



ADVANCING
PUBLIC
TRANSPORT

▶ REPORT

GOING ELECTRIC

UNA VÍA PARA LOGRAR AUTOBUSES DE CERO EMISIONES

JUNIO | 2021

Copyright © 2022. Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo ("BERD").

El documento original fue preparado en inglés por David Leeder y Alok Jain (consultores de TIL), Ian Jennings (especialista sénior en transporte urbano del BERD), Xiaolu Wang (banquero asociado de infraestructura del BERD) y Kjetil Tvedt (economista sénior del BERD).

Las opiniones expresadas en este trabajo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista del BERD, su Junta Directiva o los países que representan. La UITP ha preparado esta traducción al idioma español; BERD no certifica su exactitud o integridad.

El uso del nombre del BERD para cualquier fin que no sea la atribución y el uso del logotipo del BERD estarán sujetos a un acuerdo de licencia por escrito separado entre el BERD y el usuario y no están autorizados como parte de esta licencia.

Nada de lo aquí dispuesto constituirá, interpretará o considerará una limitación o una renuncia a los privilegios e inmunidades del BERD, todos los cuales están específicamente reservados. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BERD que no pueda resolverse de manera amistosa se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI revisadas en 2010.

Copyright © [2022]. European Bank for Reconstruction and Development ("EBRD").

The original policy paper was prepared in the English language by David Leeder and Alok Jain (TIL consultants), Ian Jennings (EBRD Senior Urban Transport Specialist), Xiaolu Wang (EBRD Infrastructure Associate Banker) and Kjetil Tvedt (EBRD Senior Economist).

The opinions expressed in this work are those of the authors and do not necessarily reflect the views of the EBRD, its Board of Directors, or the countries they represent. UITP has prepared this translation into the Spanish language; EBRD does not certify its accuracy or completeness.

The use of the EBRD's name for any purpose other than for attribution and the use of the EBRD's logo shall be subject to a separate written license agreement between the EBRD and the user and are not authorized as part of this license.

Nothing herein shall constitute or be construed or considered a limitation upon or waiver of the privileges and immunities of the EBRD, all of which are specifically reserved. Any dispute related to the use of the works of the EBRD that cannot be settled amicably shall be submitted to arbitration pursuant to the UNCITRAL rules as revised in 2010.

Unión Internacional de Transporte Público (UITP)
Rue Sainte-Marie, 6 | B-1080 Brussels | Belgium

Tel: +32 2 673 61 00

info@uitp.org

www.uitp.org

Índice

1. Introducción	3
1.1. Origen de este documento	3
2. Objetivo del presente informe	4
3. Estado actual del despliegue del autobús eléctrico	5
3.1. El aumento de los autobuses eléctricos responde a múltiples factores	6
3.2. Primera fase de la adopción de autobuses eléctricos	7
3.3. Subvenciones e incentivos	8
3.4. Competitividad	9
4. Establecimiento de los objetivos del programa para proyectos de autobuses eléctricos	10
5. Opciones tecnológicas para los autobuses eléctricos	13
5.1. Tecnologías de carga	15
5.2. Estrategia de carga: una consideración esencial	16
5.3. Criterios para la selección de tecnología	17
5.4. Desarrollo de una estrategia de carga	18
5.5. Impacto de la estrategia de carga y la electricidad	19
6. Tecnología de las baterías	20
6.1. Aspectos económicos y consideraciones de costes de las baterías	20
6.2. Descripción general de la tecnología de batería	21
6.3. Líderes actuales del mercado	22
6.4. Gestión del rendimiento de la batería	23
6.5. La economía circular	23
6.6. Planificación y contratos	25
7. Consideraciones de operación e ingeniería	26
7.1. Impacto en las terminales de autobuses	26
7.2. Impacto en los procesos de ingeniería	27
7.3. Revisión y actualización de planes y presupuestos	28
8. Conseguir el marco gobernanza y financiación correcto	29
8.1. Reformas, financiación del sistema y contratos	29
8.2. Estructura de gobernanza	31
8.3. Contrato de operación	32
9. Modelo de desarrollo del proyecto	33
9.1. Modelo de desarrollo del proyecto para un programa característico de autobuses eléctricos	33
10. Identificación y gestión de riesgos	34
10.1. Estrategias de identificación y control de riesgos	34

11. Análisis del coste total de propiedad: ejemplo práctico	35
11.1. Concepto de coste total de propiedad	35
11.2. Una estimación preliminar del CTP	36
11.3. Evaluación estratégica	37
11.4. Análisis del CTP: Ejemplo del Reino Unido	38
11.5. Análisis del CTP: especificación de los autobuses y supuestos de costes	39
11.6. Análisis y comentarios sobre el CTP: ejemplo de cálculo	40
11.7. Análisis del consumo de electricidad frente al consumo de combustible: ejemplo	41
12. Adquisición y financiación	42
12.1. Principios de financiación y adquisición de activos del programa	42
12.2. Análisis de fuentes y uso de los fondos	42
12.3. Utilización de orientaciones adecuadas para adquisición de autobuses eléctricos	43
12.4. Estrategias de licitación para la adquisición de flotas de autobuses eléctricos	45
12.5. Garantías ampliadas y/o acuerdos de baterías como servicio	46
13. Modelos de financiación durante la vida útil	47
13.1. Principales puntos de negociación para los modelos de financiación de activos	47
13.2. Modelos de adquisición emergentes	47
13.3. Comparación de la asignación de riesgos entre los diferentes modelos	48
13.4. Características del modelo de financiación	49
13.4.1. Modelo de financiación estándar	49
13.4.2. Modelo de financiación estándar más garantía ampliada	52
13.4.3. Modelo de financiación estándar y contrato de servicio	54
13.4.4. Modelo de batería como servicio	56
13.4.5. Modelo financiado por la compañía de servicios públicos	58
13.4.6. Programas de compras conjuntas	58
14. Estudios de caso	59
14.1. Estudio de caso del modelo batería como servicio	59
14.2. Modelo de garantía ampliada o de por vida: TEC Bélgica	61
14.3. Países Bajos: autobuses eléctricos en mercado de operaciones externalizadas	62
14.4. Despliegue eléctrico autónomo (batería y ultracondensador) apoyado por el BERD	63
14.5. Trolebús con autonomía ampliada apoyado por el BERD	64
14.6. Despliegue masivo de autobuses eléctricos en Santiago de Chile	64
14.7. Ejemplos de buenas prácticas	65
15. Resumen	66
16. Enlaces y recursos de información	67
17. Más información	68
Referencias	68
Referencias de sitios web	68
Glosario	69
Anexo 1.	70
Anexo 2.	72

1. Introducción

La movilidad eléctrica es una tecnología iniciada hace tiempo que está experimentando una profunda transformación debido a los rápidos avances en la tecnología de las baterías. El comienzo de su desarrollo se remonta a la década de 1880¹ y, desde entonces, ha evolucionado hasta convertirse en un sistema de metro, tranvía y trolebús extendido por todo el mundo. Estos sistemas de movilidad eléctrica siguen siendo la columna vertebral de muchos sistemas de transporte urbano, especialmente en las grandes ciudades. Se caracterizan por un suministro eléctrico permanente que se distribuye a la red a través de una catenaria, una instalación de puesta a tierra y subestaciones adecuadas. Por tanto, la tecnología de la tracción eléctrica es un mercado muy maduro que cuenta con tecnología, cadenas de suministro y prácticas consolidadas.

Sin embargo, muchas ciudades dependen de sistemas propulsados por diésel para satisfacer la totalidad o parte de sus necesidades de transporte urbano. Los autobuses diésel han reducido drásticamente su huella de emisiones en los últimos 20 años.² La aparición de nuevas tecnologías de baterías está haciendo que los autobuses totalmente eléctricos sean más competitivos como opción para la renovación de la flota.

Los recientes avances tecnológicos han propiciado la aparición de baterías para el almacenamiento de energía más baratas, ligeras y eficientes, lo que ha supuesto un impulso decisivo para el desarrollo de los autobuses eléctricos. Esta evolución está contribuyendo ahora a la expansión de la movilidad eléctrica hacia medios de transporte autónomos, con los autobuses eléctricos urbanos a la cabeza de esta transformación.

Actualmente, los autobuses eléctricos ofrecen una tecnología fiable, un entorno operativo estable, una autonomía diaria factible y un acceso fácil a una variedad de sistemas de carga probados tanto en las terminales de autobuses como en la calle. Estas flotas de autobuses se denominan «autobuses eléctricos de batería», y su única fuente de energía son las baterías.

Muchas ciudades tienen la oportunidad de aprovechar mejor la infraestructura de transporte existente, en particular aquellas donde tranvías y trolebuses recorren sus calles, con el fin de optimizar las soluciones tecnológicas disponibles y adaptarlas a todas las

condiciones del terreno y climáticas. La posibilidad de cargar en la calle y «en movimiento» ofrece soluciones como los también denominados trolebuses híbridos o de batería. Estos sistemas permiten ampliar las rutas más allá de las redes de catenarias y aprovechar las inversiones existentes en equipos de distribución de energía. Este avance es especialmente relevante en los países de Asia central, Europa oriental y el Cáucaso, donde muchas redes de tranvías y trolebuses siguen operativas. Las oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías para optimizar y ampliar el sistema de autobuses eléctricos en el transporte urbano mediante trolebuses híbridos (carga en movimiento), pueden suponer una nueva era de desarrollo de la movilidad eléctrica.

El coste total de propiedad (CTP) en algunos mercados se aproxima gradualmente a la paridad, sobre la base de vida útil, al de los vehículos diésel y de gas natural comprimido (GNC)³, pero es muy sensible a los regímenes fiscales aplicados a los combustibles fósiles, la demanda y frecuencia de las rutas, la vida útil garantizada de los activos y las modalidades de servicio fiable.

Se espera que el coste más elevado de los autobuses eléctricos siga reduciéndose, a medida que fabricantes y operadores consiguen economías de escala, los costes de capital disminuyen y los operadores aprovechan la posibilidad de reducir los costes de ingeniería y amortización.⁴

El nuevo mercado de autobuses eléctricos podría transformar la oferta, con la aparición de nuevos participantes en el sector de las baterías y los equipos de suministro eléctrico, la producción de autobuses eléctricos innovadores por constructores existentes y nuevos y, posiblemente, con la integración vertical de las empresas de baterías, sistemas de propulsión eléctrica y montaje de autobuses.

La movilidad eléctrica constituye ahora un aspecto esencial del programa de movilidad sostenible con vistas a la alineación con el Acuerdo de París sobre el cambio climático. El BERD está dispuesto a apoyar a las ciudades en la implantación de la movilidad eléctrica como parte de sus estrategias de alineación con el Acuerdo de París, en particular dentro del programa Ciudades Verdes del BERD.

¹TIL – Giant's Causeway Railway, Irlanda, y Volk's Railway, Inglaterra, 1883.

²TIL – Normas de la UE sobre emisiones de motores diésel Euro I-VI.

³Investigación y análisis de TIL para el BERD – véase la sección sobre CTP.

⁴Investigación de TIL para el BERD – véase la sección sobre CTP.

1.1. Origen de este documento

Este documento se redactó como resultado de los seminarios sobre políticas celebrados en Londres en la sede del BERD y en Berlín (GIZ). El BERD se ha comprometido a mejorar la concienciación sobre las buenas prácticas emergentes y a compartir los conocimientos entre ciudades, operadores de transporte y proveedores.

Este informe refleja los debates mantenidos en la conferencia Going Electric, patrocinada por el BERD, la UITP y GIZ, celebrada en Londres los días 26 y 27 de marzo de 2019, y en la conferencia de la Semana del Transporte y el Cambio Climático de GIZ, celebrada en Berlín del 2 al 5 de marzo de 2020. Está concebido como una guía destinada a los patrocinadores, promotores e instituciones financieras del programa para orientar el desarrollo del proyecto.

En la Conferencia Going Electric se dieron cita operadores de transporte, autoridades de transporte, asesores, entidades financieras y expertos en energía procedentes de Europa, Oriente Medio y Asia, para compartir las experiencias y buenas prácticas emergentes relacionadas con el despliegue de los autobuses eléctricos. Los temas tratados fueron:

- operaciones de autobuses
- ingeniería
- tecnología de vehículos y baterías
- estrategias de carga
- aspectos económicos y costes operativos
- financiación de vehículos, baterías y activos.

Los participantes realizaron una visita a Go-Ahead London en la estación de Waterloo y a las oficinas de Transport for London (TfL). La conferencia de Londres fue organizada por TIL en nombre y representación del BERD, con el apoyo de la UITP y GIZ. La lista de ponentes figura en el Anexo 1.

El documento original del BERD (idiomas inglés y ruso) está disponible en:

Inglés:
<https://www.ebrd.com/infrastructure/going-electric.pdf>

Ruso:
<https://www.ebrd.com/going-electric-russian.pdf>

2. Objetivo del presente informe

Este informe tiene por objeto facilitar la formulación de políticas y el desarrollo de programas de autobuses eléctricos, así como ayudar a la financiación de los proyectos. Resume las buenas prácticas emergentes en una serie de temas y áreas geográficas importantes.

Los autobuses eléctricos se están implantando rápidamente en numerosas ciudades, con una producción en masa que conlleva una reducción de los costes por unidad y un menor riesgo tecnológico. Actualmente se pueden desarrollar programas que contribuyen de manera sustancial a los objetivos propios del transporte urbano dentro de presupuestos de financiación realistas. Este informe pretende demostrar que los autobuses eléctricos han superado la etapa experimental, y que los patrocinadores tienen a su disposición una serie de tecnologías y opciones de financiación.

Está dirigido principalmente a promotores y patrocinadores de programas, incluidos:

- responsables políticos de la ciudad región
- funcionarios de la autoridad de transporte
- entidades de financiación
- ciudades y/u operadores de transporte que buscan financiación a través de préstamos para el desarrollo.

El informe incluye:

- una descripción general del estado de las nuevas tecnologías
- comentarios sobre consideraciones y riesgos operativos, de ingeniería y económicos
- una descripción general de los métodos para la aplicación de los programas
- asesoramiento sobre el desarrollo de los proyectos
- orientación sobre consideraciones relativas al CTP
- opciones para posibles estructuras de financiación de activos
- estudios de caso y material de referencia.

3. Estado actual del despliegue del autobús eléctrico

Rápido crecimiento

El número de autobuses eléctricos en servicio ha aumentado rápidamente desde 2015, impulsado por el cambio en la política de transportes en numerosas ciudades región, más atenta a las preocupaciones medioambientales, y a los rápidos avances en la tecnología de los autobuses y las baterías. En la actualidad se utiliza un número cada vez mayor de autobuses eléctricos para un uso urbano intensivo en ciudades de diversos tamaños y tipos.⁵

Tecnología generalizada

En términos del estado del despliegue del mercado en la actualidad (2021), las tecnologías de autobuses limpios actuales pueden dividirse en:

- generalizadas: autobús eléctrico, híbrido enchufable, gas, biocombustible, trolebús de batería
- emergente: pila de combustible de hidrógeno.

Asistimos a un resurgimiento de los autobuses híbridos enchufables como tecnología de transición entre los vehículos diésel y de cero emisiones. El gas natural tiene una penetración diferente en el mercado, dependiendo de las diferencias fiscales y políticas entre los países. Estas flotas han tendido a agruparse en ciudades y regiones específicas.

Un ejercicio de previsión realizado por el Comité del Sector de Vehículos y Equipos de la UITP en 2017⁶ en el marco del proyecto ZeEUS sobre la cuota de mercado prevista de las tecnologías de autobuses a nivel internacional para 2020, 2025 y 2030, sugiere una clara disminución del uso de diésel limpio, principalmente a favor de la tecnología de baterías eléctricas como tecnología predominante. Recomienda:

- una demanda estable de GNC e híbridos enchufables como tecnologías de transición entre las opciones de diésel y cero emisiones

- un aumento gradual del uso de sistemas de propulsión con pilas de combustible e hidrógeno (FCH).

La duración de las baterías es incierta

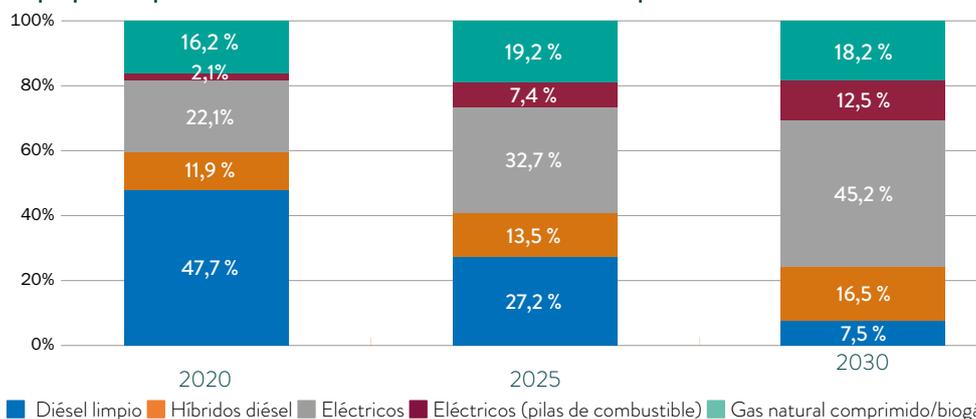
Aunque la tecnología de los autobuses eléctricos está cada vez más consolidada, el ciclo de vida de la batería sigue sin ponerse a prueba en gran medida, especialmente el final de su vida útil, debido al reducido número de autobuses eléctricos retirados del servicio. Por tanto, la gestión del riesgo tecnológico continúa siendo una cuestión clave (especialmente la duración de la batería, la eliminación de la batería y el riesgo del coste de sustitución de las baterías).

Estos factores están dando lugar a la aparición de nuevas soluciones para contratos de arrendamiento/servicio de baterías y para la ampliación de la garantía de baterías y autobuses. Además, están surgiendo opciones tecnológicas eficaces para los temas interrelacionados de tecnología de baterías y carga de autobuses.

Es necesario integrar la generación de energías renovables y la planificación de la red

El despliegue a gran escala de los autobuses eléctricos requerirá incrementar significativamente la capacidad eléctrica y, teniendo en cuenta los objetivos de interés público, es probable que requiera un aumento correspondiente de la capacidad de generación a partir de energías renovables. Los autobuses eléctricos también pueden desempeñar un papel útil en el equilibrio del suministro de electricidad renovable, al suponer una demanda fuera de hora punta de energía renovable mediante la carga durante la noche, y por el despliegue de baterías parcialmente utilizadas retiradas de los autobuses para el almacenamiento de energía en otro lugar de la red («segunda vida útil de la batería»).

Figura 1. Sistemas de propulsión por año – Previsión de la UITP (mercados europeos)



Fuente: www.zeeus.eu y © UITP VEI Committee.

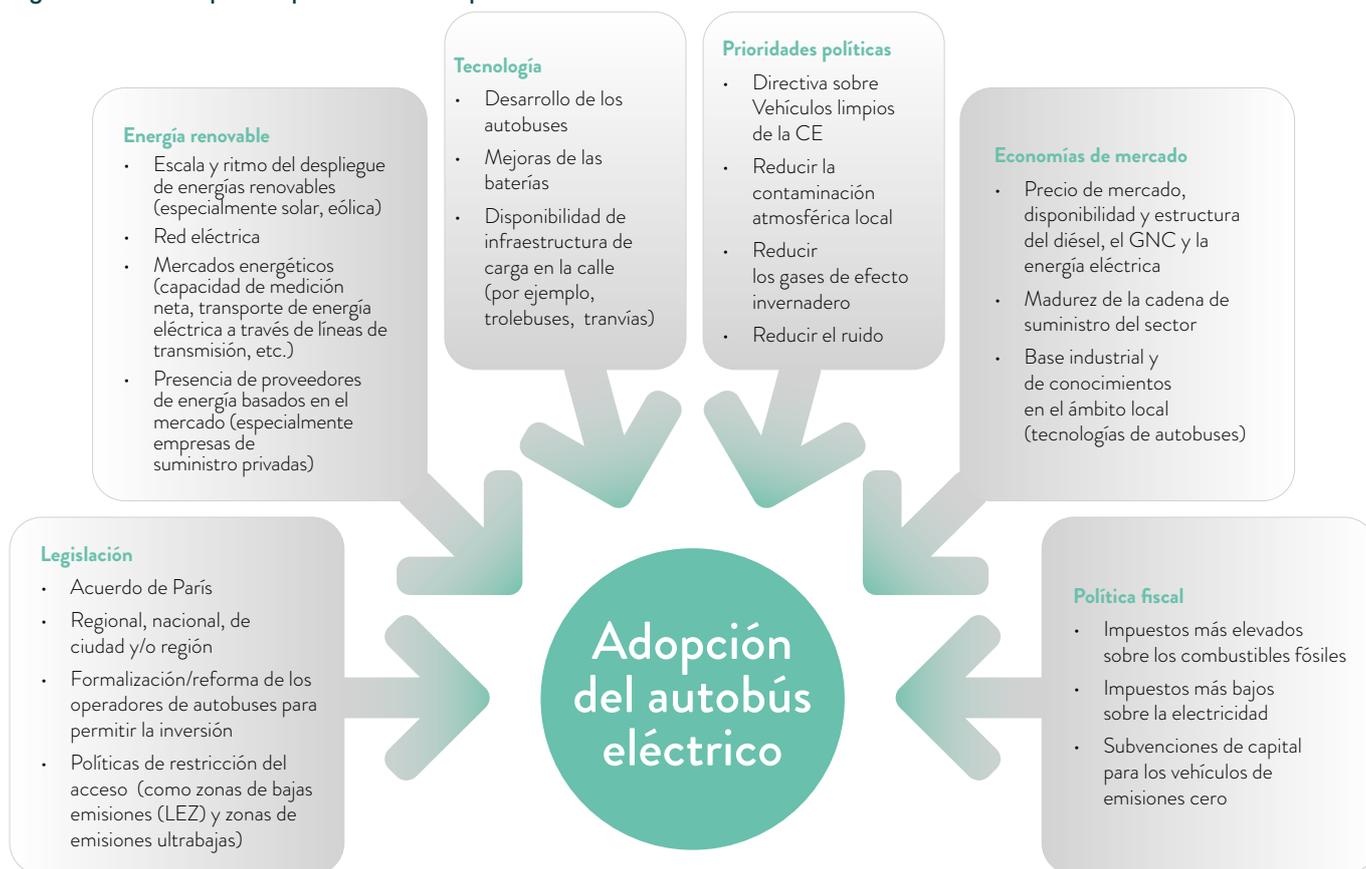
⁵ Análisis de la UITP.

⁶ Análisis del proyecto ZeEUS de la UITP, 2017.

3.1. El aumento de los autobuses eléctricos responde a múltiples factores

La adopción de los autobuses eléctricos está impulsada por múltiples factores de mercado, políticos y fiscales, y el nivel varía en función del país y la ciudad. El siguiente gráfico muestra algunos de los factores más recurrentes e importantes observados en programas aplicados con éxito.

Figura 2. Factores que han promovido la adopción del autobús eléctrico



Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

Nota: El gráfico muestra las motivaciones y los factores que impulsan el uso de los autobuses eléctricos en los programas estudiados por TIL.



Autobús eléctrico en los Países Bajos, que opera un servicio prestado por contrato adjudicado mediante licitación abierta, y que utiliza la tecnología de «carga de oportunidad» para recargar electricidad durante el itinerario

3.2. Primera fase de la adopción de autobuses eléctricos

La primera fase de la adopción de autobuses eléctricos se caracteriza por los cambios normativos. Han ido surgiendo reglamentos y normas a nivel continental, nacional y de ciudad región.⁷

Tabla 1. Reglamentos y normas aplicables a los autobuses eléctricos

Nivel normativo	Nivel de la UE Supranacional	Estados Unidos de América Federal	China Federal	Nacional o de estado de Estados Unidos	Ciudades región Subnacional
Normativa clave	Construcción y uso del vehículo	Construcción y uso del vehículo	Construcción y uso del vehículo	Construcción y uso del vehículo	Objetivos de la ciudad en cuanto a normas para vehículos y flotas de autobuses de cero emisiones por encima de los mínimos
	Normas para subvenciones y externalización de operaciones	Subvenciones de capital a las ciudades	Subvenciones de capital e ingresos a operadores y ciudades	Subvenciones de capital e ingresos a operadores y ciudades	Política fiscal y de subvenciones municipales Política de regulación de los autobuses Externalización/ internalización Zonas de bajas emisiones (LEZ) Prioridad del autobús y gestión del tráfico
Influencias fiscales	Buscar atribuciones fiscales y programa Nuevo Pacto Verde después de la Covid-19	Política fiscal para el combustible y la electricidad	Política fiscal para el combustible y la electricidad	Política fiscal para el combustible y la electricidad	Iniciativas políticas de alcaldes electos y del gobierno de la ciudad región
	Directiva sobre vehículos limpios. El 50 % del objetivo mínimo para el porcentaje de autobuses limpios debe cumplirse mediante la adquisición de autobuses de cero emisiones –incluidos los autobuses con pila de combustible– para 2025-30. Ya hay 4 775 autobuses eléctricos y 5.048 trolebuses en servicio (la última estimación propia incluía 2.062 autobuses eléctricos registrados en 2020)	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos	Subvenciones de capital a fabricantes de baterías y autobuses y a operadores de autobuses. Ya hay más de 400.000 autobuses eléctricos en servicio	Puede establecer normas por encima de los mínimos de China, Estados Unidos o federales de la UE Reino Unido: Objetivo de carbono cero para 2050 California, Estados Unidos de América: a partir de 2029 todos los autobuses que se compren deben ser de cero emisiones Shenzhen, China: la mayor flota integrada en su totalidad por autobuses eléctricos	Puede establecer normas por encima de los mínimos nacionales o regionales Zonas LEZ o con tarifas de aire limpio, por ejemplo Londres, Glasgow y Leeds en el Reino Unido
Normas sobre emisiones	Norma Euro sobre emisiones	Normas federales sobre emisiones Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos	Normas nacionales sobre emisiones del Ministerio de Protección del Medio Ambiente	Normas nacionales sobre emisiones El Reino Unido aplicó las normas de la UE hasta el 31 de diciembre de 2020	En ocasiones tienen competencia para establecer normas por encima del mínimo nacional o estatal vigente
	Diésel Euro VI a partir de 2021 Directiva por la que se establecen los niveles máximos de emisiones El Reglamento (UE) 2019/1242 por el que se establecen normas de emisiones de CO ₂ para vehículos pesados entró en vigor el 14 de agosto de 2019	Norma definitiva para la fase 2 Normas sobre emisiones de gases de efecto invernadero y normas de eficiencia del combustible para motores y vehículos medios y pesados	Norma actual en todo el país: China V (similar a Euro V)	Los estados de EE. UU. desempeñan un papel importante (por ejemplo, la Junta de Recursos Aéreos de California)	
			Regional y local: China VI (similar a Euro VI) en regiones clave de Pekín y Shanghai aplicable a vehículos pesados de más de 3.500 kg equipados con motores de encendido por compresión o motores de gas natural (GN) de encendido por chispa o gas licuado de petróleo (GLP)		
Más información	ZeEUS eBus Report #2 https://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-2.pdf	Normas sobre emisiones de vehículos y motores https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines			

Fuente: Investigación de TIL y la UITP para el BERD.

⁷Análisis de TIL para el BERD.

3.3. Subvenciones e incentivos

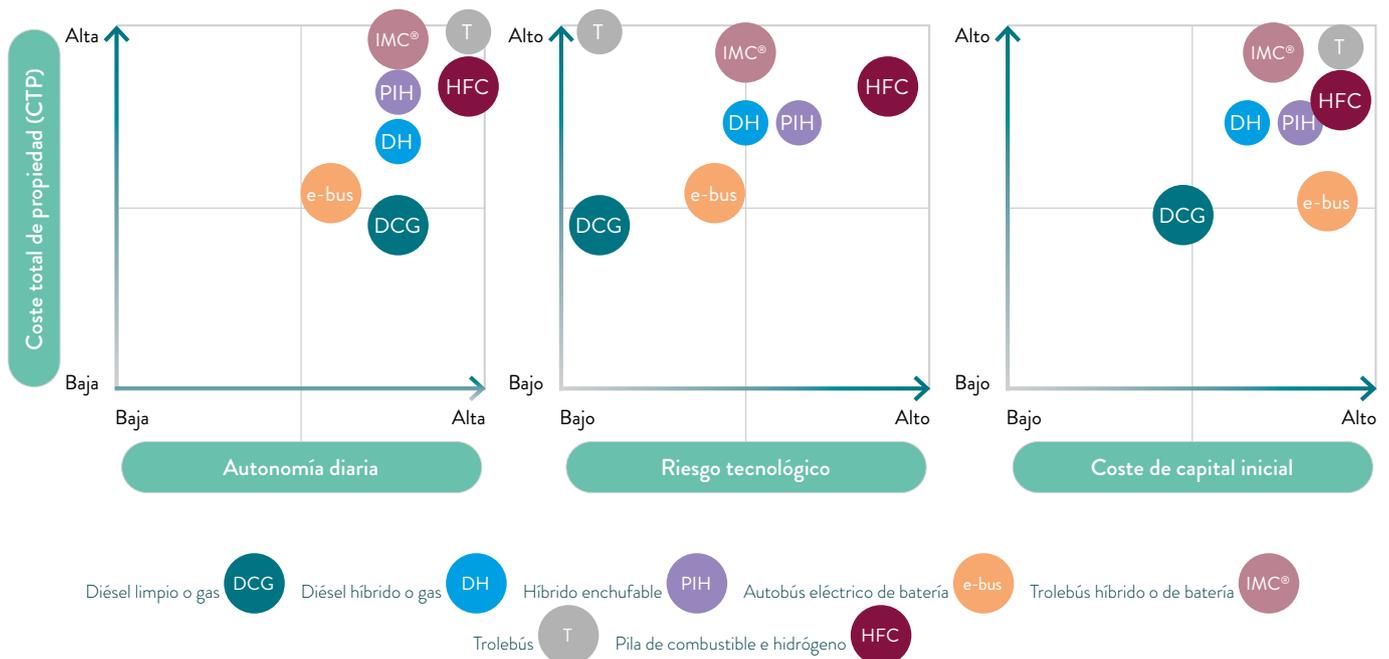
Tabla 2. Las subvenciones de capital y operativas y los incentivos fiscales han contribuido a la financiación de numerosos proyectos

	Alemania	Estados Unidos de América	China	India
Programa	Directrices para la promoción de la compra de autobuses eléctricos en el transporte público	Programa de vehículos de bajas emisiones o sin emisiones	Programas de apoyo nacionales y locales	Adopción y fabricación más rápidas de vehículos eléctricos (FAME II)
Incentivación a la inversión	<ul style="list-style-type: none"> compra de autobuses eléctricos e híbridos infraestructura relacionada equipos y formación del personal 	<ul style="list-style-type: none"> compra o arrendamiento de autobuses eléctricos y autobuses de bajas emisiones adquisición, construcción y arrendamiento de las instalaciones de apoyo necesarias 	<ul style="list-style-type: none"> compra de nuevos autobuses eléctricos subvenciones anuales para la operación 	<ul style="list-style-type: none"> compra de autobuses eléctricos fabricados en India estaciones de carga
Apoyo ofrecido	<p>Subsidio:</p> <ul style="list-style-type: none"> hasta el 40 % de la diferencia de precio para autobuses híbridos hasta el 80 % de la diferencia de precio para autobuses eléctricos hasta el 40 % de la diferencia de precio para equipos de taller y formación del personal 	<p>Subsidio de capital:</p> <ul style="list-style-type: none"> hasta el 85 % para autobuses hasta el 90 % para equipos e instalaciones relacionados con autobuses 	<p>Subvenciones estatales:</p> <ul style="list-style-type: none"> para fabricantes de vehículos (se reducirán sustancialmente en 2020) para operadores de autobuses 	<p>Subvenciones estatales (basadas en el tamaño de la batería):</p> <ul style="list-style-type: none"> hasta el 40 % para autobuses 10.000 millones INR (equivalente a 140 millones USD) para estaciones de carga
Presupuesto	300 millones € (2018-22)	85 millones USD (2019) Rondas de financiación anuales	El importe de las subvenciones para la compra de autobuses se ha reducido cada año desde 2017 hasta 2020 Los operadores de autobuses pueden obtener una subvención para la operación de 640.000 RMB (equivalente a 83.858 €) para un autobús eléctrico con una longitud superior a 10 metros.	10.000 millones INR (equivalente a 1.400 millones de dólares)
Fuente de financiación	Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU)	Administración Federal de Transporte	Gobierno central (Ministerio de Hacienda, Ministerio de Industria y Tecnología de la Información, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma y Ministerio de Transportes) Gobiernos locales	Departamento de Industrias Pesadas y Empresas Públicas
Destinatarios	Operadores de transporte público (incluidos proyectos conjuntos)	Estado, autoridades gubernamentales locales, naciones indígenas americanas	Fabricantes de vehículos, operadores de transporte público	Fabricantes, proveedores de infraestructuras de vehículos eléctricos

3.4. Competitividad

La autonomía diaria (kilómetros recorridos por un autobús al día) y los kilómetros que pueden recorrerse entre eventos de carga están aumentando, mientras que los riesgos tecnológicos están disminuyendo, a medida que los volúmenes de producción crecen y los costes de capital iniciales se reducen.

Figura 3. Los autobuses eléctricos son cada vez más competitivos en términos de autonomía, coste y riesgo, dependiendo de los impuestos locales y de las condiciones de costes operativos (análisis basado en el Reino Unido y la UE)



Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

Los gráficos anteriores muestran la estimación de TIL del CTO en 2020 frente a las variables clave de autonomía diaria de los autobuses (kilómetros recorridos, o km), el nivel de riesgo tecnológico y los costes de capital iniciales, basada en un análisis del Reino Unido. El punto de referencia es el coste durante toda la vida útil de un autobús diésel o de gas de 12 metros de un piso, que es el tipo de autobús más común utilizado generalmente para servicios urbanos e interurbanos en Europa, conforme a la norma Euro VI.

La evaluación de TIL concluye que:

- El diésel o el gas siguen estableciendo la base para los costes durante toda la vida útil y el capital inicial necesario.
- Sin embargo, sin duda podría decirse que el riesgo de valor residual (VR) está aumentando para el diésel a medida que las ciudades cambian a los autobuses de cero emisiones, lo que conlleva un aumento del coste de capital para los autobuses diésel con el tiempo.
- Los trolebuses y los autobuses de batería cargados con cables de trolebús (carga en movimiento o IMC) pueden ser rentables si ya existe una infraestructura para trolebuses o si se puede instalar a bajo coste.
- Las pilas de combustible e hidrógeno presentan actualmente un nivel de riesgo tecnológico y coste de capital mucho más elevado, aunque se prevé que este disminuya con el tiempo.⁸
- Los autobuses eléctricos ofrecen un bajo nivel de riesgo tecnológico y su CTP es ahora comparable al del diésel,⁹ pero el coste de capital inicial (excluida la infraestructura) puede ser el doble que el del diésel.
- El CTP de los autobuses eléctricos es muy sensible a las circunstancias locales en relación con los precios del combustible y la electricidad, y el régimen fiscal de los autobuses eléctricos se acerca a la paridad del CTP con los diésel, en circunstancias locales específicas.

⁸ Bloomberg New Energy Finance.

⁹ Análisis de TIL sobre el CTP para el BERD.

4. Establecimiento de los objetivos del programa para proyectos de autobuses eléctricos

Los objetivos de interés público para el despliegue de los autobuses eléctricos varían en función de las ciudades. En la Tabla 3 se resumen los objetivos más comunes. La serie de objetivos mostrados no es exhaustiva y cada ciudad planteará sus propios problemas y prioridades. Los dirigentes y responsables políticos de

la ciudad deben establecer claramente en un principio sus objetivos políticos subyacentes y, a continuación, evaluar cómo una estrategia de autobuses de cero emisiones puede servir para estos objetivos. Las ciudades deben considerar el reajuste de los objetivos, incluidos los relativos a la financiación y la asequibilidad.

Tabla 3. Los objetivos para los proyectos de autobuses eléctricos varían, pero normalmente incluyen algunos o todos los que se muestran a continuación¹⁰

Objetivo				
				
Mejorar la calidad del aire local	Reducir el ruido causado por el transporte	Mejorar el acceso del transporte público a zonas urbanas sensibles y apoyar las políticas de LEZ	Contribuir a los objetivos de alineación con el Acuerdo de París, a través de metas de reducción de CO ₂ y GEI	Desarrollar la diversificación de las fuentes de energía y la capacidad de almacenamiento de energías renovables
Descripción				
Objetivos locales para partículas, GEI o CO ₂ por encima de las normas nacionales o regionales como Euro VI	Mejorar el entorno urbano reduciendo los impactos acústicos de los autobuses y aumentar la comodidad y el servicio para los residentes y usuarios de la ciudad	Existen presiones medioambientales y políticas firmes y continuadas para retirar los vehículos de transporte contaminantes de los principales centros urbanos, incluidas las zonas históricas y las calles comerciales. Esta política ha contribuido a aumentar los costes de operación del transporte público y a reducir los ingresos	Los gobiernos nacionales y regionales pueden establecer objetivos vinculantes para la mejora y mitigación del cambio climático, incluidos objetivos locales y nacionales para alcanzar el «cero neto»	Los gobiernos nacionales y municipales desearán reducir su dependencia de los combustibles fósiles importados y mejorar la diversidad del suministro eléctrico, incluido un mayor uso de la generación de electricidad a partir de fuentes renovables locales.
Deben establecerse plazos que sean realistas y generar un consenso para los vehículos de cero emisiones		El uso de autobuses eléctricos puede permitir su acceso a calles sensibles, aumentando de esta forma el atractivo del transporte público y reduciendo los costes de operación		La carga nocturna de los autobuses eléctricos permite almacenar energía renovable y «equilibrar» la red eléctrica

(continúa en la página siguiente)

¹⁰ Análisis de TIL para el BERD.

(continúa de la página anterior)

Objetivo				
				
<p>Mejorar la imagen de los autobuses locales y la renovación de la flota</p>	<p>Ampliar el uso de la infraestructura de trolebuses existente</p>	<p>Mejorar la cuota de mercado del transporte público</p>	<p>Reducir los costes de operación</p>	<p>Las ciudades deben desarrollar objetivos claros, incluida la ponderación entre los objetivos, los plazos políticos deseados y una relación realista de las fuentes de financiación de capital y de operación factibles.</p>
<p>Descripción</p>				
<p>Disponer de autobuses de emisión cero en el punto de uso puede permitir a los responsables políticos obtener un apoyo más amplio para limitar el tráfico de vehículos y otras medidas a favor del transporte público destinadas a reducir la proporción de vehículos privados.</p>	<p>Algunas ciudades cuentan con una infraestructura de distribución de electricidad para trolebuses, pero pocos sistemas ofrecen una cobertura universal para todas las rutas. IMC permite que los sistemas de trolebuses existentes se extiendan más allá de su cableado, y que las redes de catenarias existentes se utilicen para cargar los autobuses para su uso en una zona más amplia</p>	<p>Es improbable que los autobuses eléctricos contribuyan, por sí mismos, a un aumento significativo de usuarios</p> <p>Los programas de autobuses eléctricos deben vincularse a medidas más amplias de gestión del tráfico para mejorar la duración relativa del recorrido de los autobuses, incluidos los carriles bus y la política de estacionamiento</p>	<p>La operación de los autobuses eléctricos pueden resultar más barata dependiendo de las tendencias en los costes de capital y operación, los precios de la electricidad y la disponibilidad de subvenciones de operación y capital</p> <p>Las ciudades deben desarrollar planes de capital y operación plurianuales y «fuentes y usos» de los fondos</p>	

Muchas ciudades desearán llevar a cabo un análisis de coste-beneficio (ACB) social para medir el rendimiento de los autobuses eléctricos frente a objetivos políticos más amplios, junto con un análisis financiero. Como parte del desarrollo y la justificación de los proyectos, la mayoría de las ciudades desearán llevar a cabo un ACB social en paralelo a la estimación del CTP financiero para determinar los impactos políticos más amplios.

Es probable que el ACB tenga en cuenta los impactos y efectos distributivos en ámbitos políticos como:

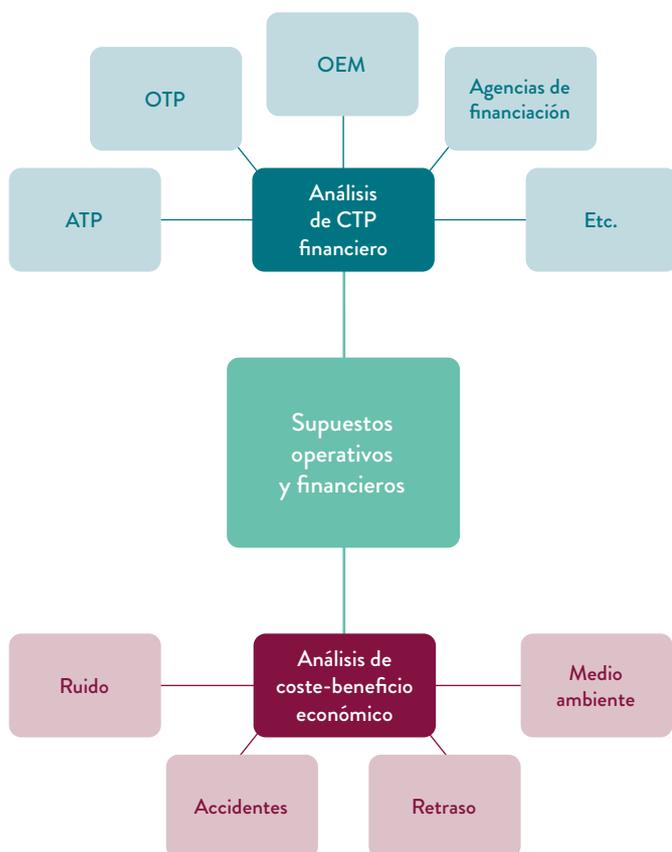
- el ruido de las flotas de autobuses
- la contaminación por el consumo de combustibles y energía
- los impactos ambientales locales «en el tubo de escape»
- la contribución al cambio climático mundial y el impacto de la combinación de generación eléctrica
- el impacto en la duración del recorrido para los pasajeros, la congestión y los efectos de la distribución modal
- el impacto en los accidentes de tráfico y en la seguridad de los pasajeros.

Algunos países y ciudades dispondrán de protocolos predefinidos para realizar estos análisis.



El ACB debe utilizar los mismos supuestos operativos que se utilizan en el cálculo del CTP (supuestos de flota de autobuses, km del autobús, horas pagadas al personal, combustible y energía, etc.).

Figura 4. Los análisis de coste-beneficio financieros y sociales deben basarse en un conjunto común de supuestos operativos y financieros



Análisis de CTP financiero

Impactos financieros
 Pérdidas y ganancias
 Requisitos de capital
 Requisitos de subvención e impactos fiscales
 Por participante en el sistema

Base de datos: financieros y operativos

Datos de costes de operación
 Datos del coste de capital
 Límites del sistema, flota de autobuses, kilómetros, horas de trabajo
 Clima y topografía
 Red de rutas
 Volúmenes de pasajeros
 Mano de obra y personal
 Electricidad y combustible
 etc.

Impactos sociales y ambientales

Análisis de coste-beneficio

Contaminación
 Duración del recorrido
 Accidentes
 Ruido
 Impactos de GEI
 etc.

Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

5. Opciones tecnológicas para los autobuses eléctricos

Los autobuses eléctricos forman parte de una amplia variedad de opciones tecnológicas, como diésel limpio, diésel híbrido y gas. La Tabla 4 muestra las principales tecnologías de carga de autobuses eléctricos que se utilizan de forma generalizada, con consideraciones técnicas para cada una de ellas. Deben evaluarse como parte del desarrollo de la estrategia de carga para cada sistema.

Tabla 4. Opciones tecnológicas

Diésel limpio o gas (GNC)	Diésel híbrido o GNC	Híbrido enchufable	Autobús eléctrico de batería	Trolebús híbrido o de batería	Trolebús	Pila de combustible e hidrógeno
<p>Cumple las normas Euro VI más recientes Sin transmisión eléctrica</p> <p>Diésel HVO diésel 100 % sin fósiles</p> <p>Autobús de GNC como tecnología alternativa madura</p> <p>Biogás: utilizando combustible reciclado o adaptado</p>	<p>Paquete de baterías para el generador diésel a bordo para permitir el equilibrio de la carga del motor</p> <p>Sin capacidad de enchufe</p>	<p>Puede funcionar con la batería durante un período considerable</p> <p>También se puede cargar externamente y con motor diésel a bordo</p>	<p>Sin generador a bordo</p> <p>Toda la electricidad suministrada por las baterías a bordo</p>	<p>Autobús de batería cargado por cables de trolebús</p>	<p>Sin paquete de baterías o con paquete de baterías limitado</p> <p>Baterías utilizadas para maniobras de corta distancia solo en estaciones y terminales</p>	<p>Autobús eléctrico con electricidad generada a bordo por la pila de combustible</p> <p>Autonomía diaria sin restricciones</p> <p>Tecnología más experimental</p> <p>Autobús que reposta en la estación de hidrógeno de la terminal</p>
Tecnología estándar existente en el sector		Se han tenido en cuenta para este informe			Tecnología estándar existente en el sector	Tecnología emergente de mayor riesgo
Ciudades de ejemplo:		<ul style="list-style-type: none"> • TEC Valonia, Bélgica • Gotemburgo, Suecia • TEC Valonia, Bélgica • Grudziadz, Polonia 	<ul style="list-style-type: none"> • Londres, Reino Unido • Harrogate, Reino Unido • Ámsterdam, Países Bajos • París, Francia • Ginebra, Suiza • Batumi, Georgia 	<ul style="list-style-type: none"> • Gdynia, Polonia • Praga, República Checa • Balti, Moldavia • Arnhem Smart Grid, Países Bajos • Dusambé, Tayikistán 	<ul style="list-style-type: none"> • Biskek, República Kirguisa • Almaty, Kazajistán • Ereván, Armenia • Belgrado, Serbia • Kiev, Ucrania • Lyon, Francia • Arnhem, Países Bajos 	<ul style="list-style-type: none"> • Londres y Aberdeen, Reino Unido



Diésel limpio o gas (GNC)



Diésel híbrido o GNC



Híbrido enchufable



Autobús eléctrico de batería



Trolebús híbrido o de batería



Trolebús



Pila de combustible e hidrógeno

El CTP de cada tecnología competidora debe estimarse en función de las condiciones locales, la financiación y la tolerancia al riesgo.

El diésel y los autobuses son cada vez más limpios:

- La tecnología diésel ha reducido gradualmente su impacto medioambiental.
- Los autobuses propulsados por gas han ofrecido más ventajas medioambientales, pueden utilizar biogás y han sido ampliamente utilizados en algunos territorios.
- Sin embargo, ahora muchas ciudades y países se han comprometido a conseguir cero emisiones «en el tubo de escape».

Los autobuses eléctricos están ganando cuota de mercado rápidamente:

- El uso de los autobuses eléctricos se está expandiendo rápidamente como una solución probada en la que se pueden optimizar los kilómetros recorridos diariamente por el autobús o la carga para satisfacer las demandas operativas.
- Grandes flotas se despliegan ahora en ciudades pequeñas y grandes, ofreciendo una mayor variedad de tipos de autobuses, tecnología de carga y opciones de financiación para operadores y ciudades.

Los híbridos enchufables y la carga de trolebuses son ahora opciones reales:

- Cuando los kilómetros recorridos superan la autonomía que los autobuses eléctricos pueden cubrir con holgura, asistimos

al despliegue de los híbridos enchufables, a menudo para rutas interurbanas más largas.

- Para las ciudades que mantienen sus sistemas de tranvía o trolebús, los cables de los trolebuses pueden utilizarse para cargar las baterías de los autobuses, y las rutas pueden extenderse mucho más allá de los límites de la catenaria del trolebús.
- Ahora estamos viendo la creación de nuevos sistemas que utilizan los cables de los trolebuses en las secciones principales para cargar los autobuses en movimiento.

Las pilas de combustible e hidrógeno están pasando de las pruebas técnicas al despliegue piloto:

- Los autobuses que utilizan pilas de combustible e hidrógeno se someten a pruebas intensivas en toda Europa desde hace aproximadamente 10 años.
- Estas pruebas están avanzando hacia un despliegue a mayor escala a medida que se resuelven los problemas tecnológicos de los autobuses y del suministro de hidrógeno, aunque esta tecnología sigue siendo más experimental que las diversas variantes de autobuses eléctricos.

En este capítulo se contextualizan las opciones para los autobuses eléctricos y se exponen algunas de las cuestiones relativas a la optimización que deben tener en cuenta las ciudades donde se considera el despliegue de autobuses eléctricos.



5.1. Tecnologías de carga

Tabla 5. Tipologías y consideraciones de la tecnología de carga de los autobuses eléctricos

Sistema de carga	Carga enchufable (CA o CC)	Carga de oportunidad (solo CC)	Carga con cable de trolebús (solo CC)
Ubicaciones de carga	Carga en terminales por cable	En carretera y/o en terminales mediante pantógrafos	Carga con cables de trolebús Consulte el Knowledge Brief detallado de la UITP
Baterías	Batería de alta capacidad	Batería de menor capacidad	Batería de menor capacidad
	Mayor peso de la batería	Menor peso de la batería	Menor peso de la batería
	Sin necesidad de carga rápida	Velocidad de carga más rápida	Carga más rápida utilizando cables Puede resolver la cuestión de calefacción y ventilación
Planificación	Sin cuestiones de planificación en torno a los cargadores en la terminal	Cuestiones de planificación y servicios en torno a los cargadores en la calle	Aprovecha la infraestructura de trolebuses existente Requiere cables aéreos en secciones claves de la ruta
Autonomía	Autonomía inferior a la de los diésel Hasta 250 km al día	Resuelve la cuestión de la autonomía, pero requiere una carga regular durante el servicio Máximo de 190 km entre cargas dependiendo de la capacidad de la batería instalada	Resuelve la cuestión de la autonomía y permite ampliar los sistemas de trolebuses Normalmente, más del 50 % funcionan sin conexión
Baterías	Batería de alta capacidad	Batería de menor capacidad	Batería de menor capacidad
Zonas urbanas «vivas»	Londres >500 autobuses y en aumento Aberdeen, Brighton, Harrogate, Nottingham, Salisbury	Países Bajos >1.000 autobuses	Gdynia, Polonia; Praga, República Checa En Italia, Europa oriental y el Cáucaso y Asia central, muchas ciudades con trolebuses están considerando esta opción
Definición	CA = motor y paquete de tracción con corriente alterna CC = motor y paquete de tracción con corriente continua	Carga de alta velocidad por vía aérea o por conectores debajo del vehículo	Carga a través de la catenaria del cable aéreo del trolebús mientras el vehículo está en movimiento: puede compartirse con los sistemas de tranvía o de trolebuses existentes
Velocidad de carga	40-80 kW (80 kW supone dos cargadores por autobús, según BYD) Carga con enchufe	Terminal 50-150 kW En la calle 300-600 kW Carga con enchufe o de oportunidad	
Coste de capital: cargador en la calle	No disponible	280.000-340.000 € (precios de 2020)	
Coste de capital - cargador en la terminal, no incluye costes de instalación	8.000-13.000 €	28.000 €	
Entre los fabricantes de autobuses que ofrecen esta opción se encuentran:	BYD/ADL Optare	Volvo Irizar Yutong Caetano Scania Mercedes Heuliez Solaris Belkommunmash	SOR Solaris Belkommunmash
Tiempo de carga	3-5 horas por vehículo	3-3,5 minutos por vehículo con un cargador de 100 kW	Durante la operación del servicio

Las opciones de tecnología de carga de los autobuses eléctricos son una consideración estratégica importante que afecta a las aprobaciones de planificación, los costes de capital y los costes de operación diarios. La tecnología ha superado la etapa experimental, y las ciudades y los operadores de autobuses pueden elegir entre una variedad de tecnologías probadas con éxito utilizadas a gran escala. Estas deben evaluarse teniendo en cuenta la política de transportes y las características operativas de cada ciudad, utilizando los factores de optimización desarrollados en la fase de especificación.

Los factores clave incluyen:

- longitudes de las rutas
- kilómetros operados por autobús al día
- horario y velocidad comercial
- tiempo de carga
- efectos climáticos
- disponibilidad de redes de catenarias de trolebús
- aspectos económicos de la carga de CA frente a la de CC.

5.2. Estrategia de carga: una consideración esencial

La estrategia de carga debe tener en cuenta el equilibrio entre la carga en las terminales y la carga de «oportunidad» en carretera.

Características de la carga de «oportunidad» en carretera o en la terminal:

- resuelve la cuestión de autonomía diaria
- reduce el peso del vehículo
- la duración de la batería es potencialmente mayor
- requiere alimentación de CC.

Este tipo de carga permite:

- el uso de baterías más pequeñas o de mayor duración – algunos fabricantes indican 12-15 años
- capacidad: autobuses de un piso de 12 metros 90-120 kWh
- carga más rápida: algunos fabricantes afirman que las baterías deben equilibrarse con una carga lenta cada 3-4 días, por lo que se requiere cierta infraestructura en la terminal (debe tenerse en cuenta que los autobuses de carga lenta en la terminal no pueden cargarse rápidamente a 300-600 kW debido a la química diferente de la batería)
- una mejor relación potencia-peso
- utiliza pantógrafos de tipo tranvía para acceder a la catenaria (estos pueden instalarse en los autobuses o en los propios mástiles de carga)
- permite desplegar pantógrafos en terminales de autobuses en lugar de cargar con enchufe, lo que también puede resolver algunos problemas de capacidad de la terminal
- puede ser una solución para terminales que no pueden reconfigurarse para carga con enchufe
- autobuses de carga lenta con grandes paquetes de baterías que pueden cargarse en la terminal mediante cable o pantógrafo
- permite cargar los autobuses durante la noche, utilizando potencialmente energía de bajo coste a partir de fuentes renovables
- permite a la flota de autobuses almacenar el exceso de producción renovable
- permite la descarga de electricidad a gran capacidad
- los autobuses de carga rápida con baterías más pequeñas también pueden cargarse en la calle o en las terminales únicamente mediante pantógrafo (esto no puede hacerse a través de cable, ya que las velocidades de carga en 2020 superiores a 150 kW sobrecalentarían un cable)
- la ampliación de los puntos de carga «en carretera» para resolver la cuestión de autonomía diaria es un problema complejo para la planificación de los autobuses



Autobús de carga de oportunidad CA, Países Bajos

- solo un reducido número de paradas de autobús serían adecuadas en términos operativos como puntos de carga (se prevé que esta tecnología solo se utilice en un punto de final de recorrido en el que los autobuses tengan al menos entre tres y cuatro minutos para cargar); entre las cuestiones que deben tenerse en cuenta figuran:
 - «Ocupación del terreno»
 - intrusión visual
 - zonas de conservación
 - objeciones del vecindario de primera línea (luz, estacionamiento, ruido)
 - riesgo de actos vandálicos
 - capacidad de la parada del autobús
 - Impactos en la congestión del tráfico
 - capacidad de suministro eléctrico local
 - aprobaciones de planificación para cargadores y transformadores
 - problemas de salud y seguridad y aprobaciones.

Aspectos a tener en cuenta

Los problemas de planificación fuera de las terminales de autobuses incluyen:

- impacto visual
- conexión eléctrica
- aspectos de planificación operativa a tener en cuenta (por ejemplo, duración de la carga, horarios y horas de trabajo del conductor)
- aprobaciones de planificación.

Es probable que muchas ciudades grandes requieran una combinación de rutas con carga en la terminal y carga de oportunidad, dependiendo de los kilómetros diarios recorridos por autobús y de los costes relativos de los equipos de carga, las baterías y las diferencias de consumo de electricidad. Consulte el [UITP TUL policy paper](#) «The impact of electric buses on urban life.»¹¹

Las autoridades de transporte de pasajeros (ATP; véase el policy paper del Comité de Transporte y Vida Urbana de la UITP) o los operadores (OTP) deben realizar un análisis detallado de la ruta para determinar la solución óptima para cada una.

TfL en Londres ha indicado que aunque está previsto que la mayoría de las rutas utilicen autobuses con carga en la terminal debido al elevado kilometraje/distancia de un día de funcionamiento, entre el 10 y el 15% de la red podría utilizar carga de oportunidad. Por lo tanto, es probable que la carga en la terminal y en carretera se complementen en una ciudad con un elevado número de vehículos eléctricos. Los autores estiman que se necesitará un periodo de al menos 12 meses para obtener permisos e instalar cargadores en carretera. Sin embargo, las rutas con elevados kilometrajes diarios pueden requerir esta opción: calculamos un 15% de la flota de autobuses en ciudades más grandes, sobre la base de los ciclos de servicio del Reino Unido.

5.3. Criterios para la selección de tecnología

Los criterios para la selección de tecnología incluyen el CTP, la autonomía diaria, la viabilidad de la infraestructura y el impacto medioambiental.

Tabla 6. Criterios para la selección del sistema de propulsión

	Tecnología	Tipo	Autonomía	Infraestructura de Carga/repostaje (inversión y esfuerzo)	Impacto en la operación	Impacto en el paisaje urbano
	Batería eléctrica	Emisión cero	Emisión cero	Alta	Alto	Moderado (OC) Bajo (ON)
	Diésel híbrido enchufable	Limpia	Limitada	Baja	Medio	Bajo
	Gas natural	Limpia	Comparable al diésel	Moderada	Bajo	Bajo
	Pilas de combustible	Emisión cero	Comparable al diésel	Alta	Alto	Bajo
	Trolebús equipado con batería	Emisión cero	Ilimitada (normalmente más del 50 % de recorrido sin conexión, sujeto al tamaño de la batería)	Moderada (suponiendo que existe una red de catenaria)	Moderado	Medio

¹¹ Véase el Comité de Transporte y Vida Urbana de la UITP (2019).

Fuente: Programa de formación sobre autobuses eléctricos de la UITP.

La autonomía del autobús (que es la distancia que puede recorrer un autobús entre los eventos de carga o repostaje) es un criterio esencial para la operación práctica. Una autonomía insuficiente del autobús aumenta la flota de autobuses necesaria, requiere más tiempo pagado al personal y puede perjudicar la fiabilidad del servicio.

La autonomía rara vez ha supuesto una limitación para los autobuses diésel, ya que la capacidad del depósito de combustible suele superar el kilometraje del autobús previsto por día. Para los autobuses diésel, la autonomía depende del consumo. Un autobús urbano estándar de 12 metros puede tener una autonomía de hasta 700 km, y la autonomía diaria rara vez supone una limitación para la operación¹². Hasta la fecha, los autobuses diésel siguen siendo la referencia, con pocas restricciones en cuanto a la autonomía efectiva, incluso en el caso de los autobuses que recorren a diario un elevado número de kilómetros o un elevado número de kilómetros por hora.

Los híbridos enchufables tienen una autonomía similar a los diésel, pero no eliminan la contaminación del tubo de escape y su mantenimiento es más complejo que el de los autobuses eléctricos, ya que combinan dos tecnologías y es necesario mantener dos conjuntos de equipos.

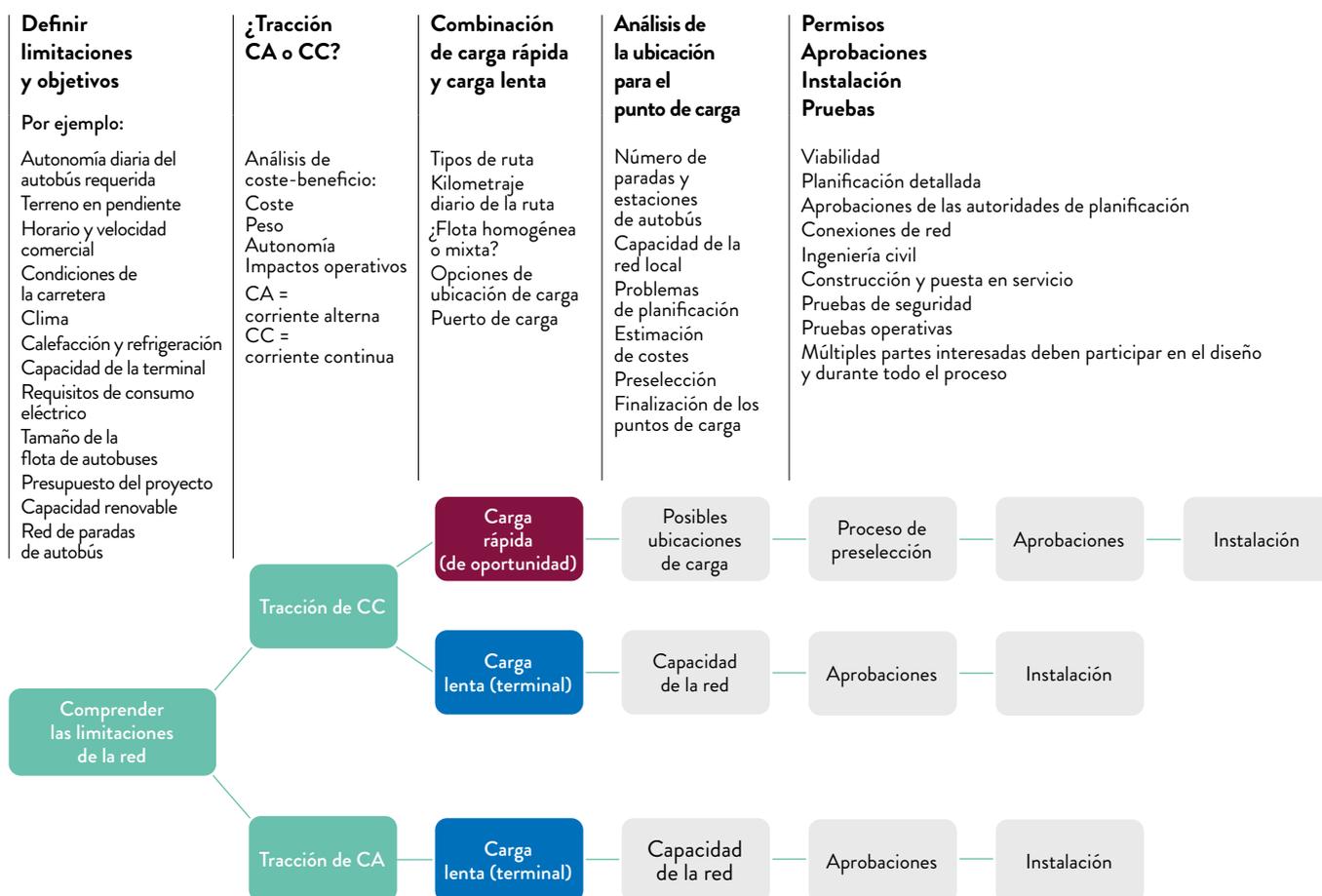
Las pilas de combustible e hidrógeno ofrecen una autonomía diaria sin restricciones, pero en la actualidad siguen en una fase mucho más experimental y son más caras, aunque se espera que los costes de capital disminuyan a medida que los vehículos empiezan a producirse en masa.

Los trolebuses equipados con baterías se despliegan normalmente en ciudades que ya disponen de catenarias de trolebús o tranvía que pueden utilizarse para la carga o que pueden ampliarse. En algunas ciudades, como Praga, han empezado a aparecer sistemas de trolebuses de batería totalmente nuevos. La capacidad de la red eléctrica suele ser un problema, y los costes de las conexiones a la red varían en función de la ubicación de la terminal o los puntos de carga.

5.4. Desarrollo de una estrategia de carga

Dentro del análisis del CTP de los autobuses eléctricos, la estrategia de carga para los autobuses es un aspecto esencial y debe desarrollarse en la fase de planificación del proyecto, junto con la planificación de opciones para incrementar el suministro eléctrico.

Figura 5. Consideraciones al definir una estrategia de carga de autobuses



Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

¹² Análisis de TIL para el BERD.

El suministro eléctrico debe estudiarse y planificarse desde la fase de especificación y considerar:

- requisitos del incremento de la demanda de electricidad
- contribución renovable
- negociación con la compañía de servicios públicos
- políticas de carga inteligente, como la carga de los autobuses por la noche y la gestión activa de la carga de los autobuses dentro de las terminales
- papel de la flota de autobuses para equilibrar la capacidad de energía renovable mediante la carga nocturna
- redes verdes
- almacenamiento in situ y medición neta
- conexión de red a puntos de carga
- un papel potencial del BERD para contribuir a la planificación y el análisis.

Las ciudades requieren una estrategia sistemática de carga de los autobuses que identifique los objetivos y las limitaciones y determine la combinación CA/CC, la distribución entre carga en la terminal y de oportunidad y las ubicaciones prácticas para los puntos de carga, así como un programa integrado para su planificación y ejecución en el que participen todas las partes interesadas pertinentes.

5.5. Impacto de la estrategia de carga y la electricidad

El impacto de la estrategia de carga y la electricidad en los costes de operación debe evaluarse como un factor a tener en cuenta para el plan del proyecto, el presupuesto y el análisis del CTP.

Tabla 7. La estrategia de carga se incorporará al CTP y a la evaluación financiera

	<p>Número de puntos de carga</p>	<p>El número y la ubicación de los puntos de carga es un factor esencial de los costes</p>
	<p>Distribución entre la carga en la terminal y en carretera</p>	<p>Esto determinará:</p> <ul style="list-style-type: none"> • el capital y los costes de operación de los diferentes tipos de puntos de carga • la tarifa eléctrica aplicable; por ejemplo, el número de autobuses que se cargan por la noche (normalmente a un coste inferior) frente a los autobuses que se cargan durante el día (cuando el coste de la electricidad suele ser superior) • la posibilidad de utilizar los autobuses para almacenar el exceso de energía renovable mediante la carga nocturna
	<p>Impacto en km del autobús, flota de autobuses de repuesto y horas pagadas al conductor</p>	<p>La duración y las ubicaciones de carga deben programarse. Esto determinará el impacto en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • el número de autobuses de repuesto que deben cargarse (además de los autobuses que pueden cargarse durante la noche) • los kilómetros adicionales que debe recorrer el autobús para volver a los puntos de carga • el tiempo pagado al personal necesario para atender la carga al autobús, como el tiempo del conductor en los puntos de carga y para recorrer los km «vacíos» desde/hasta los puntos de carga
	<p>Costes de mantenimiento de los equipos de carga</p>	<p>Los costes de mantenimiento de los equipos deben presupuestarse Es probable que esta actividad se lleve a cabo mediante contratos con la compañía eléctrica y/o el fabricante de equipos originales (OEM).</p>
	<p>Tarifa eléctrica</p>	<p>Distribución entre tarifas nocturnas y diurnas Capacidad de la red local Coste de los trabajos de mejora Posibilidad de generación de energía solar fotovoltaica, medición neta y/o almacenamiento in situ</p>
	<p>Deben tenerse en cuenta los factores locales</p>	<p>Topografía Intervalo de temperaturas: la calefacción y la refrigeración tienen un gran impacto en el consumo eléctrico Regímenes fiscales y de subvenciones Autonomía de los vehículos requerida entre eventos de carga Costes de electricidad Coste y disponibilidad de conexiones eléctricas de alta potencia para puntos de carga en las terminales y de oportunidad Los datos operativos deben confirmarse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • km del autobús; flota de autobuses; horas del conductor; remuneración del conductor; costes de mantenimiento; datos de consumo de combustible y electricidad; espacio de estacionamiento; costes de modificación de la terminal, etc.

Los resultados de la estrategia de carga deben incorporarse al modelo de evaluación financiera, incluidos los impactos en los kilómetros de autobús, el tamaño de la flota de autobuses y las horas pagadas, así como las partidas de gastos de capital.

6. Tecnología de las baterías

6.1. Aspectos económicos y consideraciones de costes de las baterías

La selección de la tecnología de la batería y del sistema de control debe basarse en la consideración de diversos factores operativos, tecnológicos y económicos, resumidos en la tabla siguiente.

<p>El coste de la batería representa alrededor del 30-50 % del coste inicial de un autobús eléctrico¹³</p> <p>Entre 2020 y 2025, se prevé que los costes de las baterías NMC y LFP disminuyan en torno al 30 % y que sigan reduciéndose como resultado del avance en las técnicas de fabricación, el aumento de la densidad energética dentro de las celdas y un mejor diseño de los paquetes.¹⁴</p>	<p>Potencia</p> <p>Las corrientes de alta potencia no se consideran óptimas para mantener la batería en buen estado. Aunque la carga de alta potencia es compatible con la mayoría de los productos químicos de las baterías, algunas están más optimizadas para ello (LTO). Cargar utilizando continuamente puntos de alta potencia reducirá la duración de la batería más rápidamente que utilizando un sistema de carga de menor intensidad.</p>
<p>Descripción general</p> <p>El rendimiento operativo y las características de las baterías a bordo del autobús y cuándo se cargan son factores esenciales a la hora de tomar una decisión de inversión. Las cuestiones clave son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • química de la batería • degradación de la batería • impacto de la carga • seguridad (problemas de sobrecalentamiento) • coste (€/kWh). 	<p>Profundidad de descarga (DOD)/estado de carga (SOC)</p> <p>El DOD indica el nivel de electricidad que se ha descargado en relación con el estado de carga general de la batería en un ciclo determinado. Cómo y cuándo se carga la batería para completar un ciclo completo tendrá un impacto en el estado de salud (SOH) de la batería y su proceso de envejecimiento.</p> <p>La batería LFP normalmente se considera mejor que la NMC para una estrategia de carga nocturna. La batería LFP admite una mayor profundidad de descarga y, por lo tanto, es más adecuada para autobuses en servicio durante todo el día; la batería NMC prefiere profundidades de descarga más superficiales, lo que dificulta el cumplimiento de los requisitos de autonomía sin una carga intermedia.</p>
<p>Química de la batería</p> <p>La química de la batería es crítica para la autonomía y la velocidad de carga.</p> <p>La NMC ofrece un buen rendimiento general y presenta una alta densidad de energía (Wh/kg). Sus materiales activos, níquel, manganeso y cobalto, pueden combinarse para adaptarse a sistemas de almacenamiento de energía con altos requisitos de ciclo.</p> <p>La LFP ofrece un buen rendimiento eléctrico con baja resistencia. Aunque tiene una calificación de densidad energética inferior a la de la NMC, sus principales ventajas son su alta capacidad de corriente y su larga vida útil. Con menos restricciones del estado de carga (en comparación con la NMC), la LFP ofrece ventajas en términos de flexibilidad operativa.</p> <p>Se espera que para 2025 las baterías utilicen cada vez más productos químicos catódicos, que son menos dependientes del cobalto. Esto dará lugar a un aumento de la densidad energética y a una disminución de los costes de las baterías, junto con otros avances.</p>	<p>Sistema de gestión de las baterías de seguridad</p> <p>El sistema de gestión de la batería (BMS) es un sistema electrónico que controla y regula las celdas individuales y los módulos de la batería dentro del paquete de la batería para optimizar su potencia y garantizar que el sistema funcione en condiciones seguras. Desempeña un papel fundamental en cuanto a prestaciones de seguridad, velocidades de carga y envejecimiento de la batería.</p> <p>El BMS también es responsable de garantizar que se alcance la máxima eficiencia dentro del paquete de la batería, asegurándose de que las celdas se carguen y descarguen a la misma tensión. Incluso dentro de una química diferente, la forma de la celda de la batería y la configuración del BMS pueden determinar en gran medida el rendimiento de la batería.</p>
<p>Degradación de la batería (estado de salud)</p> <p>La degradación de la batería es un proceso natural del uso. Por lo tanto, dado que es la parte más importante del autobús, es fundamental que se controle y se cuide. La gestión del SOH en su totalidad –en el vehículo y durante la carga– a todos los niveles proporciona información sobre la celda para comprender y proteger el activo.</p> <p>Los factores clave que influyen en la degradación de la batería en los autobuses eléctricos son la temperatura y la potencia.</p> <p>Otros factores a tener en cuenta son el DOD y el SOC.</p>	<p>Impacto de la carga</p> <p>La velocidad a la que se carga o descarga una batería afectará a su SOH. Es importante controlar el DOD y mantener un SOC medio, en lugar de operar y cargar el autobús eléctrico en los extremos cercanos al 100 % o al 0 % del SOC.</p> <p>El proceso de carga mueve iones alrededor de la batería, gastando parte de su energía en calor, dado que la carga rápida requiere una corriente más alta y se genera más calor, lo que puede afectar a una mayor degradación de la batería que cuando se carga a velocidades más lentas.</p> <p>El proceso de carga de la batería se controla con precisión mediante las instrucciones y los parámetros del sistema de carga y el control de la batería que recibe la carga. Junto con una solución de infraestructura de software y hardware de carga inteligente combinada con datos de gestión de flota, es posible gestionar y supervisar cada evento y mantener la batería funcionando en su SOC óptimo.</p>
<p>Temperatura</p> <p>Mantener un rango de temperaturas estables y óptimos en los que la batería pueda funcionar garantiza que las reacciones químicas que se producen dentro de la batería no se muevan con demasiada rapidez (temperatura alta) ni demasiada lentitud (temperatura baja).</p> <p>Cuando se superan los límites de temperatura de una batería, se pueden desencadenar ciertas reacciones químicas dentro de la batería que producen un cortocircuito interno y el fallo de la celda, lo que provoca daños graves, propagación y riesgo de fuga térmica.</p>	

¹³ Análisis de TIL para el BERD.

¹⁴ Bloomberg New Energy.

6.2. Descripción general de la tecnología de batería

En los autobuses eléctricos se utilizan habitualmente tres tipos de baterías de iones de litio (LFP, NMC y LTO) debido a las ventajas que ofrecen de larga vida útil, alta potencia específica y/o densidad energética y alto rendimiento térmico y de seguridad.

Tabla 8. Descripción general de la química y características tecnológicas de las baterías

	LiFePO ₄ (LFP)	LiNiMnCoO ₂ (NMC)	Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ (LTO)
Definición	Fosfato de hierro y litio	Óxido de cobalto de manganeso y litio níquel	Óxido de titanato de litio
Aspectos generales	Ciclo de vida elevado con buenos parámetros de potencia	Vida útil más larga	Se puede cargar/descargar a tasas de corriente muy altas sin afectar al ciclo de vida
Estabilidad térmica	Alta		Excelente; el buen rendimiento en temperatura fría hace que sea idónea para los arranques en frío
Coste	Precio competitivo debido a la fácil disponibilidad de los materiales	Contiene cobalto y por lo tanto es más cara que la LFP	Tecnología cara debido al elevado precio del titanio
Densidad energética	Tensión más baja (3,2 V/celda) y menor densidad energética (90-120 Wh/kg), lo que se traduce en baterías más grandes y pesadas	Mejor densidad energética (150-220 Wh/kg), por tanto una autonomía de conducción más larga o un paquete de la batería más ligero y pequeño	La baja tensión de la celda (2,40 V/celda) hace que las baterías sean más grandes y pesadas
Seguridad	Baja toxicidad (más segura que la NMC, esencial para las grandes baterías de los autobuses eléctricos)	En caso de accidente, podrían producirse enormes cantidades de fugas tóxicas e inflamables	
Velocidad de carga	Normal	Normal	La carga ultrarrápida es posible, reduciendo sustancialmente el tiempo de carga necesario y el frenado regenerativo puede aplicarse sin problemas, aumentando la eficiencia del autobús
Ciclos de carga	Aproximadamente 3.500	Aproximadamente 3.500	Puede durar decenas de miles de ciclos
Otros	Mayor autodescarga (puede causar problemas de equilibrio con el envejecimiento y, por tanto, una vida útil más corta del paquete de la batería)		
Usuarios	Autobuses BYD, Nova bus o Volvo	Autobuses Proterra	Autobuses Proterra y Vectia

Fuente: Véase Iclodean et al. (2017) y el análisis de TIL para el BERD.

6.3. Líderes actuales del mercado

Tabla 9. Características operativas de las tecnologías de baterías líderes del mercado

Tipo de batería	LFP (fosfato de hierro y litio)	NMC (óxido de cobalto de manganeso y litio níquel)	LTO (óxido de titanato de litio)
Potencia de carga	√ √	√ √	√ √ √
Autonomía operativa	√ √	√ √ √	√
Vida útil del BOB	√ √	√	√ √ √
Ciclos de carga	3.500	3.500	10.000+
Velocidad de carga máxima (velocidad C en comparación con LFP)	1x	1x	5x
Energía específica (Wh/kg)	85-120	150-230	50-80
Capacidad habitual (kWh) por paquete	180	350	60-150
Coste (€/kWh)	380-440	380-440	900-1100
Comentarios	Menor energía específica (mayor peso para una autonomía determinada) y carga más lenta que la NMC Sin contenido de cobalto	Buen equilibrio entre autonomía y velocidad de carga	Idónea para la estrategia de carga de oportunidad, con una autonomía más corta y puntos de carga rápida 80 % de capacidad en cinco minutos Buen rendimiento a temperatura fría

Fuente: Análisis de TransConsult Asia para el BERD.

La solución tecnológica de la batería está estrechamente integrada en la estrategia de carga, y deben considerarse conjuntamente.

Para gestionar la tecnología de carga de los vehículos eléctricos se utiliza una optimización de objetivo único para determinar el tamaño óptimo de la tecnología de carga tanto dentro como fuera del vehículo, y para determinar una capacidad de batería adecuada.¹⁵

Actualmente NMC y LFP son las baterías líderes del mercado. Los OEM y las entidades financieras especializadas pueden asumir el riesgo de las baterías a través de garantías a largo plazo o contratos de alquiler.

La configuración de la batería es una opción tecnológica clave y está estrechamente relacionada con la estrategia de carga de los autobuses.

La Tabla 9 establece los tipos de baterías más utilizados. La vida útil de una batería puede medirse de dos maneras:

- el número de años que una batería puede funcionar
- el número de ciclos de carga que una batería puede realizar.

Normalmente se considera que una batería llega al final de su vida útil cuando tiene menos del 80% de su capacidad inicial. En la actualidad, muchas garantías de baterías indican que el final de la vida útil se alcanza cuando la capacidad de la batería cae hasta entre el 60 y el 80% de su capacidad original.

La oferta de baterías en el mercado se diferencia principalmente en función de los siguientes parámetros:

- vida útil (ciclos de carga o años de servicio)
- potencia máxima de carga (velocidad C)
- energía específica (Wh/kg)
- densidad energética (Wh/l)

- seguridad (problemas de sobrecalentamiento)
- coste (€/kWh).

Actualmente, el mercado depende de dos tecnologías principales de baterías: LFP y NMC (en el mercado chino predomina la LFP). La batería de fosfato de hierro y litio (LFP) es segura y tiene un ciclo de vida alto, pero presenta una baja densidad de energía volumétrica (Wh/l). La batería NCA (óxido de litio níquel cobalto aluminio) ofrece una mayor densidad energética, y requiere menos espacio en el autobús para un tamaño de paquete determinado (kWh), a pesar de su ciclo de vida más corto.

Debe tenerse en cuenta la «segunda vida» de una batería:

- la eliminación limpia y segura es esencial
- las baterías pueden ser recicladas por el proveedor de baterías
- vendidas para su uso en un conjunto de batería comercial
- utilizadas en el autobús o en la red para el almacenamiento de energía renovable
- precio de compra, dado el abaratamiento de las baterías de gran potencia
- nivel de garantías.

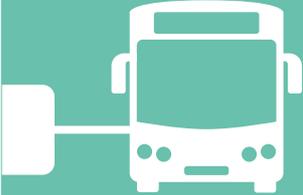
Están surgiendo nuevas opciones para gestionar estos riesgos:

- 1) contratos de suministro de baterías a largo plazo sobre una base de «coste por mes por kilómetro», en los que la compañía proveedora asume el riesgo sobre la vida de la batería y el coste de sustitución (a veces denominado batería como servicio), y
- 2) garantías de baterías a largo plazo del OEM sobre una base de 5 a 15 años.

¹⁵ Véase Brenna y cols. (2020).

6.4. Gestión del rendimiento de la batería

La tabla siguiente recoge los factores clave que afectan al rendimiento durante toda la vida útil y, por tanto, al coste de las baterías.

			
Temperatura	Potencia (alta)	Profundidad de descarga (DOD)	El estado de carga (SOC) medio
<p>El rango óptimo de temperatura para una batería se encuentra aproximadamente entre 15 y 30 grados Celsius. Las temperaturas muy altas o muy bajas pueden afectar negativamente al estado de la batería.</p>	<p>La potencia/corriente altas para la carga rápida no es óptima para las baterías, tanto al cargar como al descargar la batería. Ahora se están desarrollando baterías especiales, optimizadas para cargas de alta potencia, pero deben respetarse las velocidades de carga.</p>	<p>Un ciclo completo va de vacío a lleno a vacío, o de lleno a vacío a lleno. Ambas opciones se consideran ciclos completos. Estos diferentes ciclos de carga tienen diferentes impactos en el envejecimiento de la batería. La pauta es que cuanto menor es la altura del ciclo, mejor es para la batería. Esto significa que, como principio básico, es mejor cargar del 30 al 70 % en lugar de hacerlo del 0 al 100 %.</p>	<p>Por lo general, a las baterías no les favorece pararse o funcionar con un SOC cerca del 100 % o del 0 %. Como pauta, les favorece funcionar en un rango dinámico del 20-80 %, o en un estado de carga medio del 50 %, lo que puede ser un problema para la carga de oportunidad.</p>

Fuente: TIL para el BERD.

Los OTP deberán adquirir experiencia en materia de gestión de baterías, internamente o mediante contratos de soporte con proveedores de autobuses o baterías.

6.5. La economía circular

Los autobuses eléctricos pueden formar parte de la economía circular, integrando las baterías de los autobuses en redes renovables, utilizándolas para equilibrar la carga y reciclandolas activamente después de su uso en autobuses.





Las grandes flotas de autobuses pueden integrarse en la planificación de la electricidad renovable

- Autobuses que se cargan por la noche para almacenar energía renovable generada en momentos de baja demanda durante el día
- Las baterías de los autobuses ayudan a equilibrar la red mediante la carga en momentos en los que la capacidad renovable es alta, pero la demanda es baja
- Es necesaria una estrecha integración con los operadores de la red para planificar mejoras en el incremento de la electricidad
- Las tarifas eléctricas pueden planificarse con antelación para incentivar la carga de los autobuses en momentos de baja demanda general (de noche, por ejemplo)
- Las grandes flotas de autobuses pueden requerir un incremento de la capacidad de generación renovable



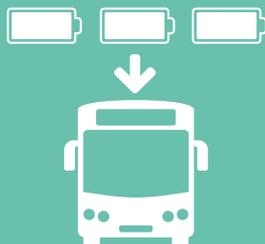
Las baterías retiradas de los autobuses pueden reutilizarse para su uso en conjuntos de batería estáticos para equilibrar la capacidad de la red

- Las baterías de los autobuses se degradarán hasta el punto en que sus características de almacenamiento resulten ineficaces para su uso posterior en autobuses
- Estas baterías pueden readaptarse para un uso estático dentro de la red de autobuses (para equilibrar la capacidad de carga) o en cualquier otro lugar de la red
- Algunos operadores de baterías como servicio están activos en ambos mercados, lo que ayuda a gestionar los riesgos de VR
- Los operadores de redes también pueden participar activamente en este doble mercado

La «carga inteligente» utiliza tecnología para gestionar la capacidad de potencia de carga, el coste de las conexiones a la red y el precio de la electricidad

- TI gestiona:
 - la velocidad de carga para minimizar el coste de electricidad
 - la velocidad de carga de cada autobús, para maximizar el estado de salud de la batería
- Puede usar conjuntos de batería dentro de la terminal para almacenar electricidad hasta el momento que se necesite
- Evita costosos aumentos de conexión eléctrica

Proveedor de
baterías como servicio



La financiación de las baterías comerciales es una categoría de activos emergente

- Bancos, fondos de infraestructuras y vehículos de inversión que cotizan en bolsa están creando fondos especializados en baterías
- Su objetivo es abordar algunas o todas las cuestiones siguientes:
 - proporcionar una financiación fluida de las baterías y/o de los activos energéticos, desde el coste de capital inicial hasta un pago mensual, por km o por kWh
 - descontar algunos o todos los activos de los balances de los operadores de autobuses
 - Utilizar conocimientos y alcance especializados para gestionar riesgos como: mantenimiento de baterías; precios de baterías; VR de las baterías después de retirarlas de los autobuses; eliminación de baterías; reciclado de baterías para uso «estático» después de retirarlas de los vehículos
- Se trata de una nueva categoría de activos, pero las entidades de financiación tradicionales y los OEM de energía eléctrica están asignando un capital significativo a este mercado.

Fuente: Análisis de TIL, Bloomberg New Energy, <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf>
Nota: <https://www.sustainable-bus.com/parts/volvo-buses-and-second-life-batteries-a-new-project-in-göteborg>



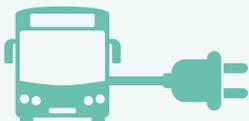
Híbrido enchufable, Valonia

6.6. Planificación y contratos

Las conexiones eléctricas, el suministro eléctrico, el precio de la electricidad y los aspectos económicos de las baterías deben planificarse e integrarse en contratos, en la medida de lo posible. Las conexiones eléctricas, el precio de la electricidad y las tarifas de consumo eléctrico son partes sustanciales del CTP y riesgos importantes. Estas cuestiones deben examinarse en la fase de

especificación, con la participación desde un primer momento de las compañías eléctricas y los posibles proveedores de equipos. Deben elaborarse contratos que asignen adecuadamente los riesgos, y puede que se requiera el apoyo de las compañías eléctricas y/o de los OEM para instalar los equipos.

Tabla 10. Consideraciones para la conexión a la red y el suministro de baterías

	Cuestión	Comentario
	Conexión a la red para los puntos de carga	Las necesidades incrementales de electricidad deben planificarse y organizarse con la compañía de servicios públicos correspondiente Puede ser necesario un aumento de la generación renovable Se pueden planificar conjuntos de baterías en el suministro para equilibrar la demanda Se puede utilizar la «carga inteligente» para optimizar el consumo de energía y la vida útil de la batería
	Vida útil de la batería Opción de batería como servicio	«Power by the hour» Compra directa Compra con garantía de la vida útil de la batería y/o los costes de mantenimiento de la batería Están surgiendo empresas especializadas que gestionarán estos riesgos a lo largo del tiempo
	Riesgo de consumo de electricidad	Se debe pedir a los OEM que especifiquen estimaciones y supuestos sobre el consumo de electricidad Los OTP deben asumir riesgos de consumo de electricidad
	Precio de la electricidad	Los promotores deben explorar opciones de tarifas que incluyan precios más bajos para la carga fuera de las horas punta, por ejemplo, cargar los autobuses por la noche y almacenar la electricidad en las baterías de los autobuses para descargarlas durante el día.
	Vida útil requerida del equipo de carga y de otros equipos	Cargadores de autobús Equipos de distribución eléctrica
	Los períodos de la garantía deben estar claramente definidos y se recomiendan garantías de larga duración	El proceso de adquisición debe solicitar a los proveedores que asuman las variaciones de precios durante el período de garantía La garantía puede distribuirse entre la carrocería del autobús, las baterías y las principales unidades eléctricas y mecánicas.
	Garantías del valor residual	Se debe solicitar a los proveedores que ofrezcan garantías del VR y/u opciones de recompra de los activos si el período operativo propuesto es mucho menor que la vida útil proyectada para el activo La ATP puede asumir el riesgo del VR si decide poseer los activos del autobús y el período operativo del OTP es inferior a la vida útil prevista del activo. Están surgiendo empresas especializadas que gestionarán el VR el despliegue de la segunda vida útil de las baterías

Fuente: TIL para el BERD.

Las conexiones a la red, los costes de instalación y los precios de la electricidad deben planificarse y negociarse previamente en la medida de lo posible para evitar limitaciones de capacidad y sobrecostes.

7. Consideraciones de operación e ingeniería

7.1. Impacto en las terminales de autobuses

Los autobuses eléctricos requieren la realización de cambios significativos en las terminales de autobuses, incluidas conexiones eléctricas, planes de estacionamiento y equipos de mantenimiento. Las terminales de autobuses deben reorganizar ampliamente su planificación para la operación de autobuses eléctricos. Las principales consideraciones incluyen:

- conexiones eléctricas
- equipo de carga de baterías
- almacenamiento seguro de baterías
- reconfiguración de planes de estacionamiento
- nuevo equipo de mantenimiento

- revisión de los sistemas de seguridad para tener en cuenta:
 - movimiento de vehículos muy silenciosos
 - presencia de equipos de alta tensión.

Estos cambios afectarán a los costes operativos y de capital. Los costes de la conexión eléctrica pueden variar enormemente de un emplazamiento a otro, en función de las limitaciones de la red local.

En algunos lugares se han utilizado conjuntos de batería estáticos para equilibrar la carga del alimentador, si esto supone una limitación. El plan de carga de la terminal debe integrarse en la estrategia más amplia de carga de autobuses.

Tabla 11. Reconfiguración del entorno y las operaciones de la terminal de autobuses



Carga con enchufe en la terminal

Plan de estacionamiento de autobuses diésel (12 autobuses)



Plan de estacionamiento de autobuses eléctricos (la misma superficie solo admite nueve autobuses, asumiendo la carga en la terminal)



Baterías	<p>90.000-120.000 € por conjunto (precios de 2020)</p> <p>El estándar de vida útil del sector es actualmente de unos 7/8 años para autobuses de carga nocturna (lenta), por lo que se requiere un cambio de batería durante la vida útil del vehículo de aproximadamente 15 años</p> <p>Capacidad de la batería: Un piso 240-350 kWh Dos pisos 300-400 kWh</p>
Cargadores de la terminal	<p>Los cargadores de CC de 100 kW requieren de 3 a 3,5 horas para cargar un vehículo; los cargadores de CA más baja (50-80 kW) tardan más</p> <p>Actualmente, los operadores suelen planificar un cargador por autobús, pero a medida que las flotas se expanden, pueden realizarse algunas economías de escala</p> <p>Permite el uso de energía renovable barata en horario nocturno</p> <p>La carga suele ser de 50-150 kW</p>
Transformador y conexión a la red	<p>Muy variable y depende de la capacidad de la red del emplazamiento de la terminal. Se produce una gran variación de los costes</p>
Cuestiones de estacionamiento y capacidad	<p>Los autobuses diésel suelen estacionarse en fila: edificios diseñados para esta disposición</p> <p>Es probable que los autobuses eléctricos estacionados en las terminales requieran una organización diferente del estacionamiento con el fin de permitir la carga nocturna, el acceso para mantenimiento y autobuses adicionales realizando la carga = necesidad de más espacio</p>

Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

Deben calcularse las necesidades de capital y los costes operativos para el reequipamiento de la terminal y el impacto en sus costes operativos.

7.2. Impacto en los procesos de ingeniería

Los procesos de ingeniería cambiarán, y es probable que se produzca una reducción en los costes generales de mantenimiento en comparación con los diésel, al disminuir las horas de trabajo necesarias y debido a una combinación de competencias diferente. Los costes de ingeniería representan alrededor del 10-12% de los costes totales habituales de los diésel, y se distribuyen normalmente del siguiente modo:¹⁶

- mano de obra: 50%
- piezas: 30%
- servicios externalizados: 20% (reparaciones por accidente, sustitución de lunas, revisión general de componentes, etc.).

Los operadores de autobuses suelen mantener sus propios autobuses, con un uso limitado de contratistas o de OEM para el mantenimiento. La transición a los autobuses eléctricos modifica en profundidad la actividad de ingeniería:

- Se necesita mucho menos mantenimiento mecánico.
- Los autobuses de combustión interna (CI) tienen aproximadamente 8 veces más piezas móviles que un autobús eléctrico.
- Se necesitarán cambios significativos en la combinación de habilidades del personal de mantenimiento, dado que se necesitan más electricistas y menos «mecánicos».
- En general, se espera que la plantilla dedicada al mantenimiento de los autobuses se reduzca.
- El trabajo eléctrico aumenta y se especializa, incluyendo equipos eléctricos de alta tensión.
- Los vehículos de diésel híbridos y los trolebuses ya han proporcionado a los operadores cierta experiencia en el mantenimiento de sistemas de alta tensión.
- El propio equipo eléctrico y de carga requerirá mantenimiento, que puede ser necesario externalizar.
- Los procesos de «repostaje y limpieza» en las terminales cambian a «limpieza y carga», y los procesos deben someterse a una completa reestructuración.
- La una cadena de suministro es totalmente diferente para muchos componentes.

La vida útil de muchos componentes no está clara actualmente: es «demasiado pronto para saberlo». El mantenimiento de los equipos de carga en la mayoría de las aplicaciones se ha externalizado al OEM proveedor, dada la naturaleza especializada y la falta de competencias eléctricas a nivel interno en la mayoría de los operadores de autobuses. A efectos del CTP, los autores han asumido una reducción del 10% en los costes de ingeniería, que consideran conservadores.

«Los supuestos de costes de ingeniería deben actualizarse, y existen motivos razonables para suponer que es posible una reducción sustancial de los costes del 10-30 %, en función de los supuestos locales. Sin embargo, los programas de gestión del cambio son esenciales para materializar los ahorros potenciales a través del reciclaje y las reducciones de personal.»

¹⁶ Análisis de TIL para el BERD (referencia del mercado del Reino Unido).

7.3. Revisión y actualización de planes y presupuestos

Los operadores deberán revisar y actualizar los planes y presupuestos operativos, de mantenimiento y seguridad para las nuevas tareas y patrones de actividad. El uso de autobuses eléctricos cambia fundamentalmente numerosos aspectos de la operación, la gestión de la seguridad, el mantenimiento y el

rendimiento de los vehículos, y requerirá una gestión activa de la carga y el estado de la batería. Los planes y presupuestos operativos y de seguridad deben actualizarse como parte del desarrollo del proyecto de autobuses eléctricos.

Tabla 12. Factores que deben tenerse en cuenta al actualizar el plan financiero y el presupuesto para los autobuses eléctricos

	<p>Se requiere un nuevo plan operativo y calendario</p>	<p>Este se adaptará a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la necesidad de planificar eventos de carga • cambios en los kilómetros «vacíos» hacia y desde las terminales y puntos de carga • cambios consecuentes en los kilómetros del autobús, la flota de autobuses de repuesto y las horas pagadas al personal <p>Los planes financieros deben elaborarse con arreglo a la información sobre cambios en los recursos clave derivados del plan operativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • flota de autobuses, flota de autobuses de repuesto, km del autobús, horas pagadas al personal, etc.
	<p>La gestión de la batería debe planificarse como una tarea operativa continua clave</p>	<p>Se necesitan protocolos de gestión de la batería para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • gestionar la carga del autobús en tiempo real • controlar el estado de salud de la batería • supervisar y controlar el estado de carga del autobús • realizar el mantenimiento y la sustitución de la batería
	<p>Los planes de seguridad deben actualizarse a medida que los autobuses eléctricos generan nuevos riesgos</p>	<p>El despliegue de los autobuses eléctricos plantea riesgos significativos, aunque asumibles, derivados de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • bajos niveles de ruido en terminales de autobuses y calles de la ciudad • mayor riesgo de accidentes de autobuses/peatones • presencia de equipos eléctricos de alta tensión • presencia de equipos de carga en calles y terminales • diferentes características de rendimiento (aceleración y frenado) de los autobuses eléctricos <p>Estos deben mitigarse actualizando los planes de seguridad, definiendo nuevos procesos de trabajo seguros y formando adecuadamente al personal. Deben prepararse evaluaciones de riesgo de la ruta actualizadas para los nuevos procesos y riesgos</p> <p>Seguridad para bomberos y equipos de intervención en caso de incendio/ accidente del autobús (buses that are fully ISO 17840-compliant carry the appropriate sticker)</p>
	<p>La formación del personal debe planificarse y presupuestarse</p>	<p>Los conductores deben recibir nueva formación para comprender las características de los autobuses eléctricos, incluido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • funcionamiento seguro • procedimientos de carga • diferentes características de frenado y aceleración • conducción ecológica para reducir el consumo de energía <p>Programa de reciclaje profesional y recapitación de ingeniería:</p> <ul style="list-style-type: none"> • por ejemplo, habilidades de detección de fallos eléctricos y mantenimiento
	<p>Debe actualizarse el número de empleados de ingeniería y la combinación de habilidades</p>	<p>Los autobuses eléctricos requerirán una combinación de capacidades muy diferente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • menos personal en total, dada la simplicidad de los vehículos (menos piezas móviles) • posibilidad de que algunos procesos de mantenimiento se subcontraten a OEM y proveedores de equipos eléctricos (cargadores, por ejemplo) • menos personal con habilidades mecánicas • más personal con habilidades eléctricas • sistemas de aceleración y frenado fundamentalmente diferentes • los equipos de alta tensión implican riesgos para la seguridad, por lo que se requiere formación
	<p>Control del servicio de operaciones y de las operaciones de la terminal</p> <p>La estrategia de carga afectará a los km del autobús y al número de autobuses de repuesto</p>	<p>Los autobuses eléctricos requerirán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • supervisión del estado y la carga de la batería en tiempo real • reprogramación de horarios para permitir eventos de carga de los autobuses • sustitución del personal de repostaje de los autobuses por personal de carga de los autobuses • aumento de los km para que los autobuses puedan volver a los puntos de carga • más autobuses de repuesto para permitir que la carga del autobús tenga lugar durante el horario de servicio

Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

Los planes operativos y de seguridad deben revisarse y actualizarse como factores esenciales del plan del proyecto, el presupuesto y los análisis del CTP.

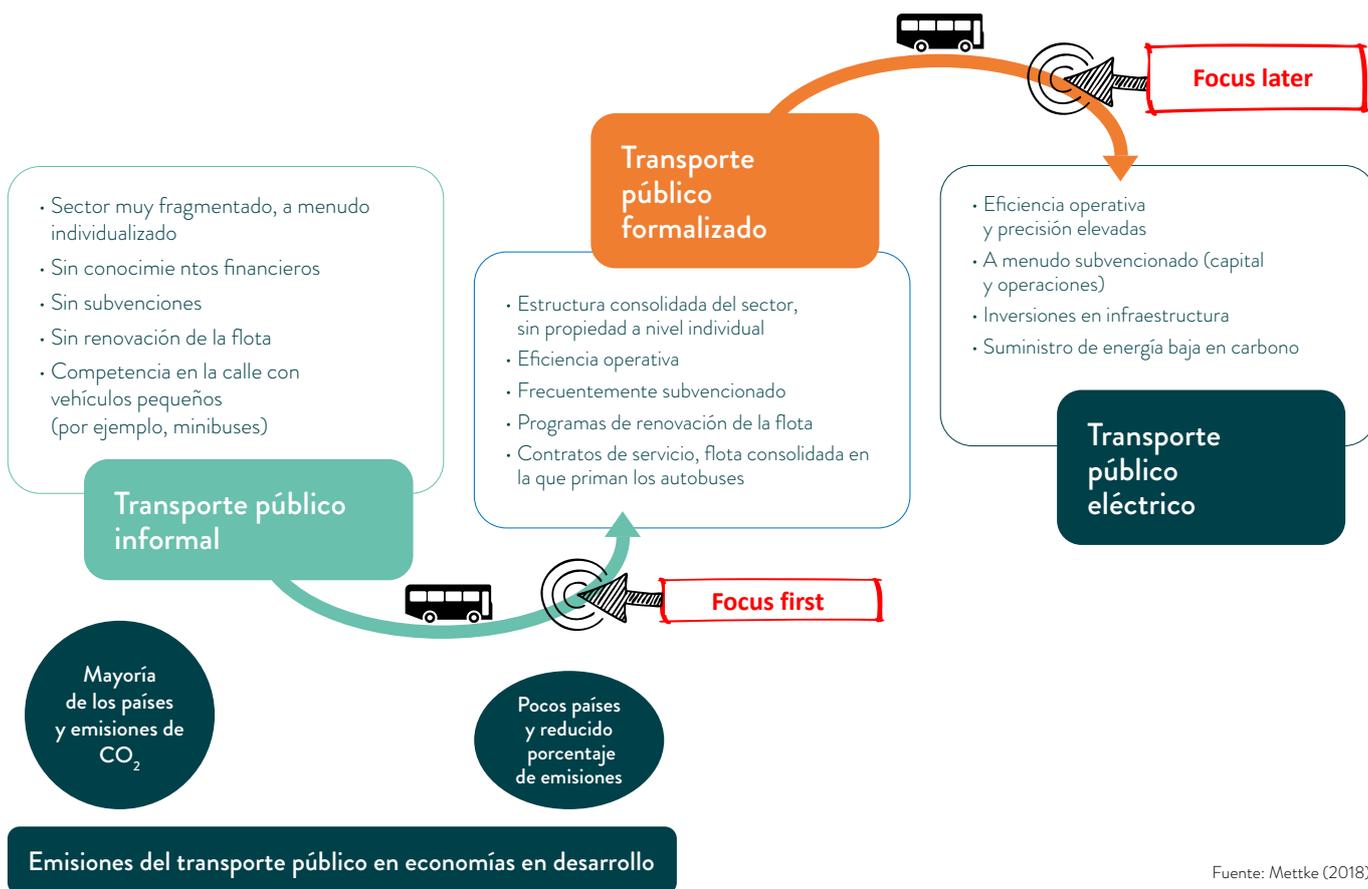
8. Conseguir el marco gobernanza y financiación correcto

8.1. Reformas, financiación del sistema y contratos

Las grandes inversiones de capital y la larga vida útil de los equipos de los autobuses eléctricos pueden requerir una reforma de la gobernanza operativa, la financiación del sistema y contratos para crear una estructura estable que favorezca la inversión. Los autobuses eléctricos requieren elevados niveles de inversión de capital inicial en vehículos, equipos eléctricos y una infraestructura con una larga vida útil. Las estructuras de gobernanza informales

pueden desalentar las inversiones necesarias, disuadir la financiación del sector privado o aumentar el coste de capital. Por tanto, una revisión exhaustiva de la gobernanza y la regulación es una parte necesaria de la planificación de los autobuses eléctricos. En la tabla siguiente se exponen algunas de las cuestiones clave relativas a la gobernanza y los contratos operativos que deben considerarse como una parte de la planificación de un sistema de autobuses eléctricos.

Figura 6. Pasar de una organización informal de la red a un marco establecido por contrato¹⁷



¹⁷ Marco conceptual de GIZ para la reforma de los autobuses.

Tabla 13. Factores que deben tenerse en cuenta al definir el marco organizativo y el régimen de financiación para los autobuses eléctricos

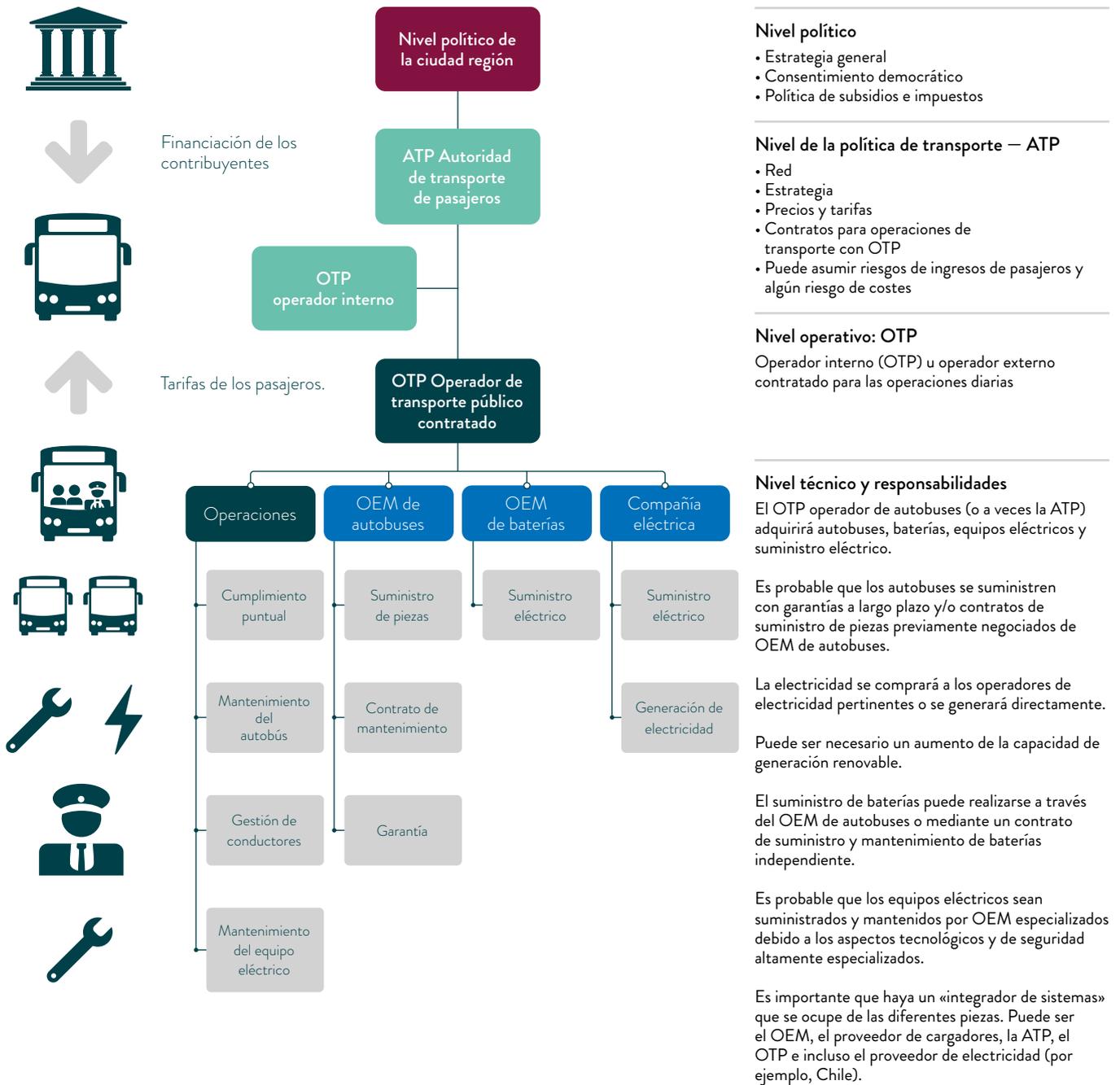
	Cuestión	Comentario
	Electricidad y carga	El despliegue de los autobuses eléctricos requerirá inversiones a gran escala en infraestructuras para la carga de los autobuses, la distribución de electricidad y la reconstrucción de las terminales de autobuses, así como nuevas flotas de autobuses. Será necesario un programa para el despliegue escalable y bien planificado, ejecutado a través de la gestión del proyecto, y las ciudades deben asumir o actuar con arreglo a los compromisos de transición hacia los autobuses eléctricos.
¿15 > 20 > 25 años?	Incertidumbre sobre la vida útil de los activos	Los autobuses eléctricos pueden tener vidas útiles económicas más largas que los autobuses diésel a los que sustituyen, al igual que algunos equipos eléctricos. Esta vida útil puede no coincidir con el período de concesión de la operación.
	Financiación de la sustitución de baterías	Las baterías de los autobuses requerirán una sustitución reiterada durante el ciclo de vida del autobús y de los activos de carga. (En 2020, la vida útil de las baterías era normalmente de 5-8 años y la vida útil del autobús de más de 15 años). Dado el rápido desarrollo de esta tecnología, es posible que la vida útil y la eficiencia de las baterías sigan mejorando significativamente en términos de peso, autonomía, vida útil y coste.
	Costes de transición operativa	La inversión en gastos operativos (opex) será necesaria para una transición fluida desde los autobuses diésel, que abarque la formación del personal, el reciclaje y la familiarización de los conductores, los equipos de mantenimiento de los autobuses y otros miembros del personal.
	Estructura de gobernanza y financiación	Por todos estos motivos, se recomienda que cualquier inversión en autobuses eléctricos se lleve a cabo en el contexto de una estructura de gobernanza sólida y establecida por contrato, con partes interesadas del mercado capaces de cumplir los objetivos políticos y garantizar la sostenibilidad de la inversión.
¿15 > 20 > 25 años?	Estrategia Contractualización Financiación	Esto probablemente abarcará: <ul style="list-style-type: none"> • establecer una política de transporte definida y objetivos financieros para la autoridad de transporte • definir las obligaciones operativas y contractuales de los OTP (que pueden ser una división de la ATP) y/o de los operadores privados • definir la duración de los derechos de operación, que debe ser coherente con la inversión propuesta en la flota de autobuses eléctricos y las obras de conversión que puedan financiarse.
	Marco político Financiación a largo plazo Régimen operativo estable	Es probable que la estructura reformada cubra temas como: <ul style="list-style-type: none"> • derechos de operación exclusivos • regulación de horarios y red de autobuses • vehículos necesarios: número, capacidad, norma sobre emisiones, antigüedad media o máxima, etc. • vidas útiles de los activos y obligaciones de sustitución • subsidios y subvenciones pagaderos • propiedad de los activos y regímenes de carga • Quién posee el vehículo y el VR del equipo y en qué balance se registran. <p>Los modelos de contratos deben definir claramente las responsabilidades y funciones de cada parte, asignando los riesgos donde mejor se gestionen y reforzando la cooperación entre las partes. Cuando sea posible, se recomienda encarecidamente la participación desde un primer momento de las distintas partes.</p>

Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

8.2. Estructura de gobernanza

La estructura de gobernanza de los autobuses eléctricos debe definir claramente las responsabilidades y la asignación de riesgos para el proyecto del autobús eléctrico a lo largo de la vida útil prevista de los activos.

Figura 7. Arquitectura de gobernanza y financiación habitual de los sistemas de autobuses locales



En una estructura habitual, una ATP de la ciudad:

- asume la responsabilidad de la estrategia y la financiación
- proporciona el consentimiento democrático y la financiación fiscal
- suele ser también la «autoridad de planificación» y responsable de la gestión diaria de la infraestructura vial
- deberá aprobar el diseño y la instalación de cualquier infraestructura urbana
- podrá poseer el OTP o contratar o conceder la licencia a uno o más OTP privados para las operaciones.

En algunas ciudades, la compañía eléctrica puede ser propiedad de o estar regulada por la autoridad municipal.

El OTP es responsable de:

- las operaciones de los autobuses
- el mantenimiento de los autobuses
- el cobro de las tarifas
- el marketing del sistema.

Áreas de trabajo cooperativo

Es probable que la infraestructura urbana –por ejemplo, la catenaria o el equipo de carga– sea una responsabilidad compartida, en la que el permiso de instalación lo otorgado la autoridad de la

ciudad, pero la instalación y el mantenimiento corresponden a la compañía eléctrica pertinente, así como al operador de autobuses (OTP). Es probable que la infraestructura dentro de las terminales de autobuses corresponda a la compañía eléctrica, así como al operador de la terminal (el OTP) y a la autoridad de planificación (la ciudad), así como a los propietarios pertinentes. Las buenas prácticas en este ámbito se resumen en la publicación del BERD *Driving change: reforming urban bus services*,¹⁸ publicada en asociación con la UITP y GIZ. Las ciudades deben actualizar su gobernanza y sus acuerdos contractuales para las operaciones de los autobuses antes de invertir en autobuses eléctricos.

8.3. Contrato de operación

El contrato de operación de los autobuses eléctricos debe reflejar los objetivos, los aspectos económicos, las responsabilidades y los riesgos del proyecto de autobuses eléctricos finalizado después de la fase de planificación.

Debido a los grandes requisitos de capital y a los elevados costes de la transición operativa, el contrato de operación debe acordarse previamente y adaptarse a la asignación seleccionada para los riesgos operativos y de capital.

Tabla 14. Elementos necesarios para el contrato con el OTP-la ATP para la operación de los autobuses

Definir los gastos de capital requeridos	Flota de autobuses Infraestructura eléctrica Costes de conexión Cargadores Cables aéreos (IMC)
Definir los gastos de operación	Operaciones de los autobuses Mantenimiento del sistema eléctrico Cumplimiento de los horarios Niveles mínimos de servicio Requisitos de antigüedad de la flota de autobuses Programa y plazos de conversión Obligaciones de entrega de activos en los puntos de interrupción del contrato
Alinear el plazo del contrato con los requisitos de inversión de capital	Debe estar relacionado con las inversiones de capital exigidas y la asignación seleccionada para los riesgos Los mecanismos de prórroga y extinción del contrato deben definirse al principio Estos pueden estar relacionados con la entrega de hitos y los objetivos de prestación del servicio Asignación del riesgo del VR: si la ATP asume más riesgo del VR y/o posee más activos, el contrato de operación puede ser más corto
Asignar los riesgos claramente	Ingresos de pasajeros Rendimiento operativo Coste de mantenimiento Electricidad – precio unitario Consumo de electricidad Coste laboral – salarios Coste laboral – horas de trabajo Coste de mantenimiento VR de los activos de autobuses eléctricos
Definir el mecanismo de remuneración del operador	Régimen de indexación de costes: <ul style="list-style-type: none"> • costes laborales • precios de la electricidad • inflación general • ajustes fiscales Sistemas de concentración de ingresos Frecuencia de pago

¹⁸ Véase https://www.changing-transport.org/wp-content/uploads/EBRD_bus-sector-reforms_Mar2019.pdf

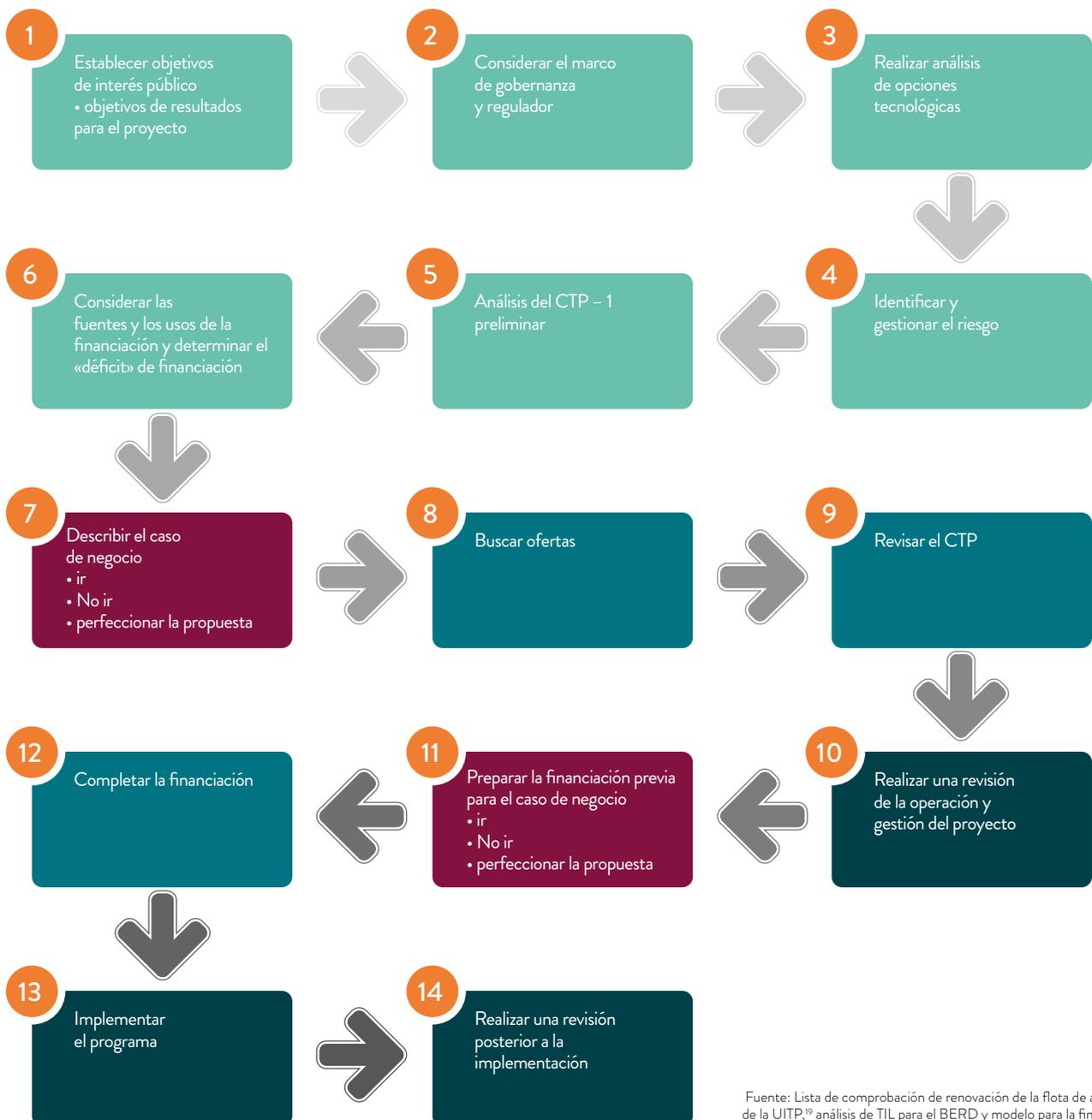
9. Modelo de desarrollo del proyecto

9.1. Modelo de desarrollo del proyecto para un programa característico de autobuses eléctricos

Los programas deben desarrollarse paso a paso. Cada paso de la Figura 8 se refiere a una sección de este informe.

Tras la implementación del programa, recomendamos un proceso de revisión posterior a la implementación, en el que pueden extraerse conclusiones para las etapas siguientes del despliegue de los autobuses eléctricos.

Figura 8. Un modelo gradual para desarrollar un proyecto de autobuses eléctricos



Fuente: Lista de comprobación de renovación de la flota de autobuses de la UITP,¹⁹ análisis de TIL para el BERD y modelo para la financiación del sistema de autobuses de GIZ.

¹⁹ Véase el Comité de Autobuses de la UITP (2019).

10. Identificación y gestión de riesgos

10.1. Estrategias de identificación y control de riesgos

Las estrategias de identificación y control de riesgos deben desarrollarse en una etapa temprana del desarrollo del proyecto. En la tabla siguiente se exponen algunos de los riesgos que deberán gestionarse en proyectos característicos de autobuses eléctricos. No pretende ser definitivo ni aplicable en todas las situaciones, pero

establece riesgos significativos que el programa debe identificar al principio del desarrollo del proyecto. Los promotores deben considerar estrategias de mitigación de riesgos que sean apropiadas para las circunstancias locales y que se basen en la experiencia de programas que se hayan implementado con éxito en otros lugares.

Tabla 15. Lista de comprobación de riesgos habituales y estrategias de mitigación de riesgos²⁰

	¿Quién podría asumir el riesgo?	Estrategias de mitigación de riesgos
Vida útil de las baterías y rendimiento de las baterías a lo largo del tiempo	El proveedor de las baterías directamente o el OEM y el proveedor de las baterías o el fondo de financiación de los autobuses y las baterías	<ul style="list-style-type: none"> Las baterías pueden suministrarse mediante un contrato «power by hour» o un contrato a largo plazo previamente acordado, con plazos de sustitución y precios Puede incluir el mantenimiento o la sustitución de las baterías En algunas zonas geográficas están surgiendo empresas especializadas que financiarán y gestionarán los riesgos de conversión y de las baterías
Riesgo de mantenimiento de los autobuses	El OEM o el OTP operador de autobuses	<ul style="list-style-type: none"> OEM: la garantía a largo plazo o el contrato de mantenimiento completo o el tercero contratado asumen el riesgo de mantenimiento
Riesgo de ingresos de pasajeros («tarifas»)	El OTP o la ATP o compartido	<ul style="list-style-type: none"> El riesgo de los ingresos debe definirse al principio Se requieren reglas claras sobre el riesgo de los ingresos, por ejemplo, variación en las tarifas y los horarios
Riesgo de mantenimiento de equipos eléctricos	El OEM del equipo de carga o el OTP o la compañía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> Los equipos deben suministrarse con un acuerdo de «suministro y mantenimiento» con el OEM Es poco probable que el OTP esté en una buena posición para mantener estos activos La compañía de servicios públicos podría mantener parte del equipo
Riesgo de consumo de electricidad	OTP	<ul style="list-style-type: none"> La conducción ecológica tiene un gran efecto sobre el consumo eléctrico y está bajo el control del operador La calefacción y la ventilación son variables importantes, en función de las condiciones climáticas locales y la intensidad y eficiencia del equipo. Se pueden solicitar garantías al OEM sobre el consumo de electricidad en el contrato de suministro
Riesgo de precio de la electricidad	El OTP y la compañía de servicios públicos, pero el OTP debe buscar un acuerdo de protección con la compañía eléctrica para controlar la volatilidad de los precios	<ul style="list-style-type: none"> El contrato de operación debe asignar el riesgo del precio de la electricidad de manera apropiada Si la ATP controla la tarifa, la red, etc., lo más probable es que tenga que asumir el riesgo del precio de la electricidad a través de un mecanismo de indexación del precio del contrato vinculado a un cambio en el precio de la electricidad
Riesgo de la instalación del equipo	El OEM y el OTP operador de la red o la ATP	<ul style="list-style-type: none"> El riesgo de la instalación en la gestión del proyecto debe asignarse al OEM y a la compañía de servicios públicos El OTP podría asumir una función de gestión del proyecto Están surgiendo entidades financieras especializadas que pueden gestionar este riesgo
Riesgo de permisos de carga en la calle	La ATP y las autoridades de planificación urbana	<ul style="list-style-type: none"> El riesgo de la gestión del proyecto debe ser asumido por la ATP o el OTP La instalación debe ser responsabilidad del OEM y de la compañía de servicios públicos
Vida útil económica de los autobuses	El OEM y el responsable del mantenimiento de los autobuses	<ul style="list-style-type: none"> Los vehículos deben especificarse para una vida útil de más de 15 años Se debe solicitar al OEM que establezca el precio de las garantías a largo plazo para la carrocería y las unidades principales del autobús Es probable que los autobuses eléctricos tengan una vida útil más larga que los equivalentes de diésel
Valor residual de los autobuses	El OEM y/o el OTP responsables del mantenimiento de los autobuses	<ul style="list-style-type: none"> El régimen de mantenimiento debe adaptarse a las orientaciones del OEM Se requiere un sistema de supervisión de la inspección Es posible que la ATP deba asumir el riesgo del VR si el período del contrato de operación es inferior a la vida útil del activo
Valor residual de las baterías y despliegue de la segunda vida útil	OEM de las baterías o los autobuses Entidad financiera especializada en baterías	<ul style="list-style-type: none"> El OEM de los autobuses o las baterías podría firmar un contrato para garantizar el precio y los plazos de sustitución y dar una «segunda vida» a la batería Está surgiendo un nuevo mercado de entidades financieras especializadas en baterías que financiarán las baterías sobre una base de kWh, de km o mensual y asumirán los riesgos en relación con el coste de sustitución, la eliminación segura y la reutilización o el reciclado La ciudad o el operador de autobuses deben negociar previamente la garantía para permitir el uso de baterías de sustitución y/o los plazos fijos de sustitución de las baterías
Costes de mano de obra y operativos	OTP: efectos de volumen ATP: índices de inflación general	<ul style="list-style-type: none"> Principalmente es responsabilidad del OTP, pero el régimen de indexación anual del precio del contrato debe compensar la inflación subyacente en los costes laborales

²⁰ Análisis de TIL para el BERD.

11. Análisis del coste total de propiedad: ejemplo práctico

11.1. Concepto de coste total de propiedad

El siguiente gráfico describe los principales elementos del CTP a lo largo de la vida útil del activo. Asumimos que los costes de las baterías disminuirán con el tiempo y que los costes de capital se amortizarán a lo largo de la vida de cada activo.

Figura 9. Coste total de propiedad (CTP) durante la vida útil del activo



Fuente: TIL.

El objetivo de un análisis del CTP (en ocasiones denominado análisis de costes durante toda la vida útil) es reflejar todos los costes operativos del servicio durante la vida útil del activo. Los límites del sistema pueden variar de un lugar a otro y de un país a otro, y dependiendo de si se tienen en cuenta factores externos. El objetivo del concepto de CTP es también disponer de un método de CTP común definido y compartido (un «lenguaje común») para todas las partes interesadas en el proyecto de autobuses eléctricos.

El período de tiempo es generalmente la vida útil económica del autobús. Esta es de aproximadamente 15 años y depende de las normas contables nacionales o locales.

La vida útil de los autobuses eléctricos es incierta, pero hay pruebas fehacientes obtenidas de los sistemas de trolebuses de que los autobuses eléctricos podrían durar más que los vehículos diésel si se

construyen de forma resistente y se realiza un buen mantenimiento, dada su simplicidad esencial y las ventajas derivadas de la eliminación de los motores de combustión interna y la consiguiente vibración.

La operación de cualquier autobús requerirá tanto inversión de capital (capex) como costes operativos (opex). En la práctica, algunos costes pueden aumentar o disminuir con el tiempo; por ejemplo, los costes de mantenimiento suelen aumentar con la antigüedad de los activos, mientras que es probable que los costes de las baterías disminuyan a corto plazo. En la práctica, a nivel de red, toda la operación logística de una transición hacia autobuses eléctricos puede afectar al número total de autobuses necesarios. Por tanto, es necesario tener en cuenta el tamaño de la flota en el análisis global del CTP a «nivel de sistema».

Las inversiones de capital incluirán factores como los siguientes (mostrados en **rojo** en la Figura 9):

- carrocería y bastidor del autobús
- baterías
- equipos eléctricos y de carga
- coste de la transformación de la terminal al formato de terminal de autobuses de cero emisiones (ZEB) y costes de espacio adicional.

Los flujos de efectivo serán abundantes, pero los costes de capital normalmente se depreciarán a lo largo de la vida del activo en cuestión. A medio plazo, es probable que el coste de la batería disminuya con el tiempo debido a los avances tecnológicos.

Los costes operativos incluyen factores como los siguientes (mostrados en **verde** en la Figura 9):

- salarios de los conductores
- costes de mantenimiento (mano de obra, piezas e ingeniería subcontratada)
- otros costes laborales: seguridad social, pensiones del personal, personal de operaciones, administración, etc.
- consumo eléctrico (autobuses eléctricos) y combustible (autobuses diésel y de gas), neto de impuestos
- impuestos sobre el combustible y la electricidad
- costes de limpieza
- alquiler de la terminal, etc.

La suma de estos costes a lo largo de la vida útil del activo equivale al CTP. El CTP es muy sensible a factores y condiciones locales, como:

- impuestos locales sobre el combustible y la electricidad

- subsidios y subvenciones de capital
- factores que afectan al consumo de electricidad y combustible (terreno en pendiente, calefacción, ventilación)
- tarifas de mano de obra locales.

11.2. Una estimación preliminar del CTP

Debe realizarse una estimación preliminar del CTP para explorar las contrapartidas que repercuten en los resultados de los autobuses eléctricos en cada ciudad. Cada ciudad debe evaluar el alcance de los autobuses eléctricos teniendo en cuenta su propia situación mediante un cálculo preliminar del CTP. Los factores decisivos se muestran en la Figura 10.

No todas las ciudades obtendrán puntuaciones altas en cada criterio. La planificación debe tener en cuenta los factores que pueden mejorarse y la oportunidad de optimizar, incluida la reforma de los contratos en el mercado de los autobuses y los aumentos que pueden alcanzarse en la capacidad de producción de energía renovable. El nivel y la naturaleza de los impuestos sobre los combustibles suelen ser un factor esencial en el CTP.

Algunas ciudades pueden contar con redes existentes de catenaria de tranvías y/o de trolebuses que pueden utilizarse para la carga en movimiento de los autobuses eléctricos. El cálculo del CTP debe actualizarse y precisarse a medida que se desarrolla el proyecto y se dispone de nueva información. En la sección 11.5 se ofrecen más detalles sobre los cálculos del CTP.

Figura 10. Factores que favorecen los resultados del CTP de los autobuses eléctricos

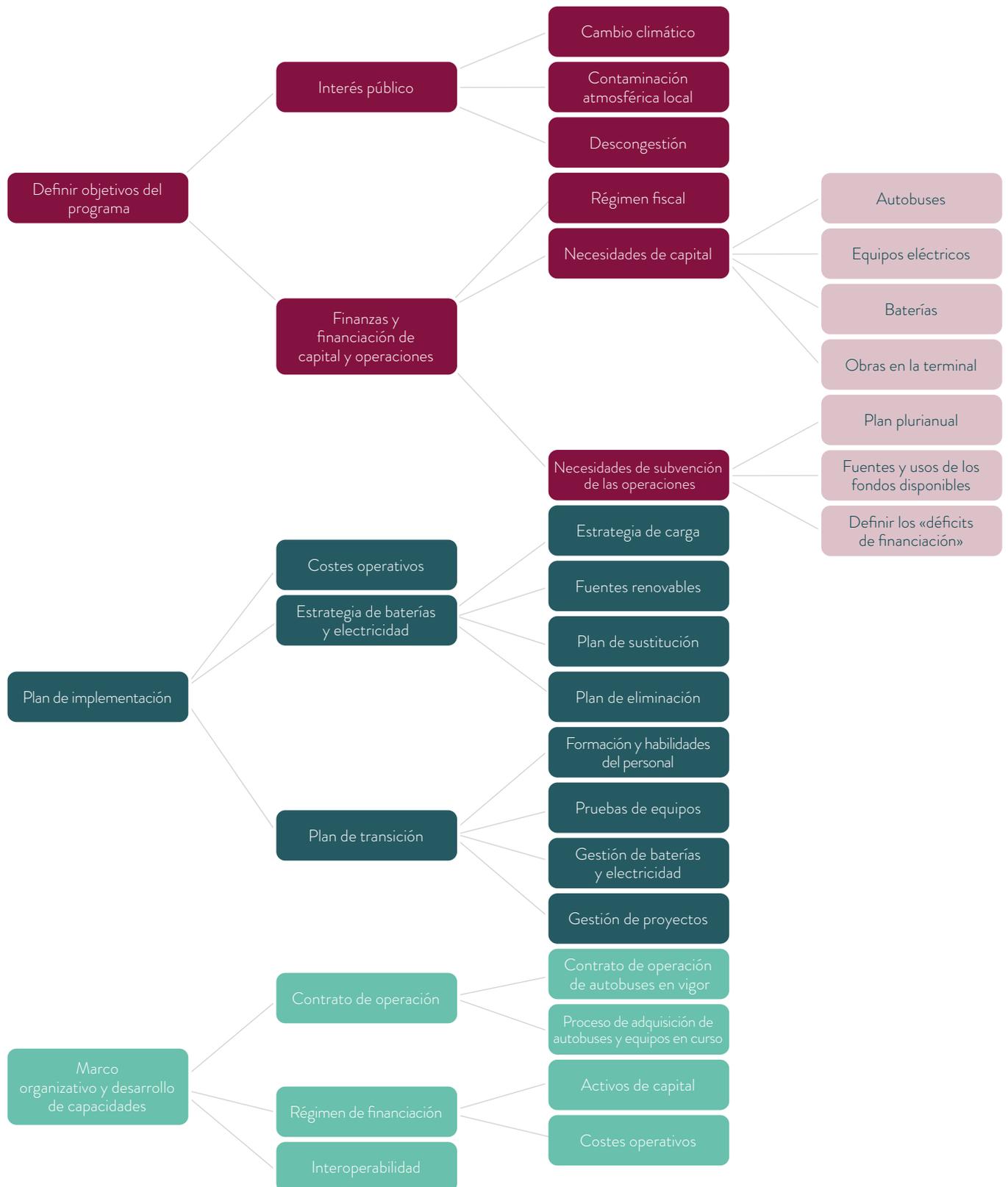


Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

11.3. Evaluación estratégica

Los promotores deben elaborar un plan de negocio para sus proyectos que pueda perfeccionarse a medida que estos avancen.

Figura 11. Evaluación estratégica



Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

La descripción del caso de negocio debe reunir los análisis anteriores para considerar si:

- el proyecto cumple adecuadamente los objetivos del programa
- es posible una vía realista de financiación
- el autobús eléctrico es la solución tecnológica adecuada para las condiciones locales
- se puede conseguir un CTP aceptable
- los riesgos se han identificado y mitigado adecuadamente.

La mayoría de los promotores desearán perfeccionar su propuesta

mediante un proceso de iteración, antes de pasar a la siguiente fase. En algunos casos será evidente que el autobús eléctrico no es una solución viable y que una tecnología alternativa puede ser más adecuada. En la sección 11.4 se exponen las consideraciones habituales en esta fase.

11.4. Análisis del CTP: Ejemplo del Reino Unido

Los autobuses eléctricos se están aproximando a la paridad del CTP con los diésel, incluso con supuestos de costes conservadores.

Figura 12. Comparación del CTP entre el autobús diésel Euro VI y el autobús eléctrico (supuestos del Reino Unido)²¹

Es probable que los costes de la energía eléctrica sean inferiores a los del diésel y deban ajustarse para los impuestos sobre el combustible y los incentivos para vehículos eléctricos.

Las tasas de consumo se verán muy afectadas por la topografía local y las necesidades de calefacción/refrigeración.

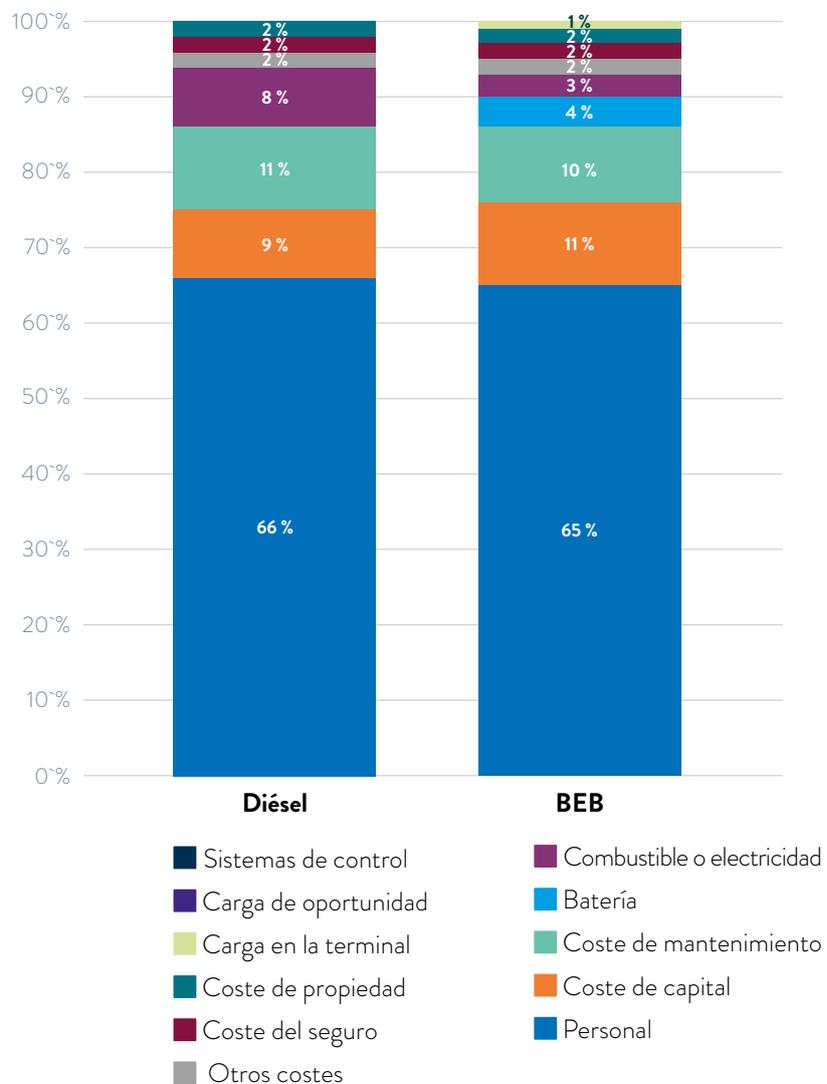
Los costes de mantenimiento de los autobuses eléctricos pueden reducirse entre un 5 % y un 30 %, dependiendo de los supuestos locales.

Los costes de capital de los autobuses eléctricos son mayores, debido a los costes por unidad más elevados de los autobuses y los equipos. Estos costes se reducen si se puede prolongar la vida útil de los activos.

Los costes laborales siguen siendo los principales elementos de coste.

Estos costes se ven afectados por el posible impacto del tiempo de carga en los costes laborales de los conductores.

Sin embargo, pueden beneficiarse de reducciones en las horas de trabajo de ingeniería.



Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

²¹ Análisis de TIL para el BERD utilizando datos anonimizados de 2020 del Reino Unido para una red de autobuses urbanos.

11.5. Análisis del CTP: especificación de los autobuses y supuestos de costes

Tabla 16. Supuestos detallados del CTP: Ejemplo real del Reino Unido utilizado por TIL (zona urbana)

		Diésel	BEB
Norma sobre emisiones	EURO X	Euro VI	n/a
Tamaño de la flota	autobuses	110	113
Km recorridos por año	km	7.646.589	7.646.669
Km por autobús al año	km	69.200	67.970
Costes de personal (excl. ingeniería)	€	12.157.216	12.303.390
Longitud	metros	12	12
Asientos + de pie	X + Y	85	85
Peso	kg	10.500	12.500
Coste del combustible	coste por litro	1,2208	0
Coste de la electricidad	€/kWh	0	11 c por kWh cargado en la terminal
Vida útil prevista	años	15	15
Coste de capital del autobús	€	212.800	369.600
Período de amortización	años	15	15
Coste de capital de la batería y batería de sustitución	€	-	112.000
Período de amortización	años	15	15
Coste total de capital del autobús	€	212.800	481.600
Requisito máximo de vehículos (PVR)	autobuses	100	100
Autobuses de repuesto	autobuses	10	13
Seguro	por autobús al año	3.000	3.000
Puntos de carga en la terminal	número	0	84
Puntos de carga en la terminal	coste por unidad	-	28.000
Puntos de electricidad fijos en la terminal/red	número	0	84
Puntos de electricidad fijos en la terminal/red	coste por unidad	0	11.200
Período de amortización	años	0	15
Puntos de «carga de oportunidad»	número	0	2
Puntos de «carga de oportunidad», conexión, etc.	coste por unidad	0	448.000
Período de amortización	años	0	15
Tiempo de repostaje/carga	minutos	10	210
Intervalo entre repostajes/cargas	km	1.149	250
Espacio de estacionamiento por autobús	m ²	34,8	40
Coste anual de propiedad por año	€	279.816	287.257
Coste de mantenimiento por año [flota de autobuses]	€	2.051.680	1.879.933
Coste de mantenimiento por año [carga, etc.]	€	-	20.918
Autobuses por personal de mantenimiento	empleados	8	8
Conductores por autobús	empleados	2	2
Propulsión		Diésel	Batería eléctrica
Coste total de propiedad (CTP)			
Coste operativo total por año	€	18.345.557	18.936.667

Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

Nota: Ejemplo real que debe actualizarse con los datos locales aplicables. En la Tabla 16 se exponen los supuestos utilizados en el ejemplo real. Están basados en la práctica urbana del Reino Unido, en GBP. Los incentivos fiscales y para autobuses eléctricos del Reino Unido se muestran únicamente con fines ilustrativos. El tipo de cambio utilizado en este ejemplo es 1 GBP = 1,12 € (30 de marzo de 2020). Cada ciudad debe considerar detenidamente los factores y supuestos para su propia red y situación.

Este análisis utiliza un ejemplo real de un modelo de costes financieros del Reino Unido con subvenciones fiscales y de capital. Estos factores deben localizarse con estimaciones de rango adecuadas para cada proyecto.

En la Tabla 16 se exponen los supuestos de operación, la especificación de los autobuses y los costes utilizados en este análisis. Cada proyecto debe trabajar con ejemplos de sus propios requisitos, y el ejemplo facilitado es meramente ilustrativo.

Este ejemplo compara un autobús diésel estándar de 12 metros conforme a la norma Euro VI con un autobús eléctrico de tamaño y capacidad similares. El cálculo de la muestra se basa en una operación urbana de alta intensidad del Reino Unido, con un kilometraje anual elevado, baja velocidad de circulación y elevada proporción de conductores por autobús para cubrir un horario de funcionamiento de 18 horas al día, siete días a la semana, y los tipos impositivos y subsidios del Reino Unido.

El ejemplo supone que los autobuses se sustituyen después de 18 años y se amortizan a lo largo de 15 años.

Este tema debe examinarse durante el desarrollo del proyecto con los OEM.

Como sucede siempre en las operaciones de autobuses, los costes se basan en datos de base relativos a:

- kilómetros del autobús al año
- tamaño de la flota de autobuses
- horas de trabajo y costes laborales por hora.

11.6. Análisis y comentarios sobre el CTP: ejemplo de cálculo

A continuación se incluye un cálculo de muestra para un autobús de 12 metros conforme a la norma Euro VI frente a un autobús eléctrico de 12 metros, utilizando los datos del autobús urbano y el régimen fiscal del Reino Unido.

Tabla 17. Resumen de los impactos financieros del CTP

Por autobús por año	Unidad	Diésel	BEB
Gastos de personal	€	110.020	109.363
Coste del combustible	€	13.817	8.401
Incentivo para autobús eléctrico con emisiones ultra bajas	€	-	4.078
Coste de capital	€	14.187	24.640
Coste de la batería	€	-	7.467
Subvenciones de capital para electricidad	€	-	6.005
Carga en la terminal	€	-	1.944
Carga de oportunidad	€	-	224
Sistemas de control	€	-	20
Coste de mantenimiento	€	18.567	16.896
Coste del seguro	€	3.000	3.000
Coste de propiedad	€	2.532	2.553
Otros costes	€	3.900	3.900
Coste operativo (promedio anual)	€	166.023	168.326
Coste operativo por km del autobús	€	2,40	2,48
Consumo por km del autobús	Litros o kWh	0,32	1,12
Coste operativo (por autobús durante 15 años)	€	2.490.347	2.524.889

Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

Nota: Ejemplo del Reino Unido, en GBP. Los incentivos fiscales y para autobuses eléctricos del Reino Unido se muestran únicamente con fines ilustrativos. El tipo de cambio utilizado en este ejemplo es 1 GBP = 1,12 € (30 de marzo de 2020).



Análisis de CTP

En este ejemplo, el autobús eléctrico alcanza prácticamente la paridad del CTP con un diésel de más de 15 años.

Esto es coherente con otros estudios, que prevén un CTP dentro del 10% en ambos casos, dependiendo de factores como el terreno en pendiente, los kilómetros del autobús y la calefacción/refrigeración.

La Tabla 17 muestra la estimación de los autores del CTP de un autobús diésel de 12 metros conforme a la norma Euro VI frente a un autobús eléctrico equivalente para un operador urbano. Los datos se basan en cifras anonimizadas y reales para datos operativos y de costes y se prepararon en marzo de 2020. Este análisis supone un período de amortización de 15 años para ambos tipos de vehículos. La vida útil de los activos se considera una variable clave en este ejemplo. Debe tenerse en cuenta que no se dispone de experiencia real de autobuses eléctricos funcionando durante más de 20 años. Sin embargo, sobre la base de la experiencia con los trolebuses y muchos diésel, una vida útil del autobús de 20 años debería ser alcanzable, pero requeriría aumentar en cierta medida en el coste de capital inicial para ampliar la vida útil de la carrocería, y una «actualización» a mitad de la vida útil a los 6 y 14 años para mejorar el aspecto y servicio de la carrocería.

Se supone que la sustitución de las baterías tendrá lugar cada ocho años. La corrosión de la carrocería suele ser un factor determinante de la vida útil del autobús. Es probable que una vida útil del autobús de 20 años requiera carrocerías de aleación, que ya se utilizan ampliamente en el Reino Unido y por algunos constructores de autobuses de la UE. Los OEM normalmente ofrecerían garantías en autobuses diésel de hasta cinco años, pero se han firmado algunos acuerdos más largos. Los OTP deben solicitar garantías más largas para los autobuses eléctricos, pero no está claro cuál sería su precio en el mercado. Los autores han asumido un cambio limitado en los costes de ingeniería; pueden conseguirse ahorros mucho mayores dependiendo de:

- la vida útil y el precio unitario de los componentes de sustitución
- La capacidad de replantear los procesos de mantenimiento para prescindir de mano de obra
- la posibilidad de eliminar las inspecciones de los vehículos, ya que la confianza se basa en la fiabilidad de la tecnología (una gran parte de la necesidad de mano de obra del Reino Unido está relacionada con las inspecciones rutinarias –generalmente mensuales en el Reino Unido– de los autobuses).

Se supone que el valor de mercado del autobús es de «chatarra» (unos 2.000 por autobús) a los 15 o 20 años. Este ejemplo asume que no hay subvenciones de capital para el autobús eléctrico y que los costes netos de electricidad se benefician de la subvención del Reino Unido de seis peniques por kilómetro del autobús.

Las ciudades deben elaborar sus propios análisis, utilizando sus propias condiciones de la red, climáticas y topográficas, así como estimaciones locales de los costes de conexión a los servicios públicos y los precios de la electricidad.

11.7. Análisis del consumo de electricidad frente al consumo de combustible: ejemplo

El análisis del consumo de electricidad frente al consumo de combustible debe ajustarse para reflejar los regímenes fiscales locales vigentes y los incentivos para los autobuses eléctricos, en su caso. Las tasas de consumo de electricidad y combustible se ven afectadas por:

- la topografía: el terreno en pendiente de las rutas de autobús
- las características del horario = velocidad, aceleración, carga de pasajeros, etc.

- la temperatura: las ciudades que requieren aire acondicionado o calefacción intensa en invierno requerirán entre un 20 y un 40% más de electricidad en función de las necesidades de calefacción y refrigeración
- el comportamiento del conductor – «conducción ecológica», es decir, la aceleración y el frenado más suaves pueden reducir el consumo de energía en un 5-10%.

Utilizando datos de muestra del Reino Unido, los autores han estimado el ahorro probable en el coste del combustible al pasar de una flota diésel a una eléctrica. La conversión de diésel a electricidad puede generar ahorros significativos en los costes de combustible. El coste actual del combustible diésel oscila entre 15.000 y 17.000 € por autobús cada año (después de deducir el reembolso del impuesto sobre el combustible del Reino Unido, denominado BSOG).²²

Muchos países tienen incentivos fiscales similares, por lo que los cálculos deben ajustarse para reflejar el coste neto del diésel después de impuestos. Se espera que este se reduzca a entre 4.000 y 5.000 € por autobús al año después de la transición del diésel a la energía eléctrica en las condiciones del Reino Unido, lo que supone una reducción de más de la mitad del coste anual de combustible de un vehículo. También se obtendrán ahorros de capital y operativos, dado que ya no habrá que suministrar depósitos de almacenamiento de combustible y equipos de llenado.

Tabla 18. Cálculo de muestra para un autobús de 12 metros conforme a la norma Euro VI frente a un autobús eléctrico de 12 metros (promedio anual)

Ahorro potencial de consumo de energía	Un piso
Litros cada 100 km	32,5
kWh por km	1,2
Promedio de Km al año	69.200
£ por litro (diésel)	1,09
Reembolso BSOG (reembolso del impuesto sobre el combustible del Reino Unido)	0,38
£ por kWh	0,1
Costes energéticos de los autobuses diésel	
Litros por año	22.470
Coste por año (£)	15.948
Costes energéticos de los autobuses eléctricos	
kWh por año	83.040
Coste por año (£)	8.304
Incentivo cero emisiones a 6 p/km	-4.152
Ahorros totales	
Por año por autobús (£)	11.796
15 años por autobús (£)	176.935

Fuente: Análisis TIL de los aspectos económicos de los operadores de autobuses urbanos del Reino Unido, incluido el régimen fiscal.
Nota: Ejemplo basado en datos del operador británico.

²² Análisis de TIL para el BERD utilizando datos operativos del Reino Unido de 2020 y tipos impositivos para la operación de autobuses urbanos.

12. Adquisición y financiación

12.1. Principios de financiación y adquisición de activos del programa

Al elaborar los proyectos, los promotores deben considerar las siguientes líneas directrices:

1. Debe haber un plan claro para las fuentes y los usos de los fondos necesarios para financiar el capital y las operaciones durante toda la vida útil del activo.
2. Los promotores deben tratar de alinear las garantías con la vida útil de los activos, que puede ser más larga que la de los autobuses diésel tradicionales.
3. Las estrategias de adquisición también deben tener en cuenta los costes corrientes, tales como:
 - suministro y precio de componentes en gran número
 - suministro y precio de «unidades principales» que requieren sustituciones poco frecuentes

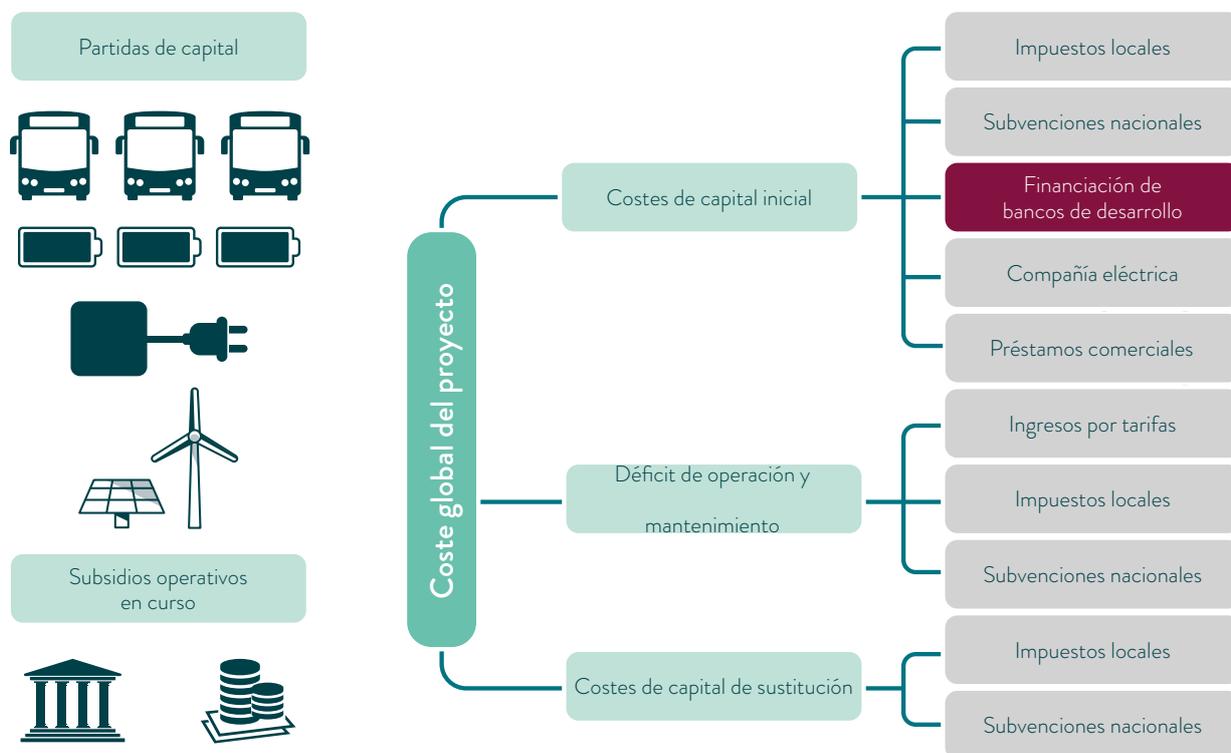
- servicios de apoyo como formación del personal y externalización de ingeniería (revisión y reutilización de componentes, por ejemplo).

4. Se debe prestar especial atención a la financiación y la gestión de las baterías, que probablemente deban sustituirse durante la vida útil de los activos del autobús.
5. Se debe considerar y presupuestar la eliminación y reutilización de las baterías de los autobuses.

12.2. Análisis de fuentes y uso de los fondos

La financiación de vehículos, baterías y otros activos debe basarse en un análisis de «fuentes y uso de los fondos» plurianual, que debe perfeccionarse a medida que se desarrolla el proyecto.

Figura 13. Análisis de fuentes y uso de los fondos



Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

Una vez establecido un presupuesto general del programa y desarrollado un CTP preliminar, los promotores del plan deben llevar a cabo una revisión de «fuentes y usos de los fondos».

El objetivo es describir los costes del proyecto con el paso del tiempo y las fuentes de financiación realistas disponibles a lo largo de la vida del activo. Los sistemas de autobuses eléctricos requieren una variedad de partidas de capital para su financiación. Estas incluirán algunos o todos los aspectos siguientes:

- flota de autobuses
- baterías
- equipos de carga y conexiones a la red
- capacidad de aumento de la generación.

Las necesidades de capital deben presupuestarse y elaborar un análisis de fuentes y usos de los fondos, en el que se establezcan las diversas categorías de gastos a lo largo de la vida del proyecto y las posibles fuentes de fondos disponibles. Es probable que estas incluyan algunos o todos los aspectos siguientes:

- tarifas de usuario
- impuestos locales
- subvenciones de capital públicas nacionales
- préstamos bancarios
- arrendamientos comerciales
- contratos de suministro de baterías – pagados por kWh o por mes
- incentivos fiscales para vehículos de bajas emisiones
- inversiones de compañías de servicios públicos.

El análisis de las fuentes y usos de los fondos debe incluir una dotación para los gastos en curso y futuros:

- costes de puesta en marcha y transición (no de capital), como formación y cambios de personal
- déficits de operación estimados:
 - rutas que generan pérdidas
 - capacidad en horas punta
 - costes superiores a las tarifas de los pasajeros.
- renovación periódica de autobuses y otros equipos
- sustitución periódica de las baterías
- el precio actual del combustible o de la electricidad y/o los incentivos fiscales, que el sector público puede pagar a lo largo del tiempo en forma de subvenciones o deducciones fiscales.

En la Figura 13, los recuadros **verdes** indican los activos o las operaciones que deben financiarse, incluida la sustitución de activos (como baterías) y los costes operativos diarios (incluidos los salarios del personal y la electricidad). Los recuadros **grises** indican las fuentes de financiación habituales, incluidos los ingresos por tarifas, los impuestos locales, las subvenciones nacionales (subsídios pagados por el gobierno nacional al gobierno local) y los préstamos comerciales. El recuadro **rojo** indica la función normal de la financiación de bancos de desarrollo, que es cubrir un déficit de financiación.

La revisión de las fuentes y los usos de los fondos debe tener en cuenta toda la vida útil de los activos y, por tanto, cuestiones como el mantenimiento de los activos, la sustitución de baterías y los acuerdos de financiación a largo plazo para la operación diaria, que se asegurarían y acordarían a través de un contrato de operación formalizado entre la ATP y el OTP.

12.3. Utilización de orientaciones adecuadas para adquisición de autobuses eléctricos

Al buscar licitaciones para autobuses, baterías y equipos eléctricos, los promotores deben utilizar directrices de adquisición adecuadas. Un sistema de autobuses eléctricos exigirá la adquisición de:

- autobuses
- baterías
- equipos de carga
- conexiones a la red
- servicios de mantenimiento
- piezas de repuesto
- fuentes de alimentación.

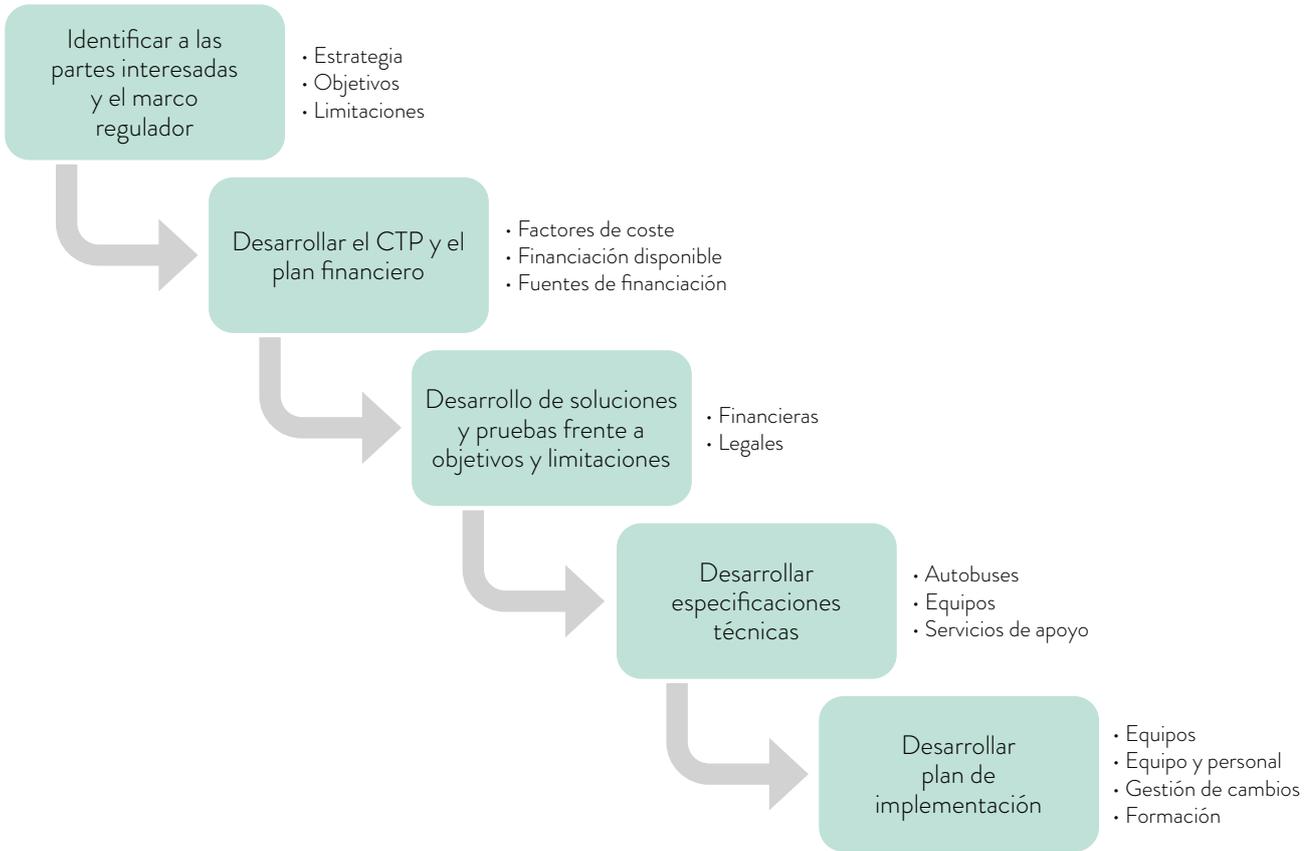
Esto debe gestionarse como un proyecto, utilizando directrices de buenas prácticas sobre adquisiciones. El CTP y los casos de negocio deben actualizarse a medida que se disponga de nueva información y se negocien ofertas, para confirmar que los supuestos adoptados en etapas anteriores siguen siendo válidos en relación con los costes, los riesgos y la financiación.

Dada la magnitud del cambio tecnológico requerido, muchas ciudades desearán llevar a cabo proyectos piloto estructurados para explorar las cuestiones prácticas en torno a la selección de tecnología, las operaciones, la financiación de activos y la asignación de riesgos. Los programas piloto deben diseñarse para recopilar datos objetivos y generar conocimientos para su despliegue a gran escala.

Es posible que las ciudades deseen probar un pequeño número de OEM alternativos y opciones tecnológicas. El despliegue de autobuses puede realizarse como un proyecto piloto o a través de proyectos masivos:

- por línea o terminal
 - 15-50 autobuses
 - por ejemplo, Batumi, Pristina, Amán.
- terminales o ciudades enteras
 - 50-200 autobuses
 - por ejemplo, Santiago.

Figura 14. Lista de comprobación de renovación de la flota de la UITP



Fuente: Lista de comprobación de la UITP, análisis de TIL para el BERD.

El Comité de Autobuses de la UITP ha elaborado una lista de comprobación detallada de renovación de la flota de autobuses para operadores de transporte. Esta lista de comprobación²³ ofrece orientación sobre buenas prácticas en relación con los factores que se deben tener en cuenta al llevar a cabo un proceso de adquisición de flota.

Se recomienda a los actores del sistema de autobuses (ciudades, ATP, OTP, otros) que consulten la lista de comprobación de la UITP antes de iniciar el proceso de renovación/en una fase temprana de la planificación del proyecto.

La lista de comprobación se aplica a todos los tipos de propulsión y cubre:

- actores del sistema, objetivos y establecimiento de limitaciones
- planificación (contexto local, riesgos) y presupuesto del proyecto
- especificaciones y adquisición (vehículo, infraestructura)
- establecer operaciones y personal (plan de acción, gestión del cambio y plan de supervisión).

Se recomienda a las ciudades que se pongan en contacto directamente con la UITP para acceder a la última información disponible: info@uitp.org

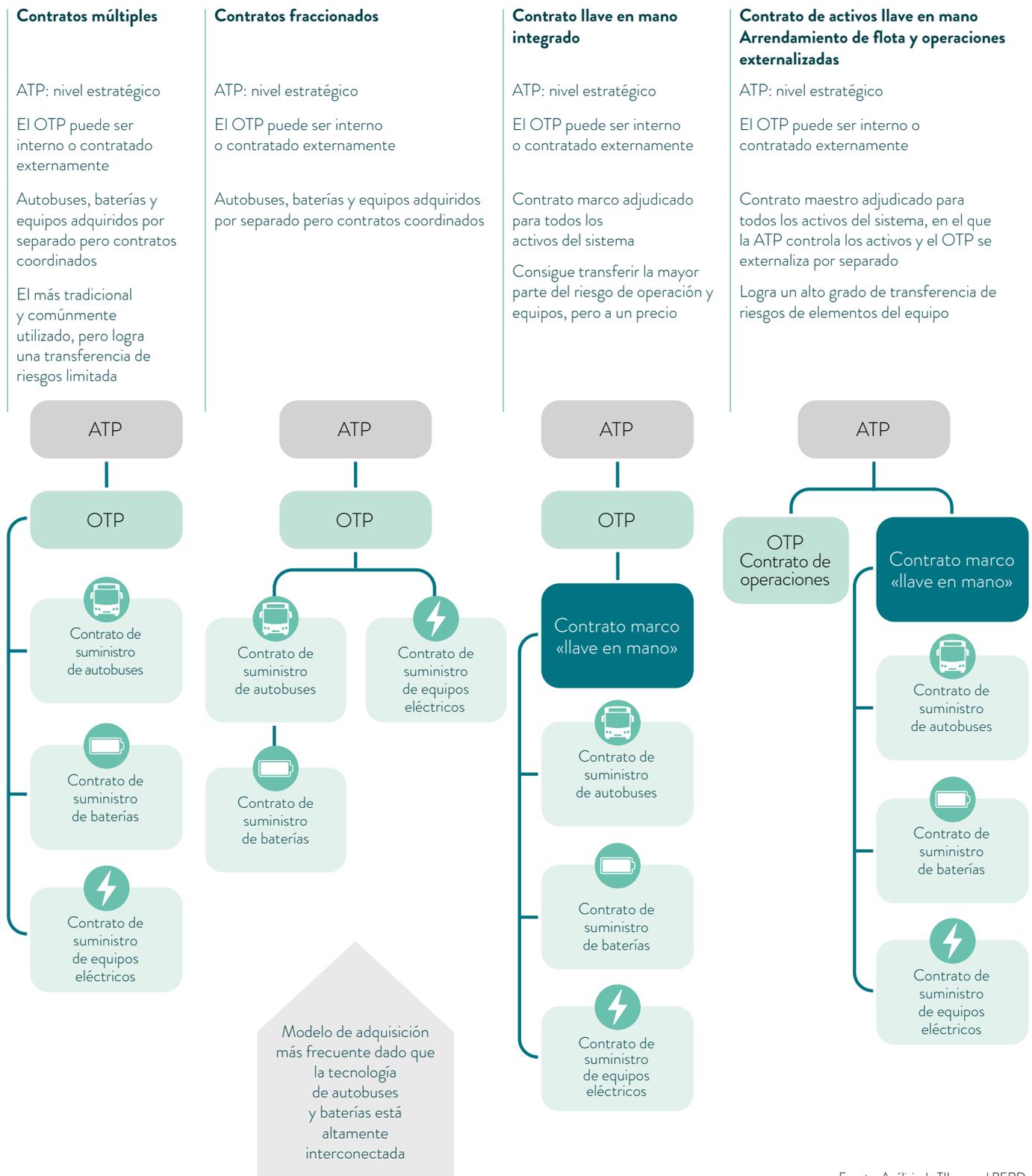
En el Anexo 2 también se incluye una lista de comprobación de diligencia debida, que muestra las necesidades de datos y el marco de análisis para las inversiones en autobuses eléctricos por el BERD para la financiación de bancos de desarrollo. La lista de comprobación presenta (1) las necesidades de datos y el diagnóstico y (2) la evaluación de las soluciones de autobuses eléctricos para financiación.

²³ Véase <https://www.uitp.org/publications/bus-fleet-renewal-checklist/>

12.4. Estrategias de licitación para la adquisición de flotas de autobuses eléctricos

Todos los modelos requieren garantías a largo plazo, especificaciones detalladas de resultados y alineación entre los contratos principales.

Figura 15. Estrategias de licitación



Fuente: Análisis de TIL para el BERD.

12.5. Garantías ampliadas y/o acuerdos de baterías como servicio

Los patrocinadores del proyecto deben buscar garantías ampliadas y/o acuerdos de baterías como servicio. Existe un desajuste entre la vida útil de la batería y la vida útil del autobús, lo que plantea dificultades a las ciudades y a los operadores que intentan cambiar al modelo de autobús eléctrico. Los costes de las baterías representan una gran parte del coste de capital y operativo durante todo el ciclo de vida. La vida útil de la batería es actualmente de cinco a ocho años en comparación con la vida útil del autobús de al menos 12 años, en condiciones normales de funcionamiento.

Existe el riesgo de que no se proporcione financiación en los momentos adecuados, o de que se pida a los operadores de autobuses que gestionen riesgos y costes impredecibles. Están surgiendo nuevos enfoques para gestionar estos riesgos. Se requiere una planificación previa para garantizar la gestión de los riesgos y la disponibilidad de financiación para mantener los autobuses durante toda la vida útil de los activos.

En ocasiones, los OEM están dispuestos a negociar garantías durante la vida útil del autobús y la batería. Una cuestión fundamental es negociar previamente los costes de sustitución de las baterías y/o incluir en el contrato el derecho a sustituir por tipos de baterías alternativas sin invalidar las garantías del OEM. Esto debe acordarse en la fase de adquisición.

Están surgiendo empresas de financiación especializadas en autobuses eléctricos y baterías que asumirán el riesgo del VR y puede que gestionen algunos aspectos de la transición tecnológica, entre ellos:

- riesgo de sustitución de la batería
- conversión de la terminal
- financiación de cargadores, autobuses y baterías.

Las baterías como servicio pueden permitir que las baterías queden fuera del balance de la ATP o del OTP.

Tabla 19. Comparación de las estrategias de adquisición de activos

Propiedad del activo	Compra estándar de autobús (opción contrato de servicio)	Garantía de por vida/ampliada	Batería como servicio
Autobús	Ciudad u operador de autobuses	Ciudad u operador de autobuses	Ciudad u operador de autobuses Protegido por garantía
Batería	Ciudad u operador de autobuses	Ciudad u operador de autobuses	Proveedor de batería como servicio por kWh, km o alquiler mensual
Equipos de carga	Ciudad u operador de autobuses	Ciudad u operador de autobuses	Ciudad u operador o de autobuses u operador de batería como servicio
Riesgo VR autobús	Ciudad u operador de autobuses	OEM de autobuses mediante garantía contratada	OEM de autobuses mediante garantía contratada
Riesgo VR batería	Ciudad u operador de autobuses	OEM de autobuses y/o baterías mediante garantía contratada	Proveedor de batería como servicio
Riesgo de eliminación de baterías y segunda vida	Ciudad u operador de autobuses	OEM de autobuses y/o baterías mediante garantía contratada	Proveedor de batería como servicio
En el balance del operador	Batería y flota	Batería y flota	Solo flota
Fuera del balance del operador			Batería

13. Modelos de financiación durante la vida útil

13.1. Principales puntos de negociación para los modelos de financiación de activos

Todos los modelos descritos en la sección 13 requieren claridad sobre determinados elementos clave, que se enumeran a continuación.

Tabla 20. Factores a considerar al negociar contratos de adquisición de autobuses y baterías

Punto de negociación	Dimensiones	Comentario
Coste de capital del autobús	Unidad monetaria	
Coste de capital del paquete de baterías	Unidad monetaria	Paquete de batería inicial
Coste de capital de los paquetes de baterías de sustitución	Unidad monetaria	
Período de garantía	Años y alcance	Definido a menudo para los elementos: <ul style="list-style-type: none"> • estructura de la carrocería • tren de potencia • baterías • etc.
Vida útil del activo	Años	Solicitar una compensación de «precio frente a años» Se refiere al período de garantía ofrecido
Paquete de soporte de batería	Coste de capital Opciones de financiación alternativas	
Garantías de precio para piezas clave	Unidad monetaria Piezas especificadas Períodos especificados	Se solicita al OEM que «oferte» precios futuros tanto para piezas en gran número como para piezas de elevado coste con el tiempo
Garantías de recompra o VR	VR en un momento determinado	Se solicita al OEM que ofrezca una garantía de recompra y condiciones en momentos concretos Estos pueden estar vinculados a puntos de interrupción del contrato de operación
Coste de financiación	Tipo de interés	Fijo o variable
Préstamo a valor	Porcentaje	Puede variar según los tipos de activos

13.2. Modelos de adquisición emergentes

Esta sección analiza cinco modelos emergentes que intentan superar el desajuste de la vida útil de la batería-del autobús para la gestión de la vida útil de los activos a nivel del operador. El desajuste entre la vida útil de la batería y la vida útil del autobús plantea múltiples retos a las ciudades y a los operadores que intentan pasar a un modelo de autobús eléctrico, ya que añade riesgos y responsabilidades adicionales a las operaciones tradicionales de una flota de autobuses:

- En condiciones normales de funcionamiento, la vida útil de la batería de un autobús es actualmente de 5 a 8 años²⁴ en comparación con la vida útil del autobús de al menos 12 años, y posiblemente más de 20 años. Por tanto, el operador se enfrenta a elevados costes de sustitución de la batería años después de la inversión inicial. Se trata de una gran parte del coste de capital y operativo durante todo el ciclo de vida, hasta el 30-50% de los costes totales durante el ciclo de vida.
- El VR de las baterías debe gestionarse y planificarse previamente, pero a menudo se pierde porque la eliminación es la solución más fácil y preferida. Las baterías pueden reutilizarse en aplicaciones estáticas, pero en todos los casos deben desecharse de forma segura.
- El modelo de financiación existente para las flotas de autobuses eléctricos no tiene en cuenta los costes relacionados con la gestión de las baterías (como las reparaciones, los cambios y la sustitución de las mismas). Esto conlleva el riesgo de déficit de financiación cuando se necesite durante la operación, de que no se proporcione financiación en los momentos adecuados o de que los operadores de autobuses mantengan niveles excesivos de riesgos y costes impredecibles años después de la introducción y la operación de los autobuses eléctricos.

²⁴ La vida útil de la batería de un autobús es actualmente mucho menor que la vida útil de la batería de los últimos turismos eléctricos (que es más larga que la propia vida del vehículo) debido a la distancia promedio mucho más larga recorrida anualmente. En promedio, los autobuses recorren entre 40.000 y 65.000 km al año, lo que equivale a dos o tres veces la distancia promedio que recorre un automóvil. Además, a diferencia de la mayoría turismos, los autobuses urbanos circulan durante todo el día, lo que deteriora aún más las baterías.

- Además, los períodos de la garantía suelen ser mucho más cortos que la vida útil del activo. Se ha solicitado a muy pocos OEM de autobuses que proporcionen garantías a largo plazo o de por vida. Esto significa que los costes de mantenimiento de los activos del autobús y la batería son difíciles de calcular a lo largo del período de operación y pueden variar.

Están surgiendo nuevos enfoques para superar estas deficiencias. Estos son los resultados de una negociación proactiva y una planificación previa estratégica por parte del operador de autobuses para garantizar una asignación justa de responsabilidades entre los diferentes actores implicados y suficiente durante todo el ciclo de vida del autobús.

Dependiendo de cada contexto y de las condiciones del mercado, algunos elementos de cada uno de los modelos introducidos pueden estar presentes en la estructura final alcanzada tras procesos de negociación dinámicos e iterativos con proveedores conocidos o emergentes y empresas especializadas:

- Contrato de batería como servicio con el OEM de la batería

a negociar por adelantado (en el momento de la compra del autobús) dentro de la compra estándar del autobús eléctrico.

- Muchos fabricantes de equipos originales están dispuestos a proporcionar garantías que cubran tanto el vehículo como la batería; sin embargo, dado que esta práctica aún no es habitual en el sector de los autobuses eléctricos (a diferencia del sector de los turismos eléctricos), es fundamental negociar previamente la garantía en la fase de adquisición.
- Las empresas emergentes de financiación especializadas en autobuses eléctricos y baterías están dispuestas a asumir el riesgo del VR y puede que gestionen algunos aspectos de la transición tecnológica, como:
 - financiación de cargadores, autobuses y baterías
 - riesgo de sustitución de la batería
 - conversión de la terminal
 - gestión de proyectos
 - reutilización de las baterías después de su retirada de los autobuses.

13.3. Comparación de la asignación de riesgos entre los diferentes modelos

Tabla 21. Comparación de la asignación de riesgos por modelo de adquisición

	1. Modelo de compra estándar	2. Garantía de por vida/ampliada	3. Compra estándar de autobús y contratos de servicio	4. Batería como servicio	5. Financiado por las compañías de servicios públicos
Propiedad de activos (autobuses, baterías e infraestructura de carga)	La ciudad o el operador de autobuses compra todos los activos para su plena propiedad e invierte directamente en la infraestructura de carga	La ciudad o el operador de autobuses compra todos los activos para su plena propiedad e invierte directamente en la infraestructura de carga	La ciudad o el operador de autobuses compra todos los activos para su plena propiedad e invierte directamente en la infraestructura de carga	Autobús: la ciudad o el operador de autobuses poseen el activo del autobús Batería: propiedad de una compañía especializada, ofrecida al operador como servicio a través de alquiler mensual o leasing Infraestructura de carga: puede ser propiedad de la ciudad/ del operador, o ser ofrecida por la misma compañía especializada dentro del paquete de batería como servicio	Autobús: la ciudad o el operador de autobuses poseen el activo del autobús Batería e infraestructura de carga: inversión inicial de la compañía de servicios públicos; la propiedad se transfiere a la ciudad/al operador una vez que el coste de inversión se ha recuperado totalmente
Riesgos de rendimiento de los activos y costes relacionados con la reparación de los activos	Garantía estándar sobre el autobús y la batería durante ~2 años, después de los cuales la ciudad/el operador de autobuses conservará la plena responsabilidad por el rendimiento de los activos y cualquier coste relacionado con las reparaciones/sustituciones de los activos (incluidos los costes de 2-3 sustituciones de la batería durante el ciclo de vida del autobús) Garantías más largas en las principales unidades previamente acordadas, como motores, cajas de cambio, etc.	La garantía ampliada/de por vida del autobús y la batería se negocia en la fase de adquisición Los costes adicionales relacionados con la garantía ampliada pueden pagarse por adelantado o también mediante pagos anuales durante todo el período de operación	Autobús: garantía limitada estándar durante ~2 años, cuota anual fija a cambio de reparaciones y mantenimiento en virtud del contrato de servicio en lo sucesivo Batería: garantía limitada estándar durante ~2 años, cuota anual fija a cambio de reparaciones, mantenimiento y sustitución en lo sucesivo	Autobús: puede estar cubierto por una garantía (ampliada) o un contrato de servicio del OEM del autobús Batería: riesgos y costes transferidos a la compañía especializada Infraestructura de carga: puede incluirse en el mismo contrato de batería como servicio con la consecuente transferencia de riesgos	Autobús: puede estar cubierto por una garantía (ampliada) o un contrato de servicio del OEM del autobús Batería e infraestructura de carga: se puede negociar una garantía más larga con el proveedor. La compañía de servicios públicos seguirá siendo responsable de estos riesgos durante la garantía, y posteriormente pasarán a la ciudad/ el operador después de la transferencia de la propiedad

(Continúa en la página siguiente)

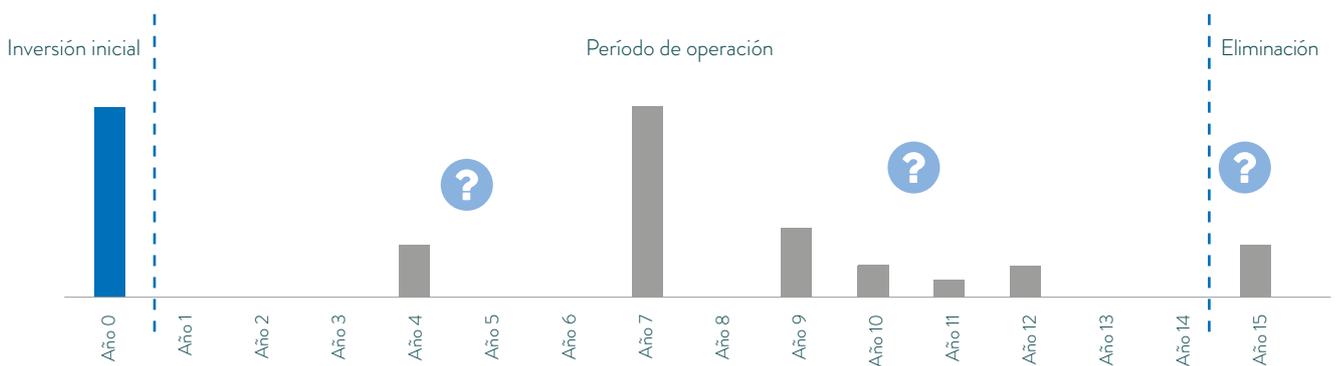
(Continúa de la página anterior)

	1. Modelo de compra estándar	2. Garantía de por vida/ampliada	3. Compra estándar de autobús y contratos de servicio	4. Batería como servicio	5. Financiado por servicios públicos
Riesgo de interfaz de activos	No hay riesgo de interfaz entre el autobús y la batería La ciudad/el operador asume el riesgo de interfaz con la infraestructura de carga Un riesgo clave es que el software y la garantía pueden bloquear al operador con un OEM específico para la sustitución de la batería.	Los acuerdos de garantía para autobuses y baterías pueden incluir mecanismos de gestión de riesgos de interfaz La ciudad/el operador asume el riesgo de interfaz entre la infraestructura de carga y el rendimiento del autobús	Basándose en del modelo de financiación estándar para autobuses, este modelo supone que el autobús y la batería son proporcionados por el mismo proveedor/OEM, que asume todos los riesgos de interfaz relacionados con ambos activos. La ciudad/el operador asume el riesgo de interfaz con la infraestructura de carga	El acuerdo de batería como servicio puede incluir mecanismos de gestión del riesgo de interfaz entre el autobús y la batería Cuando la infraestructura de carga también se ofrece dentro del contrato de servicio, los mecanismos de gestión del riesgo de interfaz de la infraestructura de carga del autobús también pueden negociarse por adelantado	Los acuerdos de garantía para autobuses y baterías pueden incluir mecanismos de gestión de riesgos de interfaz La ciudad/el operador asume el riesgo de interfaz entre la infraestructura de carga y el rendimiento del autobús
Eliminación de baterías y segunda vida útil	Asumido por la ciudad/el operador Se trata de un riesgo tanto para la seguridad como para los costes	Puede transferirse al OEM del autobús o al OEM de la batería en virtud de una garantía contratada	Asumido por la ciudad/el operador	Transferido al proveedor de batería como servicio	Asumido por la ciudad/el operador, a menos que la compañía de servicios públicos consiga negociar por adelantado un acuerdo para la segunda vida de la batería
Recuperación del valor residual	Limitado, especialmente en países donde la demanda de baterías o piezas de repuesto para vehículos eléctricos usados es limitada	En virtud del contrato de servicio, la ciudad/el operador puede contratar la reventa de los activos al OEM de autobuses/baterías	En virtud del contrato de servicio, la ciudad/el operador puede contratar la reventa de los activos al OEM de autobuses/baterías	Recuperado de forma plena y eficiente	Limitado, dependiendo del acuerdo con la compañía de servicios públicos

13.4. Características del modelo de financiación

13.4.1. Modelo de financiación estándar

Figura 16. Descripción general del ciclo de vida: financiación estándar de autobuses eléctricos



Fuente: Análisis del BERD.
Nota: Esta descripción general es un ejemplo que se facilita únicamente con fines ilustrativos.

Del modelo de financiación estándar que predomina en la actualidad para la introducción de autobuses eléctricos de batería se puede observar lo siguiente: Los costes financiados durante el período de inversión inicial incluyen:

- costes de adquisición de autobuses y baterías (ambos adquiridos del mismo proveedor)
- inversiones en la infraestructura de carga y las conexiones eléctricas a la red

- la garantía estándar sobre el autobús y la batería incluida en el contrato de compra es de aproximadamente 2 años, después de los cuales deben financiarse todos los costes de mantenimiento/repación.

Durante el período de operación, una vez finalizado el período de garantía estándar, la ciudad/el operador se hace responsable de todos los costes de mantenimiento/repación de la flota de autobuses eléctricos, además del resto de costes de operación. No se conoce

a ciencia cierta la naturaleza exacta ni la cantidad de los costes extraordinarios en los que se incurrirá:

- Dado el estado actual de la tecnología, se prevén gastos periódicos de sustitución de la batería (~cada cinco a ocho años) al menos dos o tres veces a lo largo de la vida útil de los autobuses, dependiendo del estado de uso de cada autobús/flota, pero el momento exacto no puede estimarse previamente.
- Dado que los costes indicados más arriba no se contratan habitualmente con proveedores designados, la disponibilidad del servicio requerido y los costes relacionados dependerán del estado del mercado (por ejemplo, si existen servicios de reparación especializados para autobuses disponibles en el mismo país; si el operador puede encontrar un proveedor adecuado de nuevas baterías compatibles a precios aceptables, etc.). Estos factores son difíciles de calcular si la fecha no está próxima.

Esto puede socavar la capacidad de determinados municipios u operadores para llevar a cabo una planificación financiera y operativa plurianual, y suponer un obstáculo adicional para la introducción de autobuses en el sistema de transporte urbano cuando existe voluntad política y disposición para la transición hacia soluciones más ecológicas.

Al final de la vida útil del autobús, la ciudad/el operador también es responsable de la eliminación de los activos.

- Para los proyectos piloto en particular (introducción del autobús por primera vez en el país o la región), puede que no haya un segundo mercado para los vehículos usados o las baterías de autobús. Es muy probable que cualquier VR de los activos se pierda, porque es la forma más fácil para la ciudad/el operador de eliminar los activos.
- La eliminación de los activos en este caso no solo no recuperaría el VR, sino que también es costosa, al ocasionar gastos adicionales al presupuesto de la ciudad/el operador al tiempo que necesita reinvertir para renovar la flota de autobuses eléctricos.



Carga en terminal en los Países Bajos

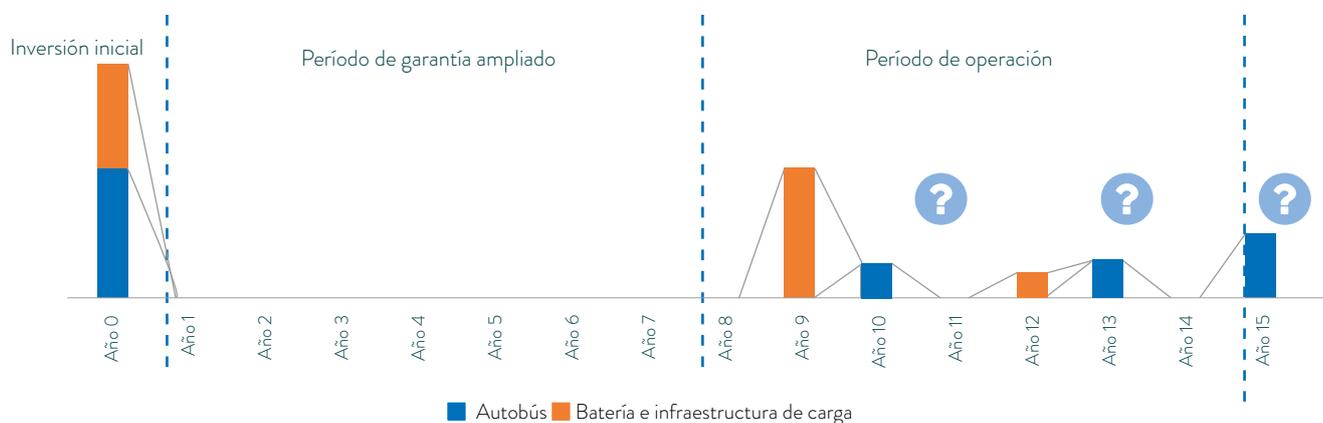
Tabla 22. Descripción general de la financiación de costes: modelo de financiación estándar de autobuses eléctricos

Etapa de vida	Coste	Calendario	Importe	Responsabilidad		Financiación
				Ciudad/ operador	Tercero	
Inversión previa (~1 año)	Estudios de viabilidad y diligencia debida	Determinado (antes de la inversión)	Importe determinado en el momento de la financiación	✓	✓	Fondos o subvenciones de contribuyentes
Fase de inversión inicial (~1-2 años)	Gastos de capital de autobuses	Determinado (inversión inicial)	Importe determinado en el momento de la financiación	✓		Financiado mayoritariamente por el presupuesto de la ciudad/del operador
	Gastos de capital de baterías e infraestructura de carga	Determinado (inversión inicial)	Importe determinado en el momento de la financiación	✓		Financiado parcialmente con préstamos a la ciudad/al operador (más una subvención potencial de la administración central/contribuyentes)
Período de operación (al menos 12 años)	Costes operativos ordinarios	Continuado y determinado	Dentro del intervalo estimable	✓		Ingresos del operador
	Servicio de préstamo	Continuado y determinado	Determinado	✓		Ingresos y/o subvenciones del operador del presupuesto de la ciudad (a través de un contrato de servicio público o de una transferencia presupuestaria anual)
	Mantenimiento y reparación del autobús	Incierto	Muy incierto, intervalo no estimable	✓		Los ingresos de los operadores de autobuses no suelen ser suficientes para financiar los costes de mantenimiento y reparación: pueden financiarse con las reservas existentes del operador cuando estén disponibles. Si no están disponibles, deben financiarse con la asignación presupuestaria de la ciudad a medida que se producen
	Sustitución y eliminación de la batería	Incierto dependiendo de las condiciones de uso/operación, se produce hasta 2-3 veces durante el período de operación	Incierto, depende de las condiciones del mercado en el momento de la sustitución	✓		Igual que en el caso anterior, dados los elevados costes de sustitución (hasta el 33-50 % de los gastos de capital totales), estos deben financiarse con la asignación presupuestaria de la ciudad a medida que se producen
Fin de la vida útil del autobús	Eliminación de los autobuses	Incierto (dependiendo de las condiciones de uso/operación)	Incierto, depende de las condiciones del mercado	✓		Reservas del operador y/o subvenciones del presupuesto de la ciudad
	Eliminación de la batería (final)	Incierto (igual que la eliminación del autobús), posiblemente escasa degradación de la batería desde la última sustitución	Incierto, depende de las condiciones del mercado	✓		Reservas del operador y/o subvenciones del presupuesto de la ciudad

Fuente: Análisis del BERD.

13.4.2. Modelo de financiación estándar más garantía ampliada

Figura 17. Descripción general del ciclo de vida: financiación estándar de autobuses eléctricos más garantía ampliada



Fuente: Análisis del BERD.

Nota: Esta descripción general es un ejemplo que se facilita únicamente con fines ilustrativos.

Se trata de una variante del modelo estándar, que suele utilizarse cuando hay dos OEM distintos que suministran el autobús y la batería por separado. Por supuesto, los dos OEM acordarían los parámetros técnicos y la interoperabilidad en la fase de licitación. Los costes financiados durante el período de inversión inicial son los mismos que en el modelo estándar. Dado que se ha negociado un período adicional de garantía ampliada con los OEM de autobuses y baterías, el período de operación estará compuesto por:

- Período de cobertura de la garantía ampliada: puede variar entre 6 y 12 años dependiendo del mercado y de los OEM. Se debe solicitar a los OEM que «oferten» las condiciones y los períodos de la garantía.
- Período de operación no cubierto: cuando los costes de mantenimiento, reparación y sustitución son inciertos para realizar una estimación, tanto de plazo como de importe, de manera similar al modelo estándar.

En algunos casos, este modelo puede aportar mejoras en la eliminación de los activos a los precios acordados previamente en momentos concretos en el futuro (por ejemplo, cinco, ocho o diez años) a los precios acordados previamente si el autobús se devuelve en condiciones predefinidas y/o en el intervalo de kilometraje. Suele haber un «pago global» relacionado con estos acuerdos.

Algunos factores de la garantía ampliada/de por vida a tener en cuenta:

- La garantía ampliada/de por vida debe negociarse por adelantado, en la fase de adquisición, ya que forma parte del paquete ofrecido por los OEM. La idoneidad de los términos y condiciones de la garantía puede convertirse en uno de los criterios de valoración para la adjudicación de contratos de adquisición, en los que los OEM pueden competir por la mejor oferta.

- La garantía puede proporcionarse previo pago de costes iniciales adicionales, o pagos en los primeros años del período de operación. Debido a los costes iniciales relativamente altos de la flota de autobuses eléctricos (frente a la flota de autobuses diésel), es posible que la ciudad/el operador desee negociar que los pagos se realicen en más fases en un momento posterior (durante las operaciones). Este puede ser también un criterio competitivo durante la adquisición.
- Dado que el autobús y la batería se adquieren por separado, las garantías proporcionadas cubrirán activos separados. Esto dará lugar a un posible aumento del riesgo de interfaz (en el que algunos costes pueden no estar cubiertos por ninguna de ellas). La ciudad/el operador debe revisar detenidamente ambos contratos en paralelo para garantizar la cobertura total durante el período de garantía a fin de evitar costes adicionales.
- Es importante que la ciudad/el operador comprenda y garantice una supervisión adecuada con respecto a los parámetros técnicos específicos dentro de los que se aplica la garantía (en particular, la garantía de la batería). Estos parámetros pueden incluir conceptos como temperatura de la batería, estado de carga, energía utilizada y ciclos completos, dentro de un porcentaje máximo de degradación de la batería. Cuando la ciudad/el operador no tiene experiencia técnica en autobuses (especialmente en proyectos piloto), puede incluir un sistema de supervisión de baterías en su inversión inicial.

Tabla 23. Descripción general de la financiación de costes: modelo de financiación estándar de autobuses eléctricos más garantía ampliada o de por vida

Etapa de vida	Coste	Calendario	Importe	Responsabilidad		Financiación	
				Ciudad/ operador	Tercero		
Inversión previa (~1 año)	Estudios de viabilidad y diligencia debida	Determinado (antes de la inversión)	Importe determinado en el momento de la financiación	✓	✓	Fondos o subvenciones de contribuyentes	
Etapa de inversión inicial (~1-2 años)	Gastos de capital de autobuses	Determinado (inversión inicial)	Importe determinado en el momento de la financiación	✓		Financiado mayoritariamente por el presupuesto de la ciudad/del operador	
	Gastos de capital de baterías e infraestructura de carga	Determinado (inversión inicial)	Importe determinado en el momento de la financiación	✓		Financiado parcialmente con préstamos a la ciudad/al operador (más una subvención potencial de la administración central/ contribuyentes)	
	Gastos operativos iniciales	Formación del personal Aprobaciones Costes de reestructuración	Presupuestado en la fase de planificación	✓		Presupuesto de la ciudad/del operador y/o subvención/préstamo	
Período de operación (al menos 12 años)	Costes operativos ordinarios	Continuado y determinado	Dentro del intervalo estimable	✓		Ingresos y subvenciones de pasajeros del operador	
	Servicio de préstamo	Continuado y determinado	Determinado	✓		Ingresos y/o subvenciones del operador del presupuesto de la ciudad (a través de un contrato de servicio público o de una transferencia presupuestaria anual)	
	Mantenimiento y reparación del autobús	Fijo para un período definido en tareas definidas Mantenimiento diario normalmente a cargo del operador		Cierto y mínimo (previo pago por adelantado y/o pagos anuales)		✓	Este elemento (especialmente el coste inicial) puede incluirse en el paquete de financiación inicial.
		Incierto después del vencimiento de la garantía ampliada		Incierto El riesgo disminuirá a medida que aumenta la flota	✓		Ingresos/reservas del operador y/o subvenciones del presupuesto de la ciudad El operador deseará minimizar el período no cubierto
	Sustitución y eliminación de la batería	Cierto para el período cubierto (cuota inicial o anual continua)		Determinado		✓	Este elemento (especialmente el coste inicial) puede incluirse en el paquete de financiación inicial.
		Incierto después del vencimiento de la garantía ampliada		Incierto	✓		Ingresos/reservas del operador y/o subvenciones del presupuesto de la ciudad El operador deseará minimizar el período no cubierto
Fin de la vida útil del autobús	Eliminación de los autobuses	Incierto (dependiendo de las condiciones de uso/ operación)	Cierto, cuando se incluye en el contrato de garantía		✓	Reservas del operador y/o subvenciones del presupuesto de la ciudad	
	Eliminación de la batería (final)	Incierto (igual que la eliminación de autobuses)	Cierto, cuando se incluye en el contrato de garantía		✓	Reservas del operador y/o subvenciones del presupuesto de la ciudad (más fondos de contribuyentes o financiación de subvenciones cuando la segunda vida de la batería contribuye a los objetivos de eficiencia energética)	

Fuente: Análisis del BERD.

Nota: Esta descripción general es un ejemplo que se facilita únicamente con fines ilustrativos.

13.4.3. Modelo de financiación estándar y contrato de servicio

Figura 18. Descripción general del ciclo de vida: financiación estándar de autobuses eléctricos y contrato de servicio



Fuente: Análisis del BERD.

Nota: Esta descripción general es un ejemplo que se facilita únicamente con fines ilustrativos.

Se trata de una ligera variante del modelo estándar, con la introducción de un contrato de servicio adicional para el mantenimiento de autobuses/baterías y servicios de gestión del rendimiento. Los costes financiados durante el período de inversión inicial son los mismos que en el modelo estándar. Durante el período de operación, se negocia un contrato de servicio adicional con el proveedor de los activos. Normalmente, en el modelo estándar hay un proveedor (OEM) que proporciona tanto el autobús como la batería, lo que da lugar a un contrato de servicio único que cubre el mantenimiento, la reparación y la sustitución de ambos. La incertidumbre sobre los costes extraordinarios es ahora mucho menor, dado que la mayoría de ellos se han transformado en pagos fijos anuales. No obstante, es posible que algunos costes no estén cubiertos por el contrato de servicio. Es probable que el mantenimiento diario (limpieza, bombillas, neumáticos, lubricación, inspecciones de seguridad) lo lleve a cabo el operador de autobuses, o el OEM podría prestar un servicio completo a través de un equipo de mantenimiento integrado.

Este modelo también puede proporcionar mejoras en la eliminación de los activos al final de la vida útil del autobús, cuando la ciudad/el operador consigue negociar la reventa de los activos al OEM, que podría estar en mejores condiciones para recuperar el VR del activo.

Características principales del contrato de servicio

El contrato de servicio debe negociarse por adelantado, en la fase de adquisición, ya que forma parte del paquete ofrecido por el OEM. La idoneidad de los términos y condiciones del contrato de

servicio puede convertirse en uno de los criterios de valoración para la adjudicación de contratos de adquisición, en los que los OEM pueden competir por la mejor oferta.

El contrato de servicio debe cubrir una lista completa y razonable de los costes cubiertos para garantizar el rendimiento operativo regular de la flota. Estos incluyen, como mínimo, las revisiones y trabajos de mantenimiento ordinarios de los activos y la sustitución de la batería cuando sea necesario durante todo el período de operación del autobús.

Deberán definirse límites muy claros entre las tareas asignadas a cada parte. Es poco probable que el operador de autobuses subcontrate las responsabilidades de seguridad, lo que posiblemente será una condición de la licencia de operación. Los servicios se prestarán previo pago anual fijo durante el período de operación tras el vencimiento de la garantía estándar.

Este es un modelo teórico sin ejemplos conocidos todavía. Sin embargo, recoge las lecciones aprendidas de otros sectores y presenta el potencial de ser más ampliamente adoptado debido al interés del mercado, pero especialmente por la configuración adecuada del proceso de adquisición.

Tabla 24. Descripción general de la financiación de costes: modelo de financiación estándar de autobuses eléctricos y contrato de servicio (teórico)

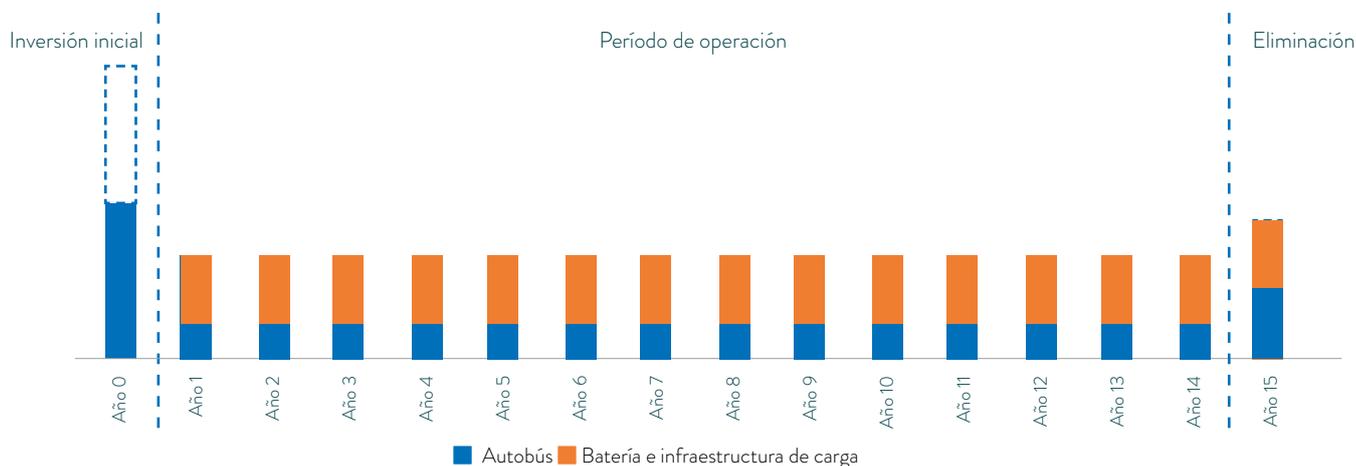
Etapa de vida	Coste	Calendario	Importe	Responsabilidad		Financiación
				Ciudad/ operador	Tercero	
Inversión previa (~1 año)	Estudios de viabilidad y diligencia debida	Determinado (antes de la inversión)	Importe determinado en el momento de la financiación	✓	✓	Fondos o subvenciones de contribuyentes
Fase de inversión inicial (~1-2 años)	Gastos de capital de autobuses	Determinado (inversión inicial)	Importe determinado en el momento de la financiación	✓		Financiado mayoritariamente por el presupuesto de la ciudad/del operador
	Gastos de capital de baterías e infraestructura de carga	Determinado (inversión inicial)	Importe determinado en el momento de la financiación	✓		Financiado parcialmente con préstamos a la ciudad/al operador (más una subvención potencial de la administración central/ contribuyentes)
	Gastos operativos de puesta en marcha	Formación del personal Aprobaciones Costes de reestructuración	Presupuestado en la fase de planificación	✓		Presupuesto de la ciudad/del operador y/o subvención/préstamo
Período de operación (al menos 12 años)	Costes operativos ordinarios	Continuado y determinado	Dentro del intervalo estimable	✓		Ingresos del operador
	Servicio de préstamo	Continuado y determinado	Determinado	✓		Ingresos y/o subvenciones del operador del presupuesto de la ciudad (a través de un contrato de servicio público, o de una transferencia presupuestaria anual)
	Mantenimiento y reparación del autobús	Continuado y determinado (pagos anuales)	Determinado		✓	Este elemento puede incluirse en el contrato de servicio público (o en la transferencia presupuestaria anual), dada la certeza del importe.
	Sustitución y eliminación de la batería	Continuado y determinado (pagos anuales)	Determinado		✓	Este elemento puede incluirse en el contrato de servicio público (o en la transferencia presupuestaria anual), dada la certeza del importe.
Fin de la vida útil del autobús	Eliminación de los autobuses	Incierto (dependiendo de las condiciones de uso/ operación)	Determinado, cuando se incluye en el contrato de servicio		✓	Reservas del operador y/o subvenciones del presupuesto de la ciudad
	Eliminación de la batería (final)	Incierto (igual que la eliminación de autobuses)	Determinado, cuando se incluye en el contrato de servicio		✓	Reservas del operador y/o subvenciones del presupuesto de la ciudad (más fondos de contribuyentes/ financiación de subvenciones cuando la segunda vida de la batería contribuye a los objetivos de eficiencia energética)

Fuente: Análisis del BERD.

Nota: Esta descripción general es un ejemplo que se facilita únicamente con fines ilustrativos.

13.4.4. Modelo de batería como servicio

Figura 19. Descripción general del ciclo de vida: batería como servicio



Fuente: Análisis del BERD.

Nota: Esta descripción general es un ejemplo que se facilita únicamente con fines ilustrativos.

Este modelo ofrece una mayor flexibilidad a la ciudad/el operador al financiar la batería (y la infraestructura de carga y electricidad en algunos casos) solo durante el período de operación, separado del paquete de compra inicial, contribuyendo a reducir los costes de inversión iniciales relacionados con la flota de autobuses eléctricos (actualmente uno de las principales dificultades para la introducción de los autobuses eléctricos).

Los costes financiados durante el período de inversión inicial consistirían ahora únicamente en los costes de compra de los autobuses. Este modelo es el más adecuado para ciudades con experiencia previa en inversión en autobuses eléctricos, tras haber establecido una red de infraestructura de carga existente. En esta fase, el proveedor de batería como servicio debe realizar todos los trabajos para garantizar la compatibilidad y la idoneidad de la instalación de carga con las operaciones de la flota. En los casos en que no exista una instalación de carga, es importante asegurarse de que el proveedor de batería como servicio realice inversiones para instalarla durante el período inicial. Dependiendo de la estructura contractual específica, es posible que la ciudad/el operador aún tenga que contribuir parte de la inversión inicial en la infraestructura de carga.

Durante el período de operación

Lo idóneo es que los activos de los autobuses estén cubiertos por una garantía ampliada o de por vida, que ayuda a transformar los costes inciertos relacionados con el mantenimiento o la reparación de los autobuses durante la vida operativa en pagos anuales fijos. La batería se proporciona como un servicio continuo (puede adoptar la forma de arrendamiento operativo o financiero) previo pago anual. Esto puede permitir que los costes de la batería estén «fuera de balance» para el operador de autobuses, dependiendo de la aprobación contable.

El proveedor de servicios de batería es una compañía especializada capaz de recuperar completamente el VR del activo al final de la vida útil del autobús.

Características principales del servicio

- Al igual que los modelos anteriores, el contrato de servicio debe negociarse por adelantado, en la fase de adquisición, para garantizar una planificación adecuada del ciclo de vida.
- El contrato de servicio de la batería, idealmente debe incluir todos los costes de mantenimiento y sustitución para garantizar una visibilidad clara y certeza sobre los costes incurridos durante el período de operación.
- El riesgo de interfaz entre el proveedor de autobuses y el proveedor de servicios de batería debe gestionarse cuidadosamente para minimizar los riesgos asumidos a nivel del operador.

Tabla 25. Descripción general de la financiación de costes: modelo de batería como servicio

Etapa de vida	Coste	Calendario	Importe	Responsabilidad		Financiación
				Ciudad/ operador	Tercero	
Inversión previa (~1 año)	Estudios de viabilidad y diligencia debida	Determinado (antes de la inversión)	Importe determinado en el momento de la financiación		✓	Fondos o subvenciones de contribuyentes
Fase de inversión inicial (~1-2 años)	Gastos de capital de autobuses	Determinado (inversión inicial)	Importe determinado en el momento de la financiación	✓		Financiado mayoritariamente por el presupuesto de la ciudad/del operador
	Gastos de capital de baterías e infraestructura de carga	Determinado	Importe determinado en el momento de la financiación		✓	Parcialmente financiado con préstamos a la ciudad/al operador (+ Subvención potencial de la administración central/ contribuyentes)
	Gastos operativos de puesta en marcha	Formación del personal Aprobaciones Costes de reestructuración	Presupuestado en la fase de planificación	✓		Presupuesto de la ciudad/del operador y/o subvención/préstamo
Período de operación (al menos 12 años)	Costes operativos ordinarios	Continuado y determinado	Dentro del intervalo estimable	✓		Ingresos del operador
	Servicio de préstamo	Continuado y determinado	Determinado	✓		Ingresos y/o subvenciones del operador del presupuesto de la ciudad (a través de un contrato de servicio público, o de una transferencia presupuestaria anual)
	Mantenimiento y reparación del autobús	Depende del paquete del autobús	Depende del paquete del autobús		✓	Cuando se proporciona una garantía de por vida sobre el activo del autobús (con cargo al coste inicial), puede incluirse en el paquete de financiación inicial. Cuando existe un contrato de servicio (pagos anuales fijos), este coste puede incluirse en el contrato de servicio público (o en la transferencia presupuestaria anual), dada la certeza del importe
	Sustitución y eliminación de la batería	Continuado y determinado (incluido en el servicio anual)	Determinado		✓	Este elemento puede incluirse en el contrato de servicio público (o en la transferencia presupuestaria anual), dada la certeza del importe.
Fin de la vida útil del autobús	Eliminación de los autobuses	Incierto (dependiendo de las condiciones de uso/ operación)	Determinado		✓	Reservas del operador y/o subvenciones del presupuesto de la ciudad
	Eliminación de la batería (final)	Incierto (igual que la eliminación de autobuses)	Determinado		✓	Reservas del operador y/o subvenciones del presupuesto de la ciudad (más fondos de contribuyentes/ financiación de subvenciones cuando la segunda vida de la batería contribuye a los objetivos de eficiencia energética)

Fuente: Análisis del BERD.
Nota: Esta descripción general es un ejemplo que se facilita únicamente con fines ilustrativos.

13.4.5. Modelo financiado por la compañía de servicios públicos

El modelo basado en la compañía de servicios públicos es un instrumento de financiación alternativo para permitir y acelerar mayores inversiones en la electrificación del transporte. Este modelo introduce la colaboración con la compañía de servicios públicos como un enfoque potencial para reducir los elevados costes iniciales a los que se enfrenta la ciudad/el operador durante la transición hacia una flota de autobuses eléctricos.

De manera similar al modelo de batería como servicio, los costes financiados durante el período de inversión inicial por la ciudad/el operador ahora solo consistirían en los costes de compra de los autobuses. La ciudad/el operador celebra un contrato a largo plazo con la compañía de servicios públicos (probablemente grande y solvente), que acepta financiar los costes iniciales de la batería y las instalaciones de carga de la flota de autobuses eléctricos con sus propios fondos (internos o externos).

Durante el período de operación, la ciudad/el operador paga un cargo por arrendamiento y es responsable del deber de cuidado de los activos del autobús, que idealmente están cubiertos por la garantía ampliada/de por vida. Esto ayudará a convertir los costes inciertos relacionados con el mantenimiento/la reparación de los autobuses durante la vida útil en pagos anuales fijos. Este modelo no aborda la eliminación/recuperación del valor residual al final de la vida útil del autobús. No obstante, la compañía de servicios públicos puede establecer acuerdos al respecto durante la fase de adquisición de la batería y la infraestructura de carga.

Principales ventajas de este modelo

- El modelo de financiación por la compañía de servicios públicos pretende abordar el principal reto de los elevados costes iniciales (frente a los de los autobuses diésel) a los que se enfrenta cada ciudad/operador al considerar la transición hacia flotas de autobuses eléctricos. Con la presencia de una compañía de servicios públicos solvente que acepte financiar la batería y las instalaciones de carga, los costes restantes para la ciudad/el operador, junto con los ahorros en costes operativos, podrían ser comparables a los de los autobuses diésel.
- Además, la compañía de servicios públicos no solo estará posicionada para obtener mejores condiciones de financiación, sino que los reembolsos de la ciudad/operador a la compañía de servicios públicos se realizarán en forma de costes operativos (integrados en la actividad principal del operador), lo que contribuye a una recuperación más fácil.
- El modelo también puede contribuir a facilitar la escalabilidad de los programas de compra de autobuses eléctricos, garantizando al mismo tiempo una participación suficiente de la compañía de servicios públicos en la electrificación del transporte, lo que propicia una menor dependencia de la financiación de subvenciones o subsidios para la electrificación del sistema de transporte.

Posibles retos y otros factores

El modelo requiere la presencia de compañías de suministro de energía privadas o autónomas, capaces y dispuestas a invertir en activos de transporte para permitir el desarrollo inicial del mercado de los autobuses eléctricos. Cabe esperar que estas compañías de servicios públicos salgan del mercado, una vez que los operadores puedan financiar directamente la compra de vehículos, incluido a través de contratos de arrendamiento de autobuses y/o de batería como servicio. El modelo requiere que se establezcan los detalles sobre la responsabilidad por las baterías y la infraestructura de carga después de la fase de inversión inicial. Es importante comprender si (o en qué momento) las responsabilidades y los costes relacionados con estas instalaciones se transfieren a la compañía, y combinar la estructura con uno de los mecanismos introducidos anteriormente (garantía ampliada o contrato de servicio) para limitar la incertidumbre sobre los costes durante el período de operación.

Ejemplos

La compañía de suministro de energía puede alquilar o arrendar tanto los activos de los autobuses como las baterías e instalaciones de carga (potencialmente viables para los operadores privados). Este sistema se ha implementado en Santiago de Chile, donde una compañía de suministro de energía privada ha proporcionado autobuses eléctricos bajo un régimen de arrendamiento financiero, con pagos respaldados por garantía estatal y una tarifa mensual por los servicios de carga al operador.

13.4.6. Programas de compras conjuntas

Cuando existe una gran disposición para la transición hacia flotas de autobuses eléctricos a escala nacional, es posible que dos o más operadores de autobuses realicen compras conjuntas para aumentar el poder adquisitivo y reducir los costes iniciales (por ejemplo, los ferrocarriles municipales de San Francisco y el condado de King realizaron un pedido conjunto).

Los programas de compra conjunta, respaldados por los gobiernos regionales o nacionales, pueden ser especialmente relevantes para el desarrollo inicial del autobús eléctrico, al ofrecer una mayor visibilidad del mercado, economías de escala, normas y prácticas de adquisición y oportunidades de desarrollo de capacidades.

14. Estudios de caso

Esta sección establece una serie de modelos de despliegue aplicados con éxito para autobuses, baterías y financiación de activos, en una serie de operaciones y países.

14.1. Estudio de caso del modelo batería como servicio

En este modelo, el OTP financia los autobuses (carrocería y bastidor) directamente en régimen de arrendamiento.

Las baterías y el sistema de carga del autobús eléctrico se financian en virtud de un contrato de batería como servicio (BaaS) y de carga como servicio (CaaS), respectivamente, y se proporcionan a través de un acuerdo de financiación y servicio gestionado con el OTP en virtud de un alquiler mensual. El operador de batería como servicio también:

- gestiona el riesgo del VR y la vida útil de la batería
- sustituye las baterías para que cumplan los requisitos de rendimiento acordados
- retira las baterías para darles una «segunda vida»

- optimiza y gestiona las conexiones a la red y el sistema de carga del proyecto
- apoya la adquisición de electricidad y la implementación de la estrategia de carga de la flota, utilizando una plataforma de software de carga dinámica
- puede incluir la generación renovable in situ (paneles fotovoltaicos) y el almacenamiento en baterías (sujeto principalmente a la disponibilidad y el coste del suministro de la red local); también ofrece contratos de suministro de energía independientes que proporcionan energía a partir de un suministro verde.



Batería como servicio

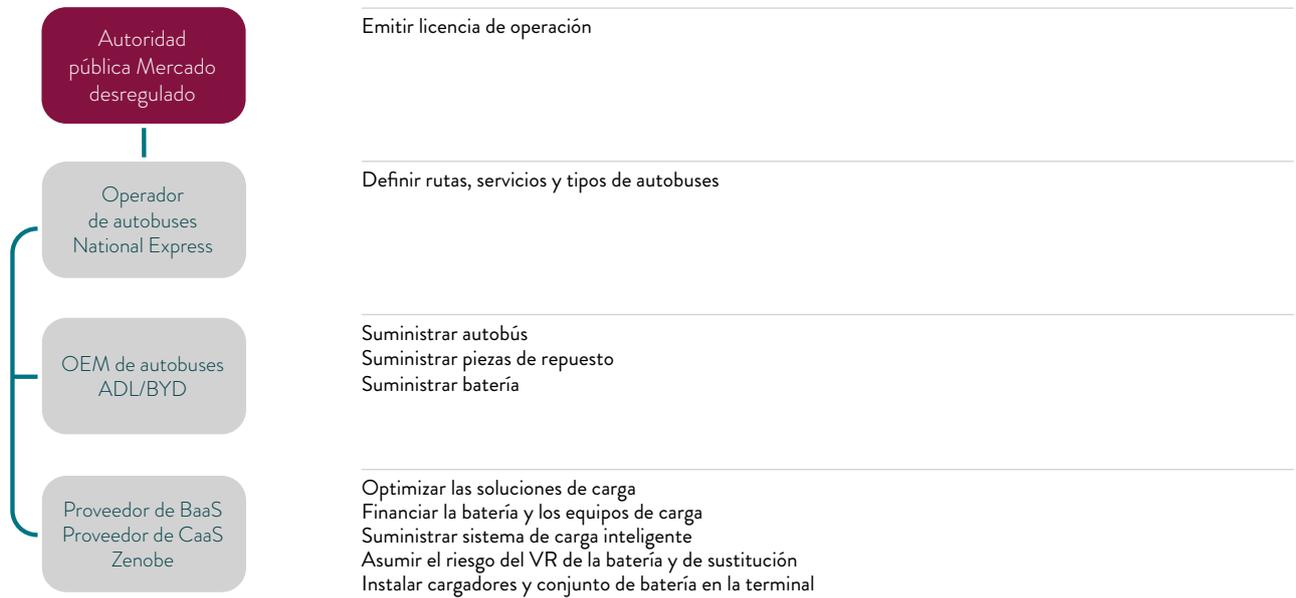
Existe un mercado emergente de especialistas en financiación de baterías que alquilan baterías al operador sobre una base de disponibilidad por kWh, por km o por mes, asumiendo el riesgo del valor residual (VR). Gestionan la instalación y la carga, con un contrato de 5 a 15 años, y pueden reutilizar las baterías a mitad de su vida útil para el almacenamiento in situ y la carga para su optimización o uso sin transporte, por ejemplo en redes renovables.

Tabla 26. Asignación de responsabilidades en el caso práctico de National Express (contrato de 15 años)

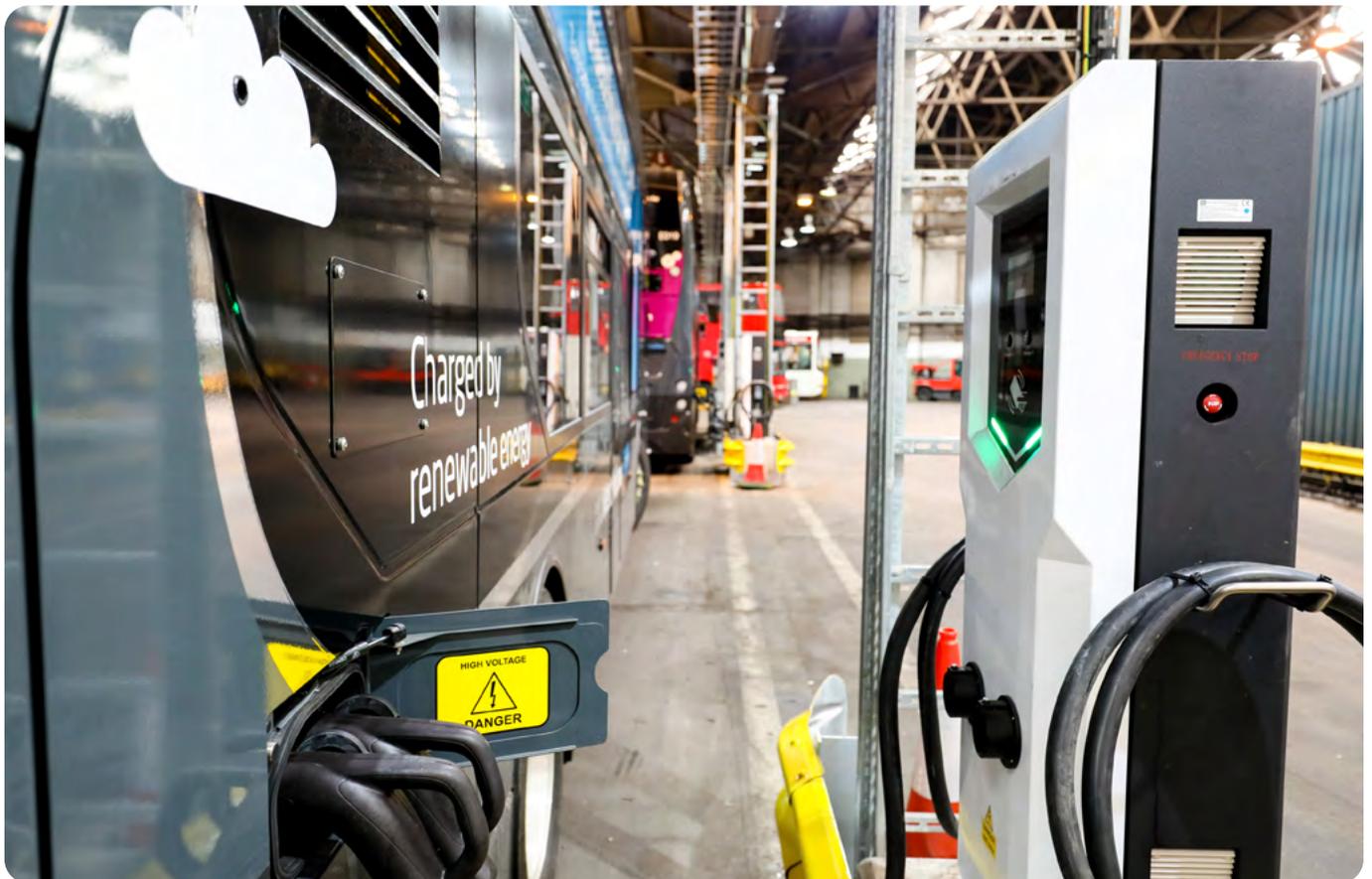
Cuestión	Asignación	Comentarios
Costes de operación de los autobuses	OTP: National Express	
Riesgo de ingresos de pasajeros	OTP: National Express	Mercado desregulado, Reino Unido (fuera de Londres)
Proveedor (autobús, batería, sistema de carga)	Vehículos eléctricos ADL/BYD Enviro400 (dos pisos)	Ubicado en National Express Depot, Yardley Wood, Reino Unido
Propiedad del autobús (carrocería, bastidor, motor eléctrico)	OTP: National Express	
Propiedad de la batería, con puntos de carga en la terminal	Batería como servicio: Zenobe	Financiado por Zenobe en virtud de un servicio gestionado con OTP, sobre la base de una batería por autobús eléctrico
Sustitución, reutilización y/o eliminación de la batería	Batería como servicio: Zenobe	Según los requisitos de rendimiento del contrato de servicio
Valor residual del autobús (carrocería y bastidor)	OTP: National Express	

Fuente: Zenobe.

Figura 20. Ejemplo: National Express: modelo de batería como servicio en mercado de operaciones externalizadas



Fuente: Análisis de TIL para el BERD.



Estación de carga, National Express Electric Bus 900

14.2. Modelo de garantía ampliada o de por vida: TEC Bélgica

TEC Valonia, Bélgica, amplió la garantía para los autobuses «híbridos enchufables» en las rutas regionales gestionadas por la unidad de operaciones internas de la ATP. La ATP en este caso también es el OTP y tiene un contrato de operación mediante adjudicación directa.

Descripción del programa

- Operación de adjudicación directa en la autoridad de transporte regional de Valonia TEC, con operación contratada a operaciones internas de TEC (TEC también utiliza numerosos contratistas externos).
- Más de 100 autobuses eléctricos híbridos enchufables se cargan con cargadores rápidos de ABB en las ciudades de Namur y Charleroi en Bélgica.
- Quince cargadores rápidos de CC instalados en Namur y Charleroi basados en la interfaz abierta OppCharge® (pantógrafo instalado en la infraestructura).

- Contrato de servicio de dieciséis años para garantizar un funcionamiento fiable durante toda la vida útil del proyecto.
- Quince subestaciones eléctricas y conmutadores de carga de oportunidad de ABB para alimentar los cargadores.
- Cada cargador tiene 150 kW de potencia de carga.

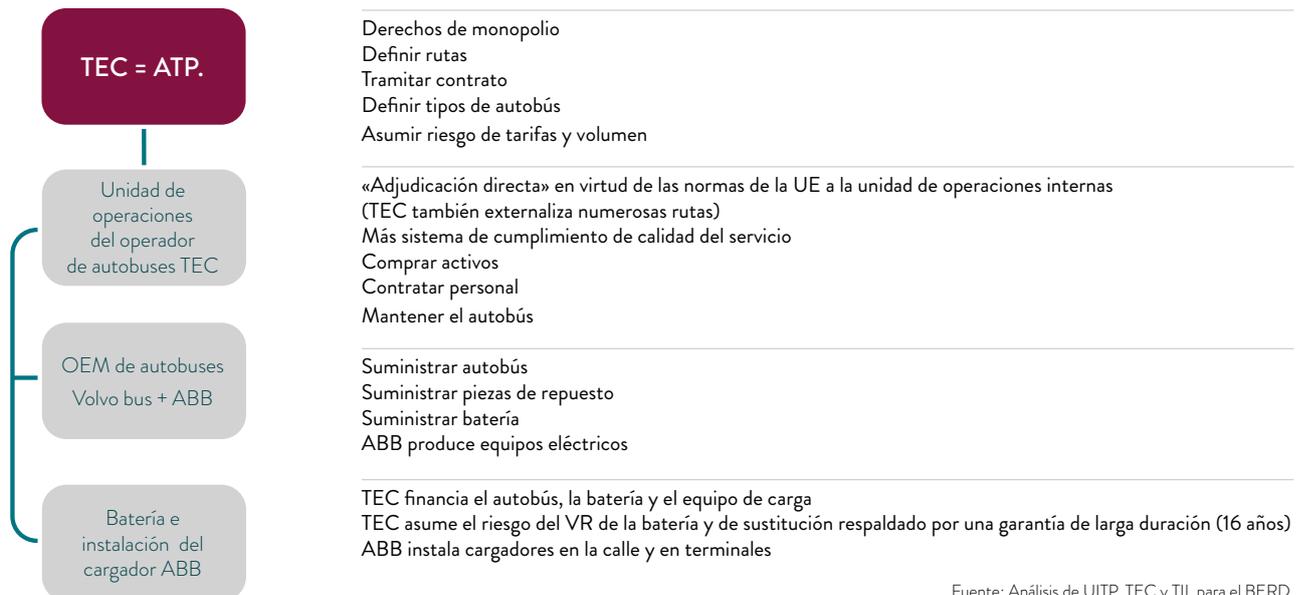


Garantía de larga duración del OEM

El OEM de autobuses y/o baterías garantiza la vida útil de la batería.

Idealmente, este contrato debe aportar certidumbre sobre los costes de sustitución.

Figura 21. Estructura de responsabilidad del estudio de caso de TEC Bélgica



Fuente: Análisis de UITP, TEC y TIL para el BERD.



14.3. Países Bajos: autobuses eléctricos en mercado de operaciones externalizadas

Los Países Bajos facilitan un útil estudio de caso sobre lo que puede lograrse rápidamente con un firme apoyo político a la inversión en autobuses eléctricos en un mercado con operaciones de autobuses externalizadas y municipales.

Líder del mercado

Los Países Bajos han liderado la implantación del autobús eléctrico en Europa. En 2016, el gobierno holandés firmó un acuerdo con todos los proveedores de transporte público para que no hubiera nuevos autobuses diésel a partir de 2025 y estableció el objetivo de cambiar toda su flota (actualmente unos 5.000 autobuses) a autobuses de cero emisiones para 2030.

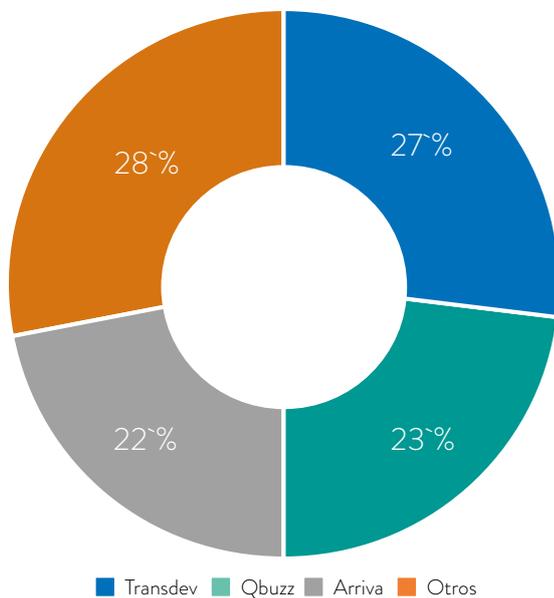
Los avances han sido rápidos: el 15% de la flota se componía de autobuses eléctricos a finales de 2019 (mientras que representaban el 41% de los nuevos pedidos). En 2020 están previstos al menos 618 más, lo que eleva el total a 1.388.

El modelo operativo combina la operación interna con las concesiones

Las operaciones están cubiertas por 34 concesiones regionales, y el calendario de los contratos ejerce una gran influencia en los patrones de renovación de la flota que están sujetos a una licitación periódica.

Las operaciones urbanas en Ámsterdam, Rotterdam y La Haya son gestionadas por operadores de transporte municipales internos (OTP = ATP). Los operadores deben proporcionar y financiar sus propios autobuses, en régimen de propiedad o alquiler. Las instalaciones de las terminales se alquilan a la autoridad o al anterior concesionario.

Figura 22. Cuota de mercado de los operadores de autobuses eléctricos de los Países Bajos – concesiones externalizadas



Fuente: Análisis de TIL para el BERD, datos de 2019.

En el norte del país (Groningen-Drenthe) casi la mitad de los autobuses (47%) son eléctricos. Limburgo (37%) y Holanda Septentrional (31%) ocupan el segundo y tercer lugar.

Principales desafíos por delante

Las redes ahora electrificadas son relativamente asequibles. La mayoría de las líneas son relativamente cortas. Aún quedan por afrontar otros retos, sobre todo en términos de capacidad de la red y de costes de mejora significativos.

La red eléctrica está sometida a una presión cada vez mayor. Se está incurriendo en costes relativamente altos para construir la infraestructura eléctrica en las terminales necesaria para cargar los autobuses. Con la electrificación de los vehículos privados, el reto para la red va en aumento.

Existen numerosos actores en el mercado de los autobuses eléctricos, y la estandarización de la infraestructura de carga sigue siendo un problema.



14.4. Despliegue eléctrico autónomo (batería y ultracondensador) apoyado por el BERD



Sofía, Bulgaria (entrega 2019-20)

- 15 autobuses eléctricos de piso bajo con cargadores rápidos (ultracondensador), seis estaciones de carga
- Préstamo en condiciones de favor con apoyo del Fondo especial de energía ecológica (GESF), Taipei-China
- El proyecto se ha implementado como un proyecto desencadenante para el Plan de Acción de Ciudad Verde de Sofía aprobado actualmente
- También se aprobó la fase 2 para 15 autobuses y seis estaciones de carga adicionales para aumentar el volumen de autobuses eléctricos y se presentó como un proyecto de seguimiento, alineado con las recomendaciones del GCAP



Batumi, Georgia (entrega 2020)

- Ocho minibuses eléctricos de batería de piso bajo, carga en terminal
- Subvención del fondo E5P (Asociación Europea Oriental para la Eficiencia Energética y el Medio Ambiente (E5P))
- Primer autobús eléctrico de batería en la región del Cáucaso



Amán, Jordania (entrega prevista para 2022)

- 15 autobuses eléctricos en Jordania en el marco de un proyecto piloto como parte de la expansión de una flota más amplia en Ammán de 151 autobuses
- Cofinanciado por un préstamo del BERD y el GCF
- Seguimiento del Plan de Acción de Ciudad Verde y primera introducción del el autobús eléctrico en Jordania

Apoyo del BERD

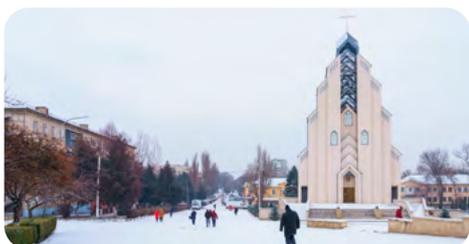
- Diligencia debida, preparación de proyectos y apoyo a licitaciones
- Taller de mercado y visita de estudio (Bruselas, con la UITP)
- PSC (Centro de apoyo a los programas) y programa de desarrollo corporativo (operador de autobuses)
- Planes de Acción de Ciudad Verde
- Participación en el taller sobre políticas de autobuses eléctricos del BERD (marzo de 2019)

14.5. Trolebús con batería de autonomía ampliada apoyado por el BERD



Dusambé, Tayikistán (en servicio en mayo de 2019)

- Cuatro trolebuses de piso bajo con autonomía extendida
- Funcionamiento autónomo (sin cables) durante 15 km
- Subvención a la inversión del BERD (país de transición temprana)
- Inversiones de seguimiento en subestaciones y catenarias de trolebuses



Balti, Moldavia (entrega en 2021)

- 10 trolebuses
- Ampliación del funcionamiento autónomo, rehabilitación de redes e infraestructuras antiguas
- Este fue el proyecto desencadenante para el Plan de Acción de Ciudad Verde de Balti que ahora está en marcha

Apoyo del BERD

- Diligencia debida, preparación de proyectos y apoyo a licitaciones
- Planificación sostenible de la red de transporte público
- Plan de desarrollo corporativo (Dusambé)
- Plan de Acción de Ciudad Verde (Balti)

14.6. Despliegue masivo de autobuses eléctricos en Santiago de Chile

- Mayor flota de autobuses eléctricos en América Latina con 676 autobuses eléctricos en Santiago (empezando con más de 200 en 2018, el resto se adquirió en 2020).
- Firme compromiso político:
 - El gobierno de Santiago ha impulsado la implantación del autobús eléctrico mediante medidas políticas e incentivos para los operadores (por ejemplo, garantías de capital).
 - La ciudad se ha comprometido a adquirir únicamente autobuses de cero emisiones después de 2025.
 - El objetivo del gobierno nacional es electrificar el transporte público para 2040:
 - marco regulador
 - Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica.

Hoja de ruta eléctrica 2018-22

- Reducción del riesgo mediante nuevos modelos de negocio y diversificación:
 - nuevos actores: las compañías de servicios públicos
 - Enel X y Engie han invertido en autobuses eléctricos y estaciones de carga
 - garantías de crédito de bancos nacionales
 - el tamaño de la flota de los operadores es limitado
 - La ATP garantiza pagos de arrendamiento entre el operador y la compañía de servicios públicos.

14.7. Ejemplos de buenas prácticas

Tabla 27. Ejemplos de buenas prácticas, a junio de 2020

Carga en movimiento	PKT Gdynia, Polonia
Carga de oportunidad	Transdev, Amstelland-Meerlanden, Países Bajos Connexion, Eindhoven, Países Bajos Qbuzz, Dordrecht, Países Bajos En los Países Bajos ya hay 907 autobuses de cero emisiones en funcionamiento. En diciembre de 2020 se sumarán otros 281, con una flota acumulada cercana a los 1.300
Carga nocturna con grandes flotas de autobuses	TfL Londres, Reino Unido TEC Valonia, Namur y Charleroi, Bélgica RATP, París, Francia
Contratos de batería como servicio	FirstGroup, Reino Unido (8 años) Newport, Gales (5+2+5 años) TEC Valonia, Bélgica (5+2+5 años) National Express, Yardley Wood, Reino Unido (15 años) – Proveedor de BaaS Zenobe Abellio, Londres, Reino Unido (5+2+5 años) – proveedor de BaaS Zenobe
Garantía ampliada: autobús	TEC Valonia, Bélgica (10 años)
Mejores prácticas del plan operativo	Go-Ahead London, Hong Kong
Despliegue en ciudades pequeñas	Go South Coast, Salisbury, Reino Unido
Condiciones de la garantía y del contrato	Transmisión de autobús – chasis, carrocería, equipo de control – hasta 15 años Baterías – batería como servicio – suministro continuo, mantenimiento, sustitución de acuerdos ahora disponibles; cláusulas de rescisión a 5-8 años Equipos de carga: hasta 15 años de contratos de suministro de «arrendamiento y mantenimiento» disponibles

Fuente: TIL y UITP.

Datos y recursos adicionales disponibles en la plataforma Clean Bus Europe (<https://www.uitp.org/projects/clean-bus-europe-platform/>), gestionada por la UITP y financiada por la Comisión Europea.

15. Resumen

Las ciudades deben desarrollar objetivos claros, incluida la ponderación entre los objetivos, los plazos políticos deseados y una relación realista de las fuentes de financiación de capital y de operación factibles. Deben explorar las soluciones intermedias entre factores clave como la recuperación de costes a través de tarifas de pasajeros y subsidios y el impacto de las velocidades comerciales en los ingresos de pasajeros y los costes operativos como parte de su planificación de autobuses eléctricos. Este proceso debe dar lugar a una estrategia de despliegue de autobuses limpios: un plan maestro o una visión.

Una buena práctica en este ámbito es que las ciudades deben actualizar su gobernanza y sus acuerdos contractuales para las operaciones de los autobuses antes de invertir en autobuses eléctricos, como se resume en la publicación del BERD *Driving change: reforming urban bus services*, en asociación con la UITP y GIZ.

Muchas ciudades grandes requerirán una combinación de rutas con carga en la terminal y carga de oportunidad, dependiendo de los km recorridos diariamente por el autobús y de los costes relativos de los equipos de carga, la reconfiguración de la terminal, las baterías y las diferencias en el consumo de electricidad.

Deben calcularse las necesidades de capital para el reequipamiento de las terminales y el impacto en sus costes operativos.

Una decisión clave es si se utiliza tracción eléctrica de CA o CC: La CC es más cara pero se puede cargar más rápidamente a 100-150 kW, la CA es más barata, pero la carga es más lenta.

Las ciudades requieren una estrategia sistemática de carga de los autobuses que identifique los objetivos y las limitaciones y determine la combinación CA/CC, la distribución entre carga en la terminal y de oportunidad y las ubicaciones prácticas para los puntos de carga.

Los resultados de la estrategia de carga deben incorporarse al modelo de evaluación financiera, incluidos los impactos en los kilómetros de autobús, el tamaño de la flota de autobuses y las horas

pagadas, así como las partidas de gastos de capital, en un proceso iterativo en la fase del proyecto (estudio de viabilidad).

Los riesgos deben identificarse en la fase de planificación del proyecto y asignarse claramente. Los contratos de operación de autobuses y los contratos de adquisición de activos deben reflejar este análisis y el operador de autobuses debe definir los factores de optimización, junto con las autoridades públicas.

El proceso de adquisición debe tratar de valorar las opciones alternativas, por ejemplo, la vida útil del autobús, y abordar los riesgos identificados.

Debido a los grandes requisitos de capital y a los elevados costes de la transición operativa, el contrato de operación debe acordarse previamente y adaptarse a la asignación seleccionada para los riesgos operativos y de capital.

Los supuestos de costes de ingeniería deben actualizarse, y existen motivos razonables para suponer que es posible una reducción sustancial de los costes del 10-30%, en función de los supuestos locales.

Los promotores del proyecto deben planificar y evaluar los impactos financieros de los cambios necesarios en las operaciones de la terminal, los sistemas de mantenimiento y seguridad y los impactos resultantes en los kilómetros del autobús, los autobuses de repuesto y las horas pagadas.

Los patrocinadores del programa deben evaluar sus proyectos sobre la base del CTP, creado para el tráfico local y las condiciones operativas.

Se han preparado ejemplos de cálculos y análisis y se muestran en este informe, con fines ilustrativos.

16. Enlaces y recursos de información

BERD	Proyectos cofinanciados por la UITP-EU	GIZ
<p><i>Effective Policy Options for Green Cities</i> Este informe del BERD presenta opciones de política urbana y estudios de casos pertinentes que pueden ayudar a las ciudades a acelerar la transición ecológica y el crecimiento. Se está desarrollando una herramienta digital que incluye todo el contenido del informe. El apartado «T5. Electrification of urban transport», en la página 37 del informe, ofrece información sobre la integración de la movilidad eléctrica en las ciudades. Consulte https://ebrdgreencities.com/assets/Uploads/PDF/beadcf2147/Effective-policy-options-for-green-cities.pdf</p>	<p>Proyecto ZeEUS: https://zeeus.eu/</p> <p>Proyecto ASSURED: https://assured-project.eu/</p> <p>ASSURED 1.0 Interoperability Reference</p> <p>Plataforma Clean Bus Europe: www.cleanbusplatform.eu</p> <p>UITP Bus Committee Bus Fleet Renewal Checklist</p>	<p>Plataforma Changing Transport Knowledge de GIZ – Facilitating climate actions in mobility https://www.changing-transport.org/publications/?sft_category=electric-mobility</p>
<p>Programa «Ciudades Verdes» del BERD Un programa que pretende construir un futuro mejor y más sostenible para las ciudades y sus residentes, trabajando con las ciudades para identificar, priorizar y conectar los retos medioambientales con las inversiones en infraestructuras sostenibles y las acciones políticas. El programa cuenta con un sitio web específico en el que se comparten los Planes de Acción de Ciudad Verde y los aspectos destacados de la ciudad, como plataforma de intercambio de conocimientos para otras ciudades en etapas anteriores del proceso y ciudades interesadas en participar Sitio web EBRD Green Cities: https://ebrdgreencities.com/</p>	<p>Descripción general de la evolución de la Plataforma Clean Bus Europe en el mercado europeo https://cleanbusplatform.eu/ https://cleanbusplatform.eu/toolkit/market-monitoring</p>	<p>Plataforma de conocimiento sobre movilidad electrónica Promobe en portugués: http://www.promobe.com.br/biblioteca/</p>
<p>Red de Ciudades Verdes oficiales del BERD Una red de Ciudades Verdes oficiales que crea múltiples oportunidades para que las ciudades participantes en el programa Ciudades Verdes se conecten, compartan experiencias y aprendan unas de otras sobre diversos temas.</p>	<p>UITP Tender Structure Document Un documento de orientación internacional para estructurar los pliegos de condiciones al adquirir nuevos autobuses, en el que el capítulo 17 está dedicado a la movilidad eléctrica</p> <p>ANEXO TSD IV Una herramienta fundamental de Excel para el cálculo de emisiones ambientales en la fase de uso de autobuses diésel, autobuses eléctricos y más (contaminantes habituales, CO₂, consumo de electricidad) https://www.uitp.org/publications/bus-tender-structure-report-2020/</p>	<p>Bus Fleet Renewal Toolkit Archives – Changing Transport https://www.changing-transport.org/toolkits/bus-fleet-renewal</p>
<p>Asociación MobiliseYourCity El BERD es socio colaborador de MobiliseYourCity, que promueve la movilidad sostenible y apoya a las ciudades en la descarbonización del transporte. Incluye una gran cantidad de productos de conocimiento, documentos de políticas y estudios de caso sobre soluciones de transporte urbano Sitio web de MobiliseYourCity: https://www.mobiliseyourcity.net/</p>	<p>UITP SORT and E-SORT brochures – referencia para la medición del consumo de electricidad Estándar internacionalmente aceptado utilizado en las especificaciones de los pliegos de condiciones</p> <p>Design Charter for Innovative Electric Buses (dominios de especificaciones, principios y conceptos de diseño ilustrados)</p> <p>UITP Academy ofrece diversos tipos de programas de formación sobre autobuses eléctricos, como formación de calendario abierto o interna</p>	<p>Lista de verificación de autobuses eléctricos de la Iniciativa de Movilidad Urbana Transformativa (TUMI) www.transformative-mobility.org</p>

17. Más información

Tema	Recurso	Enlace
Reforma, regulación y financiación del sistema de autobuses	Reforma y modernización de los autobuses de GIZ	China: New energy buses Philippines: Mini-bus sector reform Philippines: Bus corridor operational enhancements India: Bus operations
	Formación de la UITP sobre licitación y contratación de servicios de transporte público	https://www.uitp.org/trainings/tendering-and-contracting-of-public-transport-services/
	Documento sobre reforma de los autobuses del BERD (respaldado por la UITP y GIZ)	https://www.ebrd.com/documents/municipal-infrastructure/driving-change-reforming-urban-bus-services.pdf
Orientación sobre adquisición/despliegue	UITP SORT ²⁵ y E-SORT	https://www.uitp.org/publications/uitp-sort-e-sort-brochures/
	ASSURED 1.0 Interoperability Reference	https://assured-project.eu/storage/files/assured-10-interoperability-reference.pdf
	Lista de comprobación de renovación de la flota de autobuses de la UITP	https://www.uitp.org/publications/bus-fleet-renewal-checklist/
	Kit de herramientas para la renovación de la flota de autobuses	https://www.changing-transport.org/toolkits/bus-fleet-renewal
Tecnología de los autobuses	Knowledge Brief de la UITP sobre trolebuses	La serie de knowledge briefs presenta las ventajas de introducir trolebuses con IMC en una ciudad y los beneficios de actualizar un sistema de trolebuses ya existente con tecnología IMC, combinando el paso por debajo de la red de cables aéreos con la carga de la batería durante la operación en modo de batería autónoma. https://www.uitp.org/publications/in-motion-charging-innovative-trolleybus/
Aspectos económicos de las baterías y ciudades verdes	Bloomberg New Energy Finance	https://about.bnef.com
	Ciudades verdes del BERD	https://www.ebrdgreencities.com
Contactos y apoyo del BERD	Ian Jennings, especialista del sector del transporte urbano	jenningi@ebrd.com

Referencias

Comité de Autobuses de la UITP (2019), «UITP Bus Fleet Renewal Checklist».

Disponible en <https://www.uitp.org/publications/bus-fleet-renewal-checklist/>. (último acceso el 30 de abril de 2021).

Comité de Transporte y Vida Urbana de la UITP (2019), The Impact of Electric Buses on Urban Life. Disponible en

<https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/06/UITP-policybrief-June2019-V6-WEB-OK.pdf> (último acceso el 13 de mayo de 2021).

UITP y ARUP (2020), *Zero Emissions Bus Forum*, Documento de debate.

Referencias de sitios web

<https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf>

<https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines>

<https://www.sustainable-bus.com/parts/volvo-buses-and-second-life-batteries-a-new-project-in-göteborg>

<https://www.uitp.org/clean-bus-europe-platform>

<https://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-2.pdf>

Tipos de cambio

Los equivalentes de moneda en este informe se calcularon sobre la base de un tipo de cambio de 1,12 euros por libra esterlina, cuando proceda.

²⁵ SORT es la única herramienta eficiente que diseña ciclos de prueba reproducibles para las pruebas de autobuses en carretera con el fin de medir su consumo de combustible, y es utilizada por el sector del transporte público en la fase de adquisición de autobuses.

Glosario

Definición	Abreviatura	Significado
Análisis de coste-beneficio	ACB	Evaluación económica de los efectos financieros y sociales de las opciones políticas, incluidos factores como los efectos sobre la contaminación, el tiempo de viaje, el ruido, los servicios públicos, etc.
Autobús de emisiones ultrabajas	ULEB	
Autobús eléctrico		Autobús propulsado por electricidad suministrada por baterías y/o catenaria aérea
Autobús eléctrico de batería	BEB	Autobús propulsado por electricidad suministrada por baterías y/o cables aéreos
Autobuses operados por batería	BOB	
Autoridad de transporte de pasajeros	ATP	El gobierno o la autoridad del gobierno local encargada de la responsabilidad estratégica del transporte local dentro de una región
Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo	BERD	Patrocinadores y coautores de este informe
Batería como servicio	BaaS	
Bloomberg NEF	BNEF	Bloomberg New Energy Finance ofrece investigación, pronósticos a largo plazo, herramientas analíticas y análisis globales en profundidad que cubren una amplia variedad de energías y sectores relacionados
Bus de cero emisiones	ZEB	Un autobús que produce cero emisiones «en el tubo de escape», normalmente un autobús eléctrico, un trolebús o un autobús HFC
Carga de CC		El convertidor de CA a CC está instalado en el punto o la estación de carga y permite una carga rápida
Carga de oportunidad		Carga de autobuses eléctricos a alta velocidad a través de puntos de carga situados lejos de las terminales de autobuses, por ejemplo, en la calle o en puntos de final de ruta
Carga en movimiento	IMC	Carga de la batería del trolebús mediante cables aéreos
Catenaria		Sistema de cables aéreos para trolebuses utilizado para suministrar corriente de tracción a un autobús, tranvía o tren
Corriente alterna	CA	Corriente alterna
Corriente continua	CC	Corriente continua
Coste total de propiedad	CTP	Suma de todo el capital y todos los costes operativos durante la vida útil prevista del activo
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit	GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Euro VI		Norma sobre emisiones definida por la UE
Fabricante de equipos originales	OEM	El término puede aplicarse al constructor de autobuses, al proveedor de baterías o a cualquier otra fuente de equipos o servicios de ingeniería
Flota de autobuses		Número de autobuses en una flota de autobuses, siempre superior al requisito máximo de vehículos
Gas de efecto invernadero	GEI	Un gas de efecto invernadero es un gas que absorbe y emite energía radiante dentro del rango de infrarrojos térmicos, causando el efecto invernadero
Gas natural comprimido	GNC	El GNC es gas natural comprimido que se ha comprimido a aproximadamente 200 bar
Operador de transporte de pasajeros	OTP	Una entidad que presta servicios de transporte de pasajeros – puede ser propiedad de y/o estar regulada por una ATP, o formar parte de una ATP
Pila de combustible e hidrógeno	HFC	Fuente para la generación electricidad a través de un grupo eléctrico instalado en un autobús
Prueba estandarizada en carretera	SORT	La UITP ha diseñado ciclos para crear un estándar común para las pruebas de rendimiento y consumo de combustible de los autobuses. SORT número 1 es un ciclo urbano y SORT 2 es un ciclo urbano mixto. La disponibilidad de estos datos permite evitar repetir las pruebas cada vez que se ofrece o adjudica un contrato, ahorrando tiempo y gastos.
Requisito máximo de vehículos	PVR	Número máximo de autobuses necesarios para el servicio público en cualquier momento en el horario/ plan de operación
TIL	TIL	Transport Investment Ltd – empresa consultora autora de este informe
Trolebús		Un trolebús es un autobús eléctrico que recibe electricidad de cables aéreos, utilizando postes de trolebús accionados por resortes.
Trolebús de batería		Trolebús equipado con baterías de menor capacidad para permitir la operación de transporte de pasajeros más allá de los cables aéreos y que se carga mediante cables aéreos
Union Internationale des Transports Publics	UITP	La Asociación Internacional de Transporte Público: red mundial que reúne a todas las partes interesadas del transporte público y todos los medios de transporte sostenible.
Valor residual	VR	Valor residual (precio de mercado) de un activo en el momento de eliminación
Zona de bajas emisiones	LEZ	Zona designada por ley para controlar las emisiones de los vehículos a un nivel más restrictivo que la norma nacional vigente

Anexo 1. Conferencia Going Electric del BERD, Londres, marzo de 2019

Tabla A.1.1. Conferencia Going Electric: participantes y temas tratados

26 de marzo de 2019	Participantes	Actividades	Organización
	Todos	Visita a la terminal de autobuses eléctricos de Go-Ahead London	Go-Ahead London, Reino Unido
	Todos	Reunión con Transport for London	TfL, Reino Unido
	Todos	Recepción y cena de trabajo	
27 de marzo de 2019	Nombre	Puesto	Organización
Comentarios iniciales	Nandita Parshad	Directora general, Grupo de infraestructuras sostenibles	BERD
Objetivos y política pública	Ian Jennings	Especialista sénior en transporte urbano	BERD
	Kjetil Tvedt	Economista sénior	BERD
	Aida Abdulah	Directora sénior de proyectos, Unidad de autobuses, conocimiento e innovación	UITP
	Christian Mettke	Director de proyectos, Departamento de cambio climático, medio ambiente, infraestructura	GIZ
	David Leeder	Socio director	TIL
	Arno Kerkhof	Jefe de la Unidad de autobuses, conocimiento e innovación	UITP
	Alok Jain	Director ejecutivo, TransConsult Asia (TCA)	TIL – TCA
Autobús eléctrico: estado del plan y despliegue			
Panel 1. Soluciones tecnológicas: proveedores (Presidente: Alok Jain, TCA)			
	Stefan Baguette	Director de productos del grupo	Alexander Dennis Ltd, Reino Unido
	Mateusz Figaszewski	Director de desarrollo de la movilidad eléctrica y RR. PP.	Solaris Bus & Coach, Polonia
	Isbrand Ho	Director de ventas para Europa	BYD, Países Bajos
	Richard Harrington	Director de ingeniería	Go-Ahead London, Reino Unido
	Yussup Khassiev	Jefe de las Oficinas de Moscú y Astaná, Director del Comité de Trolebuses	UITP
	Vladimir Korol	Director general	Belkommunmash, Bielorrusia
	Sergey Chistov	Ingeniero jefe adjunto de diseño	Belkommunmash, Bielorrusia
	Bob Bouhuijs	Vicepresidente de redes inteligentes y centrales eléctricas virtuales	Heliox, Países Bajos
	Uday Khemka	Vicepresidente de SUN Group	Sun Mobility, India
Panel 2. Comentarios sobre operaciones: ciudades y operadores (Presidente: Arno Kerkhof, UITP)			
	David Leeder	Socio director	TIL
	Claire Mann	Director de operaciones de autobuses	TfL, Reino Unido
	Tom Cunnington	Director de operaciones de autobuses	TfL, Reino Unido
Costes totales de propiedad (TCO)	Arno Kerkhof	Jefe de la Unidad de autobuses, conocimiento e innovación	UITP
Aprendizaje clave de ZeEUS (proyecto cofinanciado por la Unión Europea)	Marta Woronowicz	Gestora de proyectos	PKT Gdynia Trolleybus Co, Polonia
Comentarios de los operadores de China, Países Bajos, Polonia	Joe Ma	Director general adjunto	Shenzhen Bus Group Co, China
	Josh Carmichael	Experto en tecnología de cero emisiones (batería e hidrógeno)	Transdev (Connexion), Países Bajos
Panel 3. Desarrollo de proyectos de autobuses eléctricos (Presidente: Matthew Jordan-Tank, BERD)			
Preparación del proyecto, Planes de Acción Ciudades Verdes (GCAP), desarrollo de capacidad	Lin O'Grady	Director adjunto, Jefe de preparación e implementación de proyectos de infraestructura sostenible y Ciudades Verdes	BERD
	Peter Hirsch	Asociado: productos políticos, eficiencia energética y cambio climático, BERD	BERD

(continúa en la página siguiente)

Tabla A.1.1. Conferencia Going Electric: participantes y temas cubiertos (continúa de la página anterior)

Financiación verde, integración del suministro energético, política			
	Metodi Avramov	Asesor, Departamento de cambio climático, medio ambiente, infraestructura	Centro de movilidad urbana de Sofía, Bulgaria
Resumen y próximos pasos (Presidente: David Leeder, TIL)			
	Aida Abdulah	Directora sénior de proyectos, Unidad de autobuses, conocimiento e innovación	UITP
	Felipe Bueno	Economista sénior	BERD
What did we learn?	Arno Kerkhof	Jefe de la Unidad de autobuses, conocimiento e innovación	UITP
	Christian Mettke	Director de proyectos, Departamento de cambio climático, medio ambiente, infraestructura	GIZ
Resumen del documento de orientación	Ian Jennings	Especialista sénior en transporte urbano	BERD

Anexo 2. Lista de comprobación de diligencias para la renovación de las flotas de autobuses eléctricos

Tabla A.2.1. Diligencia debida: necesidades de datos y diagnóstico

Definir los objetivos del proyecto	Calidad del aire local Congestión Cambio climático/Objetivos del Acuerdo de París Patrocinio Descongestión
Preparar planes para la nueva flota de autobuses eléctricos	Apoyo a planes y políticas de movilidad urbana sostenible y movilidad eléctrica Medidas de prioridad previstas para los autobuses (carriles bus, gestión del tráfico prioritario, etc.) Plan de negocio para la nueva flota de autobuses (rutas propuestas, horarios de servicio, etc.)
Recopilar datos operativos y de mercado	Red de rutas: rutas de autobús, frecuencias, horarios de servicio, velocidades operativas, número de pasajeros Composición de la flota de autobuses, incluidos los autobuses de repuesto Kms de operación Autonomía diaria: promedio y máximo Niveles de personal, avería
Evaluar datos topográficos y climáticos	Topografía, intervalo de temperaturas Consumo de combustible Necesidades de calefacción y refrigeración
Determinar ingresos y financiación	Tipo de contrato de operación - coste bruto/neto del contrato de servicio público, licencia de operación Ingresos (billetes, publicidad, etc.), sistema de cobro de tarifas Subvenciones de operación Subvenciones y aportaciones de capital Impuestos locales
Calcular costes	Desglose de los costes operativos Costes de combustible (flotas existentes: diésel, GNC, etc.) Tarifas eléctricas (diurnas, nocturnas) Costes de mantenimiento (incluidos los equipos eléctricos) Costes de sustitución de la batería
Evaluar la infraestructura de carga en la calle disponible	¿La ciudad cuenta con una red de tranvías o trolebuses u otra infraestructura de carga en la calle (subestaciones)? ¿Cuál es el estado actual de las subestaciones y los cables aéreos? ¿Se requieren obras de rehabilitación? ¿Hay capacidad de energía suficiente en la red para soportar la carga en movimiento o la carga de oportunidad? ¿Existen posibilidades de optimización y/o ampliación de la red de trolebuses? ¿Cuál es el impacto en la estrategia de carga? ¿Cuál es el impacto en los tipos de autobús necesarios?
Explorar las necesidades de electricidad y energías renovables	Fuente local de generación de electricidad y umbrales de disponibilidad (capacidad de la red) en los puntos de carga, especialmente la terminal Coste de las conexiones a la red Posibilidad de generación de energías renovables in situ (energía solar fotovoltaica), con medición neta o almacenamiento en baterías en las terminales Función de las cajas de baterías para permitir la carga de mantenimiento (para evitar costes de conexión a la red) Posible función de la flota de autobuses para el equilibrio de la red Estimación del coste de la electricidad
Llevar a cabo evaluaciones técnicas y de madurez comercial y de riesgos	Disponibilidad del mercado (vehículos y repuestos): ¿qué fabricantes están establecidos en el mercado en cuestión? ¿Cómo se ha probado la solución específica en el mercado y en otros servicios? ¿Cuál ha sido el rendimiento operativo? ¿Cómo se compara este con las operaciones planificadas? ¿Se ofrecen garantías? ¿Existe un modelo establecido o es nuevo en el mercado (los riesgos deben evaluarse)?

Tabla A.2.2. Diligencia debida: evaluación de la solución de autobuses eléctricos para la financiación

Explorar y definir la estrategia de carga	CA o CC Carga en la terminal o de oportunidad Ubicación de los cargadores Necesidades incrementales de electricidad Costes de conexión eléctrica Necesidades diarias de autonomía Tiempo de carga disponible en horario nocturno, en puntos de final de ruta, etc. Planificación de permisos y aprobaciones necesarios (especialmente para la carga de oportunidad)
Definir los requisitos de potencia de los autobuses	Capacidad de asientos y de pie Autonomía diaria Vida útil de los activos requerida Velocidad y aceleración Calefacción y refrigeración Capacidad de batería necesaria Precio de las «unidades principales» (piezas clave) Precio de los «consumibles» (piezas en gran número)
Realizar evaluaciones de seguridad	Identificación de riesgos (por ejemplo, vehículos muy silenciosos, gestión de baterías, electricidad de alta tensión, aumento de la aceleración) Evaluaciones de riesgos actualizadas Planes de mitigación de riesgos Necesidades de formación
Explorar contrapartidas de las opciones técnicas	Vida útil del activo frente al primer precio Adaptar a la especificación de potencia Datos de costes operativos Batería y ciclo de vida del vehículo Capacidad de la batería Períodos de garantía frente al precio
Determinar la financiación y la eliminación de la batería	Determinar la opción de adquisición y carga de la batería: Partida de capital; «Power by the hour» o batería como servicio; garantías de rendimiento del OEM; Método de eliminación de baterías; Previsión de vida útil de la batería garantizada; Reciclaje de baterías usadas
Determinar la reconfiguración de la terminal	Impacto en la capacidad de estacionamiento Reconfiguración de los talleres de mantenimiento Reciclaje del personal Evaluación de seguridad y riesgo Costes y obras de conexión a la red Gestión de proyectos de obras de instalación
Realizar una evaluación de los costes operativos	Flota de autobuses: por ejemplo, autobuses necesarios para la carga Costes de mantenimiento Personal y horas Kilómetros que el autobús debe recorrer para la carga Costes de electricidad Impactos fiscales: impuesto sobre el combustible frente al impuesto sobre la electricidad Requisitos y costes de gestión del proyecto Costes de financiación de activos Etc.
Analizar opciones financieras	Evaluación del coste total de propiedad (CTP) Evaluaciones financieras frente al estado actual y alternativas Evaluación de las fuentes y los usos de los fondos: ¿cómo se pagará el programa?
Registrar los riesgos y el plan de mitigación de riesgos	Riesgos de costes Riesgo de vida útil del activo Riesgos de financiación de activos Riesgos para la seguridad Garantías de autobuses, baterías, equipos eléctricos Contratos de suministro eléctrico Sistema de rendimiento de los activos – por ejemplo, penalizaciones por incumplimiento
Evaluar la alineación con el Acuerdo de París y la transición hacia una economía verde	Evaluación de las reducciones de las emisiones de GEI y de la contaminación atmosférica (en particular de NOx y partículas) resultantes del cambio modal, la eficiencia energética, ahorros por la eficiencia de los recursos u otros beneficios medioambientales (en valores absolutos y en términos de porcentajes) Estimación del número de beneficiarios Evaluación de referencia de Ciudades Verdes del BERD, según proceda
Realizar un análisis de coste-beneficio económico (financiación pública)	Evaluación del tráfico de pasajeros, valor del tiempo, costes operativos, impactos de contaminación local, impacto de las emisiones y otros beneficios sociales («proyecto» frente al escenario de «no hacer nada»)

Fuente: Elaborado con las aportaciones de los consultores de TIL, WSP y Motts para BERD.

DIGITAL VERSION AVAILABLE ON
 **MYLIBRARY**

JUNIO | 2021



Rue Sainte-Marie 6, B-1080 Brussels, Belgium | Tel +32 (0)2 673 61 00 | Fax +32 (0)2 660 10 72 | info@uitp.org | www.uitp.org