos tienden a utilizar procesos de **incineración o enterramiento de los componentes obsoletos**, lo que provoca daños al medioambiente y el despilfarro de recursos. Sin embargo, hay que tener en cuenta lo ya comentado sobre la existencia de una cadena de suministro madura para el uso y, por tanto, el reciclado del platino en los catalizadores de los vehículos tradicionales, que puede servir igualmente para las pilas. De igual forma, recordar que las cantidades a recuperar de **metales preciosos** son bastante menores en este caso, e incluso podrían desaparecer, lo que puede facilitar significativamente el reciclaje.

Un ejemplo de alta eficiencia es la **tecnología actual de Ballard** que, utilizando procesos adecuados de reciclaje, **llega a recuperar el 95% de los metales preciosos** de las pilas de combustible usadas que gestiona.

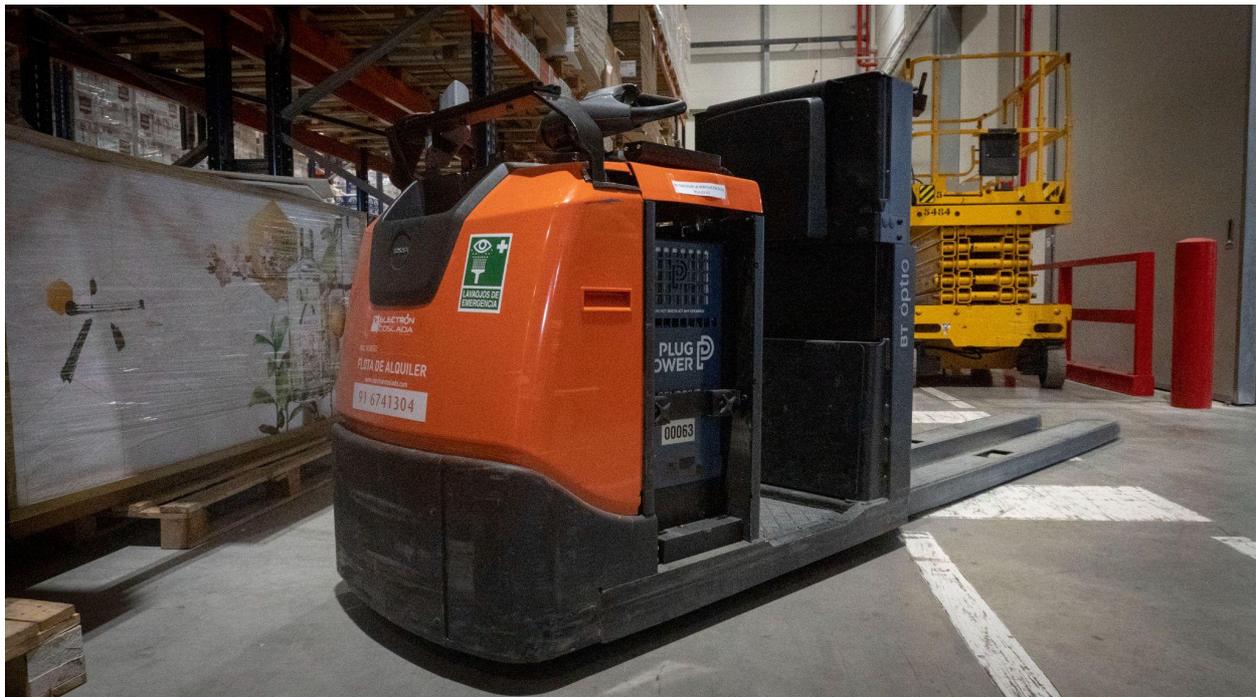
Por otro lado, ya se está trabajando en nuevas técnicas para que las **placas bipolares de carbono** de la pila de combustible puedan ser reutilizadas cuando la pila se recicla.

Tanto en el caso de baterías de litio como en pilas de hidrógeno, lo que se evidencia en los diferentes estudios es la **necesidad de apoyo e inversión por parte de los gobiernos** en el desarrollo de mejores y más eficientes procesos de recuperación y reciclaje, y el establecimiento de normativa específica que sirva de guía de los mismos.

#### 8.4 Impacto del Ciclo de vida - Huella de Carbono



Existen bastantes estudios sobre el ciclo de vida de los diferentes tipos de baterías de los que se pueden obtener ideas o tendencias generales, pero donde es muy difícil encontrar datos cuantitativos directamente extrapolables. Por ejemplo, y para ilustrar esto, en la siguiente tabla se muestran los resultados de diferentes estudios con la producción de baterías asociados a **un rango de entre 56 a 494 kg CO<sub>2</sub>/kWh** de capacidad de la batería para vehículos eléctricos. Este amplio rango muestra claramente el grado de incertidumbre en la evaluación de las emisiones del ciclo de vida y la variedad de métodos y materiales utilizados en la fabricación de baterías.



Authors	Year	Battery production emissions (kg CO <sub>2</sub> e/kWh)	Additional notes
<b>Messagele</b>	2017	56	Assumes vehicle with 30kWh battery constructed in the European Union, finding that BEVs will have lower life-cycle emissions than a comparable diesel vehicle when operated in any country in Europe
<b>Hao et al.</b>	2017	96-127	Uses China grid for battery manufacturing. Finds substantial differences between battery chemistries. Batteries produced in U.S. create 65% less GHGs.
<b>Romare &amp; Dahllöf</b>	2017	150-200	Reviews literature, concluding manufacturing energy contributes at least 50% of battery life-cycle emissions. Assumes battery manufacturing in Asia.
<b>Wolfram &amp; Wledmann</b>	2017	106	Models life-cycle emissions of various powertrains in Australia. Manufacturing inventories come primarily fromecoinvent database.
<b>Ambrose &amp; Kendal</b>	2016	194-494	Uses top-down simulation to determine GHG emissions for electric vehicle manufacturing and use. Manufacturing process energy represents 80% of battery emissions. Assumes manufacturing grid representative of East Asia.
<b>Dunn et al.</b>	2016	30-50	Uses bottom-up methodology, with U.S. electricity used for manufacturing.
<b>Ellingsen, Singh &amp; Stromman</b>	2016	157	BEVs of all sizes are cleaner over a lifetime than conventional vehicles, although it may require up to 70,000km to make up the manufacturing "debt".
<b>Kim et al.</b>	2016	140	Study based on a Ford Focus BEV using real factory data. Total manufacturing of BEV creates 39% more GHGs than a comparable ICE car.
<b>Peters et al.</b>	2016	110 (average)	Reveals significant variety in carbon intensities reported across literature based on methodology and chemistry.
<b>Nealer, Reichmuth &amp; Anair</b>	2015	73	Finds that BEVs create 50% less GHGs on a per-mile basis than comparable ICEs, and manufacturing (in U.S.) is 8%-12% of life-cycle emissions.
<b>Majeau-Bettez, Hawkins &amp; Stromman</b>	2011	200-220	Uses combined bottom-up and top-down approach. Different battery chemistries can have significantly effects.

Tabla 4. Estudios de emisiones en fabricación de baterías de vehículos eléctricos (ICCT 2018)

La situación es la misma en el caso de los sistemas con pilas de hidrógeno donde hay que tener en cuenta múltiples variables a la hora de estudiar y valorar la huella o impacto de su ciclo de vida. Pero no solo la dificultad en la fase de producción, sino también en la fase de

funcionamiento, donde la pila de hidrógeno presenta mayor variabilidad en su huella de carbono. Pues dicha huella va a ser bastante más importante, incluso mayor que para las baterías, en casos en los que el hidrógeno no sea generado a partir de fuentes renovables ni en el mismo lugar donde se utiliza, teniendo que añadir el **impacto** no solo de su **producción** sino también de su **transporte y almacenamiento**. Es por ello que en la mayor parte de los estudios donde se hacen comparativas de ciclo de vida, estos son específicos del tipo de sistemas, el lugar y las aplicaciones de los mismos.

A modo de ejemplo, en la siguiente página se presenta la tabla resumen extraída del estudio de Deloitte comparando los **ciclos de vida de los tres tipos de vehículos**, donde no se dan valores fijos sino rangos para cada fase y del total de emisiones.

Pero no solo la dificultad en la fase de producción, sino también en la fase de funcionamiento, donde la pila de hidrógeno presenta mayor variabilidad en su huella de carbono.



**Figure 78. Lifecycle analysis framework of vehicles**

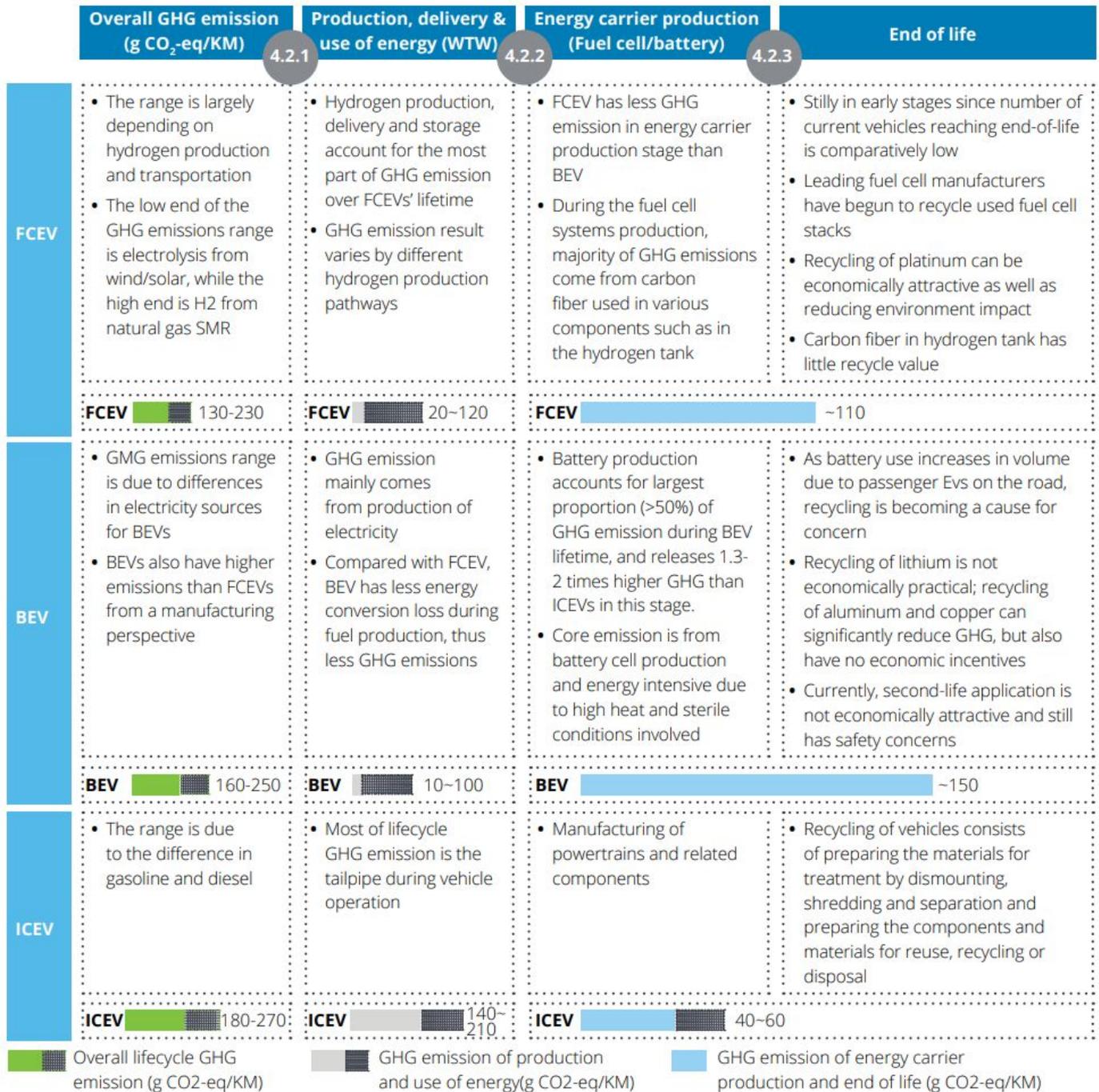


Figura 1. Análisis de ciclos de vida de vehículos. (Deloitte China, 2020)

## 8.5 Costes



Para este último punto, la conclusión es muy similar a la expuesta en el punto anterior. Los costes van a depender directamente del **diseño del sistema**, del **tipo de vehículo**, de la **fuentes de energía**, de los **tipos de almacenamiento**, del **lugar** y del **uso**.

Actualmente, los costes asociados al uso de baterías eléctricas son inferiores a los de las pilas de hidrógeno principalmente debido, también como antes, a los costes de producción, transporte y almacenamiento del hidrógeno, ya que **no es un combustible que a día de hoy tenga un fácil acceso**, al contrario que para la carga de baterías eléctricas.

Sin embargo, la mayor parte de las fuentes documentales consultadas coinciden igualmente en la previsión de que **estos costes irán disminuyendo en los próximos años** según se vaya **desarrollando y mejorando la tecnología del hidrógeno** y siempre que se realicen inversiones para proyectos de producción, distribución y uso del mismo. Con ello, el potencial de reducción de costes del hidrógeno reducirá o invertirá la actual diferencia económica entre uno y otro sistema.



## 9. Referencias

Es mucha y diversa la información que puede encontrarse de los diferentes sistemas y sus múltiples usos pero hemos querido destacar a continuación los que han tenido más relevancia para la realización de este estudio:

1. Fueling the Future of Mobility. Hydrogen and fuel cell solutions for transportation. Volume 1. Deloitte China, 2020.
  2. The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions. IEA full report (2021-06)
  3. Protagonismo de las Materias Primas Minerales en el desarrollo del Vehículo Eléctrico. De La Torre Palacios, Luis. 2019-2020.
  4. Fuel Cell and Battery Electric Vehicles Compared By C. E. (Sandy) Thomas. 2009.
  5. Planta de Producción de Hidrógeno con Autoconsumo de Energía Solar Fotovoltaica. Trabajo Fin de Máster. Martín Valiño, Juan Carlos. 2020.
  6. Análisis de Ventajas e Inconvenientes de las Baterías de Flujo Redox frente a las Baterías de Iones de Litio. Trabajo Fin de Máster en Ingeniería Industrial. Barbón Nuñez, Ana. 2018.
  7. Simulation-based life cycle assessment for hydrometallurgical recycling of mixed LIB and NiMH waste. Resources, Conservation & Recycling 170. 2021.
  8. Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. ICCT. 2018.
  9. Technical Notes BALLARD Power Systems. 2020.
  - 10 Análisis Ambiental del Ciclo de Vida de las Baterías Plomo-Ácido. Universidad Distal. Francisco José de Caldas. Facultad Tecnológica, Ingeniería de Producción. Bogotá D.C. 2015.
  11. Roadmap towards zero emissions. The complementary role of BEVs and FCEVs. Summary document. Hydrogen Council. September 2021.
  12. Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective. Hydrogen Council. January 2020.
  13. Life Cycle Assessment of Fuel Cell Systems. Martin Pehnt. Institute for Energy and Environmental Research IFEU GmbH. 2002.
  14. Exploratory environmental impact assessment of the manufacturing and disposal stages of a new PEM fuel cell. Garraín, D., Lechón, Y. International Journal of Hydrogen Energy 39 (2014).
  15. Review: Comparison of Hydrogen Powertrains with the Battery Powered Electric Vehicle and Investigation of Small-Scale Local Hydrogen Production Using Renewable Energy. Hydrogen Journal 2021,2, pág. 76-100.
- An Evaluation of the Total Cost of Ownership of Fuel
16. Cell-Powered Material Handling Equipment. National Renewable Energy Laboratory (NREL). 2013.
  17. Spatial and Temporal Analysis of the Total Cost of Ownership for Class 8 Tractors and Class 4 Parcel Delivery Trucks. National Renewable Energy Laboratory (NREL). 2021.



