



Transporte Eléctrico de Carga: Análisis de los desafíos para su introducción en Uruguay

# 12 PREGUNTAS QUE DEBERÍAS HACERTE SI ESTÁS CONSIDERANDO COMPRAR UN CAMIÓN ELÉCTRICO

---

Desafíos para el sector empresarial

# AUTORES Y AGRADECIMIENTOS

## RESPONSABLES TÉCNICO - CIENTÍFICOS

Dr. Ing. Martín Tanco – Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Montevideo

Dr. Ing. Daniel Jurburg – director del Centro de Innovación en Organización Industrial (CINOI)

## EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

Martín Levy – estudiante avanzado de ingeniería industrial

Sebastián Rossi – estudiante avanzado de ingeniería industrial

María Sol Cavallieri – estudiante avanzado de ingeniería industrial

## INFORMACIÓN DEL PROYECTO

FSE\_1\_2019\_1\_158846

Fondo Sectorial de Energía (Proyecto) – 2019

“Transporte Eléctrico de Carga: Análisis de los desafíos para su introducción en Uruguay”

Duración: octubre 2020 – abril 2022

## APOYOS Y COLABORADORES



## **Tabla de contenido**

<b>¿Qué es la movilidad eléctrica? .....</b>	<b>6</b>
<b>¿Qué tipos de camiones hay? .....</b>	<b>11</b>
<b>¿Por qué usaría un camión eléctrico? .....</b>	<b>14</b>
<b>¿Por qué usaría un camión eléctrico? .....</b>	<b>18</b>
<b>¿Qué tecnología me conviene? .....</b>	<b>26</b>
<b>La batería del camión, ¿es un problema? .....</b>	<b>30</b>
<b>¿Qué debo tener en cuenta si decido comprar un camión eléctrico a batería? .....</b>	<b>36</b>
<b>¿Qué modelos de camiones a batería hay disponibles en uruguay? .....</b>	<b>43</b>
<b>¿Cómo mejoro la operativa diaria? .....</b>	<b>45</b>
<b>¿Cuándo va a ser viable el camión con celda de combustible de hidrógeno? .....</b>	<b>51</b>
<b>¿Qué debo tener en cuenta si decido comprar un camión a hidrógeno? .....</b>	<b>56</b>
<b>¿Cómo mejoro la operativa diaria? .....</b>	<b>59</b>

## Lista de tablas

Tabla 1: Comparativa entre la situación actual y las principales medidas de mitigación en el sector Transporte establecidas para cumplir los objetivos incondicionales de mitigación de la CDN .....	10
Tabla 2: Comparativa entre tecnologías .....	16
Tabla 3: Oferta de camiones eléctricos a batería y sus características .....	22
Tabla 4: Oferta de camiones eléctricos a hidrógeno y sus características .....	22
Tabla 5: Propiedades de los diferentes tipos de batería ion-litio .....	31
Tabla 6: Modos de carga .....	40
Tabla 7: Tipos de cargadores .....	40
Tabla 8: Proveedores de SAVE en Uruguay .....	41
Tabla 9: Proveedores de SAVE en Uruguay (continuación) .....	42
Tabla 10: Características de la recarga de hidrógeno .....	57

## Lista de figuras

Figura 1: Niveles de maduración de la tecnología. ....	9
Figura 2: Iniciativas de movilidad eléctrica .....	10
Figura 3: Principio de funcionamiento de la celda de combustible.....	20
Figura 4: Consumo de hidrógeno .....	21
Figura 5: Comparación de eficiencias de las tecnologías.....	23
Figura 6: Well to Wheel de las distintas tecnologías.....	24
Figura 7: Red de carga eléctrica en Uruguay .....	39
Figura 8: Tipos de hidrógeno según la fuente de obtención.....	52
Figura 9: Aspectos para considerar un camión eléctrico a hidrógeno .....	61

# Pregunta 1

**¿QUÉ ES LA MOVILIDAD  
ELÉCTRICA?**

---

## **Movilidad eléctrica**

La movilidad eléctrica se refiere a una forma de transportar personas o bienes a través de un vehículo alimentado con electricidad, sin motor de combustión [1]. El vehículo puede ser un auto de pasajeros, autobuses, trenes y camiones y cuentan con un medio para almacenar energía a bordo [2]. En este estudio el enfoque estará dado en la movilidad eléctrica de camiones.

Se consideran dos tecnologías principales de vehículos eléctricos: vehículos eléctricos de batería y vehículos eléctricos con celda de combustible. Por un lado, los BEV funcionan completamente con electricidad y eliminan la necesidad de combustibles fósiles [3]. Por otro lado, los FCEV funcionan con hidrógeno que la pila de combustible convierte en electricidad. Las emisiones pueden ser potencialmente cero carbono dependiendo de la fuente de energía utilizada para obtener el hidrógeno o la energía eléctrica [3].

## **Importancia de la movilidad eléctrica**

La importancia de la electrificación del transporte de carga radica, principalmente, en el crecimiento del sector y los impactos negativos que este crecimiento pueda tener sobre el medioambiente. A nivel mundial, el sector de transporte representa cerca del 64% del consumo mundial de petróleo y el 23% de las emisiones de CO<sub>2</sub> [4]. Estas cifras, al igual que otros contaminantes atmosféricos, se pueden reducir combinando vehículos eléctricos y matriz de generación de electricidad baja en carbono [5].

En América Latina los sectores de servicio mediano y pesado representan cerca del 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y sólo representan el 5% de los vehículos que circulan [6]. En Uruguay, según la publicación del Balance Energético Nacional (BEN), el sector transporte representa el 62% de las emisiones de los sectores generadores de emisiones CO<sub>2</sub> por consumo de combustible [7]. Tanto en Uruguay como en Latinoamérica, el transporte de carga por calle es un sector que está creciendo aceleradamente y es el responsable de una fracción mayoritaria del consumo de petróleo mundial y por lo tanto también el responsable de una fracción significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Es debido a esta situación y a la capacidad de los vehículos eléctricos de reducir las emisiones que la movilidad eléctrica es de gran relevancia hoy en día.

## **Tendencias y estado actual de la movilidad eléctrica en el mundo**

Recientemente, el atractivo de los vehículos eléctricos, tanto para los gobiernos como para los usuarios, hizo que el mercado de vehículos eléctricos creciera en todo el mundo. Los ómnibus fueron el primer y más exitoso caso de electrificación en el mercado de vehículos pesados, pero la creciente demanda de camiones eléctricos está empujando a los fabricantes a ampliar las líneas de productos [6].

En 2020, las matriculaciones de autos eléctricos aumentaron un 41%, mientras que las ventas mundiales de automóviles cayeron un 16%, siendo Europa y China los mercados más grandes [6]. Cuando se trata de vehículos pesados (HDV: Heavy Duty Vehicles), la matriculación ha aumentado un 10% en 2020, alcanzando un stock global de 31.000 vehículos donde China domina el mercado sobre Europa y Estados Unidos [6]. Aunque muchos estudios observan que la electrificación es menos factible en el transporte de carga pesado debido a limitaciones técnicas [8], los fabricantes de camiones como Daimler, MAN, Renault, Scania y Volvo creen que el futuro del transporte será eléctrico [6].

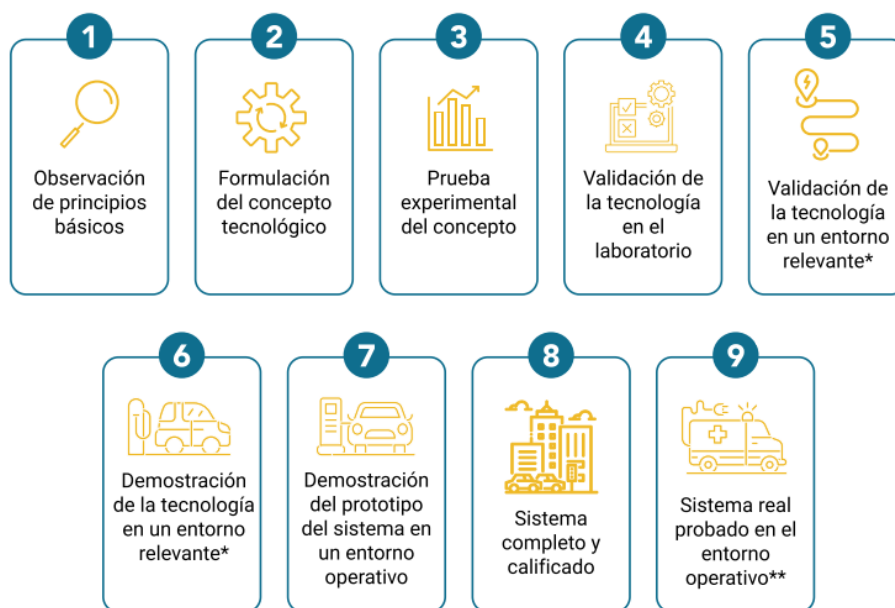
América Latina tiene potencial para aprovechar la tendencia mundial, tanto desde la demanda como desde la oferta de productos y servicios asociados [1]. Por un lado, cuenta con una alta concentración de áreas urbanas, altas tasas de utilización de autobuses y uso de camiones para el transporte de carga y, por otro lado, cuenta con la mayor producción de cobre, las reservas de litio más grandes y, además, cuenta con recursos de energía renovable [1].

En cuanto al estado actual de los vehículos eléctricos a batería en el mundo y en la región, según la Agencia Internacional de Energía (IEA) y los estándares europeos, la tecnología se encuentra en los niveles 8 y 9 de madurez en zonas líderes como China y Europa. En la región de América Latina se tienen niveles 5, 6 y 7, lo cual indica que esta región está en proceso de maduración y mejora continua. Los niveles de maduración se presentan en la Figura 1 [1].

Los vehículos eléctricos a celda de combustible se sitúan con un grado de madurez 6 mayoritariamente en Europa y China, y con un nivel de maduración 3 en América Latina, en base a los avances significativos como el desarrollo de instrumentos de planeación nacional y el desarrollo de proyectos piloto [1]. China cuenta actualmente con el 94% de buses FCEV y el 99% de camiones FCEV del mundo [6].



Figura 1: Niveles de maduración de la tecnología.



## Tendencias y estado actual de la movilidad eléctrica en Uruguay

En Uruguay se incentiva la movilidad eléctrica y la incorporación de energéticos alternativos con el objetivo de lograr la soberanía energética, disminuir las emisiones atmosféricas y la contaminación sonora.

Las condiciones del país son favorables para el desarrollo del transporte eléctrico en cuanto a generación e infraestructura, y es por esta razón que se han desarrollado políticas que promueven la comercialización de esta tecnología [9]. En cuanto a la generación de energía eléctrica, en promedio desde 2016 a 2021, el 95% de la generación es a partir de fuentes renovables, destacando la eólica, hidráulica, solar y biomasa [10]. Del total de la energía demandada, el 27% se utiliza para el sector de transporte.

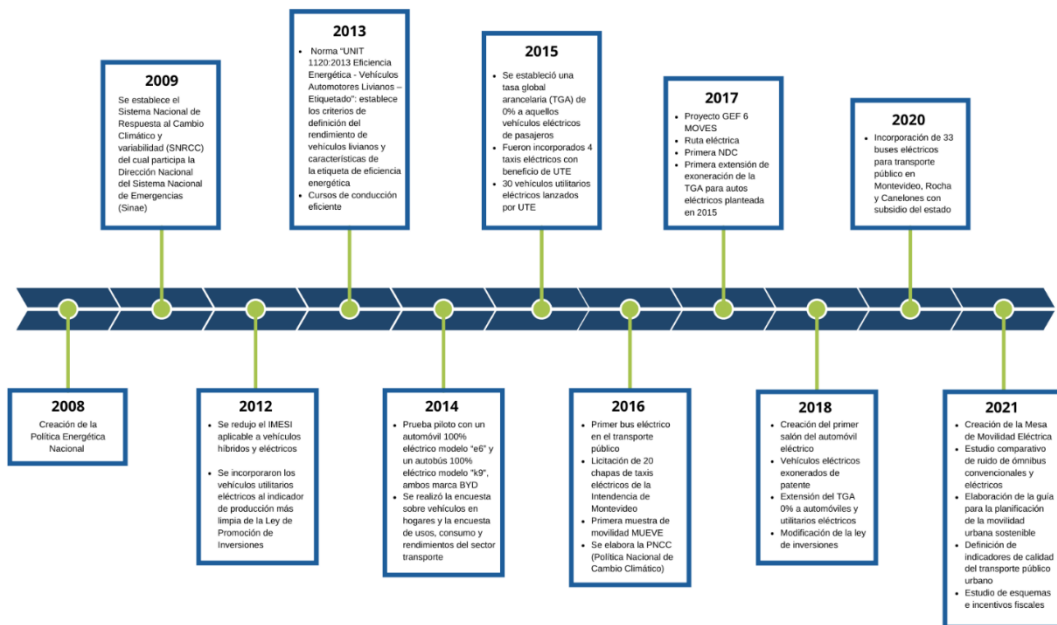
Uruguay fue parte de los países que firmaron el Acuerdo de París y que luego lo ratificaron para afirmar su compromiso con el medio ambiente. En base a esto, el 3 de noviembre de 2017 en Uruguay se aprueba por decreto del poder ejecutivo número 310 la Primera Contribución Determinada (CND) a dicho acuerdo. La Tabla 1 muestra en lo relativo al transporte, una comparativa entre la situación actual y las principales medidas de mitigación en el sector Transporte establecidas para cumplir los objetivos incondicionales de mitigación de la CND [11].

Tabla 1: Comparativa entre la situación actual y las principales medidas de mitigación en el sector Transporte establecidas para cumplir los objetivos incondicionales de mitigación de la CDN

SECTOR TRANSPORTE		
	CND incondicional	Real
Biocombustibles	5% de mezcla de bioetanol en naftas y 5% de mezcla de biodiesel en gasoil	10% de mezcla de etanol anhidro en naftas y 7% de biodiesel en gasoil
Transporte público	15 ómnibus y 150 taxis eléctricos en 2025	33 ómnibus y 62 taxis eléctricos
Vehículos utilitarios	150 unidades a 2025	120 utilitarios de empresas y 92 de UTE
Ruta eléctrica	Ruta eléctrica que cubra con sistemas de alimentación de vehículos eléctricos las rutas nacionales que unen Colonia-Montevideo-Chuy	Actualmente Uruguay ya cuenta con la ruta eléctrica que une dichos puntos

A continuación, se muestra en la Figura 2 una línea del tiempo con las iniciativas que han desarrollado promoviendo la movilidad eléctrica [12].

Figura 2: Iniciativas de movilidad eléctrica



# Pregunta 2

**¿QUÉ TIPOS DE CAMIONES  
HAY?**

---

# Camiones eléctricos y su viabilidad en Uruguay

Un camión eléctrico es un vehículo con uno o más motores eléctricos que se alimenta mediante baterías (cargadas a través de conexión a la red eléctrica) o directamente de celdas de combustible (hidrógeno).

Los vehículos eléctricos de batería (BEV) son un tipo de vehículo que no está equipado con un motor de combustión interna y sólo usa energía proveniente de baterías cargadas de una fuente externa de electricidad [13].

Los vehículos tipo FCEV (vehículos eléctricos de pila de combustible) son vehículos basados en la tecnología de propulsión por hidrógeno. Utilizan la tecnología de las pilas de combustible, lo que significa que durante la reacción del hidrógeno con el oxígeno se produce la energía eléctrica que alimenta el motor. El resultado de este proceso es el agua, que se expulsa al exterior del coche mediante un tubo de escape [13].

Los camiones a batería son 100% viables en Uruguay, aunque la aplicación de estos dependerá de las necesidades de cada empresa y de la oferta de camiones. Por otro lado, los camiones con pila de combustible de hidrógeno aún se encuentran en etapa de investigación y desarrollo. El proyecto piloto H2U, liderado por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) y con participación de UTE y ANCAP, prevé una flota de camiones de hidrógeno que funcione por mínimo diez años para testear la tecnología. Sin embargo, aún hay un camino largo por recorrer y el sector privado tendrá un rol clave dado que la inversión, el montaje de la planta, la provisión de la flota vehicular, el mantenimiento y la ejecución será a cargo de privados ([Novedades sobre el proyecto aquí](#)).

## Electrificación de sectores

Haciendo foco en los camiones eléctricos a batería, dado que son los únicos viables hasta el momento en Uruguay, existe una problemática técnica respecto a electrificar todos los sectores del transporte de carga.

El rango o la autonomía del camión depende de la capacidad de la batería, que a su vez también afecta al tamaño de la batería. Aumentar el tamaño de la batería para extender el rango máximo está limitado por límites legales y económicos sobre el peso del camión [14]. Además, el tiempo de carga aumentará y la capacidad de carga útil se reducirá con baterías más grandes. La capacidad útil es la cantidad de energía que el vehículo puede utilizar para propulsarse y es menor a la capacidad total dado que los fabricantes establecen márgenes para evitar que las baterías se agoten completamente hasta su último electrón porque puede dañarla o acortar su vida útil.

La capacidad de energía se mide mediante la capacidad de una batería (kWh) de entregar una potencia de salida establecida (en kilovatios) durante un período de tiempo (en horas). Las consideraciones de rendimiento para las baterías se basan en las densidades de energía

volumétricas, la potencia específica, la durabilidad y el número de ciclos de descarga que puede soportar una batería antes de perder una importante fracción de la capacidad. La mayoría de las baterías para camiones eléctricos utilizan una de las combinaciones químicas de ion-litio disponibles comercialmente. Estas y otras combinaciones están actualmente en el centro de muchos esfuerzos de investigación para mejorar su rendimiento.

Hoy en día en Uruguay el transporte urbano de servicio mediano de carga es viable y ya hay aplicaciones en el país que lo demuestran. Cuando se trata de servicios pesados (mayor a 15 toneladas), los camiones eléctricos podrían transportar aproximadamente un 40% menos de productos que los camiones a combustión interna considerando el mismo rango de manejo debido al peso de la batería, lo que supone pérdidas económicas importantes.

# Pregunta 3

**¿POR QUÉ USARÍA UN  
CAMIÓN ELÉCTRICO?**

---

## Beneficios

Algunas de las razones por las cuales se debería considerar un camión eléctrico:

**Disminuye el consumo de combustibles fósiles:** al cambiar a camiones eléctricos a batería o a celda de combustible de hidrógeno se reduce el consumo de combustibles fósiles porque el 98% de la energía utilizada para cargar el camión proviene de fuentes renovables en Uruguay [15] y, por otro lado, el hidrógeno que se planea obtener en el proyecto H2U es hidrógeno verde (que sea de tipo verde indica que proviene de una fuente de energía renovable).

**Disminuye la contaminación de gases de efecto invernadero (GEI):** En la actualidad, los BEV brindan reducciones de emisiones de GEI durante el ciclo de vida de alrededor del 20-30% en relación con los vehículos de combustión interna convencionales en un promedio mundial [6] y dicha reducción depende de las emisiones durante la generación de energía.

**Disminuye la contaminación sonora:** el ruido de propulsión es considerablemente menor sin un motor de combustión. Esto tiene mayor impacto cuando los vehículos operan a baja velocidad, como lo hacen normalmente en áreas urbanas, donde la contaminación acústica es la mayor preocupación. A bajas velocidades, los vehículos eléctricos pueden ser hasta 14dB más silenciosos que un vehículo de combustión equivalente, lo que los hace más agradables tanto para el operador como para el vecindario [16].

**Menos gastos en mantenimiento (camiones a batería) y menos paradas por mantenimiento:** Aunque los vehículos eléctricos puros requieren algún mantenimiento programado para sus sistemas eléctricos, esto es mínimo en comparación con el requerido para los camiones de diésel. Esto se debe a que un vehículo eléctrico puro tiene muchas menos partes móviles que un motor de combustión y no hay aceite o fluidos de transmisión que reemplazar. Los sistemas de frenos también duran más que los vehículos convencionales, gracias a sus sistemas de frenado regenerativo. Estos sistemas utilizan el motor del vehículo eléctrico como generador para convertir gran parte de la energía cinética perdida al desacelerar nuevamente en energía almacenada en la batería del vehículo [16].

**Capacidad de entregar un par máximo a cero rpm:** Una característica que es exclusiva de los camiones eléctricos es el par instantáneo o la capacidad de entregar un par máximo a cero revoluciones por minuto (rpm). Esto permite a los camiones eléctricos remolcar y transportar una gran carga útil a velocidades mucho más bajas que los camiones convencionales. A cero rpm, un motor eléctrico puede convertir toda la electricidad en torque, sin ninguna fuerza electromagnética (EMF) que lo frene [16].

**Costos totales de propiedad (TCO):** Un estudio realizado en Uruguay que evalúa los costos totales de propiedad de camiones eléctricos a batería demuestra que se llegará a la

paridad de costos en comparación a los camiones a diésel en 2026, o a más tardar, en 2027, considerando el escenario más desfavorable [17]. Sin embargo, la evaluación de los costos totales se ven muy influenciados por los incentivos y beneficios que se obtengan en el momento de la compra, así como del uso que se le da al camión. Si estás interesado en hacer un análisis comparativo del TCO de camiones eléctricos y diésel, utiliza nuestra herramienta.

## Principales diferencias entre camiones eléctricos y camiones a combustión interna

Los vehículos con motor de combustión interna se distinguen por tener un energético a bordo que emite emisiones de escape a la atmósfera en el momento del uso, tener una gran cantidad de partes móviles y generar contaminación sonora. En esta clasificación se encuentran los vehículos de encendido positivo (o chispa) que utilizan gasolina, gas licuado de petróleo (GLP) o gas natural en forma comprimida (GNC) o licuada (GNL), y los vehículos con motor de encendido por compresión que utiliza diésel o biodiésel (100% o una mezcla de los dos tipos de combustibles) [18].

Por otro lado, los vehículos cero-emisiones se caracterizan por no emitir gases de escape de la fuente de energía en el punto de uso, tener escasas partes móviles y no emitir sonido. Cabe destacar que el término de cero-emisiones contempla la no emisión de otros contaminantes además de los GEI. Sin embargo, no abarca las emisiones asociadas a la generación y distribución del energético ni a los procesos de fabricación de los vehículos.

A continuación, se muestra una tabla comparativa elaborada por Shell y Deloitte [15] donde se muestran las principales diferencias entre las tres tecnologías estudiadas.

Tabla 2: Comparativa entre tecnologías

	DIÉSEL	ELÉCTRICO A BATERÍA	ELÉCTRICO CON CELDA DE COMBUSTIBLE
Energético	Diésel	Batería	Hidrógeno
Tren motriz	ICE	Motor eléctrico	Motor eléctrico
Combustible de uso directo	N/C	No	No
Carbón-cero	No	Sí	Sí
Autonomía (km)	>15000	~200 ~800 (planificado)	400-1200
Peso del tren motriz (kton)	~3	~2,2 ~4,9	~3,6
Tiempo de recarga (h)	0,3-0,4	>3 >7	0,3-0,4
TCO y costo inicial del camión			

■ En/por encima de la paridad   
 ■ Apenas por debajo de paridad   
 ■ Debajo de paridad



Cabe destacar que la autonomía de 800 km para un camión eléctrico a batería fue puesta en virtud del Tesla Semi. Los tiempos de recarga fueron calculados con cargadores rápidos de 150kW. Si se usan cargadores lentos el tiempo puede aumentar hasta en siete veces. El peso del tren motriz incluye motor, sistema de enfriamiento, transmisión y combustible/baterías. Se suponen baterías de 270 kWh y 1100 kWh para BEV (correspondientes a las dos columnas que se muestran en el gráfico), se supone un paquete de baterías de 250 kWh para FCEV, la densidad de energía del paquete de baterías de 0,25 kWh/kg y el consumo de energía de 1,15 kWh/km con un 85% de uso de la batería. Finalmente, se asume que el motor eléctrico y la caja de cambios son 600 kg, y la pila de combustible eléctrica se asume que 470 kg.

# Pregunta 4

**¿CÓMO FUNCIONAN LOS  
CAMIONES ELÉCTRICOS?**

---

# Funcionamiento de las tecnologías

## Eléctrico a batería

A continuación, se detallan los procesos que ocurren cuando se enciende un camión eléctrico [19]:

1. Cuando el conductor gira parcialmente la llave, los iones y electrones de las baterías de alto voltaje están disponibles para alimentar el camión.
2. Una vez que el conductor gira la llave por completo (como si "arrancara" el camión), el sistema de alto voltaje envía energía al tren motriz.
3. Al presionarlo, el acelerador envía una señal de software al inversor, un interruptor que se abre y cierra rápidamente para convertir una señal de corriente continua (CC) en corriente alterna (CA).
4. La energía de CA energiza el motor eléctrico y crea torque. La energía de rotación se alimenta al tren motriz eléctrico, lo que hace que las ruedas giren y el vehículo se acelere.
5. Además del frenado estándar, el camión se puede detener mediante la recuperación del freno, también conocido como frenado regenerativo en los vehículos eléctricos de pasajeros. Esto permite que las baterías se recarguen. La energía viaja desde los motores eléctricos hasta el inversor y regresa a las baterías.

Los camiones a batería, a diferencia de los camiones diésel convencionales, tienen muchas baterías en todo el vehículo y tienen un sistema de control para optimizar su carga balanceada y su uso. Las baterías son de dos tipos:

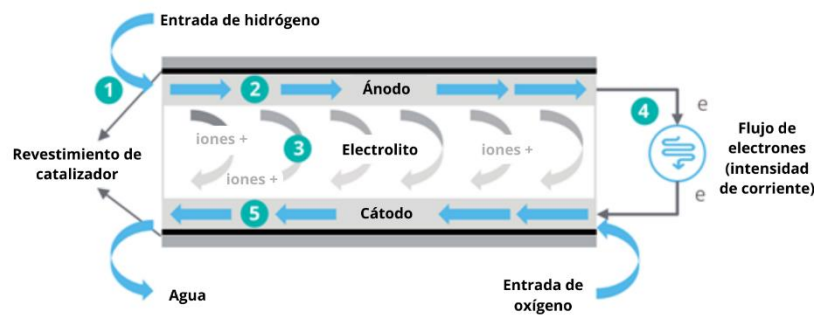
**Baterías de alto voltaje** [19], [20]: Estas baterías le dan a un camión eléctrico su "marcha". Suelen estar ubicadas entre los rieles del marco y alimentan muchas partes del vehículo. Por ejemplo, estas baterías accionan de uno a tres motores eléctricos (según la configuración), así como un compresor de aire eléctrico, que proporciona presión de aire para los frenos neumáticos y el sistema de suspensión del camión.

**Baterías de bajo voltaje** [19]: Las baterías de bajo voltaje, generalmente ubicadas debajo del capó de un camión eléctrico, alimentan componentes de bajo voltaje, como los controles en el tablero y varios sistemas integrados.

## Eléctrico a hidrógeno

En los camiones eléctricos alimentados con hidrógeno el sistema de propulsión es accionado por celdas de combustible a bordo en donde la energía se convierte en electricidad a partir del gas mencionado. Adicionalmente, estos vehículos cuentan con una batería para los momentos en que se necesita energía adicional y cuando el vehículo necesita recuperar energía eléctrica de la energía de los frenos [21].

Figura 3: Principio de funcionamiento de la celda de combustible



A continuación, se explica el fenómeno que ocurre en la celda de combustible a partir de la cual se obtiene energía para accionar al motor eléctrico [22].

**Paso 1:** las moléculas de hidrógeno, que se encuentran almacenadas como gas comprimido en los tanques a bordo del camión, primero ingresan al electrodo de hidrógeno (llamado ánodo) de la celda de combustible.

**Paso 2:** las moléculas de hidrógeno luego reaccionan con el catalizador que recubre el ánodo, liberando electrones para formar un ion de hidrógeno cargado positivamente.

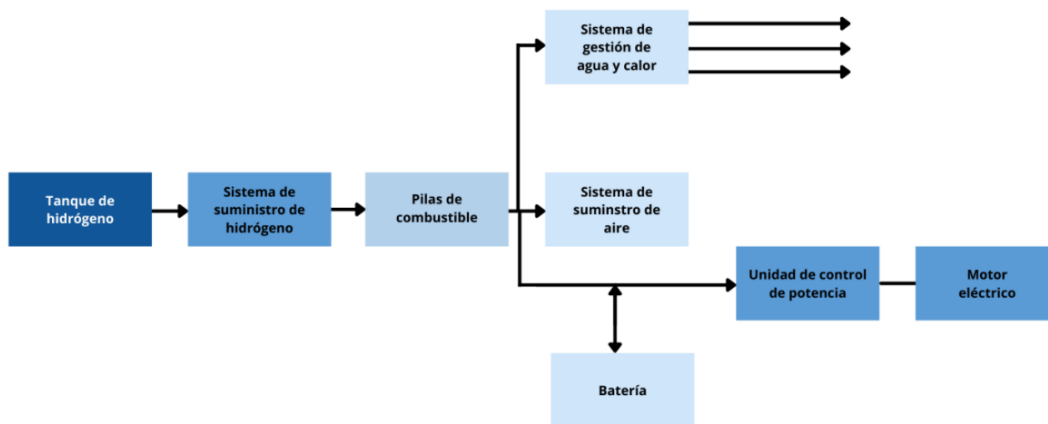
**Paso 3:** los iones cruzan el electrolito y llegan al oxígeno en el segundo electrodo (llamado cátodo).

**Paso 4:** los electrones que no pueden pasar el electrolito fluyen hacia un circuito eléctrico, generando la energía del sistema de pila de combustible.

**Paso 5:** en el cátodo, el catalizador hace que los iones y electrones de hidrógeno se unan con el oxígeno del aire para formar vapor de agua, que es el único subproducto del proceso. El vapor de agua se descarga a través del tubo de escape junto con el nitrógeno que ingresó a la pila de combustible en el aire.

Aunque secundarios, la celda de combustible también alimenta un sistema de suministro de aire, que se compone de un filtro de aire, un compresor de aire y humidificadores proporciona oxígeno a la celda y un sistema de gestión del agua y del calor que tiene circuitos separados de agua y refrigerante usados para eliminar el calor residual y los productos de la reacción (agua). Además, a través de este sistema se puede transportar el calor a la cabina del vehículo y mejorar la eficiencia. En la Figura 4 se puede ver un esquema de lo explicado anteriormente.

Figura 4: Consumo de hidrógeno



Las pilas de combustible suelen clasificarse según el tipo de electrolito utilizado. Los tipos típicos de electrolitos de celdas de combustible incluyen [22]:

- La membrana de intercambio de protones ("PEM")
- La celda de combustible alcalina ("AFC")
- La celda de combustible de ácido fosfórico ("PAFC")
- Las celdas de combustible de óxido sólido ("SOFC")
- El carbonato fundido pila de combustible ("MCFC")

De estos, el PEM es el tipo más comercializado en la actualidad, debido a su baja temperatura de funcionamiento (50-100 ° C), su corto tiempo de inicio y la facilidad de uso de su oxidante (aire atmosférico).

## Autonomía

### Eléctrico a batería

Algunas especificaciones de los fabricantes que desean ingresar al mercado de las carretillas eléctricas de batería se recopilan de Internet. La mayoría de los modelos se encuentran en la etapa de creación de prototipos, pruebas en carretera o recién comenzaron a comercializarse. Debido a esto, los valores de la Tabla 3 se basan en los rendimientos declarados por los fabricantes. La mayoría de los modelos encontrados están diseñados para aplicaciones de reparto urbano, con un rango de autonomía inferior a 300 km, para favorecer la capacidad de carga útil.

Tabla 3: Oferta de camiones eléctricos a batería y sus características

Marca	Modelo	Peso bruto (ton)	Capacidad de la batería (kWh)	Autonomía (km)	Consumo de electricidad (kWh/km)
Freightliner	eCascadia	36,2	475	400	1,19
Freightliner	eM2	11,8	315	370	0,85
Volvo	VNR electric	29,9	300	120-281	1,06-2,50
Workhorse	C-650 & C-1000	5,7	70	160	0,44
Tesla	Semi	36,2	500	480	1,04
Tesla	Semi	36,2	1100	800	1,38
BYD	T3	2,8	43	250	0,17
BYD	T5	7,3	150	250	0,60
BYD	T7	10,8	175	200	0,88
BYD	J9D	36,2	175	100	1,75
BYD	T9	36,2	350	200	1,75
Mercedes	eActros	25	240	200	1,20
Farizon	E200X	9	107	250	-
JAC	1063 EV1	6,49	97	200	-
Dong Feng	e-Don	Carga útil: 4 a 8	98	150-250	-
Dong Feng	e-Tuyi	Carga útil: 4,5	56	200	-

## Eléctrico a hidrógeno

Existen algunos proyectos completados de camiones eléctricos de pila de combustible en Europa y Estados Unidos. Si bien es ciertamente demasiado pronto para obtener valores de rendimiento en un número sustancial de kilómetros, se dan algunas especificaciones para algunos de ellos, como se enumera en la Tabla 4. En comparación con los modelos eléctricos de batería descritos en la sección anterior, los camiones FCEV están diseñados con una mayor autonomía, comprendida principalmente entre 200 y 400 km.

Tabla 4: Oferta de camiones eléctricos a hidrógeno y sus características

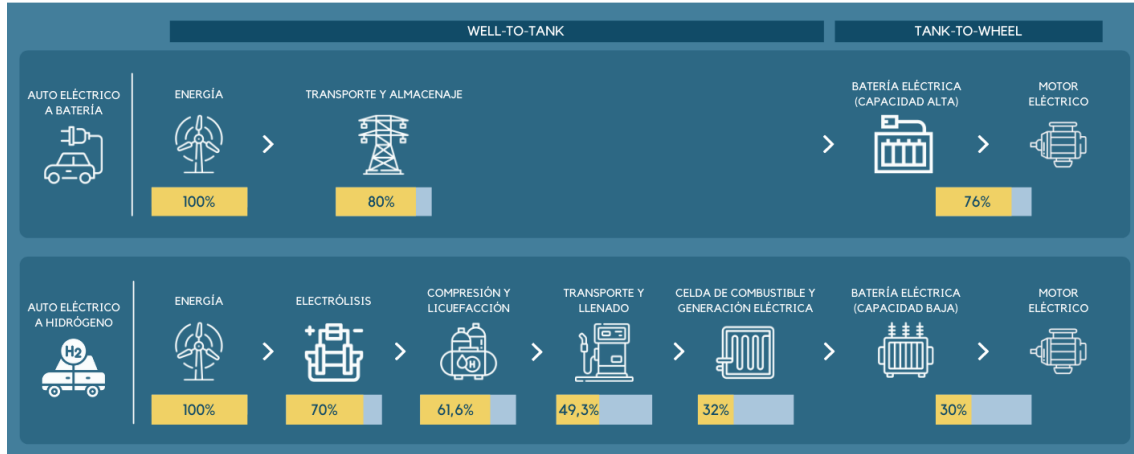
Marca	Modelo	Peso bruto (ton)	Capacidad del tanque de hidrógeno (kg H <sub>2</sub> )	Potencia pila de combustible (kW)	Capacidad de la batería (kWh)	Autonomía (km)	Consumo de electricidad (kWh/km)
MAN	TGS 18.320	34	31	100	120	375	2,76
Hyundai	Xcient	36	34,5	190	73	400	2,88
Renault	Maxity H2	4,5	4	20	42	200	0,67
VDL	H2-Share	27	30	88	84	400	2,50
Scania	H2 Truck	27	33	90	56	400	2,75
Kenworth	T680	36	30	85	100	320	3,13
UPS	H2 Truck	12	10	31	45	200	1,67

## Eficiencia de las tecnologías

En cuanto a eficiencia, el estudio realizado por Smart Freight Centre [3] revela una comparación entre ambas tecnologías basada en las pérdidas energéticas desde la obtención de la energía hasta su uso final. Este estudio se realizó para vehículos de pasajeros, pero se puede trasladar los valores aproximados a camiones de carga dado que esencialmente la tecnología es la misma. De este estudio se extrae y traduce la Figura 5, en la que se observa el porcentaje de eficiencia en cada fase de producción y utilización.

En el caso del hidrógeno, las múltiples fases y procesos, y las bajas eficiencias de estos, hacen que la eficiencia global sea sensiblemente más baja, siendo 30% frente al 76% correspondiente a la tecnología de batería eléctrica.

Figura 5: Comparación de eficiencias de las tecnologías



## Impacto medioambiental de los camiones

Para responder esto, se debe tener en cuenta el ciclo de vida total del vehículo, incluidas las materias primas, la producción y el uso. Un camión eléctrico (cualquiera de las dos tecnologías) produce cero emisiones en el tubo de escape sin embargo hay emisiones que se liberan durante la producción y durante la conducción (neumáticos, frenos, desgaste de la carretera...). Sin embargo, el 90% aproximadamente del impacto ambiental del ciclo de vida de un camión diésel proviene del uso y los camiones que funcionan con electricidad de fuentes renovables tienen un impacto mucho menor [2].

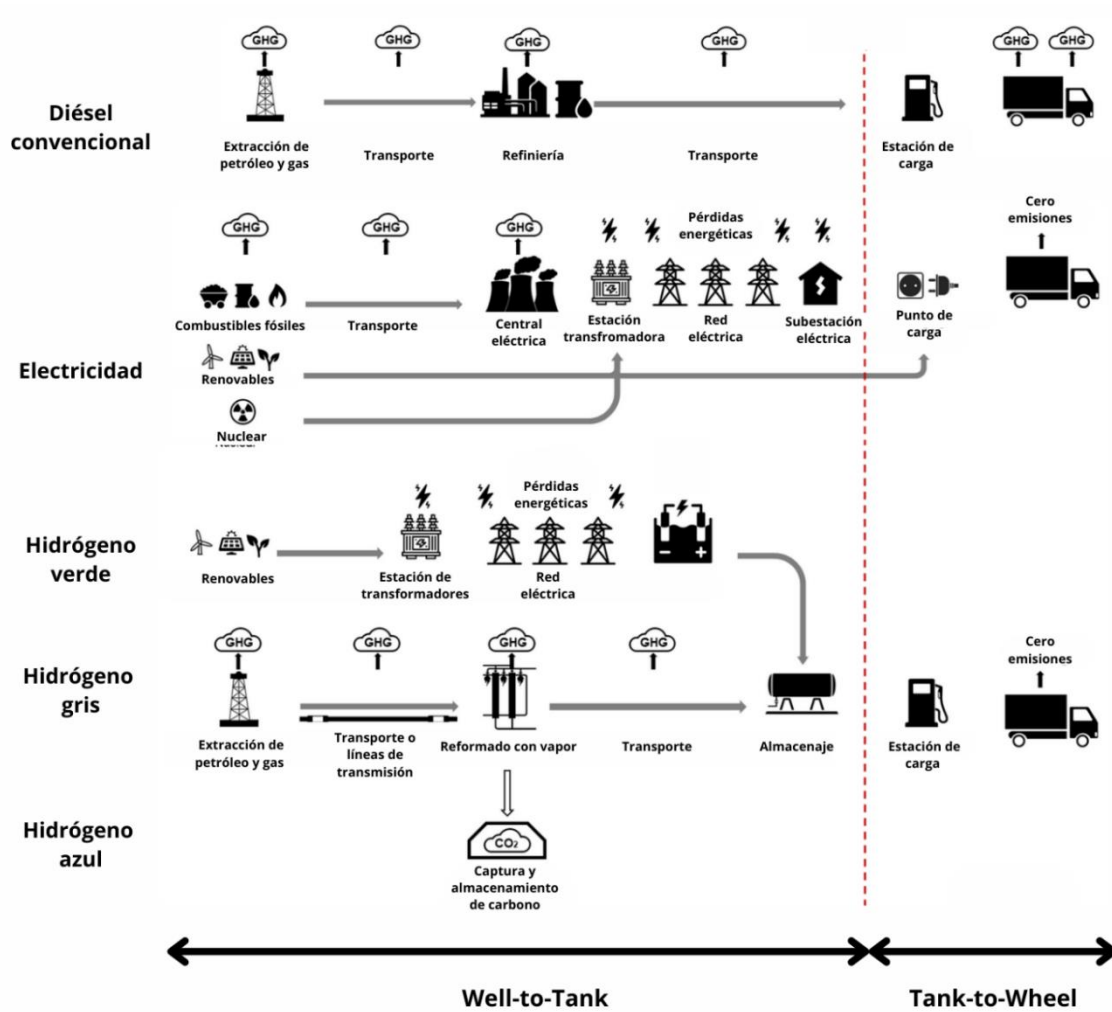
El ciclo de vida de un camión se puede descomponer en cuatro fases que se detallan a continuación [23].

**Producción:** se deben tener en cuenta los materiales utilizados, los procesos a los que se someten los materiales y su respectivo uso de combustibles, emisiones y lugar en donde son producidos, entre otros [23]. Las emisiones de GEI de la fabricación del sistema de pilas de combustible representan aproximadamente la mitad de las emisiones de GEI del proceso de fabricación y eliminación de FCEV [22]. Por otro lado, la fabricación de la batería representa las mayores emisiones de GEI del ciclo de vida de BEV dado que requiere extraer y refinar metales de tierras raras y consume mucha energía debido al alto calor y las condiciones estériles involucradas [22]. En el proceso de producción de baterías, casi el 50% de las emisiones de GEI provienen del ensamblaje y fabricación de batería, mientras que la mitad restante proviene principalmente del proceso de extracción, refinación y procesamiento de materias primas [22].

**Operación:** el factor determinante del impacto medioambiental es el energético utilizado. Para calcular el impacto de dichos combustibles se diferencian las operaciones

involucradas en el Well-to-Tank (desde la obtención del energético hasta el almacenamiento) y aquellas que forman parte del alcance del Tank-to-Wheel (desde el almacenamiento hasta el uso). A continuación, se muestra un esquema de ambos análisis [18].

Figura 6: Well to Wheel de las distintas tecnologías



En cuanto a los BEV, los resultados favorables se muestran cuando la energía es renovable dado que en este caso las pérdidas se dan únicamente en las estaciones eléctricas y en el abastecimiento. Por otro lado, el hidrógeno se puede generar con diversos métodos que condicionan el nivel de emisiones. El hidrógeno llamado “gris” se obtiene a partir de metano fósil en un proceso denominado Reformación de Metano con Vapor (SMR, por sus siglas en inglés). En este proceso las emisiones de GEI son altas y son liberadas al ambiente. En esta metodología, todas las fases hasta el almacenamiento generan emisiones. El hidrógeno “azul” se obtiene de la misma forma que el gris con la diferencia que se capta el dióxido de carbono generado en el proceso SMR. De esta forma, las emisiones disminuyen considerablemente. Por último, el hidrógeno verde se genera a



partir de fuentes de energía renovables en donde las emisiones son nulas a lo largo de la trayectoria del combustible [18].

**Mantenimiento:** debe tenerse en cuenta principalmente el cambio de neumáticos, dado que otras operaciones tales como el cambio de aceite, de baterías de arranque y de pastillas de freno representan entre el 0 y 0,3% de las emisiones de esta fase [23].

**Recuperación o fin de ciclo:** los impactos ambientales negativos durante el proceso de eliminación provienen principalmente de la contaminación de materiales metálicos y el consumo de energía de reciclaje [22]. Cabe señalar que los FCEV y BEV tienen la posibilidad de reducir la huella de carbono y disminuir los impactos negativos en el medio ambiente si los materiales utilizados en la pila de combustible y la batería se reciclan bien. Normalmente, los FCEV tienen menos emisiones de GEI que los BEV durante el proceso de eliminación a pesar de que las tecnologías de reciclaje involucradas en los sistemas de pilas de combustible aún se encuentran en etapas tempranas [22]. Hay 3 métodos principales para darle fin a la vida útil de una batería en un BEV, que son la reutilización, el reciclaje y la eliminación. La reutilización, o aplicación de segunda vida, se puede aplicar a la batería de iones de litio, que retiene una parte de su capacidad original después de ser retirada del vehículo. Esta batería se puede usar en aplicaciones de almacenamiento estacionario, pero eventualmente la batería llegará al final de su vida útil y será necesario reciclarla o desecharla [22]. Por otro lado, medida que crece la industria de los vehículos eléctricos, el reciclaje de baterías también puede volverse más factible. Al reciclar baterías, los materiales para producir una batería nueva podrían resultar en reducciones en las emisiones de GEI de hasta un 50% en todo el proceso de producción de la batería [22].

# Pregunta 5

**¿QUÉ TECNOLOGÍA ME  
CONVIENE?**

---

## Uso de cada tecnología




Es imprescindible analizar las operaciones de la empresa para decidir qué tecnología es conveniente. Hasta el momento, a pesar de los grandes esfuerzos y avances a nivel país con el hidrógeno, la única tecnología disponible en Uruguay es la eléctrica a batería.

El criterio principal para determinar si el almacenamiento de energía a bordo debe ser celdas de hidrógeno o baterías es que el vehículo escogido alcance el rango operativo requerido sin la necesidad de recargar en el medio o que esté prevista una parada suficientemente larga [24]. Las autonomías disponibles para camiones BEV en Uruguay se detallan en la [Pregunta 8](#).

Los camiones totalmente eléctricos a batería son ideales para transportar mercancías dentro y alrededor de las ciudades en rutas predefinidas que incluyen un regreso a la base de operaciones al final de la jornada laboral para cargarlas [2]. La distribución, la construcción urbana y la recolección de basura son ejemplos de segmentos que han sido los primeros en adoptar camiones eléctricos a batería [2]. Por contraparte, aún no son viables en el transporte de larga distancia, debido a la falta de infraestructura de carga, y las aplicaciones de transporte pesado en las industrias de la madera, la construcción y la minería [2]. En estas aplicaciones el camión con celdas de hidrógeno está en ventaja frente al eléctrico dado que la pila y los tanques juntos pesan mucho menos que una batería por lo que la carga útil es correspondientemente mayor. Además, facilita las operaciones porque tiene un tiempo de llenado de combustible muy parecido al diésel [25]. Por ejemplo, el camión XCIENT de Hyundai tiene un peso bruto de 36 toneladas puede recorrer 400 km entre recargas, lo que lleva entre 8 y 25 minutos [24].

## Beneficios y desafíos

Principales beneficios [20]:

		
<b>EMISIONES</b>	<b>SENCILLEZ</b>	<b>FIABILIDAD</b>
Este tipo de vehículos no emiten contaminantes de escape, CO <sub>2</sub> , ni dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ), aunque la fabricación de baterías incide negativamente en la huella de carbono, lo cual es un desafío que permite continuar desarrollando y mejorando los sistemas de producción.	El número de elementos del motor es menor, lo que conlleva un mantenimiento mucho más económico. Los motores son más simples y compactos, no necesitan circuito de refrigeración, y tampoco es necesario incorporar cambio de marchas, embrague o elementos que reduzcan el ruido del motor.	Tener menos componentes y más sencillos hace que este tipo de vehículos tengan menos averías. Además, los vehículos eléctricos no sufren el desgaste inherente producido por las explosiones del motor, las vibraciones o la corrosión del combustible.



La autonomía, la infraestructura del hidrógeno y el tiempo de carga y el tamaño y capacidad de la batería son los principales desafíos que tienen ambas tecnologías para implementarse ampliamente.

## TCO e importancia

El TCO (Total Cost of Ownership) es el Costo Total de Propiedad y, en el caso de camiones eléctricos, incluye tanto el gasto capital de comprar el vehículo como todos los costos operativos durante la vida útil o el período de propiedad [26]. La paridad de costos se produce si el TCO de la tecnología alternativa, eléctrico a batería (BEV) o a celda de combustible (FCEV), es el mismo o menor en comparación a la tecnología convencional [26].

Si bien el concepto de TCO parece sencillo, la aplicación no es simple y los tomadores de decisiones pueden tener problemas con preguntas sobre qué elementos de costo incluir y cómo obtener datos confiables [26]. Además, muchos elementos son muy inciertos o desconocidos, incluidos los precios futuros del combustible y la electricidad, el uso futuro y la vida útil de los vehículos, el rendimiento y la confiabilidad de las nuevas tecnologías, y los incentivos y las políticas fiscales existentes o pendientes [26].

Si bien el TCO es una herramienta útil para el análisis, deben considerarse la disponibilidad de capital y las necesidades operativas de la flota. Si una nueva tecnología tiene un TCO más bajo pero cuesta el doble, comprar la nueva tecnología puede significar renunciar a un segundo reemplazo de vehículo necesario, por ejemplo.

Del TCO se puede desprender un análisis de tiempo de recuperación o “payback”, que depende en gran medida del segmento y del mercado. Los camiones eléctricos tienen un costo inicial más alto, pero también ofrecen nuevas oportunidades para que las empresas de transporte mejoren la productividad y abran nuevas áreas de negocio. Los bajos costos variables conducirán a una mayor rentabilidad cuanto más se use el camión. Una vez amortizada la alta inversión inicial, los camiones eléctricos tienen bajos costos variables, lo que también tiene un impacto positivo en la rentabilidad [2].

En el marco de este proyecto, se ha desarrollado una herramienta TCO para uso público en donde el usuario podrá conocer todos los costos de adquirir un camión eléctrico comparado con un camión convencional. Esta herramienta se puede utilizar de forma gratuita en el sitio web del proyecto (<https://www2.um.edu.uy/camiones-tco/home>)

## Costos durante el ciclo de vida del camión

ADQUISICIÓN

PATENTE

SEGURO

BATERÍA EXTRA (SI CORRESPONDE)

MANTENIMIENTO

COMBUSTIBLE (ENERGÍA O HIDRÓGENO)

# Pregunta 6

**LA BATERÍA DEL CAMIÓN,  
¿ES UN PROBLEMA?**

---

## Tipos de baterías

La mayoría de las baterías para camiones eléctricos utilizan una de las combinaciones químicas de ion litio disponibles comercialmente. Estas y otras combinaciones están actualmente en el centro de muchos esfuerzos de investigación y están logrando cambios considerables en el rendimiento de la batería. Las principales combinaciones químicas difieren en el cátodo y se muestran en la Tabla 5 [27].

Tabla 5: Propiedades de los diferentes tipos de batería ion-litio

Material del cátodo	Densidad de energía (Wh/kg)	Ciclos de carga y descarga
óxido de litio-cobalto (LCO)	150-200	500-1000
óxido de litio-manganeso (LMO)	100-150	300-700
óxido de litio-níquelmanganeso-cobalto (LiNMC)	150-220	1000-2000
fosfato de hierro-litio (LiFePO4)	90-120	1000-2000
óxido de litio-níquel-cobaltoaluminio (LiNCA)	200-260	~500

Las baterías de ion-litio proporcionan altas densidades de energía. En la Tabla 5 se pueden apreciar las propiedades energéticas de cada material junto con la esperanza de vida, indicado en ciclos de carga y descarga. Es a través de estos tipos de baterías, las emisiones de producción, la densidad de energía y la esperanza de vida que se produce un compromiso entre la autonomía del vehículo y la vida útil de la batería.

Mirando hacia el futuro, se espera una gran mejoría en la densidad de energía y en el ciclo de vida de las baterías de ion-litio. Además, existe también una posibilidad de utilizar nuevas combinaciones químicas como el titanato de litio, ion-sodio e ion-aluminio, que podrían tener una densidad de energía y esperanza de vida superiores a las convencionales [27].

## Características de las baterías

Las principales características de las baterías son las siguientes:

**Capacidad:** La capacidad de la batería representa la cantidad máxima de energía que se puede extraer de la batería bajo ciertas condiciones específicas. Esta unidad puede expresarse en amperios hora (Ah) o en vatios hora (Wh), aunque esta última es la más utilizada por los vehículos eléctricos.

**Estado de carga:** Se refiere al nivel de la batería con respecto a su capacidad al 100%.

**Densidad de energía:** Es la energía que una batería puede suministrar por unidad de volumen (Wh/L). Obtener la mayor densidad de energía posible es otro aspecto importante en el desarrollo de las baterías, es decir, que con el mismo tamaño y peso una batería es capaz de acumular una mayor cantidad de energía.

**Energía específica:** La energía que una batería puede proporcionar por unidad de masa (Wh/kg). Algunos autores también se refieren a esta característica como densidad de energía, y se puede especificar en Wh/L o Wh/kg.

**Ciclos de carga:** un ciclo de carga se completa cuando la batería se ha usado o cargado al 100%.

**Esperanza de vida o vida útil:** se mide en el número de ciclos de carga que puede contener una batería. El objetivo es obtener baterías que puedan soportar un mayor número de ciclos de carga y descarga.

**Resistencia interna:** los componentes de las baterías no son conductores 100% perfectos, lo que significa que ofrecen cierta resistencia a la transmisión de electricidad. Durante el proceso de carga, parte de la energía se disipa en forma de calor (es decir, pérdida térmica). El calor generado por unidad de tiempo es igual a la potencia perdida en la resistencia, por lo que la resistencia interna tendrá un mayor impacto en cargas de alta potencia. Por lo tanto, se perderá más energía durante los procesos de carga rápida en comparación con los lentos. Por esto, es muy importante que las baterías puedan soportar una carga rápida y temperaturas más altas inducidas debido a la resistencia interna. Además, la disminución de esta resistencia puede reducir el tiempo de carga que se requiere, que es uno de los inconvenientes más importantes de este tipo de vehículos en la actualidad.

**Eficacia:** es el porcentaje de potencia que ofrece la batería en relación con la energía cargada.

## Tiempo de carga de las baterías

Los BEV almacenan en baterías energía, medida en kWh, que luego es utilizada por el motor. Los BEV almacenan energía en baterías, medida en kWh, que luego es utilizada por el motor eléctrico. El factor determinante de la velocidad de carga de las baterías de estos vehículos es la potencia eléctrica suministrada. Es medida en kW, e indica cuanta energía por unidad de tiempo se le está suministrando a la batería. A partir de estos dos datos, y con la siguiente ecuación (Ecuación 1), se puede estimar el tiempo de carga del vehículo:

*Ecuación 1: Tiempo de carga de un vehículo eléctrico*

$$t_{carga} = \frac{\text{Energía a recargar}}{\text{Potencia suministrada}}$$



Por ejemplo, si se carga un camión BYD T6, que tiene una batería con capacidad para 120 kWh, con una potencia de 96 kW, se estima que se cargará de 0% a 100% en 1,25 horas.

Esta fórmula se cumple aproximadamente entre el 20% y el 90% del estado de carga (State of Charge: SoC), mientras que fuera de estos valores el tiempo es más prolongado.

### **Relación autonomía – peso de la batería**

En un estudio realizado por ICCT (International Council on Clean Transportation) se compara la autonomía con el peso de la batería [28]. Para esto, toma una carga útil de referencia, una carga útil mínima y una carga útil máxima para cada tamaño de batería. En comparación con las cargas útiles de referencia, las cargas útiles bajas mejoran la autonomía de conducción entre un 32% y un 36% para cualquier tamaño de batería [32]. Por el contrario, se observa una reducción menos sustancial del rango de conducción para camiones con carga útiles máximas, que oscila entre el 6% y el 13%.

### **Efectos de la temperatura en la autonomía**

Las necesidades térmicas de los vehículos eléctricos pueden tener un impacto considerable en la autonomía de conducción, especialmente en condiciones meteorológicas extremas [28]. Un estudio realizado por el ICCT [28] compara dos temperaturas extremas (-7°C y 35°C) con una temperatura de clima moderado de 15°C para tamaños de batería desde 300kWh hasta 1000kWh.

Los efectos en la autonomía es una consecuencia directa de la dependencia de las propiedades eléctricas de la batería de la temperatura y del consumo de energía de la batería y los sistemas de gestión térmica de la cabina para mantener una temperatura de 20 ° C.

Para tamaños de batería más grandes, el sistema de gestión de la batería (TMS: Thermal Management System) requiere más energía para mantener la temperatura de las celdas de la batería dentro del rango deseado, lo que resulta en un mayor impacto en el rango de conducción. Las condiciones climáticas cálidas y frías registran un impacto similar en el rango de conducción a pesar de que la diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente y la temperatura establecida en la cabina para un escenario de clima frío es mayor. Esto se debe principalmente a la diferencia en el coeficiente de rendimiento del circuito de acondicionamiento térmico de la batería.

Ejemplos de % de reducción de la autonomía para distintas temperaturas:

Batería de 300kWh --- 3% para -7°C y 35°C

Batería de 1000kWh --- 8% con 35°C y 9% con -7°C

## Costo de baterías y tendencias

Investigaciones del Laboratorio Nacional de Lawrence Berkeley, la Universidad de California-Los Ángeles y la Universidad de California-Berkeley [29] muestran que los costos en las baterías de camiones han disminuido un 85% en la última década y que estos costos tienden a seguir bajando. Esta tendencia de costos es la razón principal por la que la tecnología eléctrica de baterías tiene actualmente una ventaja sobre la otra opción líder de cero emisiones, los camiones de celda de combustible de hidrógeno, que carecen de una amplia infraestructura de reabastecimiento de combustible y enfrentan otros desafíos para la adopción a gran escala.

Los precios internacionales de los paquetes de baterías son actualmente de 135 USD por kilovatio-hora (kWh), alcanzables para los fabricantes que producen camiones eléctricos a escala [29]. Aun así, actualmente el precio de un camión eléctrico es mayor al precio de un camión diésel, pero los costos iniciales continuarán cayendo a medida que las baterías se vuelvan más económicas. Se espera que los precios promedio de las baterías alcancen los 60 USD/kWh entre 2025 y 2030 [29]. Esta disminución, junto con las mejoras en el diseño de los vehículos y otras políticas habilitadoras, significa que los camiones eléctricos podrían ofrecer hasta un 50% menos de costo total de propiedad por milla en comparación con los camiones diésel convencionales.

## Vida útil de las baterías

La depreciación de las baterías eléctricas tiene un impacto significativo en la depreciación física de los camiones eléctricos [30]. La investigación de la confiabilidad de la batería de potencia implica la estimación del estado de carga (SOC) y la estimación del estado de salud (SOH).

El SOH es un índice que se puede calcular según la Ecuación 2.

*Ecuación 2: Estado de salud de una batería (SOH)*

$$SOH = \frac{R_t}{R_0}$$

Donde  $R_t$  es la autonomía estimada en km del viaje número  $t$  y  $R_0$  es la autonomía estimada en km cuando el camión fue cargado por primera vez por el usuario [30].

Los principales factores que afectan el SOH son [31]:

- Tiempo
- Temperaturas elevadas
- Operar en niveles altos y bajos de batería
- Cargar el camión con alta intensidad
- Uso: los ciclos de la batería

Según las descripciones de los fabricantes y la literatura existente, una vez que las baterías para automóviles eléctricos alcanzaron el 70-80% de su capacidad nominal, se considera que su función como baterías de primera vida para vehículos eléctricos ha llegado al final. Resultados similares son de esperar para camiones eléctricos. La razón principal es que a partir de este momento se reducirán el kilometraje y la velocidad disponibles para el vehículo. Se estima que esta degradación ocurre después de 5-8 años de uso o equivalente a 160.000km de viaje. Sin embargo, las baterías de vehículos eléctricos retiradas, incluso con menor SOH, podrían reutilizarse en otras aplicaciones, como hogares residenciales o variación de energía en plantas fotovoltaicas a escala de red. Se estima que pueden funcionar otros 7 a 10 años en estas aplicaciones antes de llegar al final de su vida útil y sea necesario reciclarlas [31]. Otra estimación, compartida por Sadar al equipo CINOI, indican que los camiones pueden llegar a completar 2000 ciclos de carga y descarga, lo cual podría implicar mayores kilómetros totales recorridos al final de la vida útil del camión.

Vale la pena mencionar que no todos los propietarios de vehículos eléctricos cambiarán sus baterías a pesar de que el rendimiento de la batería cae por debajo del 70-80% de su capacidad original, ya que es posible que no necesiten la capacidad total para llegar a sus destinos. Sin embargo, eventualmente, todas las baterías de los BEV deben ser reemplazadas [32].

## Disposición de batería

La promoción de la electromovilidad conlleva el ingreso al país de nuevas tecnologías de baterías, siendo la más utilizada en la actualidad la tecnología de ion de litio. Esto requiere de un marco regulatorio para el adecuado manejo de dichas baterías, una vez que cumplan su vida útil en el vehículo eléctrico.

La adecuación de la normativa de baterías usadas actual (Decreto 373/003), la cual regula el manejo y disposición final de baterías plomo-ácido, es una de las iniciativas que el Proyecto MOVÉS realiza en conjunto con la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA).

En este sentido, ya fue elaborada una propuesta de reglamentación base, la cual se encuentra a la espera de revisiones para ser aprobada.

Uno de los puntos clave es la instrumentación de la responsabilidad extendida del importador/fabricante de la batería, luego de que esta cumplió su vida útil. En caso de no existir capacidades nacionales para una adecuación y segunda vida, o eventual reciclaje y disposición final, el importador/fabricante de la batería deberá asegurarse de que dicha valorización sea realizada en el exterior.

# Pregunta 7

**¿QUÉ DEBO TENER EN CUENTA SI DECIDO COMPRAR UN CAMIÓN ELÉCTRICO A BATERÍA?**

---

## Incentivos en Uruguay

Uruguay actualmente incentiva la movilidad eléctrica y la incorporación de energéticos alternativos con el objetivo de lograr la soberanía energética, disminuir las emisiones atmosféricas y la contaminación sonora. Uruguay presenta condiciones favorables para el desarrollo del transporte de carga con camiones eléctricos en cuanto a generación e infraestructura, y es por esta razón que se han desarrollado políticas que promueven la comercialización de esta tecnología.

A continuación, se listan las iniciativas que suponen beneficios económicos para empresas, producto de la incorporación del transporte utilitario<sup>1</sup> eléctrico [33].

### Reducción del Impuesto Específico Interno (IMESI) (Decreto 246/012) para híbridos y eléctricos

A partir del primero de enero 2022 los vehículos eléctricos 0km estarán exonerados del pago de IMESI [34].

### Ley de Promoción de Inversiones (Decreto 02/12)

La ley otorga beneficios a proyectos cuya inversión genere beneficios en diferentes sectores. En particular, si la empresa presenta un proyecto donde hay inversión en vehículos utilitarios eléctricos, la misma se reduce desde un 30% hasta más de un 70% a través de la exoneración de IRAE (Impuesto a las Rentas de las Actividades Económicas). En los casos más auspiciosos el retorno del proyecto supera el 40%.

### Certificados de eficiencia energética

Instrumento económico del MIEM (Ministerio de Industria, Energía y Minería) para premiar las medidas de eficiencia energética realizadas. Beneficio económico: del 3% a 30% de la inversión.

### Exoneración de tasa global arancelaria (TGA) (Decreto 410/016)

Transporte de mercancías sólo con motor eléctrico: 0% TGA.

Esto se debe a que Uruguay no tiene producción nacional de vehículos eléctricos, por lo que se promovió la importación con la eliminación de los aranceles de importación (de 23% a 0%).

---

<sup>1</sup> Se establece que son vehículos utilitarios los chasis para camiones, camiones, tractores para remolque, remolques, zorras y ómnibus para el transporte de pasajeros (redacción dada por el artículo 6º Decreto N° 544/008 de 10.11.008)

### Descuento comercial UTE [35]

- Cambio de potencia contratada sin costo.
- Tarifa en valle (00:00 a 7:00) al 50% en las estaciones de recarga de UTE.
- Tarifas mediano consumidor y tarifa doble residencial al 50% en horario fuera de punta (18 a 22).

### Bonificación de seguros del BSE (Banco de Seguros del Estado) para camiones eléctricos

El área de Demanda Acceso y Eficiencia Energética (DAEE) de la Dirección Nacional de Energía (DNE), dentro del MIEM, ofrece Certificados de Eficiencia Energética (CEE) que permiten obtener un ingreso monetario por las medidas implementadas.

### Créditos verdes

A través de MOVÉS, instituciones financieras como BBVA, Itaú y HSBC crearon los créditos verdes, específicos para la compra de vehículos eléctricos. Este incentivo busca reducir la barrera de compra a través de una mejora en las condiciones de financiamiento de estos vehículos.

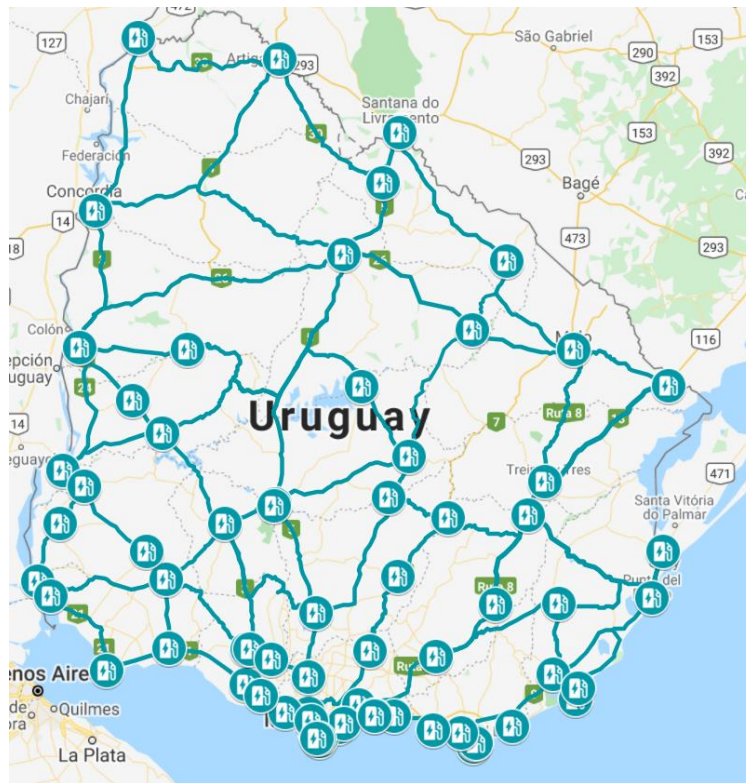
## **Infraestructura existente en Uruguay**

En Uruguay los conectores estándar son los conectores Tipo 2. La norma que define los estándares con respecto a fichas, tomacorrientes, conectores del vehículo y conexiones de entrada del VE en Uruguay es UNIT 1234:2020. Además, se utilizan las normas UNIT-IEC 61851-1:2017, enfocada en tipos de comunicación entre el SAVE y VE, y la norma UNIT-IEC 62196-1:2014, enfocada en tipos de conectores de VE. Sin embargo, dado que en Uruguay se importaron vehículos antes de que el estándar de conectores tomara vigencia, existe una minoría de VEs que tienen otro tipo de conector.

Uruguay fue el primer país latinoamericano en poseer un corredor de carga para VEs. A diciembre de 2021 se dispone de 87 estaciones de carga distribuidas en 48 localidades de todo el país y en 2022 se prevé sumar 35 estaciones, procurando contar con un cargador cada 50km [36]. Para informarse acerca de las ubicaciones de estaciones de carga, el estado de sus cargadores (ocupado/ disponible) y la potencia que son capaces de entregar se recomienda la aplicación UTE Mueve.

A continuación, se muestra en la Figura 7 la red de carga eléctrica uruguaya [36]:

Figura 7: Red de carga eléctrica en Uruguay



## Infraestructura – cómo prepararse

El método más popular para cargar VEs (Vehículos Eléctricos) es a través de un cable. Para lograr esto se instala un Sistema de Alimentación de Vehículos Eléctricos (SAVE), también llamado estación de carga, entre la red eléctrica y el vehículo. Su función es gestionar la carga, con énfasis en la seguridad del usuario.

El objetivo del SAVE es gestionar la carga del vehículo eléctrico, a partir de una comunicación entre ambos. Se encarga de proteger al usuario haciendo circular energía solo cuando el cargador está enchufado al vehículo y cuando no hay problemas de aislación. Además, protege al vehículo de tres maneras: detectando el SoC, haciendo pasar una corriente que sea soportada tanto por el cargador como por el vehículo y detectando problemas de hardware. De esta manera se evitan daños a las baterías, cortocircuitos y posibles incendios.

Esto significa que, si el cargador es de 100 kW, pero por el vehículo sólo pueden circular 50 kW, el SAVE hará circular solamente 50 kW. En el caso inverso, en el que el vehículo pueda tomar hasta 100 kW, pero la estación de carga solo puede transmitir 50 kW, el vehículo tomará 50 kW.

Integrados a un sistema de carga inteligente los SAVE también pueden informar el SoC al sistema, para optimizar la carga de una flota de camiones eléctricos, por ejemplo.


Algunas de las operaciones que se podrían lograr con la carga inteligente son optimizar la secuencia en que se cargan los vehículos, controlar la potencia consumida y cargar en horarios en los cuales la tarifa es menor.

Tabla 6: Modos de carga

Tipo	Potencia	Modo
Lenta (emergencia)	2,2kW	Schuko
Estándar	de 3,7 a 7,4 kW	SAVE
Semi rápida	hasta 22 kW	SAVE
Rápida	hasta 43 kW	SAVE
Ultra rápida	120 kW	SAVE

## Tipos de cargadores

Tabla 7: Tipos de cargadores

Nombre	Modo 3	Modo 4
		
Descripción	Conexión entre VE y SAVE, el cual se encuentra conectado permanentemente a la red de suministro, con una función piloto de control que se extiende desde el SAVE hasta el VE.	Conexión entre VE y SAVE de DC o AC con una función de piloto de control que se extiende desde el SAVE de DC al VE.
Tipo de corriente	CA	CC
Potencia (kW)	8 - 44	44+
Costo de adquisición	3000	18000

Debido a que los camiones eléctricos a batería necesitan de mucha energía para ser cargados, los SAVE utilizados son los de modo 3 y modo 4. La decisión entre un tipo o el otro depende de cuánto tiempo tenga disponible el vehículo para ser cargado. En operaciones de retorno a base se suele realizar la carga con un modo 3 durante la noche, mientras que, en operaciones más intensivas con menos tiempos muertos, se utilizan los cargadores modo 4. Dado que los vehículos personales tienen limitada la potencia que



pueden recibir, y por tanto no pueden aprovechar al máximo las ventajas de los de modo 4, estos son utilizados principalmente por VEs pesados, de larga distancia o con baterías grandes. Otro comentario importante es que los precios mencionados en la Tabla 8 sólo corresponden al costo de adquisición. Los de modo 4 tendrán el mayor costo adicional de entre los tres mencionados debido a su gran impacto en la red eléctrica (costo de operación) y a su mayor tamaño (costo de instalación). Los de modo 3 son los segundos de mayor costo debido a las mismas razones que para los de modo 4. En la Tabla 8 se muestra una lista de proveedores de SAVE en Uruguay [36].

*Tabla 8: Proveedores de SAVE en Uruguay*

<b>Empresa</b>	<b>Contacto</b>	<b>Mail</b>
<b>ABB</b>	Ing. Francisco Manfredi, EV Chargers Manager	francisco.manfredi@uy.abb.com
<b>Abriley S.A.</b>	Isaac Attie, Director	info@goelectric.uy
<b>Alternativas Sustentables</b>	Ing. Esteban Lucotti, Director de Proyectos	estebanl@sustentables.com.uy
<b>Conatel S.A.</b>	Ing. Alvaro Sbrocca, Jefe de Ventas	asbrocca@conatel.com.uy
<b>eMobility Solutions</b>	Ing. Alfredo Pintos, Director	alfredo.pintos@emobility-uy.com
<b>Enel X Uruguay</b>	Jorge Cernadas, Desarrollo de Negocios	jorge.cernadas@enel.com
<b>FABLET Y BERTONI S.A.</b>	Sr. Guillermo Nebel, Gerente Comercial	g_nebel@fabletybertoni.com
<b>Fescomel S.A.</b>	Lic. Pablo Milán, Director	pablomilan@fescomel.com.uy
<b>KPN Energy Solutions (GLENFIR S.A.)</b>	Iván Regueiro, Director	iregueiro@kpn-safety.com
<b>Raycom</b>	Ing. Alejandro Gigena, Gerente Técnico Energía y Radiocomunicaciones	agigena@raycom.com.uy
<b>Paleson S.A.</b>	Manuel Delucchi, Director	manueldelucchi@paleson.com.uy










Tabla 9: Proveedores de SAVE en Uruguay (continuación)

<b>Empresa</b>	<b>Contacto</b>	<b>Mail</b>
<b>PROSEPAC – Movilidad Eléctrica</b>	Leonardo Miranda, Ejecutivo de Ventas	leonardomiranda@prosepac.com
<b>PSI</b>	Rafael Borggio, Director	rborggio@psi.com.uy
<b>SeG INGENIERIA</b>	Cr. Sebastián Baccino, Gerente Comercial	baccino@segingenieria.com
<b>SES LATAM SRL</b>	Guillermo Feria, Director	gferia@seslatam.com
<b>Smart Green Uruguay S.A.</b>	Ing. Alvaro Carballo, Gerente	alvaro.sgu@gmail.com
<b>UruSmart</b>	Ing. Martin Rodriguez, Director	info@urusmart.uy
<b>Ventus</b>	Ing. Sebastián Labandera - Gerente de Operaciones Uruguay	movilidad@ventus.global

# Pregunta 8

**¿QUÉ MODELOS DE  
CAMIONES A BATERÍA HAY  
DISPONIBLES EN URUGUAY?**

---

Marca	Imagen	Modelo	Peso bruto (kg)	Tara (kg)	Carga útil (kg)	Precio (USD)	Capacidad batería (kWh)	Horas de carga (hs)	Autonomía (km)	Garantía batería (años)	Garantía batería (km)	Tipo de batería	Marca de batería
JAC		1063 EV1	6490	3350	3140	49900	96.77	3	200	8	150000	LFP	
Mobility		E200X	9000	3400	5600	63250	106.95	2.5	250	8	150000	Litio	CATL
Mobility		E200M	5900	2470	3430	52250	81.14	2.5	200	8	150000	Litio	CATL
BYD		T4C	4300	1850	2450	68000	63.63	1.7	170	5	500000	Litio	BYD
BYD		T45C01	6495	2800	3695	87000	99	1.2	210	5	500000		BYD
BYD		T7BG	11800	4750	7050	131000	177.74	2.5	230	5	500000		BYD
Dong Feng		e-Tuyi	4495	2495	2000	38805	55.7	2	200	5	-	LFP	CATL
Dong Feng		e-Shang			3500	Según especificaciones	81.4	2	200	5	-	LFP	CATL
Dong Feng		e-Don				Según especificaciones	98.04		150/250 (opcional)	5	-	LFP	CATL

# Pregunta 9

**¿CÓMO MEJORO LA  
OPERATIVA DIARIA?**

---

## Frenado regenerativo

Cualquier vehículo en movimiento tiene mucha energía cinética y cuando se aplican los frenos para desacelerar, toda esa energía debe ir a alguna parte. En los vehículos convencionales con motor de combustión interna, los frenos convierten la energía cinética, a través de fricción, en calor, que se disipa al ambiente. El frenado regenerativo utiliza al motor del vehículo eléctrico como generador para convertir gran parte de la energía cinética, perdida al desacelerar, en energía almacenada en la batería. Esta energía es utilizada posteriormente cuando se tiene que volver a acelerar.

Es importante aclarar que el frenado regenerativo no es un potenciador de autonomía, es decir, no aumenta la autonomía y no hace que los vehículos sean más eficientes, sino que hace que sean menos ineficientes. La forma más eficiente de conducir sería a velocidad constante y luego nunca tocar el freno dado que al frenar se elimina energía y luego se requiere energía para volver a llegar a la velocidad. De esta forma, la mayor autonomía se obtiene nunca disminuyendo la velocidad, lo cual no puede ser real ya que no se adapta a las operativas diarias. En estos casos el frenado regenerativo elimina la ineficiencia del frenado y hace que el proceso de frenar tenga menos desperdicios energéticos.

## Capacitación de choferes

La forma en la que los vehículos eléctricos consumen energía ha sido estudiada en numerosos estudios debido al impacto que tiene tanto en la vida útil de la batería del vehículo como en el costo de operarlo [37].

Si bien los camiones eléctricos son muy similares a los camiones a diésel convencionales en apariencia, el funcionamiento y la tecnología es muy distinta y amerita que los conductores reciban una capacitación [38]. Dicha capacitación se recomienda que sea tanto teórica como práctica, a través de recorridos alrededor del camión y prácticas conduciendo. Además, se recomienda capacitación técnica básica enfocada en cómo trabajar con componentes que están a alta tensión. En ocasiones los proveedores ofrecen y obligan a los conductores a tener esta capacitación.

Los conductores pasan por un proceso de aprendizaje relativamente corto (pocas semanas) hasta que logran adaptarse y dominar la tecnología. Aprender a manejar de forma eficiente y eficaz las novedades de la frenada regenerativa, la carga y la autonomía en el uso cotidiano de un vehículo eléctrico es esencial para lograr un comportamiento de conducción y experiencia del usuario optimizado [38].

Algunos consejos para maximizar la autonomía son [38]:

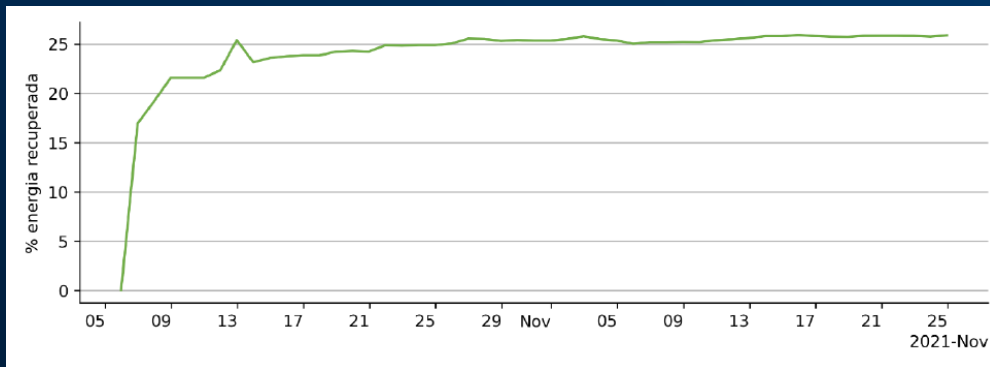
- No acelerar rápidamente porque se utiliza más corriente, lo cual reduce los kWh disponibles y a su vez reduce la autonomía.
- Utilizar el frenado regenerativo cuando sea posible

- No usar el aire acondicionado cuando no sea necesario dado que, después de la aceleración, es el mayor consumidor de energía.
- Durante la conducción, no mantener el pie en el pedal del freno durante un largo tiempo. Eso puede causar fenómeno de sobrecalentamiento, desgaste y desperdicio de energía eléctrica.

### CASO REAL

Gráfica de % de energía regenerada en el tiempo.

Se muestra la curva de aprendizaje de conductor de un camión eléctrico modelo T6A que realiza distribución urbana. En 25 días logró llegar a un porcentaje alrededor del 25% y se mantuvo relativamente constante.



## Seguridad

Si bien los vehículos eléctricos tienen ciertas ventajas en materia de seguridad debido a que no llevan a bordo combustibles que son inflamables y tóxicos, es importante tener en cuenta las propiedades físicas y químicas de las baterías y cómo se comportan en distintos escenarios.

Las baterías de litio son las más comunes en los vehículos eléctricos debido a su alta energía y densidad de potencia, combinada con la longevidad de la batería y la autonomía alcanzable. Estas baterías contienen materiales reactivos extremadamente energéticos y electrolitos orgánicos inflamables. Esto supone una serie de problemas de seguridad que no se encuentra en vehículos convencionales e introduce riesgos que deben comprenderse y gestionarse adecuadamente.

Las baterías contienen los tres elementos necesarios para producir un incendio a través de una reacción química: fuente de calor/ignición, oxígeno y material combustible.

Las baterías tienen un rango de funcionamiento muy estrecho, si la celda se calienta debido a una carga rápida, una sobrecarga, un cortocircuito o una deformación mecánica, como un impacto o un calentamiento externo, el sistema de iones de litio está diseñado para ventilar el gas para evitar la explosión.

Si la temperatura alcanzara aproximadamente 150°C - 200°C, la batería se vuelve inestable y se puede dar lo que se conoce como fuga térmica, un rápido aumento de temperatura interna que desencadena continuamente una variedad de descomposición y otras reacciones electroquímicas exotérmicas asociadas. Las tasas de liberación de energía durante esta reacción aumentan con la temperatura, provocando fugas de electrolito, generación de calor, formación rápida de gas y humo, rotura de celda, incendio, desmontaje rápido y, en el peor de los casos, explosión de gas como resultado de la combustión del electrolito y otros componentes combustibles después de la ruptura del confinamiento de la batería.

A pesar de que existen diversos riesgos vinculados al uso de baterías, también existen muchos riesgos cuando se utiliza un vehículo a combustión interna. Los proveedores de los vehículos eléctricos aseguran que cumplen con los mismos altos estándares de seguridad en choques que otros vehículos y ofrecen los mismos sistemas de seguridad que los modelos diésel. En ocasiones se también se agregan escenarios de choque específicos para los vehículos eléctricos para verificar la resistencia a los choques de la instalación de la batería y otros componentes eléctricos [2].



## Consideraciones sobre la carga de la batería

- No es recomendable que el estado de carga (SoC: State of Charge) de la batería esté por debajo de 20%
- La carga de una batería es más eficaz cuando su SoC es bajo. La aceptación de la carga disminuye cuando la batería alcanza un SoC del 70% o más. Una batería completamente cargada ya no puede convertir la energía eléctrica en energía química y la carga debe reducirse para que se apague.
- Cargando una batería más allá del estado de carga completo convierte el exceso de energía en calor y gas y puede resultar en un depósito de materiales no deseados. Además, la sobrecarga prolongada causa daño permanente.
- Antes de iniciar la carga se debe inspeccionar que dentro del puerto de carga y el puerto del conector de carga del vehículo no haya oxidación o corrosión. De haber oxidación o corrosión no se debe cargar dado que se puede ocasionar un cortocircuito o descarga eléctrica
- No se debe desconectar el cargador con manos húmedas dado que puede ocasionar lesiones personales.
- Cuando la temperatura ambiental es inferior a 0°C, la duración de carga será más larga que el caso normal, la capacidad de carga es relativamente baja.
- Si el vehículo no se utiliza durante un largo tiempo, para extender la vida útil de la batería de energía, se recomienda cargarla y conducir el vehículo una vez cada 3 meses.
- Se debe utilizar el cargador correcto para la química de la batería, la mayoría de los cargadores sirven para sólo un tipo de batería.
- Un cargador de alto voltaje acorta el tiempo de carga, pero existen limitaciones en cuanto a la rapidez con la que se puede cargar una batería. La carga ultrarrápida causa estrés.
- Se debe observar la temperatura de carga. Las baterías de plomo ácido deben permanecer tibias al tacto; Las baterías de níquel se calentarán hacia el final de la carga, pero deben enfriarse cuando estén "listas". El ion de litio no debe elevarse más de 10°C por encima de la temperatura ambiente cuando alcance la carga completa.

## Costo de cargar la batería

La disponibilidad de tiempo para cargar el camión depende de las operaciones de cada empresa. Idealmente y debido a los costos de las tarifas eléctricas en Uruguay, se sugiere que la carga sea en la noche, donde las tarifas de energía eléctrica son las mínimas.

A modo de ejemplo, si la empresa tiene tarifa de mediano consumidor 1 y posee un camión BYD T45C01 con una capacidad de batería de 100kWh, al cual carga en horario valle, el costo de cargar al camión será de:

$$2,150\$/kWh * 105kWh = 225,75\$$$

Con esta carga y un rendimiento de 2km/kWh se logra una autonomía de 210km.

## **¿Qué pasa si me quedo sin batería en la ruta?**

Los usuarios normalmente aprenden cómo funciona el camión y se sienten cómodos con la autonomía muy rápidamente [2]. Si la carga de la batería cae a cero mientras se conduce el camión, hay una cierta capacidad de reserva de energía disponible que ayudará al conductor a llegar a un lugar seguro [2].

## **¿Es confiable tener la flota 100% eléctrica?**

Para determinar si es confiable tener una flota 100% eléctrica se debe hacer un estudio de las distancias recorridas y los kilogramos transportados históricamente, de forma de asegurarse de que las prestaciones de los camiones eléctricos sean suficientes. Los camiones totalmente eléctricos son ideales para transportar mercancías dentro y alrededor de las ciudades en rutas predefinidas que incluyen un regreso a la base de operaciones al final de la jornada laboral para cargarlas [2]. La distribución, la construcción urbana y la recolección de basura (a menudo para las autoridades municipales) son ejemplos de segmentos que han sido los primeros en adoptar camiones eléctricos [2].

# Pregunta 10

**¿CUÁNDO VA A SER VIABLE  
EL CAMIÓN CON CELDA DE  
COMBUSTIBLE DE  
HIDRÓGENO?**

---

## Obtención y uso del hidrógeno

El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, pero no se forma naturalmente por sí solo. Se puede encontrar en agua, combustibles fósiles o biomasa. Para extraer el hidrógeno, se pueden utilizar procesos como, por ejemplo, la electrólisis o el reformado de metano con vapor [39].

Como se mencionó anteriormente, el hidrógeno se puede obtener de distintas fuentes. Si bien no existe una nomenclatura oficial, en la industria se suele distinguir al hidrógeno según su origen con colores. La Figura 8, traducida de un informe de NACFE, muestra la nomenclatura utilizada [40].

Figura 8: Tipos de hidrógeno según la fuente de obtención



Como se mencionó anteriormente, una forma de obtención del hidrógeno es a partir de la electrólisis. Este es el proceso de obtención que interesa en Uruguay. Consiste en la división de la molécula de agua (H<sub>2</sub>O) en dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno mediante la adición de energía eléctrica. En específico, es de interés para la descarbonización del transporte que la energía eléctrica utilizada sea renovable. El oxígeno que se produce se libera a la atmósfera y el hidrógeno se almacena en un tanque. Este hidrógeno se puede utilizar para llenar una celda de combustible de un vehículo. Cuando el vehículo se encuentra en funcionamiento, su celda de combustible toma el hidrógeno almacenado y oxígeno de la atmósfera y produce energía eléctrica para alimentar al motor eléctrico, agua y calor [39]. La producción de hidrógeno mediante electrólisis requiere alrededor de 9 litros de agua por kg de hidrógeno, por lo que debe considerarse una fuente estable de este recurso, que Uruguay, a diferencia de otros países de la región, tiene disponible [41].

## Viabilidad del uso de hidrógeno como combustible en camiones eléctricos

Las pilas de combustible de hidrógeno se usan desde la década de 1960 en naves espaciales. En la década de 1970, empresas como Rocketdyne investigaron posibles usos de transporte comercial para las pilas de combustible, incluidos trenes, barcos, autobuses y camiones y desde 2011 se están creando prototipos de camiones con pila de combustible de hidrógeno [40]. Hoy en día ya se utilizan autos y ómnibus que funcionan con esta tecnología.

La producción de hidrógeno es un tecnología madura; en el mundo actualmente se producen 100 millones de toneladas de hidrógeno y en su mayoría se destina a la industria [42]. Por ejemplo, en Estados Unidos se producen anualmente más de 10 millones de toneladas de hidrógeno destinado a las industrias química, de fertilizantes y alimentaria [39].

Es claro que hay intereses en la producción de hidrógeno debido a la variedad de usos finales que pueden beneficiarse de su disponibilidad [40]. El hidrógeno para el transporte es sólo una pequeña parte de una economía de hidrógeno mucho mayor que se debe planificar. Una economía del hidrógeno requiere un enfoque regional en el suministro de hidrógeno como energía para múltiples usos. Una vez que la producción de hidrógeno a escala está disponible, estos múltiples usos finales se vuelven económicamente viables. El desafío es lograr la producción de hidrógeno a gran escala [40].

### Avances a nivel país

Actualmente se encuentra vigente el [Proyecto H2U](#) que busca posicionar a Uruguay como productor y abastecedor de demandas locales y, eventualmente, exportador de hidrógeno verde.

ANCAP impulsa este proyecto como una continuación del proyecto VERNE. El nuevo proyecto tiene tres focos principales: hacer un piloto para transporte pesado de buses y camiones, producción de hidrógeno on-shore y producción de hidrógeno off-shore. Se busca la inversión de privados para la generación de energía renovable dedicada a la producción de hidrógeno. De esta manera, el modelo de negocios va a ser totalmente privado, debido a que las empresas deben aportar una flota vehicular de ómnibus y camiones y deberán mantener contratos de demanda energética según sus necesidades. Se busca hacer un proyecto piloto con al menos diez ómnibus de nueve metros de largo o camiones de 17 toneladas, donde la distancia mínima que recorra la flota sea 3500km por día. Los inversionistas privados deberán instalar una planta propia, aunque va a ser posible utilizar las instalaciones de ANCAP en la planta de Capurro. Además, estará vigente la Ley de Promoción de Inversiones y se prevén apoyos públicos adicionales para fomentar las inversiones.

Un foco grande del proyecto es crear una granja eólica off-shore. Las investigaciones hechas por ANCAP demuestran que existen dos zonas de aproximadamente 2000m<sup>2</sup> cada una en donde las condiciones del viento y la profundidad son óptimas para la instalación de molinos. A partir de licitaciones, se conceden bloques del territorio marítimo uruguayo para la generación de energía y la producción de hidrógeno in situ.

Este proyecto está enmarcado en Uruguay, que tiene una serie de características que lo posicionan como potencial productor de hidrógeno verde. A continuación, se listan los atributos [43]:

1. Potencial generador: Uruguay posee gran potencial para la generación de energía eléctrica a partir de energía eólica y solar fotovoltaica. Además, tiene la posibilidad de expansión off-shore.
2. Complementariedad: Uruguay cuenta con altos factores de capacidad (aprox. 60%) por la complementariedad entre solar y eólica on-shore.
3. Disponibilidad de renovables: La alta disponibilidad de energía eléctrica renovable puede ser aprovechada en un proceso inicial.
4. Logística: Uruguay posee puertos con acceso al océano atlántico y rutas de acceso a todo el país.

Si bien las oportunidades son grandes y se están realizando esfuerzos a nivel país para impulsar el hidrógeno verde como forma de escalar la economía y aportar a la descarbonización del sector, aún se está en una fase inicial. Esta fase se caracteriza por tener grandes incertidumbres, de parte del gobierno, de parte de los inversores e incluso de parte de los potenciales usuarios. Debido a esto, ha habido numerosas conferencias, webinars y seminarios tratando la temática.

A continuación, con la intención de reflejar los avances en esta área de difusión, se propone mencionar los distintos puntos de vista y opiniones presentados en una mesa redonda sobre hidrógeno, en la cual participaron Jorge Ferreiro, director de Hidrógeno en ANCAP, y Fernando Schaich, fundador de SEG Ingeniería. En ella se analizó el potencial que tiene Uruguay para el mercado del hidrógeno.

Por un lado, Jorge Ferreiro sostuvo que Uruguay cuenta con tres drivers para la producción de hidrógeno:

1. Ambiental: descarbonizar el mundo ya forma parte de la agenda social y de la agenda de los gobiernos.
2. Los costos van a ir bajando a medida que se va escalando la producción.
3. Hay apetito de inversores en invertir en energías verdes como inversiones a largo plazo.

Además, Fernando Schaich, sostuvo que Uruguay presenta dos ventajas principales para la producción de hidrógeno verde:

1. Si bien cuando se compara con Chile o Brasil, Uruguay no es el mejor posicionado en generación de energía a partir de energía solar o eólica, Uruguay tiene la ventaja de que tiene disponible ambas energías y que estas se complementan (generación baja de energía solar coincide con generación alta de energía eólica y viceversa).
2. Uruguay es un mercado seguro y con bajo riesgo y tasas, lo cual es muy buscado por inversores.

Tanto Fernando Schaich como Jorge Ferreiro estuvieron de acuerdo en que hasta que se empieza a producir y utilizar hidrógeno puede pasar un período de tiempo de ocho a diez años.

## **Infraestructura en Uruguay**

En base a la pregunta anterior, actualmente no hay infraestructura ni de producción ni de distribución de hidrógeno en Uruguay. Sin embargo, en este aspecto se centra el proyecto H2U.

# Pregunta 11

**¿QUÉ DEBO TENER EN CUENTA SI DECIDO COMPRAR UN CAMIÓN A HIDRÓGENO?**

---



## Modelos en Uruguay

En Uruguay no hay oferta de camiones con celda de combustible de hidrógeno. Sin embargo, en la [Pregunta 4](#) se listan los modelos de camiones que existen mundialmente.

## Incentivos proyectados en Uruguay

Aún no existen políticas de incentivos para la compra de camiones con celda de combustible de hidrógeno. Sin embargo, estos camiones son clasificados como eléctricos porque funcionan con un motor eléctrico, por ende, los beneficios mencionados anteriormente para los camiones eléctricos a batería deberían ser trasladables a estos camiones si no se indica lo contrario.

## Recarga del hidrógeno

El hidrógeno, al igual que los combustibles fósiles, se deberá cargar en estaciones de servicio que suministren hidrógeno, ya sean propias o públicas.

El tiempo que se demora en llenar el tanque de combustible es una de las mayores ventajas que tiene el hidrógeno frente a las baterías. La siguiente tabla (Tabla 10) muestra el estado actual de autos y ómnibus y las predicciones de camiones para 2030 y 2050 [40].

Tabla 10: Características de la recarga de hidrógeno

	Estado de vehículos particulares (2015)	Estado de ómnibus (2017)	Objetivo camiones pesados (2030)	Objetivo camiones pesados (2050)
Capacidad de tanque (kg)	2-5	32	60	60
Autonomía (km)	320-520	480	1200	1200
Tiempo de llenado de tanque (minutos)	5-6	22-24	10	6
Tasa de llenado de tanque (kg/min)	0,35	1-1,5	8	10

Cabe destacar que, en las estaciones de carga, el nivel de presión de suministro de hidrógeno determina el tipo de vehículo que puede hacer uso de la estación. Mientras que los vehículos de particulares tienen tanques de hasta 700bar, los camiones y ómnibus, que cuentan con mayor espacio disponible para los tanques, pueden operar con hidrógeno a 350bar [44].

## Costo del hidrógeno y rendimiento

Hay mucha incertidumbre y es muy pronto para estimar el precio que verá el consumidor en una estación de hidrógeno en Uruguay. Este precio depende de diversos factores y entre ellos el principal es el costo de producción. Actualmente, según un estudio realizado

por IEA (International Energy Agency) [45], producir el hidrógeno a partir de energía renovables tiene un costo desde 3USD a 8USD por kilogramo, mientras que producirlo a partir de gas natural cuesta entre 0,5USD y 1,7USD por kilogramo. En el mismo estudio se estima que aquellas zonas que tengan generación de energía mayoritariamente renovable verán una disminución del costo más pronto, alcanzando en 2030 entre 1,3 y 3,5USD por kg.

En cuanto al consumo del hidrógeno, un camión de clase 8 (peso bruto inferior 15.000 kilogramos y transporte de cargas muy pesadas a larga distancia) es entre 8,8 y 14,8 km por kg de hidrógeno [46].

# Pregunta 12

**¿CÓMO MEJORO LA  
OPERATIVA DIARIA?**

---

## Seguridad

Cualquier combustible que se utilice para el transporte tiene que ser seguro, porque así lo determina el mercado que utiliza la tecnología. Es por este motivo que tanto los fabricantes de camiones como las empresas distribuidoras de hidrógeno ponen especial foco en la seguridad [40].

Como se comentó anteriormente, el hidrógeno se ha utilizado de forma segura durante muchas décadas y como con cualquier otro combustible, existen estándares internacionales para el manejo del combustible y para la mitigación de riesgos asociados [39]. EL hidrógeno es tan seguro como cualquier otro combustible y los tanques son sometidos a pruebas rigurosas que incluyen pruebas de choque, disparos y requisitos de rendimientos [39]. Además, los materiales utilizados para los tanques son de alta resistencia y son sometidos a más del doble de la presión máxima de servicio [39].

Por otro lado, las estaciones de carga de combustible de hidrógeno que ya existen tienen sistemas de protección redundantes por lo que es inviable sobre presurizar el tanque en el momento de hacer la recarga [39].

En cuanto al hidrógeno como combustible, éste presenta ciertas ventajas frente a otros combustibles fósiles. Entre ellos se encuentra que no es un gas tóxico, se disipa rápidamente a la atmósfera en caso de que el tanque tenga un fallo o una pérdida e irradia menos calor cuando se quema [40]. Vinculado al último punto, como cualquier otro combustible, el hidrógeno debe entrar en contacto con un elemento oxidante (como el aire) para reaccionar y liberar su energía química almacenada. En los tanques de hidrógeno, a diferencia a los tanques de los demás combustibles fósiles, no hay presencia de ningún agente oxidante [39]. De esta forma, si por algún motivo se tiene una perforación del tanque, el hidrógeno escapa y esta liberación evita que entre oxígeno y que pueda producir una explosión en el tanque [39]. Además, el hidrógeno es 14 veces menos denso que el aire por lo que tiende a subir rápidamente en la atmósfera, provocando que la explosión ocurra por encima del camión y no por debajo, como ocurre con los combustibles fósiles cuando hay pérdidas.

## Capacitación de personal

El entrenamiento tanto de los conductores como de los técnicos siempre se recomienda cuando se adoptan nuevas tecnologías. El entrenamiento debería incluir conocimientos del combustible, de las condiciones de operación, de los sistemas de seguridad, del uso de las estaciones de servicio, entre otras.

## Cuando se debe considerar una flota de camiones a hidrógeno

Ambas tecnologías de camiones eléctricos (a batería y a hidrógeno) son complementarias. Mientras que los camiones con batería eléctrica son ideales para operaciones con 150-250 km diarios, con retorno al centro de distribución para recargar la batería, la tecnología de celda de combustible de hidrógeno presenta la ventaja de que tiene un tiempo de llenado de tanque muy bajo en comparación a las horas de recarga de batería y una autonomía mayor, que hace posibles operaciones con muchos km diarios y no necesariamente con retorno a la base. Además, como se mencionó en apartados anteriores, las celdas de hidrógeno permiten transportar mayores cargas.

Los puntos para tener en cuenta para considerar el uso de camiones fueron resumidos en el reporte realizado en 2020 por NACFE y se muestran en la Figura 9.

Figura 9: Aspectos para considerar un camión eléctrico a hidrógeno

Considera los camiones con celda de combustible de hidrógeno para tus operaciones si:

- Es importante no producir emisiones a bordo
- La tara del camión es fundamental para maximizar la carga útil
- Se hacen diariamente rutas de larga distancia
- Se opera con condiciones de invierno significantes
- El hidrógeno azul o verde está disponible
- Hay incentivos económicos para el uso del hidrógeno
- La región no es montañosa

**NACFE**  
NORTH AMERICAN COUNCIL FOR FREIGHT EFFICIENCY

## Referencias

- [1] PNUMA, “Movilidad eléctrica: Avances en América Latina y el Caribe,” 2020.
- [2] Volvo Trucks Global, “FAQ about electric trucks,” 2021. <https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/alternative-fuels/electric-trucks/faq.html> (accessed Aug. 05, 2021).
- [3] Smart Freight Centre, “Low Emission Fuels and Vehicles for Road Freight,” no. October, 2020.
- [4] G. Krishna, “Understanding and identifying barriers to electric vehicle adoption through thematic analysis,” *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 10, p. 100364, 2021, doi: 10.1016/j.trip.2021.100364.
- [5] F. Gonzalez Venegas, M. Petit, and Y. Perez, “Active integration of electric vehicles into distribution grids: Barriers and frameworks for flexibility services,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 145, p. 111060, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111060.
- [6] IEA International Energy Agency, “Global EV Outlook 2021 Accelerating ambitions despite the pandemic,” Paris, 2021. Accessed: May 10, 2021. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.
- [7] Dirección Nacional de Energía, “Balance Energético Nacional,” 2020. <https://ben.miem.gub.uy/index.php> (accessed Mar. 20, 2021).
- [8] B. Nykvist and O. Olsson, “The feasibility of heavy battery electric trucks,” *Joule*, pp. 901–913, 2021, doi: 10.1016/j.joule.2021.03.007.
- [9] ONU Medio Ambiente, “Movilidad eléctrica: Avances en América Latina y El Caribe y Oportunidades para la Colaboración Regional,” 2018. Accessed: Mar. 19, 2021. [Online]. Available: <https://www.miem.gub.uy/energia/movilidad-electrica>.
- [10] El País, “Un año muy particular para el sector eléctrico en Uruguay,” 2022. <https://www.elpais.com.uy/economia-y-mercado/ano-particular-sector-electrico-uruguay.html> (accessed Feb. 04, 2022).
- [11] SNRCC, “Visualizador De Avances De La Contribución Determinada a Nivel Nacional.” [https://visualizador.gobiernoabierto.gub.uy/visualizador/api/repos/%3Apublic%3Aorganismos%3Ambiente%3Avisualizador\\_cdn.wcdf/generatedContent](https://visualizador.gobiernoabierto.gub.uy/visualizador/api/repos/%3Apublic%3Aorganismos%3Ambiente%3Avisualizador_cdn.wcdf/generatedContent) (accessed Aug. 13, 2021).
- [12] Proyecto MOVÉS, “El proyecto,” 2021. <https://moves.gub.uy/el-proyecto/> (accessed Sep. 15, 2021).
- [13] B. Ślusarczyk, “Electromobility for sustainable transport in Poland,” *Energy Transform. Towar. Sustain.*, pp. 199–218, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-817688-7.00010-0.
- [14] Shell and Deloitte, “Decarbonising Road Freight: Getting into gear,” 2021. Accessed: Apr. 29, 2021. [Online]. Available:

www.shell.com/DecarbonisingRoadFreight.

- [15] “El País - Energía,” 2021. <https://servicios.elpais.com.uy/suple/especiales/energia21.html> (accessed May 27, 2021).
- [16] “Medium and heavy-duty electrification trends | Geotab.” <https://www.geotab.com/white-paper/heavy-duty-fleet-electrification-trends/> (accessed Aug. 16, 2021).
- [17] M. Tanco, L. Cat, and S. Garat, “A break-even analysis for battery electric trucks in Latin America,” *J. Clean. Prod.*, vol. 228, pp. 1354–1367, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.168.
- [18] Smart Freight Centre, “Low Emission Fuels and Vehicles for Road Freight,” Amsterdam, 2020.
- [19] Freightliner Trucks, “Beyond The Batteries: How Electric Trucks Work,” 2021. <https://freightliner.com/blog-and-newsletters/beyond-the-batteries-how-electric-trucks-work/> (accessed Aug. 18, 2021).
- [20] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-Barja, “A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges,” *Smart Cities*, vol. 4, no. 1, pp. 372–404, 2021, doi: 10.3390/smartcities4010022.
- [21] Scania, “How does a hydrogen fuel cell electric truck work?,” 2020. <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2020/how-does-a-hydrogen-fuel-cell-electric-truck-work.html> (accessed Aug. 18, 2021).
- [22] Deloitte China and Ballard, “Fueling the Future of Mobility Hydrogen and fuel cell solutions for transportation,” *Financ. Advis.*, vol. 1, p. Volume 1, 2019.
- [23] D. Burul, “Battery electric vs diesel driven,” *own Rep. Scania*, 2021, [Online]. Available: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/press-releases/press-release-detail-page.html/3999115-scania-publishes-life-cycle-assessment-of-battery-electric-vehicles>.
- [24] Transport & Environment, “Comparison of hydrogen and battery electric trucks,” no. June, pp. 1–14, 2020, [Online]. Available: [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020\\_06\\_TE\\_comparison\\_hydrogen\\_battery\\_electric\\_trucks\\_methodology.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020_06_TE_comparison_hydrogen_battery_electric_trucks_methodology.pdf).
- [25] “The Future Lies In: EV? or FCEV? – Hyundai Motor Group TECH.” <https://tech.hyundaimotorgroup.com/article/the-future-lies-in-ev-or-fcev/> (accessed Sep. 10, 2021).
- [26] “Medium- and Heavy-Duty Vehicle Electrification An Assessment of Technology and Knowledge Gaps Medium- and Heavy-Duty Vehicle Electrification,” no. December 2019, 2020.
- [27] K. Hampshire, R. German, A. Pridmore, and J. Fons, *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives*, no. 13. 2018.
- [28] H. Basma, Y. Beys, and F. Rodríguez, “Battery electric tractor-trailers in the

- European Union: A vehicle technology analysis,” 2021. [Online]. Available: [www.theicct.org](http://www.theicct.org).
- [29] Forbes, “Cheap Batteries Could Soon Make Electric Freight Trucks 50% Cheaper To Own Than Diesel,” 2021. <https://www.forbes.com/sites/energyinnovation/2021/03/16/plummeting-battery-prices-mean-electric-freight-trucks-could-be-50-cheaper-to-own-than-diesel/?sh=2b711f14418c> (accessed Oct. 27, 2021).
- [30] H. Li and C. Chen, “Research on Residual Value Evaluation of Battery Electric Vehicles Based on Replacement Cost Method,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 461, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/461/1/012027.
- [31] Geotab, “What can 6,000 electric vehicles tell us about EV battery health?,” 2020. <https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/> (accessed Jan. 08, 2022).
- [32] M. H. S. M. Haram, J. W. Lee, G. Ramasamy, E. E. Ngu, S. P. Thiagarajah, and Y. H. Lee, “Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 60, no. 5, pp. 4517–4536, 2021, doi: 10.1016/j.aej.2021.03.021.
- [33] Proyecto MOVÉS, “Ecosistema para la Promoción de la Movilidad Sostenible en empresas,” 2021. <https://moves.gub.uy/iniciativa/ecosistema-para-la-promocion-de-la-movilidad-sostenible-en-empresas/> (accessed Dec. 28, 2021).
- [34] MEF, *Artículo 35 Decreto N96/990*. 2021.
- [35] Dirección Nacional de Energía, “Eficiencia Energetica - Instrumentos para la promoción de la movilidad eléctrica - Transporte,” 2021. [http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/transporte?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_assetEntryId=4483635&\\_101\\_type=content&\\_101\\_urlTitle=instrumento](http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/transporte?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=4483635&_101_type=content&_101_urlTitle=instrumento) (accessed Jan. 26, 2022).
- [36] Movilidad Eléctrica UTE, “Carga de vehículos,” 2021. <https://movilidad.ute.com.uy/carga.html> (accessed Mar. 19, 2021).
- [37] M. Helmbrecht, C. Olaverri-Monreal, K. Bengler, R. Vilimek, and A. Keinath, “How electric vehicles affect driving behavioral patterns,” *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, vol. 6, no. 3, pp. 22–32, 2014, doi: 10.1109/MITS.2014.2315758.
- [38] NACFE, “Run On Less: Maintenance, Training & Safety,” 2021. <https://runonless.com/bootcamp/maintenance-training-safety/> (accessed Dec. 04, 2021).
- [39] CHBC, “CHBC Hydrogen FAQ,” pp. 1–16, 2018, [Online]. Available: <https://www.californiahydrogen.org/wp-content/uploads/2017/10/Hydrogen-FAQ-1.pdf>.
- [40] NACFE, “Making Sense of Heavy-Duty Hydrogen Fuel,” 2020.
- [41] Department of Primary Industries and Regional Development, “Frequently Asked



Questions Renewable Hydrogen.”

- [42] MIEM, “Proyecto piloto H<sub>2</sub>U,” 2021. <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/uruguay-lanza-proyecto-piloto-h2u-para-avanzar-hacia-produccion-hidrogeno> (accessed Dec. 09, 2021).
- [43] MIEM, “Impulsando la economía del hidrógeno verde | Ministerio de Industria, Energía y Minería,” 2021. <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/impulsando-economia-del-hidrogeno-verde> (accessed Jan. 10, 2022).
- [44] H2.live, “Hydrogen stations: FAQ,” 2021. <https://h2.live/en/faq/> (accessed Dec. 09, 2021).
- [45] IEA International Energy Agency, “Global Hydrogen Review 2021,” 2021. doi: 10.1787/39351842-en.
- [46] C. Cunanan, M.-K. Tran, Y. Lee, S. Kwok, V. Leung, and M. Fowler, “A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles,” *Clean Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 474–489, 2021, doi: 10.3390/cleantechnol3020028.

Centro de Innovación en Organización Industrial (CINOI)

Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo. Luis P. Ponce  
1307, 11300 Montevideo, Uruguay

[cinoi@um.edu.uy](mailto:cinoi@um.edu.uy)

