



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

# BARRERAS Y OPORTUNIDADES PARA LA INSERCIÓN DEL TRANSPORTE ELÉCTRICO EN URUGUAY

---

Julio 2021



**CINOI**  
Centro de Innovación en  
Organización Industrial



# 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



AGENCIA NACIONAL  
DE INVESTIGACIÓN  
E INNOVACIÓN



La energía que nos une



SADAR



SEG  
INGENIERIA



movés  
movilidad eficiente y sostenible



ANCAP



Ministerio  
de Transporte  
y Obras Públicas



IREC<sup>R</sup>  
Institut de Recerca en Energia de Catalunya  
Catalonia Institute for Energy Research



CONICET





## RESUMEN EJECUTIVO

Empresas y países están realizando esfuerzos para descarbonizar el transporte de carga en todo el mundo, impulsados por la reducción de costos y la disminución de la contaminación. Tanto la tecnología eléctrica de batería como la de pila de combustible se están posicionando como las más prometedoras para lograrlo. Sin embargo, se deben superar muchas barreras para que la adopción sea completa.

El objetivo del estudio fue lograr identificar de manera precisa y definida, las barreras y oportunidades que presenta el país para la inserción del transporte de carga eléctrico. Se pretende informar a todas las partes interesadas los resultados con la finalidad de minimizar la complejidad de la adaptación.

Esta investigación fue realizada por el Centro de Innovación en Organización Industrial (CINOI) en el contexto del proyecto “Transporte Eléctrico de Carga: Análisis de los desafíos para su introducción en Uruguay” financiado por el Fondo Sectorial de Energía (FSE) de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII).

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica que permitió identificar diecinueve barreras y doce oportunidades. Posteriormente, se llevó a cabo un Panel Delphi por un período de tiempo de tres meses, que consistió en tres cuestionarios y del cual participaron 24 expertos del sector. Este panel permitió adaptar las barreras y oportunidades identificadas en la literatura al contexto nacional. Finalmente, se realizó una encuesta a *stakeholders* acerca de las barreras, con la finalidad de analizar la diferencia entre las percepciones de los expertos y los encuestados.

Se destaca que Uruguay presenta barreras principalmente económicas y de infraestructura. De los resultados obtenidos, se tiene que las barreras rankeadas más altas por los expertos y los *stakeholders* son las altas inversiones iniciales, la autonomía limitada del vehículo, los bajos incentivos nacionales, la infraestructura de carga deficiente y los pocos modelos y garantías de fabricantes. En contrapartida, los beneficios y oportunidades identificadas son el costo actual del combustible, la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las políticas de exoneración de impuestos que existen y la red eléctrica casi 100% renovable. En el documento se profundiza en cada aspecto mencionado.

# TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	5
1.1. Introducción al proyecto	5
1.2. Introducción a la temática	5
1.3. Contexto uruguayo	7
2. Revisión bibliográfica	8
3. Metodología	11
3.1. Identificación de barreras y oportunidades	11
3.2. Panel Delphi	13
3.3. Selección de expertos	14
3.4. Rondas del Panel Delphi	15
3.5. Encuesta	16
4. Resultados	18
4.1. Panel Delphi	18
4.2. Encuesta	20
5. Análisis de barreras	22
5.1. Adaptaciones tecnológicas y operacionales	23
5.2. Ecosistema de mercado e infraestructura	24
5.3. Limitaciones de batería y autonomía	25
5.4. Demanda	26
5.5. Costos del ciclo de vida	26
6. Análisis de oportunidades	28
7. Conclusiones	29
8. Anexos	31
Apéndice I: Análisis factorial	31
9. Referencias	32

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento busca analizar las oportunidades y barreras existentes en Uruguay para la inserción del transporte eléctrico de carga. En este contexto, se analizan dos tecnologías alternativas a los vehículos a combustión interna (ICEV): vehículos eléctricos a batería (BEV) y vehículos eléctricos con celda de combustible de hidrógeno (FCEV).

En primer lugar, se ajustan las barreras identificadas a nivel mundial al contexto de América Latina con un Panel Delphi de expertos ejecutado en Uruguay. Identificar las barreras específicas que la región debe superar puede hacer que la transición sea más eficiente y las decisiones más acertadas. En segundo lugar, muestra una descripción general de las valorizaciones de cada barrera por parte de las partes involucradas y, finalmente, expone un análisis de la interrelación de las barreras con la finalidad de reducir la complejidad del proceso de descarbonización.

Se presenta una introducción general, primero al proyecto en el cual se enmarca este estudio y luego a la temática a nivel mundial y al contexto uruguayo en el cual se desarrolla la investigación. A continuación, se expone la revisión de la literatura llevada a cabo ([Sección 2](#)), se explica la metodología de investigación ([Sección 3](#)), se muestran los resultados obtenidos ([Sección 4](#)), se analizan las barreras ([Sección 5](#)) y las oportunidades ([Sección 6](#)) y finalmente se concluye ([Sección 7](#)).

## 1.1. Introducción al proyecto

Este documento se enmarca en el proyecto “Transporte Eléctrico de Carga: Análisis de los desafíos para su introducción en Uruguay” financiado por el Fondo Sectorial de Energía (FSE) de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) y ejecutado por el Centro de Innovación en Organización Industrial (CINOI).

El objetivo de este proyecto es evaluar los principales desafíos, facilitadores, y oportunidades, en términos de costo de vida, emisiones, e infraestructura que la introducción del vehículo eléctrico de carga (a batería o con pila de combustible de hidrógeno) puede tener para el transporte de carga del Uruguay. El estudio acerca de los principales desafíos y oportunidades de la introducción de vehículos eléctricos de carga (en todos sus segmentos) es vital para generar información científica confiable a nivel país. Esto podría permitir la generación de políticas públicas que fomenten la penetración de este tipo de tecnologías que son ya una realidad a nivel mundial y que cobrarán mayor relevancia en el mediano y largo plazo, de forma de lograr un transporte de carga verde y sustentable.

## 1.2 Introducción a la temática

A lo largo de los últimos años ha surgido una preocupación mundial cada vez mayor a medida que el cambio climático ha ido en aumento. En consecuencia, el sector del transporte se ha comprometido a centrarse en tecnologías alternativas que puedan sustituir a los vehículos convencionales con motor de combustión interna. Este sector es, sin duda, un factor crucial que juega un papel clave en el desarrollo de la economía y la civilización moderna. No obstante, representa cerca del 64% del consumo mundial de petróleo y el 23% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Krishna, 2021). Estas cifras, al igual que otros contaminantes atmosféricos, pueden reducirse combinando vehículos eléctricos y una matriz de generación de electricidad baja en carbono (Gonzalez Venegas et al., 2021).

Las primeras apariciones de los vehículos eléctricos tuvieron lugar en el siglo XIX pero fueron rápidamente desplazadas por vehículos con combustibles fósiles (Mandys, 2021). Recientemente, el atractivo de los vehículos eléctricos tanto para los gobiernos como para los usuarios hizo que el mercado de vehículos eléctricos creciera de manera constante en todo el mundo. En 2020, las matriculaciones de automóviles eléctricos aumentaron un 41%, mientras que las ventas mundiales de automóviles cayeron un 16%. Europa y China son, respectivamente, los mercados más grandes (IEA International Energy Agency, 2021). Cuando se trata de camiones pesados (HDT), la matriculación también ha aumentado un 10% en 2020, alcanzando un stock global de 31000 vehículos donde China domina el mercado sobre Europa y Estados Unidos (IEA International Energy Agency, 2021). Aunque muchos estudios señalan que la electrificación es menos factible en el transporte de mercancías pesadas debido a limitaciones técnicas (Nykvist & Olsson, 2021), los fabricantes de camiones como Daimler, MAN, Renault, Scania y Volvo creen que el futuro del transporte será eléctrico (IEA International Energy Agency, 2021).

La adopción de vehículos eléctricos es sin duda conveniente para descarbonizar la región de América Latina. Los sectores de servicio mediano y pesado representan cerca del 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y solo representan el 5% de los vehículos que circulan. Sin embargo, existen barreras que dificultan la transición que han mantenido la tasa de electrificación de los camiones como el mínimo de todos los segmentos (IEA International Energy Agency, 2021). Por lo tanto, comprender las causas de la baja penetración del mercado es crucial, ya que los fabricantes y muchos gobiernos nacionales de todo el mundo están planeando detener la producción de ICEVs (Berkeley et al., 2018).

Las barreras para la adopción de vehículos eléctricos han sido evaluadas por la literatura en muchos países y regiones específicos (Shell & Deloitte, 2021). Sin embargo, los estudios sobre el transporte de carga por carretera en América Latina aún son escasos a pesar de que las emisiones de dióxido de carbono en esta región representan cerca del 45% del total de las emisiones globales (Quiros-Tortos et al., 2019). Además, la región está bien posicionada para tomar acciones hacia la electrificación ya que cuenta con las mejores condiciones para los BEV debido al alto potencial de generación de energía eléctrica renovable (Quiros-Tortos et al., 2019).

Un estudio sobre el punto de quiebre de los camiones eléctricos en América Latina reveló que tanto Uruguay como Chile se posicionan como pioneros en lograr la paridad de costo total de propiedad (TCO) entre las BET y las ICET (Tanco et al., 2019). Este resultado es un motivador para la realización de un estudio enfocado en Uruguay, que actualmente está impulsando la movilidad eléctrica y la incorporación de fuentes alternativas de energía para lograr la soberanía energética, reducir las emisiones atmosféricas y la contaminación acústica. El país también presenta condiciones favorables para el desarrollo del transporte eléctrico en términos de generación e infraestructura ya que el 98% de la matriz energética es renovable, destacando la generación a partir de energía eólica, hidráulica, solar y de biomasa (UruguayXXI, 2020).

Los vehículos de combustible alternativo se pueden segregar en numerosas categorías (Mandys, 2021) pero, en cuanto a este estudio, se consideran únicamente las 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 (Smart Freight Centre, 2020). 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 (Smart Freight Centre, 2020). Aunque existen diferencias notables entre ambas tecnologías, ambas se consideran en la misma categoría de vehículos eléctricos en este documento, ya que comparten la mayoría de las principales barreras a superar.

### 1.3 Contexto uruguayo

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. El país presenta condiciones 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 (*Movilidad Eléctrica | MIEM, 2020*).

Dentro de estas políticas se distinguen la reducción del Impuesto Específico Interno (IMESI) para híbridos y eléctricos, exoneración de tasa global arancelaria (TGA), exoneración desde un 30% hasta un 70% de IRAE a través de la ley de promoción de inversiones (COMAP), bonificación de seguros, descuentos en la tarifa de energía eléctrica y certificados de eficiencia energética que amortiguan entre 3 a 30% de la inversión si corresponde.

En cuanto a la generación de energía eléctrica, el 98% de la generación es a partir de fuentes renovables, destacando la eólica, hidro, solar y biomasa (*El País - Energía, 2021*). Del total de la energía demandada, el 27% se utiliza para el sector de transporte. Por otro lado, el costo actual del combustible en Uruguay es significativamente alto en comparación a países de la región, dado que el litro/USD es más caro que Venezuela, Ecuador, Bolivia, Colombia, Panamá, Paraguay, Guatemala, Argentina, Brasil, Perú, Costa Rica y Chile (*Global Petrol Prices, 2021*). Ambas condiciones son favorables para la inserción del transporte de carga eléctrico.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Al igual que todas las tecnologías emergentes, los camiones eléctricos que funcionan con baterías y pilas de combustible de hidrógeno tienen que superar numerosas barreras. Sin embargo, los beneficios de estas tecnologías y las oportunidades del país en las que se desenvuelven son cruciales e impulsan la inserción. La temática de estudio está presente en la literatura a nivel nacional, regional y mayoritariamente, internacional, habiendo mayor presencia de estudios relacionados a las barreras y dificultades. A pesar de que existen numerosas y variadas barreras que superar para la electrificación total, estas no están impidiendo este fenómeno ni a nivel mundial ni en Uruguay, donde se están realizando, pruebas piloto con camiones eléctricos de batería y de pila de combustible de hidrógeno.

La revisión de la literatura identifica que entre los factores que retrasan la adopción profunda del transporte de carga eléctrica en todo el mundo, las barreras relacionadas con los costos son las más discutidas (Morganti & Browne, 2018). Sin embargo, los problemas con la tecnología, la infraestructura, la producción y la operación no son menos importantes para una implementación factible.

En cuanto a las barreras económicas, diversos autores identifican el alto precio de compra y la inversión inicial como una de las principales preocupaciones al momento de evaluar la transición a una flota eléctrica (Ablola et al., 2015; Bal & Vleugel, 2018; Brotherton et al., 2016; Jovanovic et al., 2020; Shell & Deloitte, 2021). A pesar de que la industria evoluciona rápidamente y las barreras económicas tienden a disminuir (Morganti & Browne, 2018; Van Amburg & Pitkanen, 2012) un estudio asegura que los incentivos financieros son esenciales para superar la disimilitud entre los costos del diésel y las tecnologías alternativas (Van Amburg & Pitkanen, 2012), y aún son insuficientes (Shell & Deloitte, 2021). Sin embargo, con un enfoque en el ciclo de vida, otro estudio revela que cuando el uso de los vehículos eléctricos es alto, se igualan los elevados costos iniciales en comparación con los vehículos de combustible convencionales debido al menor costo operativo por kilómetro de los primeros (Anderhofstadt & Spinler, 2019; Davis & Figliozzi, 2013).

No obstante, incluso si el costo total de propiedad (TCO) revela ahorros, el precio de compra puede ser un factor de atraso considerando que muchas empresas de camiones son pequeñas y medianas empresas y no son capaces de afrontar el costo inicial (Shell & Deloitte, 2021; Smart Freight Centre, 2020). Varios estudios también identifican la incertidumbre acerca del valor de reventa y la tasa de depreciación como una barrera (Anderhofstadt & Spinler, 2019; Morganti & Browne, 2018; Van Amburg & Pitkanen, 2012), por lo que los operadores de camiones tienden a extender la vida útil de sus flotas, postergando importantes inversiones y eludiendo el riesgo de pérdida de valor de reventa (Shell & Deloitte, 2021; Van Amburg & Pitkanen, 2012).

Barreras adicionales dentro de los aspectos económicos incluyen gastos de reparación (Adhikari et al., 2020; Brotherton et al., 2016; Simao et al., 2020), incertidumbre sobre los métodos actuales de cálculo del TCO debido a la falta de conocimiento sobre el avance de la tecnología (Hovi et al., 2020; Shell & Deloitte, 2021) y los costos de la electricidad renovable (Gallo, 2016).

Desde la perspectiva de la industria, los esfuerzos contradictorios tanto de los transportistas como de los fabricantes pueden entenderse como una barrera, ya que pueden retrasar sustancialmente la implementación del transporte eléctrico. Por un lado, los transportistas continúan concentrándose en mantener los costos más bajos en camiones pesados y, por otro lado, los productores de camiones "tienen prioridades contradictorias entre el desarrollo de tecnologías alternativas y la extracción de valor de los negocios tradicionales" (Shell & Deloitte, 2021). Este factor también afecta de tal manera que los pocos modelos comercializados no satisfacen todas las necesidades del comprador y pueden suponer sobrecostos (Van Amburg & Pitkanen, 2012). Además, la falta de

garantías y soporte del proveedor, a consecuencia de un sistema logístico y financiero poco estable, está afectando la confianza del consumidor y dificultando la adopción (Brotherton et al., 2016). Por lo tanto, para permitir la electrificación en el transporte de carga por carretera se debe lograr una alineación entre las partes interesadas en una visión a largo plazo (Shell & Deloitte, 2021).

En términos de tecnología, los camiones de pila de combustible de hidrógeno y de batería eléctrica presentan diferentes limitaciones. Al día de hoy, la batería eléctrica es una tecnología desarrollada que ha madurado significativamente a lo largo de los últimos años (Shell & Deloitte, 2021). Sin embargo, en comparación con los vehículos de combustión, los vehículos eléctricos son relativamente nuevos y el rendimiento tecnológico sigue siendo un desafío (Adhikari et al., 2020). En primer lugar, el diseño y el peso actuales de la batería representan una barrera importante (Adhikari et al., 2020) cuando se cambian los HDTs de diésel a motores con batería eléctrica, ya que “aumentar el tamaño de la batería para extender el rango máximo está a su vez limitado por límites legales y económicos en peso del camión” (Shell & Deloitte, 2021). Además, el tiempo de carga aumentará y la capacidad de carga útil se reducirá con baterías más grandes, lo que complicará el sistema operativo.

Cuando se trata de los FCEVs, se puede alcanzar potencialmente un rango más alto con menos tiempo de carga aunque, “en comparación con los BEV, se necesitará el doble de electricidad renovable para mover la misma cantidad de carga, lo que hace que el costo de producción de hidrógeno sea un factor prohibitivo” (Shell & Deloitte, 2021). Tanto para los BEV como para los FCEV de hidrógeno, no está claro cómo seguirá avanzando la tecnología. Esta falta de conocimiento es una barrera en sí misma, ya que la eficiencia, escala, confiabilidad y flexibilidad de la tecnología de BEV y FCEV no están aseguradas, lo que hace que los transportistas corran riesgos y frenen sus inversiones (Shell & Deloitte, 2021).

La transición a cualquiera de las dos tecnologías conduce a un proceso de reestructuración de las operaciones que no es atractivo porque conlleva complejidad en las operaciones y reducciones de eficiencia y flexibilidad (Shell & Deloitte, 2021), lo que resulta en posibles disminuciones de ganancias. En cuanto a las necesidades de infraestructura, la falta de cobertura (Shell & Deloitte, 2021), las esperas en las estaciones de carga (Morganti & Browne, 2018), una red poco confiable (Gallo, 2016), y la inversión inicial (Shell & Deloitte, 2021), se destacan entre otras barreras. Además, se requieren nuevas capacidades para los servicios de mantenimiento (Brotherton et al., 2016) y se tienen regulaciones inconsistentes entre regiones (Bal & Vleugel, 2018).

En cuanto a los beneficios que tienen ambas tecnologías y las oportunidades que se presentan para su inserción, lo que más se destaca en la literatura es lo relacionado con el cuidado ambiental, como puede ser la disminución de la contaminación de gases de efecto invernadero (GEI) y la disminución de contaminación sonora (Haddadian et al., 2015; Kumar & Alok, 2020; Ma et al., 2016). Mientras que los ICEV emiten GEI a lo largo de todo el proceso productivo hasta el consumo (extracción, transporte, refinación y combustión en el uso final), los BEV, si provienen de energía renovable no emiten estos gases (Smart Freight Centre, 2020). En el caso de los FCEV, existen distintos métodos para la obtención de hidrógeno, que varían según la procedencia de la energía utilizada. En el mejor escenario se utiliza hidrógeno verde proveniente de energías renovables que, al igual que los BEV, no emiten GEI en todo el proceso de obtención y uso (Smart Freight Centre, 2020).

Por otro lado, de acuerdo con la barrera de alta inversión inicial mencionada, varios autores identifican que la adopción de políticas a nivel gubernamental que amortigüen este impacto puede causar una situación favorable para la inserción (Anderhofstadt & Spinler, 2019; Kumar & Alok, 2020) Dentro de estas políticas se enfatiza en la exoneración de impuestos y descuentos en los valores de seguros. En cuanto a los costos operativos, se entiende que el costo del combustible elevado puede ser una oportunidad para que los países adopten tecnologías alternativas (Ablola et al., 2015; Van Amburg & Pitkanen, 2012) a la vez que buscan la independencia del petróleo (Kumar

& Alok, 2020; Ozaki & Sevastyanova, 2011). Además, este factor se ve potenciado por una red eléctrica renovable (Mat et al., 2011) que brinde estabilidad en los precios de la electricidad (Van Amburg & Pitkanen, 2012).

La tecnología presenta, además, mayores eficiencias frente a los ICEV (Mat et al., 2011) y mejores condiciones de manejabilidad para el usuario (Anderhofstadt & Spinler, 2019). Desde una perspectiva empresarial, se halló que el marketing y la reputación es un incentivo para las empresas para adoptar estas tecnologías. Finalmente, a nivel país, se encontró que tanto ser un pionero en tecnologías que favorecen el medioambiente (Ozaki & Sevastyanova, 2011) como aumentar la competitividad regional (Tanco et al., 2019) pueden ser estimulantes para la descarbonización del sector.

### 3. METODOLOGÍA

El presente estudio identifica las barreras y oportunidades que existen en Uruguay para la inserción del transporte de carga eléctrico en Uruguay. Con esta finalidad, en primer lugar, se investigan las barreras y oportunidades identificadas en la literatura tanto nacional como internacional y posteriormente se busca constatarlas con la realidad uruguaya. Cabe destacar que dentro de la categoría de oportunidades se incluyen también los beneficios que puede tener dicha inserción. De esta forma, se llevó a cabo un Panel Delphi de expertos del sector, donde el objetivo es consensuar dichas barreras y oportunidades. Posteriormente, se realizó una encuesta enfocada a las partes interesadas del sector, en la cual se contemplan únicamente las barreras.

#### 3.1 Identificación de barreras y oportunidades

Se realizó una revisión bibliográfica para recopilar las barreras y oportunidades acerca de la temática en la literatura. Se utilizó la base de datos de Scopus y Google Scholar con la finalidad de recopilar tanto artículos científicos como reportes técnicos. La búsqueda fue hecha en inglés con palabras claves como *“electric trucks”, “electric freight”, “battery-electric trucks”, “fuel cell trucks”, “alternative fuels”, “electric vehicles”* y *“transportation electrification”* que se combinaron con *“difficulties”, “barriers”, “factors”, “obstacles”, “opportunities”, “benefits”* y *“drivers”*. Se incluyeron además estudios vinculados al transporte de pasajeros debida a la escasez de estudios enfocados en transporte de carga exclusivamente. La revisión concluyó en una totalidad de 24 estudios pertinentes de los cuales se identificaron 19 barreras y 12 oportunidades.

Con la intención de ordenar los factores, se adoptó una clasificación similar a la realizada por (Adhikari et al., 2020) para las barreras y una clasificación similar a (Anderhofstadt & Spinler, 2019) para las oportunidades. Estas clasificaciones se muestran en la [Tabla 1](#) y [Tabla 2](#), respectivamente, junto a los autores identificados en la literatura.

Tabla 1: Barreras

Barreras	Categoría	Autores
<b>B1</b> Alta inversión inicial	Económico	(Ablola et al., 2015); (Adhikari et al., 2020); (Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Bal & Vleugel, 2018); (Berkeley et al., 2018); (Brotherton et al., 2016); (IEA International Energy Agency, 2021); (Goel et al., 2021); (Jovanovic et al., 2020); (Krishna, 2021); (Kumar Tarei et al., 2021); (Mandys, 2021); (Morganti & Browne, 2018); (Gallo, 2016); (Shell & Deloitte, 2021); (Simao et al., 2020); (Smart Freight Centre, 2020); (Tanco et al., 2019); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>B2</b> Altos costos de servicio y mantenimiento debido a la escasa oferta	Económico	(Berkeley et al., 2018); (Goel et al., 2021); (Shell & Deloitte, 2021); (Morganti & Browne, 2018)
<b>B3</b> Depreciación/valor de reventa	Económico	(Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Berkeley et al., 2018); (Goel et al., 2021); (Kumar Tarei et al., 2021); (Morganti & Browne, 2018); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>B4</b> Escasa demanda inicial	Económico	(Bal & Vleugel, 2018); (Berkeley et al., 2018); (Hovi et al., 2020); (Shell & Deloitte, 2021); (Simao et al., 2020)
<b>B5</b> Escasa oferta por relación de compromiso con empresas fabricantes	Económico	(Brotherton et al., 2016); (Jovanovic et al., 2020); (Shell & Deloitte, 2021); (Smart Freight Centre, 2020)

<b>B6</b>	Escasa información para calcular TCO	Económico	(Berkeley et al., 2018); (Hovi et al., 2020); (Jovanovic et al., 2020); (Shell & Deloitte, 2021); (Smart Freight Centre, 2020)
<b>B7</b>	Incentivos nacionales escasos	Social y normativa	(Ablola et al., 2015); (Adhikari et al., 2020); (Bal & Vleugel, 2018); (Brotherton et al., 2016); (IEA International Energy Agency, 2021); (Gallo, 2016); (Goel et al., 2021); (Hovi et al., 2020); (Jovanovic et al., 2020); (Kumar Tarei et al., 2021); (Morganti & Browne, 2018); (Shell & Deloitte, 2021); (Smart Freight Centre, 2020); (Tanco et al., 2019);
<b>B8</b>	Desconfianza por el desconocimiento de la tecnología	Social y normativa	(Adhikari et al., 2020); (Berkeley et al., 2018); (Goel et al., 2021); (Jovanovic et al., 2020); (Krishna, 2021); (Kumar Tarei et al., 2021); (Mandys, 2021); (Shell & Deloitte, 2021); (Smart Freight Centre, 2020)
<b>B9</b>	Fiabilidad en la tecnología	Social y normativa	(Ablola et al., 2015); (Adhikari et al., 2020); (Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Berkeley et al., 2018); (Brotherton et al., 2016); (Goel et al., 2021); (Jovanovic et al., 2020); (Krishna, 2021); (Kumar Tarei et al., 2021); (Morganti & Browne, 2018); (Shell & Deloitte, 2021); (Smart Freight Centre, 2020); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>B10</b>	Velocidad de carga de la batería	Técnica	(Ablola et al., 2015); (Adhikari et al., 2020); (Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Berkeley et al., 2018); (IEA International Energy Agency, 2021); (Gallo, 2016); (Goel et al., 2021); (Hovi et al., 2020); (Krishna, 2021); (Morganti & Browne, 2018); (Shell & Deloitte, 2021); (Simao et al., 2020); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>B11</b>	Autonomía (km)	Técnica	(Ablola et al., 2015); (Adhikari et al., 2020); (Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Berkeley et al., 2018); (Goel et al., 2021); (Hovi et al., 2020); (Krishna, 2021); (Kumar Tarei et al., 2021); (Mandys, 2021); (Morganti & Browne, 2018); (Shell & Deloitte, 2021); (Simao et al., 2020); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>B12</b>	Relación de compromiso entre el peso de la batería y la capacidad de carga	Técnica	(Ablola et al., 2015); (Adhikari et al., 2020); (Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Goel et al., 2021); (Morganti & Browne, 2018); (Shell & Deloitte, 2021); (Simao et al., 2020); (Smart Freight Centre, 2020); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>B13</b>	Seguridad y sostenibilidad de la cadena de suministro de la materia prima de las baterías	Técnica	(Goel et al., 2021); (Kumar Tarei et al., 2021); (Shell & Deloitte, 2021)
<b>B14</b>	Escasa infraestructura de carga/combustible	Infraestructura	(Adhikari et al., 2020); (Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Bal & Vleugel, 2018); (Berkeley et al., 2018); (Brotherton et al., 2016); (IEA International Energy Agency, 2021); (Gallo, 2016); (Goel et al., 2021); (Hovi et al., 2020); (Jovanovic et al., 2020); (Krishna, 2021); (Kumar Tarei et al., 2021); (Mandys, 2021); (Morganti & Browne, 2018); (Shell & Deloitte, 2021); (Simao et al., 2020); (Smart Freight Centre, 2020); (Tanco et al., 2019); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>B15</b>	Disponibilidad de tiempo entre traslados para cargar el camión	Técnica	(Berkeley et al., 2018); (Morganti & Browne, 2018)
<b>B16</b>	Escasos modelos y garantías de los fabricantes	Técnica	(Adhikari et al., 2020); (Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Berkeley et al., 2018); (Brotherton et al., 2016); (IEA International Energy Agency, 2021); (Goel et al., 2021); (Hovi et al., 2020); (Krishna, 2021); (Kumar Tarei et al., 2021); (Mandys, 2021); (Smart Freight Centre, 2020)
<b>B17</b>	Energía disponible necesaria para cubrir la demanda adicional	Infraestructura	(Gallo, 2016); (Kumar Tarei et al., 2021); (Morganti & Browne, 2018)

<b>B18</b>	Capacitación de los choferes en la nueva tecnología	Técnica	(Berkeley et al., 2018); (Shell & Deloitte, 2021); (Jovanovic et al., 2020)
<b>B19</b>	Escasa disponibilidad de servicios técnicos especializado	Técnica	(Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Berkeley et al., 2018); (Brotherton et al., 2016); (Goel et al., 2021); (Jovanovic et al., 2020); (Krishna, 2021); (Kumar Tarei et al., 2021); (Shell & Deloitte, 2021); (Simao et al., 2020); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)

Tabla 2: Oportunidades

	Oportunidades	Categoría	Autores
<b>O1</b>	Bajo valor de seguro	Políticas	(Anderhofstadt & Spinler, 2019);
<b>O2</b>	Competitividad regional	Socioeconómico	(Tanco et al., 2019)
<b>O3</b>	Costo actual del combustible	Socioeconómico	(Ablola et al., 2015); (Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Haddadian et al., 2015); (Mat et al., 2011); (Tanco et al., 2019); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>O4</b>	Disminuir la contaminación sonora	Ambiental	(Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Kumar & Alok, 2020); (Mat et al., 2011); (Ozaki & Sevastyanova, 2011)
<b>O5</b>	Disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero	Ambiental	(Ablola et al., 2015); (Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Haddadian et al., 2015); (Kumar & Alok, 2020); (Ma et al., 2016); (Mat et al., 2011); (Ozaki & Sevastyanova, 2011); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>O6</b>	Estabilidad en el precio de la electricidad	Socioeconómico	(Mat et al., 2011); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>O7</b>	Exoneración de impuestos	Políticas	(Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Kumar & Alok, 2020)
<b>O8</b>	Independencia del petróleo a nivel país	Políticas	(Kumar & Alok, 2020); (Ozaki & Sevastyanova, 2011); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>O9</b>	Marketing/Reputación de empresas	Socioeconómico	(Ablola et al., 2015); (Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Kumar & Alok, 2020); (Mat et al., 2011); (Van Amburg & Pitkanen, 2012)
<b>O10</b>	Red eléctrica prácticamente 100% renovable	Operacional	(Mat et al., 2011)
<b>O11</b>	Rendimiento/manejabilidad	Operacional	(Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Ozaki & Sevastyanova, 2011); (Mat et al., 2011)
<b>O12</b>	Ser un pionero en tecnologías que favorecen el medioambiente	Ambiental	(Anderhofstadt & Spinler, 2019); (Ozaki & Sevastyanova, 2011)

### 3.2 Panel Delphi

El Panel de expertos Delphi es un método de investigación utilizado para generar consenso sobre un tema específico utilizando cuestionarios secuenciados (Anderhofstadt & Spinler, 2019; Hsu & Sandford, 2007). Esto se logra mediante una serie de cuestionarios en donde se muestra a los expertos las respuestas de sus pares después de cada iteración. Los expertos en el tema se seleccionan cuidadosamente y participan de forma anónima a lo largo de tres o cuatro iteraciones de cuestionarios con retroalimentación controlada (Loo, 2002). Finalmente, las respuestas se

procesan estadísticamente para concebir una respuesta grupal, dando una conclusión a la investigación (Landeta, 2006).

Esta técnica fue elegida por su reconocimiento como método de investigación confiable dentro de la comunidad científica basado en que las decisiones grupales suelen tener más validez que las respuestas individuales (Murry & Hammons, 1995). Además, la toma de decisiones en grupo puede ser más eficaz si los participantes permanecen en el anonimato para reducir el sesgo del grupo y las influencias de los miembros dominantes (Murry & Hammons, 1995). Adicionalmente, dado que en Uruguay no se está desarrollando ni se ha desarrollado ninguna investigación que involucre opiniones de expertos sobre el tema, un estudio Delphi es un método eficaz para articular la interacción entre todos los sectores involucrados en la descarbonización del transporte de carga por carretera.

### 3.3 Selección de expertos

La selección de expertos es fundamental para asegurar la validez de las conclusiones extraídas. Los candidatos deben tener un conocimiento profundo sobre el tema para estar calificados para participar (Anderhofstadt & Spinler, 2019; Murry & Hammons, 1995).

Treinta y un expertos que representan a múltiples sectores involucrados en la electrificación del transporte de carga por carretera fueron invitados por correo electrónico después de una selección de posibles candidatos. Se informó en primera instancia la metodología, el proceso, los objetivos y el compromiso necesario, así como los tiempos de ejecución esperados. Con una tasa de aceptación del 77,4%, veinticuatro expertos estuvieron dispuestos a contribuir a este estudio. Se identificaron siete grupos principales entre los participantes que se muestran en la [Figura 1](#). Los principales grupos encuestados son los representantes de marcas de camiones en Uruguay y los proveedores (21% cada uno). Por otro lado, los proveedores de logística y energía, el gobierno y las empresas de transporte estuvieron igualmente representados (13%) y los consultores de tecnología fueron la menor categoría representada (8%). En la [Figura 2](#) se muestra el promedio de años de experiencia de los expertos clasificados según el sector. Esta información fue proporcionada por los expertos y tiende a justificar su nivel de conocimientos y experiencia. Se destaca que, en promedio, todos los expertos cuentan con más de 10 años de experiencia.

Figura 1: Participación de expertos según rubro

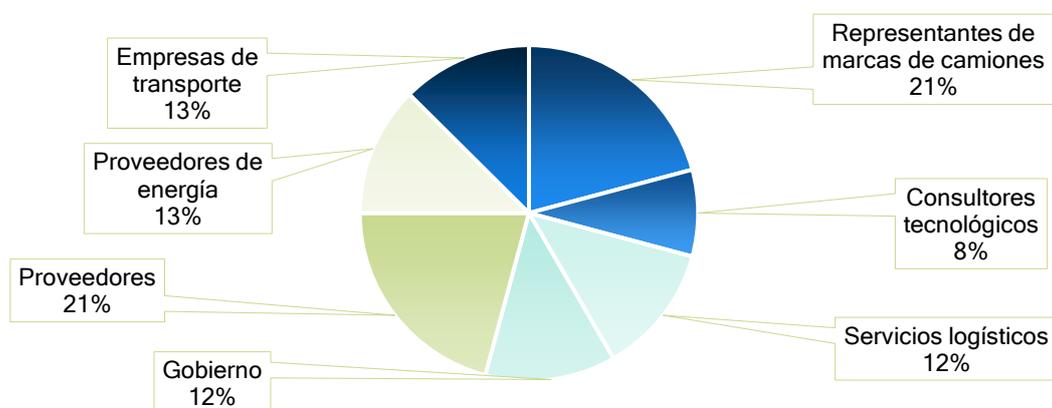
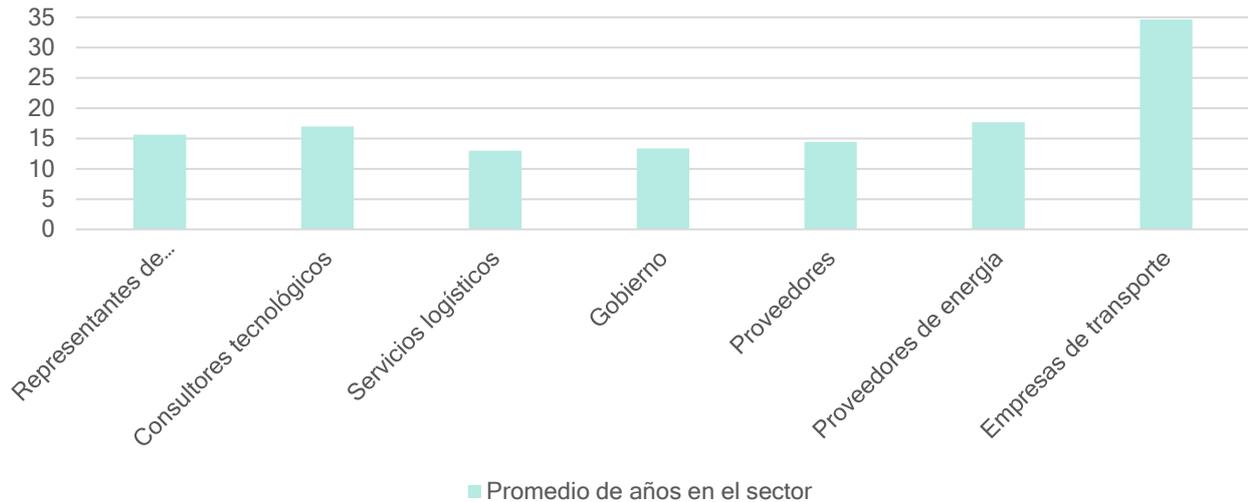


Figura 2: Experiencia de expertos según rubro



### 3.4 Rondas del Panel Delphi

Se llevaron a cabo tres rondas en el estudio Delphi a lo largo de tres meses. Los expertos tuvieron aproximadamente dos semanas para completar cada cuestionario y recibieron uno nuevo una semana después de cada fecha de vencimiento. El tiempo previsto para la finalización no se basó en la dificultad de la tarea, sino en mejorar el nivel de respuesta.

En la primera ronda del estudio Delphi se optó por una modificación del cuestionario tradicional que, en vez de consistir en preguntas abiertas con el propósito de recibir juicios u opiniones individuales sobre el tema en cuestión, se incluyó una lista de barreras y oportunidades identificadas, mencionadas en la [Sección 3.1](#). Se pidió a los expertos que clasificaran estos factores en una escala Likert de siete puntos, donde 1 significa estar en total desacuerdo con que es una barrera/oportunidad y 7 significa estar completamente de acuerdo con que es una barrera/oportunidad. Después de cada clasificación, se dejó un espacio en blanco para que los expertos agreguen más comentarios o justificaciones.

En la segunda ronda, los expertos deberían poder ver su respuesta, así como las calificaciones de los otros expertos de forma anónima, para volver a clasificar cada factor en función de la información proporcionada (Murry & Hammons, 1995). Por lo tanto, se expusieron las respuestas de todos los expertos y se solicitó a los encuestados que tomaran en consideración tanto las clasificaciones como los comentarios mostrados para volver a clasificar cada factor. Esta ronda presentó una tasa de deserción del 4,2%, que es significativamente más baja que el 18% que se cita en la literatura (Nowack et al., 2011). Después de la segunda ronda, el 8,7% de los expertos abandonaron el estudio, donde la tasa promedio de deserción es normalmente próxima al 4% (Nowack et al., 2011).

Luego de recibir las respuestas de cada cuestionario, se tabularon los resultados, se calcularon las distribuciones de frecuencia, las medias y las desviaciones estándar y se planificaron las iteraciones posteriores para lograr el nivel deseado de consenso y estabilidad (Hsu & Sandford, 2007; Murry & Hammons, 1995) Previo al análisis, el grupo de investigación definió los niveles de consenso y estabilidad respecto a estudios similares encontrados en la literatura.

El consenso se alcanza cuando las calificaciones individuales caen dentro de un rango prescrito o se reúnen alrededor de una respuesta (Hsu & Sandford, 2007; Murry & Hammons, 1995). Se optó por un abordaje IQD (desviación inter-cuartil). "El IQD representa la distancia entre los valores del percentil 25 y el percentil 75 en las opiniones, donde un IQD más pequeño indica un mayor consenso" (De Vet et al., 2005). Esto significa que si se alcanza un IQD de 1 o menos, el 50% de

las respuestas caen dentro de un punto de la escala (von der Gracht, 2012). De esta forma, se optó por un criterio de IQD  $\leq 1$  para definir el nivel de consenso.

La estabilidad de las respuestas se alcanza cuando las respuestas son consistentes. Con análisis estadístico, esto significa que las respuestas no son significativamente diferentes entre cada ronda (Dajani et al., 1979). Es importante notar que el consenso debe analizarse solo cuando se alcanza la estabilidad, ya que un acuerdo no es válido si la respuesta no es estable (Dajani et al., 1979). Los estudios Delphi a menudo terminan cuando se alcanza un cierto nivel de estabilidad sin que necesariamente haya consenso (von der Gracht, 2012). La estabilidad se calculó con un análisis de coeficiente de variación (CV). El CV “es un número adimensional y se calcula como la desviación estándar dividida por la media” (von der Gracht, 2012) y generalmente se expresa en porcentajes. El cambio de CV de ronda a ronda se calculó restando cada ratio de CV y se consideró estable un resultado máximo de 0,1 (Anderhofstadt & Spinler, 2019).

Los criterios mencionados anteriormente fueron los definidos para calcular tanto los valores de estabilidad como consenso. En el caso específico de las oportunidades, cinco de ellas lograron ambos umbrales en la segunda ronda, por lo cual no fueron preguntadas nuevamente en la tercera ronda. Por último, esta tercera ronda concluyó el Panel Delphi principalmente porque el umbral de estabilidad fue alcanzado por la mayoría de las barreras (78,9%) y oportunidades (83,3%). Esta decisión también se tomó debido a la fatiga del experto, causada por una duración total del panel de tres meses.

### 3.5 Encuesta

Se realizó una encuesta exploratoria para identificar las barreras percibidas por los actores uruguayos. Se utilizó la plataforma SurveyMonkey® para crear una encuesta en línea, que luego se distribuyó por correo electrónico a contactos relacionados con la industria.

La primera sección de la encuesta tuvo como objetivo caracterizar al encuestado (tipo de industria a la que pertenece, años de experiencia y estimación del conocimiento tecnológico). La siguiente sección de la encuesta presenta la lista de barreras clasificadas, tal como se menciona en la [Sección 3.1](#). Se pidió a los encuestados que calificaran a cada uno de ellos en una escala Likert de 1 (muy en desacuerdo con que sea una barrera) a 7 (completamente de acuerdo en que es una barrera). Además, se les pidió que incluyeran cualquier otra barrera o comentario que consideraran relevante.

La distribución de la encuesta se realizó en dos instancias. Primero, se realizó un mailing masivo para llegar a alrededor de 5000 contactos. En un lapso de dos semanas y media, se obtuvieron 304 respuestas. Posteriormente, se envió un correo electrónico recordatorio y se recopilaron las respuestas finales durante una semana más. Después de estos dos procesos, se obtuvieron 322 cuestionarios aceptables que posteriormente se analizaron. Entre los encuestados, los sectores más representativos fueron el de transporte (35,7%), industria y construcción (14,3%), servicios (13%) y energía (12,4%). La [Tabla 3](#) presenta la caracterización de la encuesta.

Se realizó un ANOVA unidireccional en Minitab para identificar si las calificaciones otorgadas a cada barrera eran significativamente diferentes entre sí. En consecuencia, se realizó un análisis factorial exploratorio (FA) para estudiar las interrelaciones entre las barreras y presentar una nueva categorización de estas.

Tabla 3: Representatividad de la muestra

<b>Grupo</b>	<b>Representatividad</b>
Transporte	35,7%
Industria y construcción	14,3%
Servicios	13,0%
Comercio y finanzas	5,9%
Logística	3,4%
Energía	12,4%
Sector automotor	5,6%
Proveedores	8,1%
Tecnología y comunicación	1,6%

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Panel Delphi

Los resultados del Panel Delphi se resumen en la [Tabla 4](#). Se enumeran las diecinueve barreras y doce oportunidades, así como los resultados de cada ronda. Los parámetros calculados, según el apartado anterior ([sección 3.4](#)), son el IQD, el CV y la media. Las últimas tres columnas muestran, respectivamente, el cambio de CV de la ronda 2 a la 3 y si se alcanzó el consenso y la estabilidad.

Tabla 4: Resultados Panel Delphi

Factores	Ronda 1 (n=24)			Ronda 2 (n=23)			Ronda 3 (n=21)			Variación	Consenso	Estabilidad
	IQD	CV	Prom	IQD	CV	Prom	IQD	CV	Prom	CV		
(B1) Alta inversión inicial	2	0,21	6,04	2	0,18	5,95	1	0,17	5,4	-0,01	Sí	Sí
(B2) Altos costos de servicio y mantenimiento debido a la escasa oferta	3	0,41	4,29	3	0,39	4,47	3	0,46	3,6	0,07	No	Sí
(B3) Depreciación/valor de reventa	1,75	0,37	4,17	2	0,3	4,56	1,75	0,34	3,95	0,04	No	Sí
(B4) Escasa demanda inicial	2,75	0,36	4,71	1,25	0,27	5	2	0,41	4,15	0,13	No	No
(B5) Escasa oferta por relación de compromiso con empresas fabricantes	2,5	0,34	4,67	1	0,17	5,33	1,75	0,32	4,85	0,15	No	No
(B6) Escasa información para calcular TCO	2,25	0,43	3,95	2	0,32	4,65	2	0,36	4,15	0,04	No	Sí
(B7) Incentivos nacionales escasos	5	0,46	4,67	2,5	0,33	4,71	2	0,33	4,15	0	No	Sí
(B8) Desconfianza por el desconocimiento de la tecnología	3	0,44	4,54	2	0,35	4,26	2	0,39	4	0,04	No	Sí
(B9) Fiabilidad en la tecnología	4	0,52	3,92	3	0,37	4,67	2	0,39	4,3	0,02	No	Sí
(B10) Velocidad de carga de la batería	3	0,35	4,91	2	0,32	5,32	2,75	0,33	4,65	0,01	No	Sí
(B11) Autonomía (km)	2	0,32	5,08	2,25	0,34	5,11	1	0,34	4,55	0	Sí	Sí
(B12) Relación de compromiso entre el peso de la batería y la capacidad de carga	2	0,32	5	1,25	0,28	5,17	0,75	0,31	4,9	0,03	Sí	Sí
(B13) Seguridad y sostenibilidad de la cadena de suministro de la materia prima de las baterías	3	0,41	4,41	2	0,26	5,11	0,75	0,29	4,6	0,03	No	Sí

(B14) Escasa infraestructura de carga/combustible	3	0,28	5,5	1,5	0,22	5,5	1	0,3	4,37	0,08	Sí	Sí
(B15) Disponibilidad de tiempo entre traslados para cargar el camión	2	0,32	5	2	0,3	5,05	0,75	0,29	4,7	-0,01	Sí	Sí
(B16) Escasos modelos y garantías de los fabricantes	3,5	0,34	5	1	0,19	5,39	1	0,19	5,35	0	Sí	Sí
(B17) Energía disponible necesaria para cubrir la demanda adicional	4	0,69	3	3	0,5	3,44	3,5	0,66	2,95	0,15	No	No
(B18) Capacitación de los choferes en la nueva tecnología	2	0,47	3,26	3,5	0,44	4,41	3	0,54	3,5	0,11	No	No
(B19) Escasa disponibilidad de servicios técnicos especializado	3	0,39	4,65	2	0,36	4,94	2	0,35	4,53	-0,02	No	Sí
(O1) Bajo valor de seguro	2	0,31	4,59	0,5	0,23	5,06	-	-	-	-	Sí	Sí
(O2) Competitividad regional	1	0,26	5,13	1	0,25	5,44	-	-	-	-	Sí	Sí
(O3) Costo actual del combustible	1	0,13	6,04	1	0,12	6,22	-	-	-	-	Sí	Sí
(O4) Disminuir la contaminación sonora	2,75	0,29	5,46	2	0,26	5,67	1,750	0,21	5,70	0,05	Sí	No
(O5) Disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero	2	0,15	6,13	1	0,11	6,39	-	-	-	-	Sí	Sí
(O6) Estabilidad en el precio de la electricidad	3	0,28	5,43	2	0,28	5,22	1	0,24	5,32	0,04	Sí	Sí
(O7) Exoneración de impuestos	1,75	0,22	5,92	1	0,10	6,17	0,75	0,13	6,05	0,03	Sí	Sí
(O8) Independencia del petróleo a nivel país	2	0,20	5,88	2	0,15	6,06	1,75	0,16	6,00	0,01	Sí	No
(O9) Marketing/Reputación de empresas	2,75	0,24	5,54	2	0,22	5,72	0,00	0,09	6,10	0,13	No	Sí
(O10) Red eléctrica prácticamente 100% renovable	2	0,24	6,00	1,25	0,15	6,17	1,00	0,14	6,35	0,01	Sí	Sí
(O11) Rendimiento/manejabilidad	3	0,26	5,43	1	0,23	5,44	-	-	-	-	Sí	Sí
(O12) Ser un pionero en tecnologías que favorecen el medioambiente	2	0,21	5,70	2	0,16	5,94	1,00	0,19	6,10	0,03	Sí	Sí

El valor umbral de estabilidad es un cambio de CV de 0,1, lo que significa que quince barreras (78,9%) y diez oportunidades (83,3%) alcanzaron la estabilidad. Los factores que no cumplieron con este valor son, por un lado, las barreras: (B4) *escasa demanda inicial*, (B5) *escasa oferta por*

relación de compromiso con empresas fabricantes, (B17) energía disponible necesaria para cubrir la demanda adicional y (B18) capacitación de los choferes en la nueva tecnología. Por otro lado, tampoco alcanzaron el valor umbral las oportunidades: (O8) independencia del petróleo a nivel país y (O4) disminuir la contaminación sonora. La estabilidad fue extremadamente alta (0.0) en las barreras: (B11) autonomía (km), (B16) escasos modelos y garantías del fabricante y (B7) incentivos nacionales escasos. Además, se obtuvo un nivel de estabilidad alta bastante alto (0.1) en (B10) velocidad de carga de la batería, (B15) disponibilidad de tiempo entre traslados para cargar el camión y (B1) alta inversión inicial.

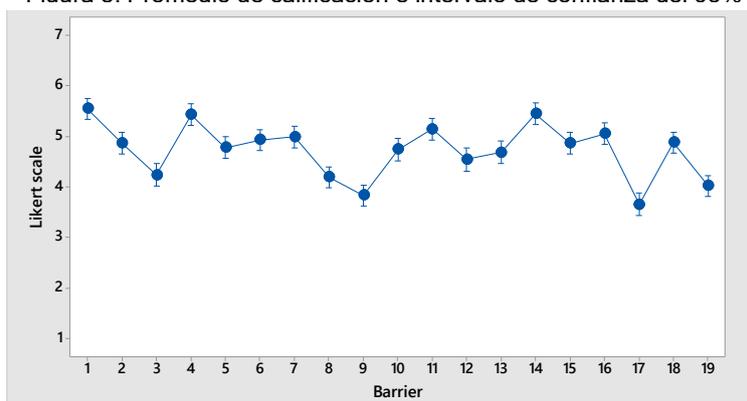
En cuanto al consenso, solo se alcanzó en seis barreras (31,6%): (B1) alta inversión inicial, (B14) escasa infraestructura de carga/combustible, (B15) disponibilidad de tiempo entre traslados para cargar el camión, (B11) autonomía (km), (B12) relación de compromiso entre el peso de la batería y la capacidad de carga y (B16) escasos modelos y garantías de los fabricantes. Cabe señalar que estas barreras también cumplen con el valor de estabilidad. En cuanto al consenso en las oportunidades, este se obtuvo en once de doce factores (91,7%), siendo la única oportunidad que no logró los niveles de consenso: (O9) marketing/reputación de empresas.

## 4.2 Encuesta

Los resultados de la encuesta muestran que las barreras mejor rankeadas son (B1) alta inversión inicial, (B14) escasa infraestructura de carga/combustible, (B4) escasa demanda inicial, (B11) autonomía (km) y (B16) escasos modelos y garantías de los fabricantes. Estas barreras se calificaron por encima de 5 y pueden considerarse como las principales barreras identificadas por las partes interesadas. Las barreras rankeadas con 4 o menos incluyen (B17) energía disponible necesaria para cubrir la demanda adicional, (B9) fiabilidad en la tecnología y (B19) escasa disponibilidad de servicios técnicos especializado.

El ANOVA unidireccional reveló que las barreras más puntuadas mencionadas anteriormente difieren significativamente de las menos puntuadas también mencionadas anteriormente, incluida la (B8) desconfianza por el desconocimiento de la tecnología. Los factores restantes se calificaron de 5.0 a 4.2, pero el análisis no revela diferencias estadísticamente significativas entre ellos. La [Figura 3](#) muestra las calificaciones de cada barrera y su intervalo de confianza del 95%.

Figura 3: Promedio de calificación e intervalo de confianza del 95%



Una vez que se clasificaron las barreras, se realizó un análisis exploratorio de componentes principales, que es un tipo de análisis factorial (FA), con la intención de reducir las barreras a una menor cantidad de grupos. El objetivo del FA es encontrar una manera de condensar la información contenida en una serie de variables originales en un conjunto más pequeño de variables (factores) con una mínima pérdida de información” (Hair JF, William CB, Barry JB, 2010). Un factor se define como una combinación lineal de las variables originales observadas (Beckett et al., 2018) que son, en este caso, las barreras. La [Tabla A1](#) en el [Apéndice I](#) muestra los diecinueve factores extraídos con sus correspondientes valores propios y varianza acumulada. El número de factores a retener

se estableció mediante el 60% o más de la varianza explicada (Beckett et al., 2018), por lo que se encontró una solución de cinco factores.

Después de alcanzar la solución de cinco factores, se realizó la rotación de factores. Se utilizó el método de rotación ortogonal Varimax para definir la estructura del conjunto de variables. La [Tabla 5](#) muestra las cargas de cada factor sobre las diecinueve barreras. Se tomó la carga absoluta más alta para cada variable (Hair JF, William CB, Barry JB, 2010) en cada uno de los cinco factores, que está representada por los números en negrita. Se estableció el valor de corte para los factores en |.3| (Pohlmann, 2004). Ocho barreras se explican por el factor 1, cuatro por el factor 2, tres por el factor 3, una por el factor 4 y las tres barreras restantes se explican por el factor 5.

Tabla 5: Matriz factorial rotada

Barrera	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
(B17) Energía disponible necesaria para cubrir la demanda adicional	<b>0,77</b>	0,131	-0,169	0,055	0,31
(B19) Escasa disponibilidad de servicios técnicos especializado	<b>0,538</b>	0,207	-0,037	-0,117	-0,149
(B9) Fiabilidad en la tecnología	<b>0,489</b>	0,086	-0,177	-0,032	-0,163
(B8) Desconfianza por el desconocimiento de la tecnología	<b>0,488</b>	0,122	-0,115	-0,134	-0,203
(B18) Capacitación de los choferes en la nueva tecnología	<b>0,486</b>	0,334	-0,228	-0,235	-0,027
(B2) Altos costos de servicio y mantenimiento debido a la escasa oferta	<b>0,423</b>	0,091	-0,315	-0,226	-0,258
(B13) Seguridad y sostenibilidad de la cadena de suministro de la materia prima de las baterías	<b>0,417</b>	0,164	-0,327	-0,071	-0,22
(B5) Escasa oferta por relación de compromiso con empresas fabricantes	<b>0,298</b>	0,199	-0,285	-0,228	-0,209
(B14) Escasa infraestructura de carga/combustible	0,159	<b>0,713</b>	-0,188	-0,242	-0,029
(B15) Disponibilidad de tiempo entre traslados para cargar el camión	0,176	<b>0,634</b>	-0,335	-0,062	-0,047
(B16) Escasos modelos y garantías de los fabricantes	0,306	<b>0,581</b>	-0,254	-0,314	-0,163
(B7) Incentivos nacionales escasos	0,334	<b>0,469</b>	-0,101	-0,017	-0,299
(B11) Autonomía (km)	0,14	0,331	<b>-0,794</b>	-0,079	-0,22
(B10) Velocidad de carga de la batería	0,168	0,296	<b>-0,691</b>	-0,15	0,042
(B12) Relación de compromiso entre el peso de la batería y la capacidad de carga	0,252	0,134	<b>-0,578</b>	-0,015	-0,185
(B4) Escasa demanda inicial	0,171	0,364	-0,108	<b>-0,891</b>	-0,179
(B6) Escasa información para calcular TCO	0,311	0,337	-0,239	-0,104	<b>-0,411</b>
(B1) Alta inversión inicial	0,052	0,404	-0,207	-0,324	<b>-0,43</b>
(B3) Depreciación/valor de reventa	0,206	0,003	-0,343	-0,256	<b>-0,397</b>

## 5. ANÁLISIS DE BARRERAS

La revisión de la literatura de los estudios recientes reveló diecinueve barreras principales que los países deben superar para lograr incorporar el transporte eléctrico de carga por carretera. Estas barreras fueron presentadas a un panel de expertos de 24 miembros en Uruguay para su evaluación, en el cual dieciséis barreras alcanzaron niveles de estabilidad y seis de ellas también alcanzaron consenso. Más adelante, la encuesta realizada reveló la percepción de los grupos de interés sobre estas barreras, y en virtud del análisis factorial se identificaron cinco factores principales que las engloban. La solución de cinco factores encontrada permitió una nueva clasificación basada en las relaciones subyacentes entre las barreras.

Cada factor se discute y analiza en las siguientes secciones. Asimismo, se siguió un análisis similar al de (Anderhofstadt & Spinler, 2019) para presentar la valorización de cada barrera, debido a su alineación en tema y metodología. En la [Tabla 6](#) se muestra un resumen de las barreras y su clasificación.

Tabla 6: Clasificación de barreras según factor

Factor	Barrera
<b>Adaptaciones tecnológicas y operacionales</b>	(B17) Energía disponible necesaria para cubrir la demanda adicional
	(B19) Escasa disponibilidad de servicios técnicos especializado
	(B9) Fiabilidad en la tecnología
	(B8) Desconfianza por el desconocimiento de la tecnología
	(B18) Capacitación de los choferes en la nueva tecnología
	(B2) Altos costos de servicio y mantenimiento debido a la escasa oferta
	(B13) Seguridad y sostenibilidad de la cadena de suministro de la materia prima de las baterías
	(B5) Escasa oferta por relación de compromiso con empresas fabricantes
<b>Ecosistema de mercado e infraestructura</b>	(B14) Escasa infraestructura de carga/combustible
	(B15) Disponibilidad de tiempo entre traslados para cargar el camión
	(B16) Escasos modelos y garantías de los fabricantes
	(B7) Incentivos nacionales escasos
<b>Limitaciones de batería y autonomía</b>	(B11) Autonomía (km)
	(B10) Velocidad de carga de la batería

	(B12) Relación de compromiso entre el peso de la batería y la capacidad de carga
<b>Demanda</b>	(B4) Escasa demanda inicial
<b>Costos del ciclo de vida</b>	(B6) Escasa información para calcular TCO
	(B1) Alta inversión inicial
	(B3) Depreciación/valor de reventa

## 5.1 Adaptaciones tecnológicas y operacionales

Esta categoría abarca las barreras relacionadas a las adaptaciones que se deben hacer cuando se incorporan camiones eléctricos. En primer lugar, se tiene que las barreras *(B19) escasa disponibilidad de servicios técnicos especializado*, *(B18) capacitación de los choferes en la nueva tecnología* y *(B13) seguridad y sostenibilidad de la cadena de suministro de la materia prima de las baterías* ya se clasificaron como barreras técnicas en la [Sección 3](#). Por otro lado, la *(B17) energía disponible necesaria para cubrir la demanda adicional* puede verse como una barrera operativa, ya que puede condicionar los tiempos de carga y, a corto plazo, estos deben adaptarse a la disponibilidad de la red. Barreras como *(B8) desconfianza por el desconocimiento de la tecnología* y *(B9) Fiabilidad en la tecnología* se encontraron como barreras sociales y políticas e involucran el estado actual de la tecnología y su avance. Además, la *(B5) escasa oferta por relación de compromiso con empresas fabricantes* y *(B2) altos costos de servicio y mantenimiento debido a la escasa oferta* son barreras técnicas que también irán disminuyendo a medida que la tecnología mejore, pero a las que los países deben adaptarse mientras tanto.

Figura 4: Adaptaciones tecnológicas y operacionales



Los expertos y los *stakeholders* coinciden en su opinión sobre la mayoría de las barreras en esta categoría según lo muestra la [Figura 4](#). Se producen diferencias notables en *(B2) altos costos de*

*servicio y mantenimiento debido a la escasa oferta, (B18) capacitación de los choferes en la nueva tecnología y (B17) energía disponible necesaria para cubrir la demanda adicional*, donde los resultados de la encuesta revelan altas calificaciones de los *stakeholders*, mientras que los expertos las califican con puntajes mucho menores.

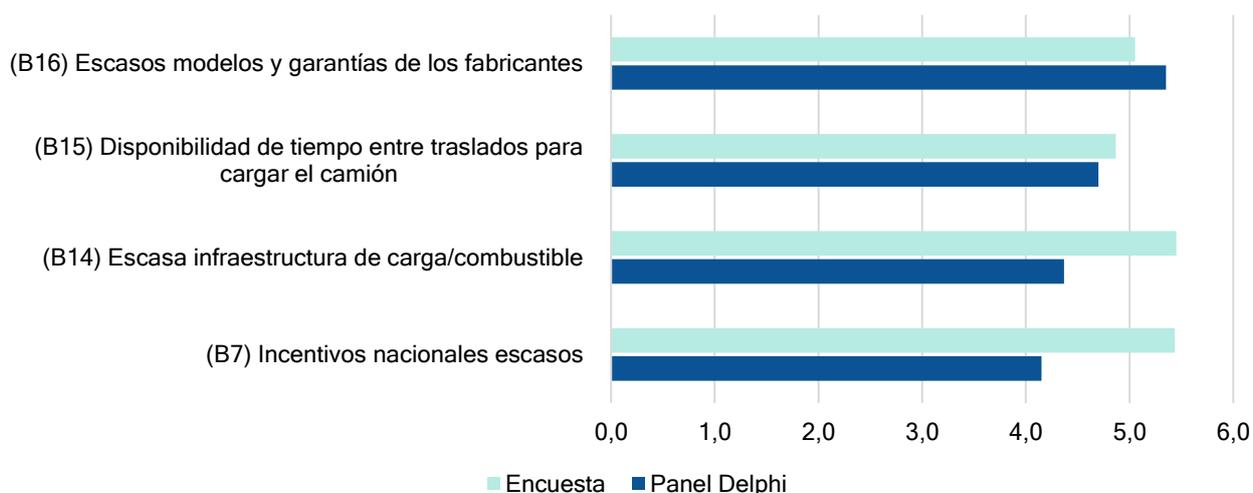
Con respecto a *(B2) altos costos de servicio y mantenimiento debido a la escasa oferta*, las opiniones y justificaciones de los expertos parecen converger en la idea de que el costo de mantenimiento es menor que el de los camiones de combustión interna. El experto 15 afirma que “una de las ventajas del transporte eléctrico es su intrínseco menor coste de mantenimiento (menos piezas móviles, mucha menos lubricación, ausencia de altas temperaturas)”. Otros seis expertos se fundamentan en el hecho de que los costos están asociados a las demoras en tiempo y a la adecuación del soporte técnico, ya que consideran que es una barrera porque aún no existe una demanda masiva que potencialmente pueda reducir los costos.

La mayoría de los expertos cree que la formación de conductores no es una barrera o que es relativamente pequeña al principio ya que “el país tiene un sistema educativo que lo facilitaría”. En cuanto *(B17) energía disponible necesaria para cubrir la demanda adicional*, los expertos fundamentan que se debe considerar un análisis momento a momento de la demanda y la generación en vez de un análisis basado en el promedio ya que la energía debe estar garantizada en todo instante. Además, sostienen que Uruguay tiene energía renovable de sobra y por lo tanto no sería una barrera significativa.

Finalmente, la *(B13) seguridad y sostenibilidad de la cadena de suministro de la materia prima de las baterías* es un aspecto en el que los expertos y los *stakeholders* parecen estar de acuerdo en que es una barrera de clasificación relativamente alta. Además, un experto afirma que “la demanda de baterías está creciendo en forma exponencial, no sólo para transporte, sino para aplicaciones de almacenamiento de energía a nivel domiciliario y, sobre todo, a nivel de red, lo que también conlleva un desafío de reciclaje muy grande”. Sin embargo, otro experto afirma que en Uruguay ya se está en proceso de aprobación de una propuesta de regulación.

## 5.2 Ecosistema de mercado e infraestructura

Figura 5: Ecosistema de mercado e infraestructura



El factor 2 enmarca a aquellas barreras que se relacionan al ecosistema de mercado e infraestructura y se fundamenta en el hecho que se requiere un ecosistema de soporte para que la tecnología del transporte eléctrico pueda desarrollarse y mejorarse (Berkeley et al., 2018). Las barreras dentro de esta categoría son la *(B14) escasa infraestructura de carga/combustible*, la *(B15)*

disponibilidad de tiempo entre traslados para cargar el camión, los (B16) escasos modelos y garantías de los fabricantes, y los (B7) incentivos nacionales escasos.

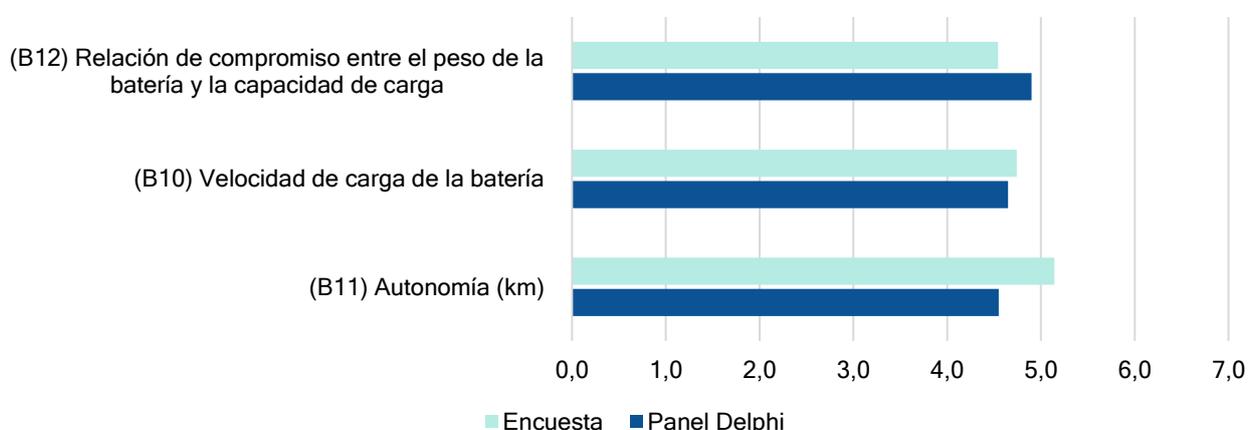
Tanto los expertos como los *stakeholders* coinciden en el nivel de severidad de las barreras (B16) escasos modelos y garantías de los fabricantes y (B15) disponibilidad de tiempo entre traslados para cargar el camión. En cuanto a los modelos disponibles en el mercado, los expertos coinciden en que esta barrera desaparecerá bastante rápido, a medida que aumente la demanda. Por el momento “los pocos modelos que existen no se aplican a las distintas opciones de transporte en las que se podría invertir”, según afirma un experto. Relacionado a la disponibilidad de tiempo de carga, los expertos coinciden en que se debe optar por la tecnología adecuada (BEV o FCEV) para cubrir cada necesidad específica, lo cual es una limitación por el estado actual del mercado.

La [Figura 5](#) demuestra que la (B14) escasa infraestructura de carga/combustible y los (B7) incentivos nacionales escasos son calificadas con 0.5 puntos más por los encuestados que por los expertos. Ambas barreras alcanzaron estabilidad en el Panel Delphi y están relacionadas con el entorno existente en el que se produce la implementación del transporte eléctrico de carga. Un experto cree que, con respecto a la infraestructura de carga y abastecimiento de combustible, “el desafío es desarrollar una regulación que permita a los privados invertir en infraestructura de carga en lugares públicos. Con la regulación adecuada, la inversión en infraestructura de carga se desarrollará. En caso de que no se regule correctamente, los tiempos dependerán de la administración pública y serán más lentos”. Esta barrera es una de las más valoradas. En cuanto a los incentivos nacionales, los expertos afirman que a pesar de que existen incentivos nacionales que promueven la electrificación del transporte de carga por carretera, no son conocidos por los usuarios potenciales. Este concepto se ve reforzado por las calificaciones más altas de las partes interesadas y las calificaciones más bajas de los expertos.

### 5.3 Limitaciones de batería y autonomía

La (B11) autonomía, la (B10) Velocidad de carga de la batería y la (B12) relación de compromiso entre el peso de la batería y la capacidad de carga son barreras relacionadas con las limitaciones de la batería y el rango y se recopilaron mediante el factor 3 del análisis factorial. Esta categoría presenta tres barreras cruciales que deben analizarse en su conjunto ya que tienen un grado de interdependencia (Krishna, 2021).

Figura 6: Limitaciones de batería y autonomía



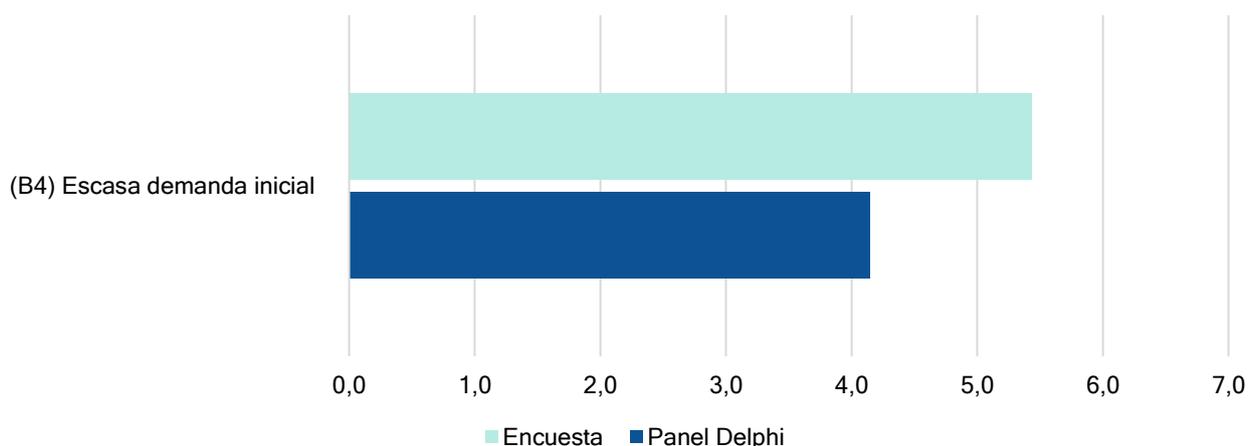
En cuanto a los resultados de la encuesta y el Panel Delphi, la [Figura 6](#) muestra que las calificaciones de ambos grupos son similares. Por un lado, el equilibrio entre el peso de la batería y la capacidad de carga es una barrera reconocida por los expertos del panel, ya que confirman que, especialmente cuando se usa el peso total autorizado de la unidad, puede ser un gran desafío. Los expertos también mencionan que con FCEV esto no sería una barrera ya que la celda de

combustible y otros componentes necesarios son más livianos que las baterías de BEV. En cuanto a la velocidad de carga de la batería, varios expertos afirman que la velocidad de carga puede ser una barrera en el sentido de que “es un factor importante en un vehículo productivo” y otros muchos expertos defienden que no debe ser una barrera si se utiliza la tecnología adecuada y que el tiempo debe gestionarse aprovechando los tiempos de inactividad ya existentes. Relacionado con la barrera anterior, los expertos enfatizan que la autonomía puede ser una barrera en los casos en que se requiera el alcance máximo, pero, en la mayoría de los casos en Uruguay, la autonomía provista es suficiente. Sin embargo, en cualquier caso, la tecnología de baterías debe mejorar para brindar mayor flexibilidad.

## 5.4 Demanda

El cuarto factor incluye exclusivamente a la *(B4) escasa demanda inicial*. Con una media de 4.2 (Figura 5), no se alcanzó el nivel de consenso ni las respuestas mostraron estabilidad entre rondas. Las calificaciones van del 1 al 7, donde hay expertos que consideran que “cambiará rápidamente con los incentivos adecuados” y otros expertos que consideran que “la barrera tiene que ver con la oferta limitada de camiones en una gama de modelos que cubren todas las necesidades”. Un experto destaca que esta es una barrera que afecta a Uruguay especialmente por el tamaño de su mercado y otros expertos señalan que la baja demanda se basa principalmente en la falta de convicción de los consumidores.

Figura 7: Demanda



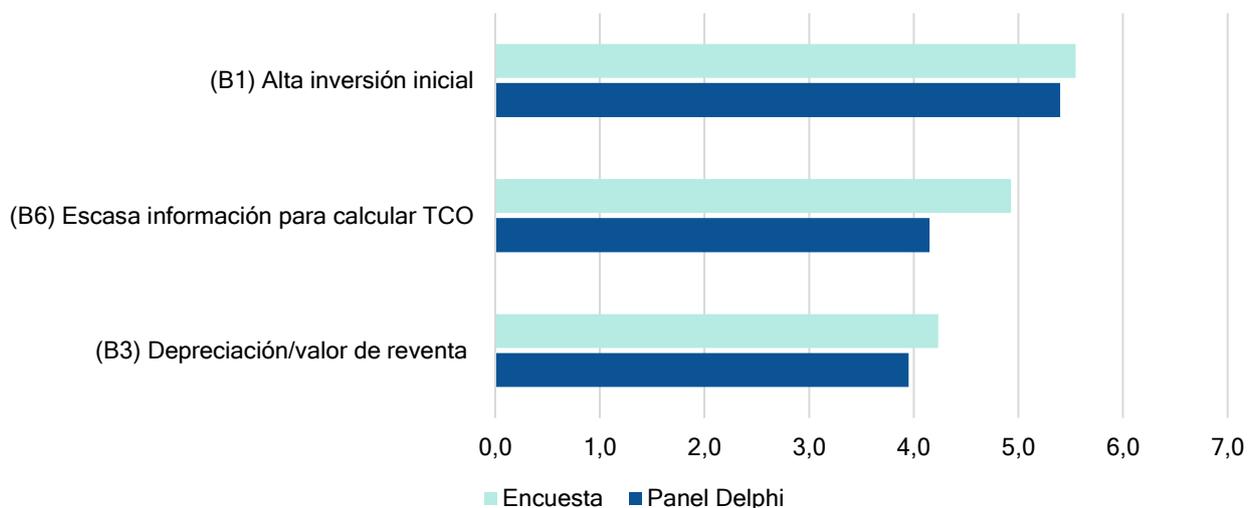
## 5.5 Costos del ciclo de vida

El factor final compila las dificultades relacionadas con los costos del ciclo de vida que están frenando la adopción de camiones eléctricos, como lo son la *(B6) escasa información para calcular TCO*, la *(B1) alta inversión inicial* y la *(B3) depreciación/valor de reventa*.

Según la [Figura 8](#), la barrera mejor calificada fue la *(B1) alta inversión inicial*, que es una barrera bien reconocida tanto para las partes interesadas como para los expertos. A pesar de esto, algunas opiniones controvertidas tuvieron lugar en el Panel Delphi. Cinco expertos respaldan el hecho de que, si bien es una barrera, tiende a la baja progresivamente a medida que el gobierno uruguayo incentiva la inversión con exenciones y beneficios fiscales. Los estudios en todo el mundo también defienden que los subsidios a la compra y los incentivos a la propiedad están fomentando la transición (Morganti & Browne, 2018). Otros dos expertos consideraron que la alta inversión necesaria no debería ser una barrera crítica considerando el TCO y las opciones de financiamiento.

La (B6) *escasa información para calcular TCO* es la barrera en este grupo que presenta la mayor diferencia entre las calificaciones. Tres expertos sostienen que la principal barrera es la falta de difusión de la información sobre los métodos de cálculo del TCO y no la incertidumbre sobre este. En vista de esto, se puede explicar la diferencia encontrada. La literatura también destaca la diferencia entre las tecnologías BEV y FCEV dado que hay menos información disponible para FCEV que para BEV y la mayor parte se basa en una fase de desarrollo prematura (Hovi et al., 2020). Refiriéndose a la última barrera de esta categoría, los expertos insisten en el hecho de que el valor de depreciación y reventa no debe ser analizado por sí mismo, sino que debe considerarse en el TCO y que las conclusiones deben hacerse en base a ese análisis.

Figura 8: Costos del ciclo de vida



## 6. ANÁLISIS DE OPORTUNIDADES

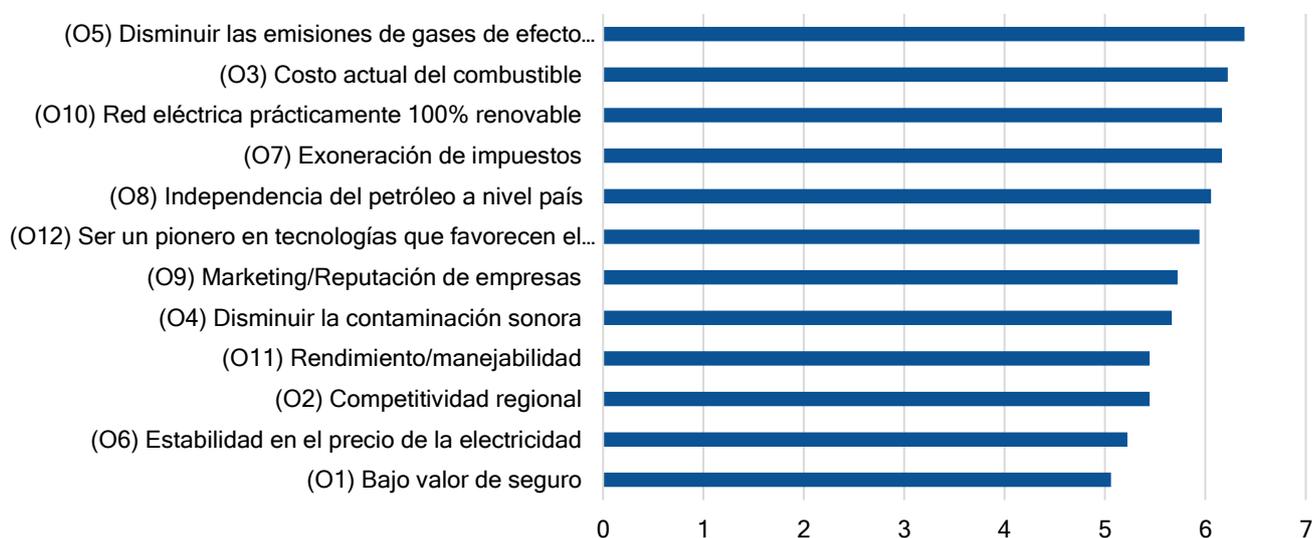
De la misma forma que se analizaron las barreras en la sección anterior, se analizan las oportunidades que se identificaron en la literatura y posteriormente se valorizaron mediante el Panel Delphi. A diferencia de las barreras, las oportunidades no fueron presentadas en la encuesta a los *stakeholders*, dado que se supone que los beneficios y las oportunidades son factores menos cuestionados y, por ende, no existe una diferencia sustancial en las percepciones de las dos partes que amerite un análisis tan profundo. Esto fue confirmado con los resultados de consenso y estabilidad del Panel Delphi presentados en la [Sección 4](#).

Los beneficios y las oportunidades mejor rankeadas ([Figura 9](#)) fueron: (O5) *disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero*, el (O3) *costo actual del combustible*, la (O10) *red eléctrica prácticamente 100% renovable*, la (O7) *exoneración de impuestos* y la (O8) *independencia del petróleo a nivel país*. En específico, los expertos detallan que el costo del combustible es el mayor de la región, tal como se destacó en la [Sección 1.3](#). En lo que respecta a la (O10) *red eléctrica prácticamente 100% renovable* y a la (O8) *independencia del petróleo a nivel país*, un experto confirma que efectivamente hay excedente de energía renovable pero que, sin embargo, la independencia del petróleo se dará a mediano o largo plazo.

Las restantes oportunidades fueron puntuadas entre cinco y seis en la escala de siete puntos. Por un lado, en cuanto a la oportunidad que tiene Uruguay de ser más competitivo en la región, los expertos opinan que es una oportunidad potencial pero que la incorporación de camiones eléctricos debe reflejar un ahorro de costos para que esto suceda. Por otro lado, desde el punto de vista de las empresas, mejorar el marketing y la reputación basada en la electrificación de flotas “tiene un impacto muy positivo” dado que “hay una demanda social por sostenibilidad de la producción y uso de la energía, que está movilizado ciudadanos, gobiernos, grupos de intereses e inversores”.

En cuanto a (O6) *estabilidad en el precio de la electricidad*, un experto compara el precio de la electricidad con el costo de combustible: “la producción local de fuentes renovables debe de ser una ventaja en estabilidad de precios frente al petróleo que fluctúa permanentemente”. Otro experto confirma la estabilidad de los precios fundamentando que proviene de fuentes renovables autóctonas y agrega “el desafío es aprovechar al máximo lo que ya tenemos con mejores tarifas para consumos adicionales y flexibles, como lo son la carga nocturna de vehículos”.

Figura 9: Oportunidades



## 7. CONCLUSIONES

El presente documento es un estudio acerca de la inserción del transporte de carga eléctrico a batería y a celda de combustible de hidrógeno. Ambas son tecnologías emergentes y su implementación en este sector aún está en desarrollo a nivel mundial y nacional. Mediante una revisión de la literatura y, posteriormente, un Panel Delphi de expertos y una encuesta nacional a *stakeholders*, se identificaron las barreras y oportunidades que conlleva dicha inserción. En particular, las barreras fueron agrupadas en cinco grupos, producto de un análisis factorial, con la intención de minimizar la complejidad de la descarbonización.

Las barreras más preocupantes son las altas inversiones iniciales, la autonomía limitada del vehículo, los bajos incentivos nacionales, la infraestructura de carga deficiente y los pocos modelos y garantías de fabricantes. Estas barreras se clasificaron por encima de cinco en la escala Likert de siete puntos en la encuesta y el Panel Delphi y alcanzaron tanto la estabilidad como el consenso. Este hallazgo puede orientar la dirección en la que las instituciones públicas y los fabricantes de la región deben hacer esfuerzos para acelerar la adopción. Si bien el precio de compra y los costos iniciales son una barrera para las empresas, muchos expertos enfatizan el hecho de que se debe discutir un enfoque de costo total de propiedad (TCO) al decidir invertir en camiones eléctricos, ya que en algunos casos revela ahorros a pesar de la alta inversión inicial. En este contexto, se recomienda a las empresas realizar el cálculo del TCO y, considerando la dificultad del cálculo, la tarea se puede facilitar si los fabricantes, el gobierno o la academia brindan la herramienta.

El estudio también revela que tanto los expertos como los *stakeholders* son conscientes de cómo son las tendencias de mejora de costos y tecnología. El hecho de que los costos tiendan a disminuir progresivamente puede retrasar la adopción y dado que la demanda está estrechamente relacionada con la tasa de mejora que pueden lograr los fabricantes, deben existir incentivos nacionales para lograr un equilibrio. Al mismo tiempo, se debe proporcionar una infraestructura de carga sólida y confiable para acompañar y mejorar los incentivos económicos. Un estudio adicional sobre incentivos y políticas basado en las barreras encontradas en esta investigación puede ayudar a establecer las más efectivas para la adopción.

Por otro lado, el estudio muestra que hay un mayor consenso a nivel nacional acerca de los beneficios y las oportunidades que tiene Uruguay para la inserción del transporte de carga eléctrico. Dentro de esta categoría, se destacan como mejores rankeados el costo actual del combustible, la disminución de emisiones de GEI, las políticas de exoneración de impuestos que existen y la red eléctrica casi 100% renovable, factores que también lograron los niveles de consenso y estabilidad. Cabe destacar que las exoneraciones existentes fueron muy valorizadas como beneficio por los expertos y, en contrapartida, también “los bajos incentivos nacionales” fueron muy valorizados como barreras. Aquí se puede concluir que, a pesar de que existen exoneraciones, estos incentivos aún no son suficientes para la adopción completa de la tecnología.

Uruguay presenta características óptimas para la incorporación de las tecnologías estudiadas. Sin embargo, ha tenido más desarrollo la tecnología a base de baterías eléctricas, habiendo camiones ya en uso, que la tecnología de celdas de combustible, dado que actualmente no se comercializan camiones de este tipo en el país. Las barreras que atrasan tanto la inserción de esta última tecnología como la penetración de mercado de los BEVs son en su mayoría compartidas. Sin embargo, se debe profundizar en las barreras de cada una de las tecnologías, especialmente las técnicas, en el caso en que se desee adoptar alguna de ellas.

Tabla 7: Resumen de las principales barreras y oportunidades resultado del Panel Delphi

		Factor	Ranking promedio (Delphi/Encuesta)
<b>Barreras</b>		(B1) Alta inversión inicial	5,4/5,5
		(B11) Autonomía (km)	4,55/5,1
		(B12) Relación de compromiso entre el peso de la batería y la capacidad de carga	4,9/4,5
		(B14) Escasa infraestructura de carga/combustible	4,37/5,5
		(B15) Disponibilidad de tiempo entre traslados para cargar el camión	4,7/4,9
		(B16) Escasos modelos y garantías de los fabricantes	5,35/5,1
<b>Oportunidades</b>		(O1) Bajo valor de seguro	5,06/-
		(O2) Competitividad regional	5,44/-
		(O3) Costo actual del combustible	6,22/-
		(O5) Disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero	6,39/-
		(O6) Estabilidad en el precio de la electricidad	5,32/-
		(O7) Exoneración de impuestos	6,05/-
		(O10) Red eléctrica prácticamente 100% renovable	6,35/-
		(O11) Rendimiento/manejabilidad	5,44/-
		(O12) Ser un pionero en tecnologías que favorecen el medioambiente	6,10/-
		(O8) Independencia del petróleo a nivel país	6/-

## 8. ANEXOS

### Apéndice I: Análisis factorial

Table A 1: Valores propios y varianza acumulativa

Factor	Valores propios		
	Total	% de varianza	% acumulativo
1	7,0146	36,9	36,9
2	1,5502	8,2	45,1
3	1,2896	6,8	51,9
4	1,1571	6,1	58
5	0,9316	4,9	62,9
6	0,8169	4,3	67,2
7	0,7968	4,2	71,4
8	0,7137	3,8	75,1
9	0,6706	3,5	78,6
10	0,6406	3,4	82
11	0,5886	3,1	85,1
12	0,5196	2,7	87,8
13	0,4959	2,6	90,5
14	0,4254	2,2	92,7
15	0,346	1,8	94,5
16	0,3236	1,7	96,2
17	0,2775	1,5	97,7
18	0,2348	1,2	98,9
19	0,2071	1,1	100

## 9. REFERENCIAS

- Ablola, M., Plant, E., & Lee, C. (2015). The future of sustainable urban freight distribution: a Delphi study of the drivers and barriers of electric vehicles in London. *5th IET Hybrid and Electric Vehicles Conference (HEVC 2014)*, 6.2-6.2. <https://doi.org/10.1049/cp.2014.0953>
- Adhikari, M., Ghimire, L. P., Kim, Y., Aryal, P., & Khadka, S. B. (2020). Identification and analysis of barriers against electric vehicle use. *Sustainability (Switzerland)*, 12(12), 1-20. <https://doi.org/10.3390/SU12124850>
- Anderhofstadt, B., & Spinler, S. (2019). Factors affecting the purchasing decision and operation of alternative fuel-powered heavy-duty trucks in Germany - A Delphi study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 73(November 2018), 87-107. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.06.003>
- Bal, F., & Vleugel, J. M. (2018). Heavy-duty trucks and new engine technology: Impact on fuel consumption, emissions and trip cost. *International Journal of Energy Production and Management*, 3(3), 167-178. <https://doi.org/10.2495/EQ-V3-N3-167-178>
- Beckett, C., Erickson, L., Johansson, E., & Wikström, C. (2018). Multivariate Data Analysis. In Walkiria S. Schlindwein and Mark Gibson (Ed.), *Pharmaceutical Quality by Design: A Practical Approach* (First Edit, Vol. 50, Issue 181, p. 352). John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.2307/2007941>
- Berkeley, N., Jarvis, D., & Jones, A. (2018). Analysing the take up of battery electric vehicles: An investigation of barriers amongst drivers in the UK. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 466-481. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.06.016>
- Brotherton, T., Gilde, A., & Tomic, J. (2016). 2015 e-truck task force: Key barriers affecting e-truck adoption, industry and policy implications, and recommendations to move the market forward. *World Electric Vehicle Journal*, 8(3), 651-659. <https://doi.org/10.3390/wevj8030657>
- Dajani, J. S., Sincoff, M. Z., & Talley, W. K. (1979). Stability and agreement criteria for the termination of Delphi studies. *Technological Forecasting and Social Change*, 13(1), 83-90. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(79\)90007-6](https://doi.org/10.1016/0040-1625(79)90007-6)
- Davis, B. A., & Figliozzi, M. A. (2013). A methodology to evaluate the competitiveness of electric delivery trucks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1), 8-23. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.07.003>
- De Vet, E., Brug, J., De Nooijer, J., Dijkstra, A., & De Vries, N. (2005). Determinants of forward stage transitions: A Delphi study. *Health Education Research*, 20(2), 195-205. <https://doi.org/10.1093/her/cyg111>
- El País - Energía*. (2021). <https://servicios.elpais.com.uy/suple/especiales/energia21.html>
- Gallo, J. B. (2016). Electric truck & bus grid integration, opportunities, challenges & recommendations. *World Electric Vehicle Journal*, 8, 45-56. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3390/wevj8010045>
- Global Petrol Prices. (2021). *Precios de la gasolina en todo el mundo, 24-mayo-2021 / GlobalPetrolPrices.com*. [https://es.globalpetrolprices.com/gasoline\\_prices/](https://es.globalpetrolprices.com/gasoline_prices/)
- Goel, P., Sharma, N., Mathiyazhagan, K., & Vimal, K. E. K. (2021). Government is trying but consumers are not buying: A barrier analysis for electric vehicle sales in India. *Sustainable Production and Consumption*, 28(March), 71-90. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.029>
- Gonzalez Venegas, F., Petit, M., & Perez, Y. (2021). Active integration of electric vehicles into distribution grids: Barriers and frameworks for flexibility services. *Renewable and Sustainable*

*Energy Reviews*, 145, 111060. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111060>

- Haddadian, G., Khodayar, M., & Shahidehpour, M. (2015). Accelerating the Global Adoption of Electric Vehicles: Barriers and Drivers. *Electricity Journal*, 28(10), 53-68. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2015.11.011>
- Hair JF, William CB, Barry JB, R. E. (2010). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Hovi, I. B., Pinchasik, D. R., Figenbaum, E., & Thorne, R. J. (2020). Experiences from battery-electric truck users in Norway. *World Electric Vehicle Journal*, 11(1), 5. <https://doi.org/10.3390/WEVJ11010005>
- Hsu, C.-C., & Sandford, B. A. (2007). The Delphi Technique: Making Sense of Consensus. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 12, 10. <https://doi.org/10.7275/pdz9-th90>
- IEA International Energy Agency. (2021). Global EV Outlook 2021 Accelerating ambitions despite the pandemic. In *Global EV Outlook 2021*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- Jovanovic, N., Zolfagharinia, H., & Peszynski, K. (2020). To Green or Not to Green Trucking? Exploring the Canadian Case. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 88, 102591. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102591>
- Krishna, G. (2021). Understanding and identifying barriers to electric vehicle adoption through thematic analysis. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 10, 100364. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100364>
- Kumar, R. R., & Alok, K. (2020). Adoption of electric vehicle: A literature review and prospects for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119911. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119911>
- Kumar Tarei, P., Chand, P., & Gupta, H. (2021). Barriers to the adoption of electric vehicles: Evidence from India. *Journal of Cleaner Production Journal*, 291, 125847. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125847>
- Landeta, J. (2006). Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological Forecasting & Social Change*, 73, 467-482. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.002>
- Loo, R. (2002). The Delphi method: a powerful tool for strategic management. *Policing: An International Journal*, 25(4), 762-769. <https://doi.org/10.1108/13639510210450677>
- Ma, Y., Ke, R.-Y., Han, R., & Tang, B.-J. (2016). *The analysis of the battery electric vehicle's potentiality of environmental effect: A case study of Beijing from 2016 to 2020*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.131>
- Mandys, F. (2021). Electric vehicles and consumer choices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110874. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110874>
- Mat, F. D., Martino, D., & Molinelli, J. (2011). Proyecto de Fin de Carrera. *Arantxaiiua mes Arantxaiiua mes, li, 3*. [http://www.uniovi.net/calidad/procesos/Difusion/Guias/pdf/1011/epi/4\\_planes\\_antiguos.pdf#page=76](http://www.uniovi.net/calidad/procesos/Difusion/Guias/pdf/1011/epi/4_planes_antiguos.pdf#page=76)
- Morganti, E., & Browne, M. (2018). Technical and operational obstacles to the adoption of electric vans in France and the UK: An operator perspective. *Transport Policy*, 63(December 2017), 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.12.010>
- Movilidad eléctrica | MIEM*. (2020). <https://www.miem.gub.uy/energia/movilidad-electrica>
- Murry, J. W., & Hammons, J. O. (1995). Delphi: A Versatile Methodology for Conducting Qualitative Research. *The Review of Higher Education*, 18(4), 423-436.

<https://doi.org/10.1353/rhe.1995.0008>

- Nowack, M., Endrikat, J., & Guenther, E. (2011). Review of Delphi-based scenario studies: Quality and design considerations. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1603-1615. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.006>
- Nykvist, B., & Olsson, O. (2021). The feasibility of heavy battery electric trucks. *Joule*, 901-913. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.03.007>
- Ozaki, R., & Sevastyanova, K. (2011). Going hybrid: An analysis of consumer purchase motivations. *Energy Policy*, 39(5), 2217-2227. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.024>
- Pohlmann, J. T. (2004). Use and Interpretation of Factor Analysis in The Journal of Educational Research: 1992-2002. *Journal of Educational Research*, 98(1), 14-23. <https://doi.org/10.3200/JOER.98.1.14-23>
- Quiros-Tortos, J., Victor-Gallardo, L., & Ochoa, L. (2019). Electric Vehicles in Latin America: Slowly but Surely Toward a Clean Transport. *IEEE Electrification Magazine*, 7(2), 22-32. <https://doi.org/10.1109/MELE.2019.2908791>
- Shell, & Deloitte. (2021). *Decarbonising Road Freight: Getting into gear*. [www.shell.com/DecarbonisingRoadFreight](http://www.shell.com/DecarbonisingRoadFreight)
- Simao, J. V., Cellina, F., & Rudel, R. (2020). Critical barriers precluding the electrification of road public transport in Southern Switzerland. *2020 15th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2020*. <https://doi.org/10.1109/EVER48776.2020.9242949>
- Smart Freight Centre. (2020). *Low Emission Fuels and Vehicles for Road Freight* (Issue October).
- Tanco, M., Cat, L., & Garat, S. (2019). A break-even analysis for battery electric trucks in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1354-1367. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.168>
- UruguayXXI. (2020). *Energías renovables*. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/cc8975afd04dcec9210407b1ff1b8c2212bb9bcc.pdf>
- Van Amburg, B., & Pitkanen, W. (2012). Best fleet uses, key challenges and the early business case for E-Trucks: Findings and recommendations of the E-Truck Task Force. *26th Electric Vehicle Symposium 2012, EVS 2012*, 3, 1945-1956. [https://calstart.org/wp-content/uploads/2018/10/Best-Fleet-Uses-Key-Challenges-and-the-Early-Business-Case-for-E\\_Trucks.pdf](https://calstart.org/wp-content/uploads/2018/10/Best-Fleet-Uses-Key-Challenges-and-the-Early-Business-Case-for-E_Trucks.pdf)
- von der Gracht, H. A. (2012). Consensus measurement in Delphi studies. Review and implications for future quality assurance. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(8), 1525-1536. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013>

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)

