

Análisis y diseño de modelos de negocio y mecanismos de financiación para buses eléctricos en Lima, Perú

Francisco Ramírez Cartagena
Benoit Lefevre
Jaime Fernández-Baca
Rafael Capristan Miranda

División de Cambio Climático
División de Transporte

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-01802

Febrero 2020

Análisis y diseño de modelos de negocio y mecanismos de financiación para buses eléctricos en Lima, Perú

Francisco Ramírez Cartagena
Benoit Lefevre
Jaime Fernández-Baca
Rafael Capristan Miranda

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Análisis y diseño de modelos de negocio y mecanismos de financiación para buses eléctricos en Lima, Perú / Francisco Ramírez Cartagena, Benoit Jean Marie Lefevre, Jaime Fernandez-Baca, Rafael Capristan Miranda.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1802)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Buses, Electric-Economic aspects-Peru. 2. Urban transportation-Economic aspects-Peru. 3. Local transit-Economic aspects-Peru. I. Ramírez Cartagena, Francisco. II. Lefevre, Benoit Jean Marie. III. Fernandez-Baca, Jaime. IV. Capristan Miranda, Rafael. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático. VII. Serie.

IDB-TN-1802

Códigos JEL: A1, D40, D47, R4, R42, R48

Palabras clave: transporte, cambio climático, mitigación, buses eléctricos, electromovilidad, infraestructura, modelo de negocio, financiamiento, Perú, Lima

<http://www.iadb.org>

Copyright © [2020] Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



REPORTE

ANÁLISIS Y DISEÑO DE MODELOS DE NEGOCIO Y MECANISMOS DE FINANCIACIÓN PARA BUSES ELÉCTRICOS EN LIMA, PERÚ



RECONOCIMIENTOS

Este informe ha sido revisado por las autoridades correspondientes en el Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM) y fue presentado por ellas para su difusión en foros públicos en el país.

Este estudio fue comisionado por el Banco Interamericano de Desarrollo (IADB, por sus siglas en inglés) bajo la cooperación técnica regional RG-T3078 que sostiene con varios países y ciudades de la región Latinoamérica y el Caribe LAC.

El objetivo de este apoyo es evaluar alternativas y establecer los modelos de negocio y mecanismos de financiación más factibles y viables para la masificación de buses eléctricos en la ciudad de Lima, Perú.

Autores:

Daniel Magallón

Francisco Ramírez Cartagena

Basel Agency for Sustainable Energy, BASE

Agradecemos también a las instituciones que aportaron información para este estudio:

- COFIDE
- Scotiabank
- ENEL
- ENGIE
- BYD
- Yutong
- QEVTech
- Operadores del servicio de transporte de los corredores complementarios, especialmente al Grupo Allin.

Documento supervisado por:

- **Benoit Lefevre**, PhD, Especialista Sectorial Senior - Cambio Climático y Desarrollo Sostenible, CSD/CCS
- **Jaime Fernandez-Baca**, Especialista de Cambio Climático, CSD/CCS
- **Rafael Capristan Miranda**, Especialista Senior de Transporte, INE/TSP
- **Javier David Campos Gavilán**, Director General, Dirección General de Eficiencia Energética, Ministerio de Energía y Minas, Perú
- **Daniella Rough**, Coordinadora, Proyecto "Acciones Nacionales Aprovechadas de Mitigación (NAMA) en los sectores de generación de energía y su uso final en el Perú", el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial y la Dirección General de Eficiencia Energética, Ministerio de Energía y Minas, Perú
- **Alfonso Eduardo Córdova Rau**, Especialista en MRV, Proyecto "Acciones Nacionales Aprovechadas de Mitigación (NAMA) en los sectores de generación de energía y su uso final en el Perú", el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial y la Dirección General de Eficiencia Energética, Ministerio de Energía y Minas, Perú

TABLA DE CONTENIDOS

TABLAS DE FIGURAS.....	06
RESUMEN EJECUTIVO.....	08
1. INTRODUCCIÓN.....	19
2. MARCO METODOLÓGICO.....	22
2.1 Recopilación de información.....	23
2.2 Métodos empleados para el análisis de la información.....	25
2.2.1. Método TCO para la estimación del costo total de la propiedad.....	25
2.2.2. Método Well to Wheel para estimar las emisiones de GEI.....	26
2.2.3. Método de flujo de caja y Montecarlo para análisis de la viabilidad económica y sensibilidad.	27
2.2.4. Modelo PESTA y matriz probabilidad-impacto estimación.....	28
riesgos y mecanismos de mitigación.	
3. ANÁLISIS DEL CONTEXTO Y DEL MERCADO PARA LOS BUSES ELÉCTRICOS EN LIMA.....	30
3.1 Buses eléctricos para el transporte urbano.....	30
3.1.1. Funcionamiento de los buses.....	32
3.1.2. La batería y su vida útil.....	33
3.1.3. Sistemas de recarga.....	36
3.1.4. Principales barreras y mecanismos empleados para la masificación.	38
3.2. Análisis del mercado local.....	42
3.2.1. Oferta local de buses eléctricos.....	42
3.2.2. Sondeo de mercado con potenciales financiadores.....	45
3.2.3. El sistema integrado de transporte público en Lima y su potencial para buses eléctricos.	46

4. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COSTO TOTAL DE LA PROPIEDAD (TCO) ENTRE TECNOLOGÍAS DISPONIBLES.	51
4.1. Descripción del servicio y del ciclo de conducción.	51
4.2. Costos de capital.	53
4.2.1. Costo del bus.	53
4.2.2. Costo del chasis y la carrocería.	56
4.2.3. Costo del sistema de recarga.	56
4.2.4. Costo de capital consolidado.	57
4.3. Costos de operación.	59
4.3.1. Rendimiento del bus.	59
4.3.2. Tarifa de energía eléctrica.	61
4.3.3. Mantenimiento.	63
4.3.4. Costos de operación consolidados.	64
4.3.5. Indicadores para la proyección de costos.	66
4.4. Resultado del análisis TCO.	66
4.5. Cálculo de las emisiones de gases efecto invernadero.	70
5. ANÁLISIS FINANCIERO Y DE SENSIBILIDAD.	73
5.1. Cálculo de la remuneración.	73
5.2. Resultado del análisis financiero.	77
5.2.1. Resultado del análisis SIN financiamiento.	78
5.2.2. Resultado del análisis CON financiamiento.	81
5.3. Resultado del análisis de sensibilidad.	84
5.3.1. Resultado del análisis de sensibilidad unidimensional.	86
5.3.2. Resultado del análisis de sensibilidad multidimensional.	86
6. MATRIZ DE RIESGOS.	88
7. MODELOS DE NEGOCIO.	94
7.1. Modelo de negocio por financiamiento comercial.	96
7.2. Modelo de negocio por leasing parcial.	98
7.3. Modelo de negocio por leasing total.	100
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Análisis TCO para un horizonte de 14 años empleando financiamiento.	09
Figura 2. Emisiones acumuladas de CO ₂ e en 14 años por flota de 100 buses.	09
Figura 3. Resultado del cálculo de los indicadores financieros SIN financiamiento.	10
Figura 4. Resultado del cálculo de los indicadores financieros con financiamiento preferencial.	11
Figura 5. Resultado consolidado del análisis financiero de los modelos de negocio.	12
Figura 6. Modelo de negocio por financiamiento comercial.	13
Figura 7. Modelo de negocio por leasing parcial.	14
Figura 8. Modelo de negocio por leasing total.	15
Figura 9. Toneladas de CO ₂ e acumuladas en 15 años para un bus de 12 metros. (Blumberg et al. 2019).	20
Figura 10. Objetivo de reducción de emisiones al 2030, escenario BAU (UNFCCC 2019).	20
Figura 11. Marco metodológico.	23
Figura 12. Estudios relevantes considerados para la obtención de información secundaria.	24
Figura 13. Lista de las entidades entrevistadas.	25
Figura 14. Lógica del análisis Monte Carlo.	28
Figura 15. Estructura para la caracterización de los riesgos.	29
Figura 16. Matriz de probabilidad-impacto (BASE y POCH 2012; PricewaterhouseCooper 2008).	29
Figura 17. Mercado mundial de buses eléctricos en el 2017 (Bloomberg New Energy Finance 2018, p.5).	31
Figura 18. Buses eléctricos en América Latina.	32
Figura 19. Sistema de tracción de un bus eléctrico (Rampini Carlo 2019).	33
Figura 20. Tipos de batería para el transporte eléctrico (Buchmann 2019).	34
Figura 21. Degradación acumulada de la batería (ADL 2018).	34
Figura 22. Efecto de la reducción del costo de la batería en el Mercado de VE (Adaptación, IEA 2017).	35
Figura 23. Sistema de recarga de oportunidad, patio Waterloo, Londres (Chew y Llewellyn 2016).	36
Figura 24. Sistemas de recarga conductivo e inductivo.	37
Figura 25. Instrumentos considerados para estimular el mercado de vehículos eléctricos (Adaptado, ONU 2018).	41
Figura 26. Ecosistema de la cadena de suministro de buses eléctricos (Modificado de Viswanadham y Kameshwaran 2013).	42

Figura 27. Resumen de la oferta local de buses eléctricos de 12 metros, sin impuestos (Oferta dólares a marzo 2019).	44
Figura 28. Tasa interbancaria en dólares y en soles (BCRP Data).	45
Figura 29. Estructura del Sistema Integrado de Transporte de Lima.	47
Figura 30. Estructura contractual y de funcionamiento de las concesiones.	48
Figura 31. Composición de la demanda actual y potencial (MML 2017).	50
Figura 32. Flota implementada y por implementar y cronograma de próximas licitaciones.	50
Figura 33. Mapa de los recorridos de los Corredores Complementarios (Google Earth 2019).	52
Figura 34. Descripción de la operación y del ciclo de conducción.	52
Figura 35. Variables consideradas para el cálculo de la batería.	53
Figura 36. Resultado consolidado del cálculo de la capacidad de la batería para los horizontes establecidos.	54
Figura 37. Calculo de la batería y autonomía para un horizonte de 10 años.	54
Figura 38. Cálculo de la batería y autonomía para un horizonte de 12 años.	55
Figura 39. Cálculo de la batería y autonomía para un horizonte de 12 años realizando recambio de batería.	55

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio corresponde a la asistencia técnica ofrecida, por el Banco Interamericano de Desarrollo, a la Dirección General de Eficiencia Energética (DGEE) del Ministerio de Energía y Minas de Perú (MINEM) con el objetivo de evaluar la viabilidad económica del uso de autobuses eléctricos de 12 metros relacionados al mecanismo de remuneración de los corredores complementarios y establecer modelos de negocio y mecanismos de financiación para la masificación de la tecnología en la ciudad de Lima, Perú.

Para alcanzar el objetivo del estudio, la consultoría realizó el análisis del mercado empleando una combinación de técnicas basadas en información primaria y secundaria, recopilada por medio de entrevistas telefónicas y presenciales e investigación de escritorio.

El reporte presenta una serie de análisis comparativos entre las tecnologías de transporte: diésel, gas natural y eléctrico, para establecer el costo total de la propiedad de

los buses (TCO¹), la reducción de gases efecto invernadero, la viabilidad económica y la estimación de los riesgos. Como resultado de los análisis se proponen modelos de negocio y mecanismos de financiamiento adecuados para hacer competitiva la tecnología eléctrica en Lima.

- **Resultado del análisis del costo total de la propiedad TCO**

El resultado del análisis muestra que para que el costo total de la propiedad TCO del bus eléctrico sea comparable con los buses convencionales, se requiere: ampliar el horizonte operacional del bus eléctrico hasta 14 años, tener flexibilidad en la operación para poder realizar al menos una recarga a la batería durante el día y disponer de financiamiento en condiciones concesionales, sobre todo para hacer competitiva la tecnología eléctrica con la de gas natural.

¹ TCO = Total Cost of Ownership; indicador usado a nivel internacional para comparar los costos de los buses electricos

FIGURA 1

Análisis TCO para un horizonte de 14 años empleando financiamiento

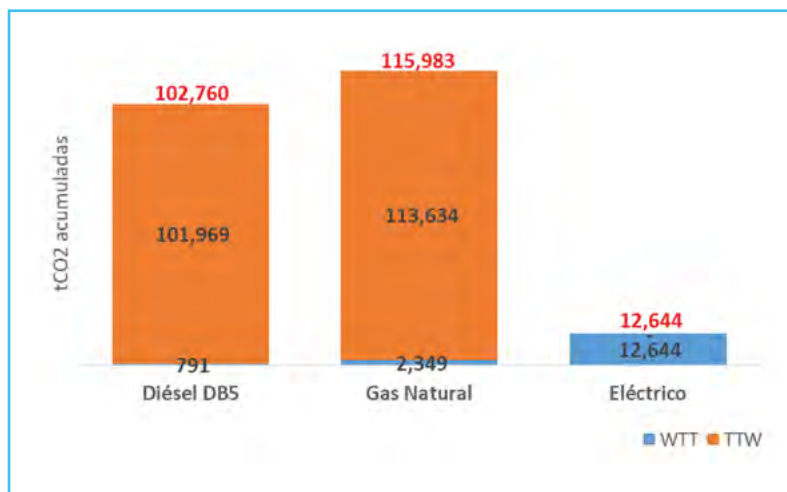


• Resultado del análisis de reducción de gases efecto invernadero

El análisis de emisiones de gases efecto invernadero demostró que una flota de 100 buses eléctricos reduce hasta 103,339 tCO₂e durante los 14 años de operación², es decir 87.7% menos emisiones que los buses diésel y 89.1% menos que los buses a gas natural, ver figura 2. Esta reducción es el resultado de evitar el consumo de aproximadamente 10.6 millones de galones de combustible diésel durante los 14 años de operación o 53.0 millones de metros cúbicos de combustible gas natural.

FIGURA 2

Emisiones acumuladas de CO₂e en 14 años por flota de 100 buses



² El análisis de emisiones se realiza mediante la metodología Well to Wheel WTW (de Pozo a Rueda en español) el cual considera las emisiones por la fabricación y transporte de combustible o Well to Tank (de Pozo a Tanque en español) y las emisiones causadas por el proceso de combustión del combustible o Tank to Wheel TTW (de Tanque a Rueda).

Aunque actualmente en Lima no se cuenta con un mecanismo de cuantificación de reducción de gases efecto invernadero que permita incentivar tecnologías sostenibles, se identificó la existencia de un fondo de chatarreo diseñado para estimular la actualización de la flota de buses. De esta manera se propuso emplear el mismo mecanismo para estimular el reemplazo a buses eléctricos, bajo la misma proporción que en los buses convencionales, es decir, que si el programa de chatarreo actual ofrece hasta USD 10,000 que corresponde al 15% del Impuesto General a las Ventas IGV de un buses diésel, esta misma proporción podría ser mantenida para un bus eléctrico cuyo Impuesto General a las Ventas IGV es de USD 200,000, de esta manera el bono aplicable sería de USD 30,000. Al dividir el bono de chatarreo en el total de emisiones evitadas con la tecnología eléctrica, se tendría un valor por tonelada de CO₂ e reducida de 29 USD/tCO₂e, lo cual se encuentra dentro de los parámetros observados en la literatura.

• **Resultado de la viabilidad económica y financiera**

Para el desarrollo de este aspecto se hace un análisis del impacto de los costos operativos y de capital de la tecnología eléctrica, en la remuneración de los concesionarios.

El análisis a la remuneración indicó que el sistema se encuentra en desequilibrio económico en aproximadamente 19.5%, es decir que los ingresos recibidos por la operación son 19.5% inferiores a los egresos del sistema. Debido a que el sistema de transporte en Lima es auto sostenible, es decir que no recibe compensaciones o subsidios por parte del estado, el desequilibrio ha sido transferido a los concesionarios. Aunque el contrato establece que en el caso que el equilibrio económico se quebrante, éste deberá ser reestablecido, la información histórica presentada por el operador no presenta cambios significativos que hayan mitigado el desbalance. Aun cuando esta situación se ha incrementado, también ofrece la oportunidad para poder realizar evaluaciones económicas y financieras considerando condiciones ácidas.

El resultado del análisis financiero demuestra que, bajo las consideraciones de remuneración actual, los indicadores financieros de los buses diésel y eléctrico sin considerar financiamiento o deuda, no son favorables desde el punto de vista del inversionista debido a que en los dos casos el VPN es menor a cero. Sin embargo el resultado también demuestra que sin necesidad de financiamiento el bus eléctrico presenta mejores resultados que el bus diésel.

FIGURA 3

Resultado del cálculo de los indicadores financieros SIN financiamiento

Resultado del Análisis sin Financiamiento			
Tecnología	Diésel	Gas	Eléctrico
Inversión Inicial Cap. Propio (S./)	437,893	566,966	1,229,889
TIR	5.27%	12.11 %	7.89%
VPN (S./)	- 85,925	56,740	- 155,585
Recuperación de Inv. (años)	-	11.82	-
Índice de Rentabilidad	-19.62%	10.01%	-12.65%

Al comparar los indicadores financieros entre las tres tecnologías, empleando condiciones de financiamiento actuales comerciales para los buses diésel y gas natural, tasa de interés 10%, plazo 6 años, 80% deuda y 6 años periodo de gracia, y realizando una simulación de escenarios para identificar las condiciones de financiamiento ideal para los buses eléctricos, se encontró que con financiamiento preferencial

- con 7% tasa de interés, 10 años de plazo, 90% porcentaje de deuda y 36 meses de periodo de gracia -, la tecnología eléctrica es competitiva con la tecnología a gas natural. También se pudo observar que la necesidad de inversión de capital propio para el bus eléctrico se aproxima al requerido para el bus diésel y a gas natural lo cual reduce la barrera del costo de capital.

FIGURA 4

Resultado del cálculo de los indicadores financieros con financiamiento preferencial

Resultado del Análisis con Financiamiento Preferencial			
Tecnología	Diésel	Gas	Eléctrico
Inversión Inicial Cap. Propio (S./)	116,679	139,938	147,251
TIR	4.56%	17.29 %	20.01 %
VPN (S./)	- 46,999	108,490	114,755
Recuperación de Inv. (años)	-	9.63	11.41
Índice de Rentabilidad	-40.28%	77.53%	77.93%

Adicionalmente, el resultado del análisis de sensibilidad multidimensional demuestra que, con las condiciones de financiamiento preferenciales, la probabilidad de que el proyecto del bus eléctrico entre en default es 0.1%.

• Análisis de los riesgos y mecanismos de mitigación

El análisis de riesgos presentó un total de 24 riesgos de los cuales 4 son aceptables, 8 controlables, 7 que deben ser transferidos y 5 que requieren especial atención debido a la probabilidad de ocurrencia y alto impacto. Los riesgos que requieren mayor atención se presentan a continuación:

Menor demanda de pasajeros: Los análisis indican que las condiciones de la demanda y el ingreso están en proceso de mejora; sin embargo la percepción del bajo ingreso limita la toma de decisiones por parte del concesionario y el

inversionista. Para esto se recomendó emplear el mecanismo de acreedores permitidos, el cual ofrece garantía sobre los ingresos futuros y genera prioridad en la cascada de pagos programada en la fiducia.

Fraude por medios de pago: Aunque el riesgo podría mejorar considerable con la entrada en operación del recaudo electrónico, el riesgo fue planteado por parte de los concesionarios con alta frecuencia. Al igual que lo discutido en el caso anterior, se indicó que el riesgo puede mitigarse a través de los mecanismos disponibles en los contratos de concesión.

Garantías y respaldo del fabricante, disponibilidad de reemplazo de la batería y menor disponibilidad de flota por daños: Se indicó que los tres riesgos tecnológicos pueden ser mitigados por parte del inversionista incluyendo seguros sobre las garantías del fabricante y subcontratando el servicio de mantenimiento

para así demandar que, en el caso que los buses presenten fallas que limiten su disponibilidad del servicio, el fabricante pueda ser penalizado.

• Modelos de negocio

De las entrevistas con los operadores y fabricantes se logró identificar una dirección clara sobre el modelo de negocio de preferencia, el cual separa la propiedad de la operación. Este es un modelo de negocio ofrecido por las empresas de energía que, en su afán de proporcionar estrategias que permitan la masificación de la tecnología eléctrica, presentan su interés mediante el financiamiento tipo leasing operativo a los operadores. Si bien la postura de las empresas de energía minimiza la barrera del costo de capital y facilita la transición tecnológica, las empresas de energía buscan hacer del mecanismo un motor de arranque, pero no constituirlo como un negocio, por lo cual no es un modelo sostenible.

Con el objetivo de identificar opciones sostenibles y de largo plazo, se proponen tres modelos de negocio para facilitar la inversión de buses

eléctricos en Lima, el modelo por financiamiento comercial, el modelo por leasing parcial, y el modelo por leasing total.

Cada uno de estos modelos fueron evaluados económica y financieramente y de la modelación se obtuvo que aunque en el leasing total la tasa de interés está gravada por el IGV³, los indicadores financieros son más favorables que en los otros modelos de negocio debido a que la totalidad del vehículo es repagada en un plazo igual a su vida útil, que para este caso fue 14 años.

Las condiciones de financiamiento empleadas para el resultado de la figura 5 fueron:

Bus diésel y gas natural: Tasa 10%, plazo 6 años, deuda 80% y periodo de gracia 6 meses⁴.

Eléctrico financiamiento y leasing parcial: Tasa 7%, plazo 10 años, deuda 90% y periodo de gracia 36 meses⁵.

Eléctrico leasing total: Tasa 7%, plazo 14 años, deuda 90 % y periodo de gracia 36 meses.

FIGURA 5

Resultado consolidado del análisis financiero de los modelos de negocio

Resultado consolidado de los modelos de negocio					
Tecnologías	Diésel	Gas	Eléctrico Fin.	Eléctrico Lease P.	Eléctrico Lease T.
Inversión Inicial Cap. Propio (S./)	116,679	139,938	147,251	109,034	47,063
TIR	4.56%	17.29%	20.01 %	22.81 %	26.50%
VPN (S./)	- 46,999	108,490	114,755	116,453 %	104,239
Recuperación de Inv. (años)	-	9.6	11.4	10.9	7.2
Índice de Rentabilidad	-40.3%	77.5%	77.9%	106.8%	221.5%

A continuación, se presentan los modelos de negocio y mecanismos de mayor relevancia propuestos para facilitar la inversión de buses eléctricos en Lima.

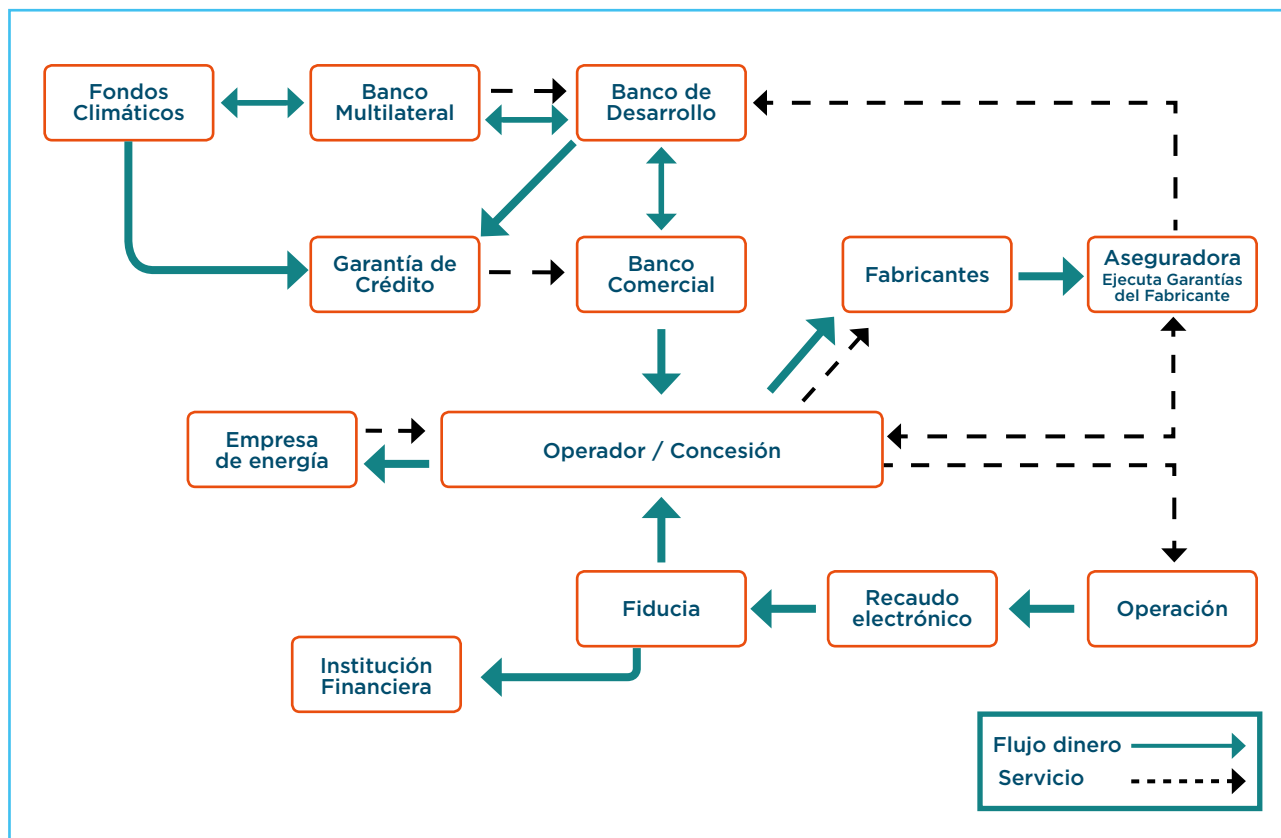
³Decreto legislativo No. 299 "Ley de arrendamiento financiero".

⁴Corresponde a las condiciones de financiamiento promedio con las que los concesionarios se han financiado.

⁵Corresponde a las condiciones de financiamiento en donde el resultado de la evaluación financiera del bus eléctrico es competitivo con el resultado del bus a gas.

FIGURA 6

Modelo de negocio por financiamiento comercial

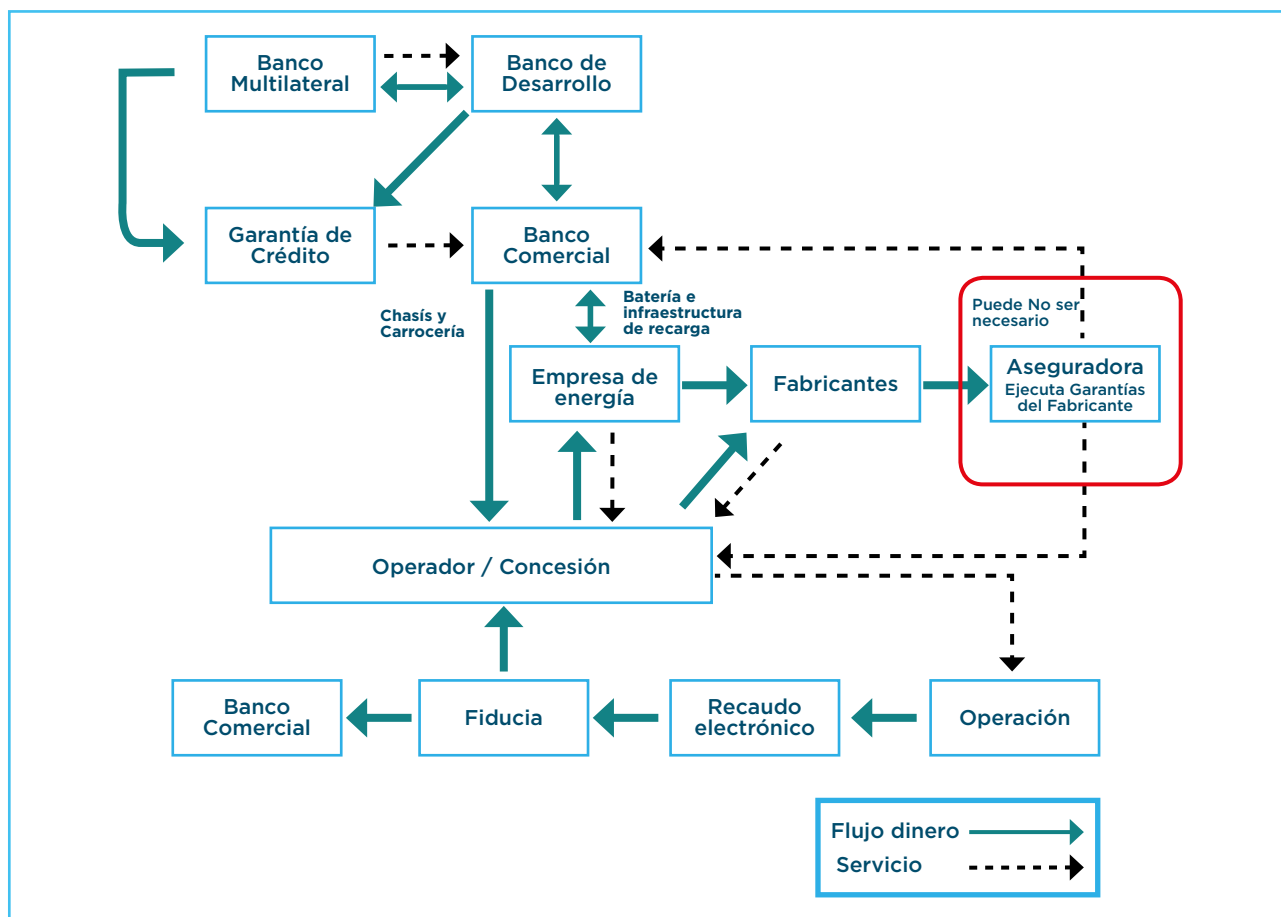


En el modelo de negocio por financiamiento comercial el bus y las baterías son adquiridas por medio de crédito prendario. Para garantizar condiciones favorables de financiamiento, el modelo de negocio considera el uso de fondos concesionales adquiridos por medio de fondos climáticos. Aunque en la figura el desembolso de los fondos concesionales es realizado por medio de la banca de desarrollo, la banca comercial o por el ejemplo el BID Invest podría ser receptora de los recursos y/o constituir

la garantía de crédito. Bajo este modelo de negocio es posible que el concesionario reciba las condiciones de crédito necesarias para hacer la tecnología eléctrica competitiva siempre y cuando la operación cuente con un seguro sobre las garantías del fabricante y la institución financiera pueda ser acreditada como acreedor permitido y pueda hacer uso del mecanismo de ingresos mínimos garantizados para mitigar el riesgo por demanda de pasajeros.

FIGURA 7

Modelo de negocio por leasing parcial



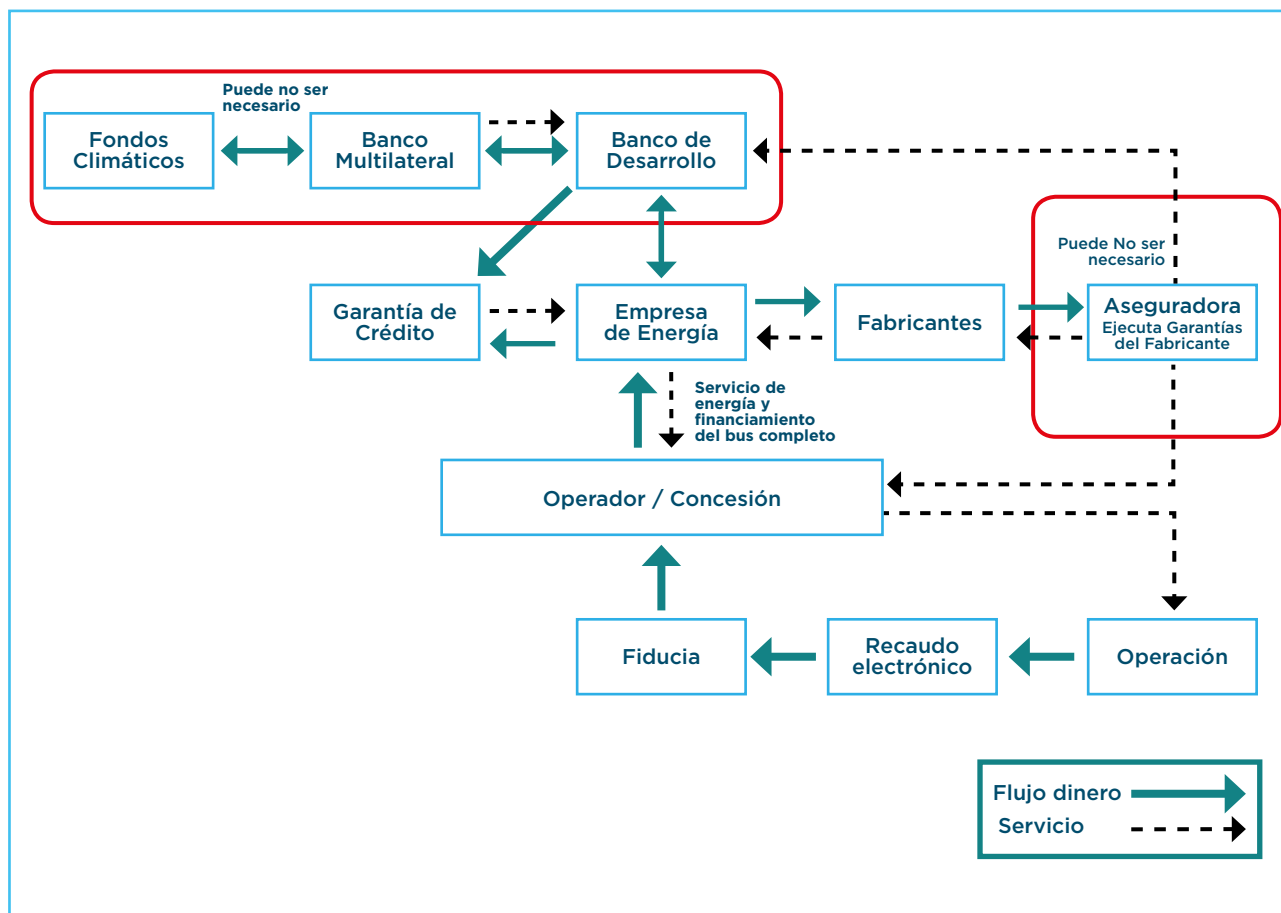
El modelo por leasing parcial se basa en la posibilidad de financiar el chasis y carrocería por medio de la banca comercial y la batería e infraestructura de recarga por medio de la empresa de energía. Debido a que el mayor riesgo de la tecnología son las baterías y el riesgo es transferido a la empresa de energía la necesidad del seguro sobre las garantías del fabricante puede no ser necesario o incluso tener un menor costo. Al igual que el modelo anterior la banca comercial puede ser receptora directa de los fondos concesionales y atender el cliente/concesionario directamente. En este modelo la banca comercial puede ser acreedor permitido y el repago de crédito se realiza directamente de la fiducia, mientras que la empresa de energía no puede registrarse bajo este régimen, sin embargo el repago del crédito de las baterías e

infraestructura de recarga es realizado a través de la factura de energía. Aunque este modelo causa escepticismo por parte de la banca comercial debido a que las baterías constituyen parte esencial en el funcionamiento del vehículo, se señaló que en el caso que el operador incumpla con las responsabilidades de la concesión y sea destituido, los buses pasan al servicio del siguiente operador el cual acoge los compromisos pendientes. Esto sucede debido a que según el contrato de concesión, al momento de adquirir los buses el operador debe certificar con el prestador del servicio de financiamiento que los vehículos son del uso exclusivo de la concesión y que al final del pago del financiamiento estos pasan a ser propiedad de la concesión, por lo cual ni las baterías ni el bus una vez vinculados al servicio pueden retirarse.

⁶Durante las entrevistas, la empresa de energía indicó que el riesgo tecnológico es un riesgo que pueden asumir..

FIGURA 8

Modelo de negocio por leasing total



El modelo por leasing total se basa en el concepto de separar la propiedad del vehículo de la operación. El caso específico encontrado en Lima sucede por medio de las empresas de energía que adquieren el vehículo y se hacen responsables por garantizar la disponibilidad del bus a cambio de un arrendamiento mensual. Igual que el caso del leasing parcial, debido a que la empresa de energía asume el riesgo tecnológico, no requiere del seguro sobre las garantías del fabricante. En este modelo es posible que la empresa de energía emplee fondos propios sin embargo al no poder ser constituida como un acreedor permitido se hace necesario estructurar una garantía de crédito la cual requerirá de certidumbre sobre la demanda de pasajeros la cual podría suceder en el momento que la Autoridad de Transporte Urbano ATU entre en operación y declare el servicio de trans-

porte como servicio público y se establezca una política de subsidios y/o compensaciones, para garantizar la sostenibilidad del servicio.

Como alternativa al modelo por leasing total se puede reemplazar la empresa de energía por un inversionista o entidad financiera. Al igual que en el caso anterior el inversionista adquiere la tecnología para financiarla al operador o concesionario mediante un arrendamiento de largo plazo. De esta manera el inversionista es responsable de garantizar la disponibilidad del bus. Para este caso es posible que la institución requiera del seguro sobre las garantías y que pueda acreditarse como acreedor permitido siempre y cuando cumpla con los requisitos establecidos en la cláusula 2.1. de la adenda número 2 al contrato de concesión por lo cual no sería necesario la garantía de crédito.

• Conclusiones y recomendaciones

Se identificó que debido al desbalance en el equilibrio económico del sistema transporte de los corredores complementarios el riesgo percibido sobre el sector ha incrementado. Las condiciones en la remuneración resultan inviables para los operadores quienes realizaron su cierre financiero bajo otra expectativa lo cual es un problema no solo para la implementación de la tecnología eléctrica sino también para la reposición de la flota convencional.

Se espera que a través de la nueva Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao se devuelva la confianza al sistema a través de la política de compensaciones y de subsidios que mitigue de manera total o porcentual el riesgo de demanda de pasajeros y se logre restablecer el equilibrio económico según lo establecido en los contratos de concesión.

A continuación, se presenta el resumen de requisitos y alternativas que en su conjunto conforman la política habilitadora que viabilizaría la tecnología eléctrica en Lima.

1. Establecer el modelo de remuneración preciso para la tecnología y ampliar el plazo de la concesión

Aunque el contrato de concesión indica sobre la posibilidad de emplear la metodología de cálculo para remunerar vehículos que empleen otros combustibles, la metodología de remuneración fue desarrollada para buses de combustible a diésel y de esta manera la actualización de la tarifa se realiza mediante ponderadores para la indexación de costos de operación que no corresponden a la tecnología eléctrica impactando a mediano plazo la viabilidad económica de la operación. Además el desarrollo de un mecanismo de remuneración preciso generaría suficiente certidumbre a los concesionarios/inversionistas de buses eléctricos sobre la dirección y los compromisos que adquiriría la municipalidad a través de la autoridad de transporte.

Por otra parte, los análisis desarrollados indicaron que para lograr cierre financiero bajo la remuneración actual, el bus eléctrico debe amortizarse en periodo de 14 años

lo cual genera inconsistencias con los contratos de concesión que son otorgados por un periodo de 10 años con posibilidad de extenderlos 5 años mas. Considerando que el servicio actual en los corredores lleva más de 2 años en etapa de operación, se requeriría que el MEF aprobara una extensión adicional en el caso que los concesionarios actuales efectuaran el programa de actualización de flota incorporando buses eléctricos o incluir en las nuevas licitaciones plazos suficientes para amortizar la tecnología.

2. Incentivar el uso de la tecnología limpia a través del fondo de chatarreo

Un mecanismo de incentivo tecnológico podría desarrollarse a través del fondo de chatarreo. Aunque en la actualidad el fondo de chatarreo está diseñado para reemplazar la flota antigua, el fondo podría reajustarse para que estimule tecnologías bajas en carbono por medio de un porcentaje correspondiente al pago del IGV. Según estimaciones del consultor, el fondo de chatarreo ofrece USD 10,000 que es lo correspondiente al 15% del IGV de un bus diésel. Al emplearse el mismo porcentaje para el bus eléctrico y considerando que el IGV es de USD 200,000 el bono correspondiente sería por USD 30,000.

Al incluir el bono de chatarreo por USD 30,000 en la evaluación económica del bus eléctrico se identificó que bajo las mismas condiciones de financiamiento para las tres tecnologías, tasa de interés 10%EA, plazo 6 años, y 80% de deuda, el bus eléctrico sería USD 35,448 más económico que el bus diésel y el gap del bus eléctrico con el bus a gas natural sería de USD 10,967, el cual podría ser mitigado en su totalidad ofreciendo financiamiento con tasa de 9.5% EA, plazo 10 años, 80% de deuda y periodo de gracia de 12 meses, lo cual es muy asequible.

3. Disponer de recursos concesionales de financiamiento para reducir tasas de interés

Debido a la ausencia de flotas de buses eléctricos en el país, los costos de inversión y de operación presentaron alta sensibilidad entre lo ofrecido por los fabricantes y sobre

la experiencia regional. De esta manera los análisis fueron realizados considerando un escenario conservador que requirió de tasas de interés preferenciales para poder hacer la tecnología eléctrica competitiva con la de gas natural y reducir significativamente el riesgo de default causado por la incertidumbre en el rendimiento del consumo de energía del bus, tarifas de energía, costo de mantenimiento e inversión.

Una vez se pueda integrar en Lima una flota significativa, esta incentivará a la autorregulación de costos y es posible que un financiamiento preferencial no sea necesario, sin embargo, según las condiciones actuales se requiere de fondos concesionales para hacer la tecnología eléctrica más atractiva que la que la tecnología que los concesionarios actualmente cuentan con experiencia.

4. Acreditarse como acreedor permitido para tener acceso a pago por flujos futuros

Los acreedores permitidos son instituciones de financiamiento acreditadas que otorgan financiamiento al concesionario y que tienen la posibilidad de constituir garantías sobre los ingresos o flujos futuros de la concesión, inclusive según el reglamento de las APPs comprometer al estado/municipalidad por ingresos mínimos garantizados. Esta es una herramienta disponible que puede ser empleada por entidades de financiamiento nacional e internacional que mitigaría el riesgo crediticio o de repago del crédito e igualmente reduciría las tasas de interés.

Sin embargo, constituirse como acreedor permitido sin garantía de ingresos mínimos no generaría certidumbre sobre los ingresos debido a que actualmente el riesgo de la demanda de pasajeros corre por cuenta del operador del servicio o concesionario. Esto sucede debido a que el servicio de transporte en Lima ha sido desarrollado bajo un esquema auto sostenible en el cual, si los ingresos del sistema son inferiores a los egresos, el ingreso del operador puede verse reducido, lo cual fue observado durante la consultoría. Para devolverle la certidumbre al mecanismo de acreedor permitido es importante que con la entrada de la ATU y la declaración el servicio de transporte como

servicio público, se establezca una política de subsidios y/o compensaciones, para garantizar la sostenibilidad del servicio.

5. Gestionar una garantía de crédito para mitigar el riesgo crediticio

Debido a que no todas las entidades tienen la opción de ser registrados como acreedores permitidos, es necesario gestionar una garantía de crédito. La garantía de crédito funciona como un seguro para la institución de financiamiento y se ejecuta en el momento que el tomador crédito incumple con los pagos. Sin embargo para poder generar una garantía de crédito es necesario restablecer y garantizar el equilibrio económico del sistema mediante una política que indique sobre el compromiso del estado/municipalidad para garantizar la sostenibilidad del servicio.

6. Gestionar un mecanismo para aseguramiento de garantías y reducir el riesgo tecnológico

Las instituciones financieras perciben incertidumbre sobre los fabricantes de buses eléctricos presentes en el Perú debido a su poca trayectoria y estabilidad en el mercado local. De esta manera y considerando que la industria peruana no cuenta con la experiencia en la reparación de partes especialmente aquellas que hacen parte del kit eléctrico del bus como el motor, el inversor, reductor y las baterías, se requiere no solo contar con las garantías del fabricante sino de garantizar que el fabricante va a estar disponible para que puedan ser ejecutadas.

Para esto existe el servicio de seguro contra garantías el cual es contratado con la empresa aseguradora para que por medio de un análisis tecnológico y financiero del fabricante, pueda ofrecer coberturas en el caso que el fabricante incumpla. Este es un producto con trayectoria en proyectos de energía sostenible y que la empresa Reaseguradora Munich Re tiene interés en ofrecer por medio de la aseguradora local. Aunque el servicio puede no ser necesario por algunos inversionistas como las empresas de energía que están preparadas para asumir el riesgo tecnológico, es de utilidad para las

instituciones financieras las cuales a medida que la participación de la tecnología eléctrica y las capacidades locales incrementen, el servicio puede no ser requerido.

7. Facilitar el uso de mecanismos de financiamiento como el leasing operativo

En las entrevistas con los operadores se indicó que el único mecanismo de financiamiento viable era el financiamiento comercial debido a que al momento de adquirir el vehículo, la propiedad debería ser transferida a la concesión, por lo cual un mecanismo de arrendamiento no era posible. Esta consulta fue elevada al MEF quien indicó que el arrendamiento financiero es un mecanismo al cual los concesionarios/inversionistas podrían acceder siempre y cuando el estado tenga el derecho a la caducidad. Considerando la respuesta del MEF y que el mecanismo de arrendamiento propuesto consi-

dera la transferencia de la propiedad al final del servicio es posible emplear el mecanismo para financiar flota eléctrica para el servicio de los corredores complementarios.

Esta alternativa de financiamiento basada en la separación de la propiedad de la operación, fue empleada en Chile para el caso de los 200 buses eléctricos implementados en Santiago y ha sido el mecanismo propuesto para la adquisición de flota eléctrica empleada en los pliegos de la licitación para la incorporación de una flota de 600 buses eléctricos en Bogotá, Colombia, la cual durante el desarrollo del presente informe se encuentra en adjudicación. De esta manera es importante que de existir alguna limitante en mecanismos alternativos de financiamiento estos puedan ser resueltos mediante garantías de control total de la flota en el caso que esta no sea de su propiedad.



1. INTRODUCCIÓN

El transporte urbano de pasajeros por medio de buses es el sistema predominante de transporte público en América Latina. En promedio este sistema transporta aproximadamente 1,300% más pasajeros en América Latina que en Europa, lo cual repercute en la economía y en la salud pública (Interact Analysis 2019).

En Lima y Callao el servicio es prestado por aproximadamente 39,000 vehículos los cuales transportan alrededor de un 74% de los habitantes que usan el transporte público o colectivo, para ir a trabajar o estudiar (Ugaz Montero 2018; Blumberg et al. 2019; Lima Cómo Vamos 2018). Debido al caos vehicular ocasionado por la proliferación de buses y el incremento de la tasa de motorización⁷, varios estudios entre ellos el del Banco de Desarrollo de América Latina-CAF (Gestión 2017) y el de la Universidad del Pacífico (Portal PQS 2017), calculan que, el 25% de los habitantes demoran más de dos ho-

ras en trasladarse entre su casa y el trabajo y en promedio los limeños pierden 60 horas al mes transportándose.

Sin embargo, la mayor consecuencia de la proliferación vehicular es el alto nivel de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero (GEI) causado por las flotas operadas mayoritariamente por medio de combustible diésel con estándar de emisiones inferior a EURO IV. Según el informe del Consejo Internacional de Transporte Limpio (Blumberg et al. 2019), en el Perú las muertes prematuras causadas por las emisiones provenientes del sector fueron de aproximadamente 500 personas en el 2015 representando una pérdida anual de 0.5 mil millones de dólares en daños a la salud equivalente a 0.25% del Ingreso Nacional Bruto.

Aunque las tecnologías de transporte por combustión interna han evolucionado y actualmen-

⁷Según el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA, indicador 996), el incremento promedio anual en la tasa de motorización en el Perú es de aproximadamente 6%.

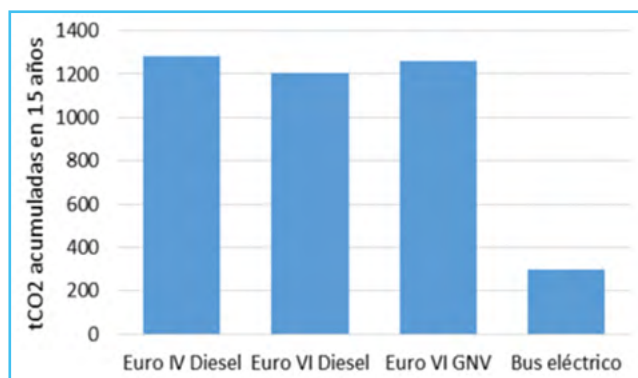
te los buses que cumplen con estándar de emisiones EURO VI alcanzan reducciones cercanas a 95% en óxidos nitrosos (NOx) y 87% en material particulado (PM), las emisiones de gases de GEI, representadas por el dióxido de carbono equivalente (CO₂e) y responsables del cambio climático, no han tenido reducción significativa como se observa en la figura 9.

El transporte eléctrico reduce el 100% los gases contaminantes y GEI provenientes de la combustión de combustibles fósiles en el motor. Si

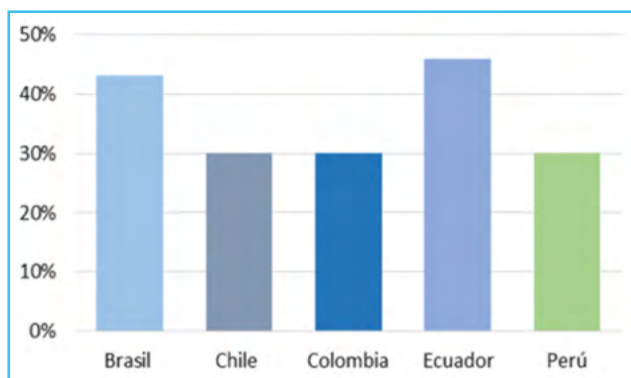
se consideran las emisiones generadas por la producción de electricidad, cabe mencionar que el Perú posee una matriz eléctrica relativamente limpia, con una participación del 60% con fuentes de generación hidráulica y Energía Renovable ER y un 40% de generación térmica donde predomina el uso del gas natural y el uso de tecnologías de alta eficiencia como el ciclo combinado. Se ha estimado que la reducción de GEI de un bus eléctrico es de aproximadamente un 76% en relación al bus diésel (Blumberg et al. 2019).

FIGURA 9

Toneladas de CO₂e acumuladas en 15 años para un bus de 12 metros.
(Blumberg et al. 2019)

**FIGURA 10**

Objetivo de reducción de emisiones al 2030, escenario BAU (UNFCCC 2019)



El impacto del cambio climático en el planeta causado por la alta emisión de GEI ha sido soportado y evidenciado especialmente por los análisis del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés). Actualmente 196 países incluidos los países de América Latina han fijado metas de reducción de emisiones de GEI en el contexto del acuerdo de París (UNFCCC 2019; IPCC 2014). Como se muestra en la figura 10, Perú cuenta con una meta de reducción de emisiones del 30% al año 2030, teniendo como año base el 2010 y bajo el escenario “BAU, Business as Usual” o sin introducción de cambios.

De esta manera el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) a través de la DGEE suscribieron en el 2015 las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA por su sigla en inglés) en los sectores de generación de energía y su uso final

en el Perú, surgiendo el proyecto de Transporte Eléctrico. Por medio de la promoción de la electrificación del transporte liviano y pesado y mediante un paquete de actividades como, desarrollo de programas de difusión nacional, cambios normativos, desarrollo de infraestructura y acceso a mecanismos financieros, la NAMA de Transporte Eléctrico se constituye como proyecto clave para la reducción de la contaminación ambiental y en la consecución de las metas trazadas de reducción de GEI.

Con el objetivo de promover la tecnología eléctrica, los Ministerios de Energía y Minas, de Ambiente y de Transporte y Comunicaciones y la Asociación Global de Electricidad Sostenible (GSEP por sus siglas en inglés) firmaron en diciembre de 2018 un convenio para incorporar un bus eléctrico al transporte público regular de Lima. GSEP, en colaboración con Hy-

dro-Quebec y ENEL entregará un bus eléctrico de 12 metros a la empresa de transporte Allin que opera en el corredor complementario Javier Prado para que durante 2 años provea información técnica y operacional.

Tomando como caso de estudio el proyecto piloto, la DGEE del MINEM solicitó asistencia técnica al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) con el objetivo de evaluar la viabilidad económica de los autobuses eléctricos, con relación al mecanismo de remuneración y de establecer modelos de negocio y mecanismos de financiación para la masificación de la tecnología en la ciudad de Lima, Perú.

El presente informe presenta los resultados de la asistencia técnica ofrecida por el BID haciendo especial énfasis en la operación y esquema de remuneración de los corredores complementarios para la tipología de bus patrón de 12 metros, haciendo comparaciones entre los costos de inversión y operación de los buses eléctricos, diésel y gas natural.





2. MARCO METODOLÓGICO

Como se explicó en el capítulo anterior, el transporte eléctrico juega un importante rol para la salud pública y en la consecución de las metas trazadas de reducción de gases efecto invernadero. Sin embargo, el alto costo de la tecnología, sus complejidades operacionales y falta de mecanismos de financiación adecuados son algunas de las barreras a mitigar para facilitar su masificación.

Por medio de un análisis del mercado local y de su viabilidad técnica y económica, la consultoría identifica las barreras que presenta la tecnología y propone estrategias de mitigación de riesgo,

las cuales permitirán el diseño de modelos de negocio y mecanismos de financiación que faciliten la adquisición de buses eléctricos en Lima.

Para alcanzar el objetivo del estudio, la consultoría realiza una combinación de técnicas basadas en información primaria y secundaria recopiladas por medio de entrevistas telefónicas y presenciales e investigación de escritorio. La figura a continuación presenta los objetivos específicos de la consultoría y los métodos de análisis considerados.

FIGURA 11

Marco metodológico



2.1 Recopilación de información

La consultoría realiza la recopilación de información por medio de fuentes secundarias y primarias.

Las fuentes secundarias de información son obtenidas por medio de investigación de escritorio en donde con estudios similares, los objetivos son evaluados para validar la información y los resultados obtenidos. En

el caso que la fuente primaria no estuviera disponible, el consultor se basará en su experiencia y en fuentes de información académica, práctica o informativa.

La figura a continuación presenta el listado de documentos relevantes empleados para la obtención de información secundaria.

FIGURA 12

Estudios relevantes considerados para la obtención de información secundaria

Fuente	Objetivo del estudio	Objetivo del análisis
Jiao y Evans 2016	Modelos de negocio	Analiza modelos de negocio para facilitar el reúso de baterías para segunda vida.
LowCvp2017	Modelos de negocio	Realiza un resumen de experiencias en transporte eléctrico en el Reino Unido.
Li et al. 2015	Modelos de negocio	Identifica las fortalezas y debilidades de los modelos de negocio implementados en Shenzhen.
ONU 2018	Modelos de negocio	Presenta un resumen de avances en América Latina en movilidad eléctrica.
C40 2016	Modelos de negocio y ambiente	La guía presenta un resumen de implementaciones y estrategias realizadas en ciudades para incentivar la tecnología eléctrica.
Bloomberg NEF 2018	Modelos de negocio, infraestructura y operación	Presenta una reseña del sector de buses eléctricos incluyendo modelos de negocio, costos y fabricantes disponibles.
Jing-Quan 2013	Infraestructura	Realiza un análisis de implementaciones en el mundo y propone métodos para mitigar riesgos de autonomía y tiempos de recarga.
Gao et al. 2017	Infraestructura	Evalúa consumos de energía y desempeño de baterías en diferentes infraestructuras de recarga.
Xylia et al. 2017	Infraestructura	Desarrolla un modelo para optimizar la distribución de puntos de recarga para buses urbanos.
Miles y Potter 2014	Infraestructura	Reporta la experiencia del proyecto piloto implementado en Milton Keys en Inglaterra que incluye sistema de recarga por inducción.
Mohamed et al. 2017	Operación	Identifica factores que limitan la implementación de buses eléctricos desde el punto de vista del operador de buses.
Perrotta et al. 2018	Operación	Analiza el desempeño de un bus eléctrico en tres diferentes rutas en Oporto resultando en un 31% de diferencia entre las rutas.
Teoh et al. 2018	Operación	Evalúa la factibilidad de introducir buses eléctricos en Putrajaya, Malasia.
Ally y Pryor 2016	Costos	Desarrolla un análisis de ciclo de vida entre tecnologías en Australia.
Lajunen 2018	Costos e infraestructura	Desarrolla un análisis de vida bajo diferentes infraestructuras de recarga en Finlandia y California.
Lajunen 2014	Costos y ambiente	Desarrolla un análisis costo beneficio bajo diferente infraestructuras de recarga.
Mckenzie y Durango 2012	Costos y ambiente	Desarrolla un análisis del costo del ciclo de vida y de gases efecto invernadero en diferentes tecnologías de transporte.
Lajunen y Lipman 2016	Costos y ambiente	Mediante casos de estudio en Finlandia y California desarrolla un análisis del ciclo de vida para identificar el costo total de la propiedad y emisiones.
Mahmoud et al. 2016	Costos, ambiente e infraestructura	Realiza un análisis de variables tecnológicas y operacionales en buses eléctricos e híbridos.
Ercan y Tatari 2015	Costos, ambiente e infraestructura	Desarrolla un análisis de ciclo de vida entre diferentes tecnologías incluyendo una modelación Monte Carlo.
Tong et al. 2017	Costos, ambiente e infraestructura	Estima el costo total de la propiedad de buses eléctricos e infraestructura y sus externalidades.
Song et al. 2018	Ambiente	Desarrolla un análisis comparativo de las emisiones de un bus diésel y un bus eléctrico durante el ciclo de vida.

Con relación a las fuentes primarias de información, el consultor realizó tres misiones a Lima entre octubre 2018 y abril de 2019 para entrevistar a responsables de las entidades relevantes del ecosistema en donde operarían los buses eléctricos. Adicional al proceso de recopilación

de información, las misiones fueron empleadas para validar los resultados de los análisis y para estimular el mercado local, por medio de mesas de trabajo y capacitaciones sobre la tecnología eléctrica. La figura 13 presenta el listado de las entidades consultadas.

FIGURA 13

Lista de las entidades entrevistadas

Operadores	Fabricantes	Financiadores	Institucionales	Empresas de energía	Cooperación
Allin Group	BYD	COFIDE	Ministerio de Transporte y C.	Engie	GIZ
Consorcio Santa Catalina	QEV tech	Scotia Bank	Ministerio de Energía y M.	Enel	Swiss Contac
Grupo Express	Yutong	Federación de Cajas M.	Ministerio de Economía y F.		
Nueva Alternativa	Sunwin	Qori Capital	Ministerio del Ambiente		
Contranscar		BID Invest	Protransporte		
Perú bus			Municipalidad de San Isidro		

2.2 Métodos empleados para el análisis de la información

Luego de la recolección de la información por medio del estudio del mercado, se realizaron los análisis del costo total de la propiedad, el cálculo para estimar la reducción de gases efecto invernadero, el análisis de la viabilidad económica y la estimación de los riesgos. Como resultado de los análisis se proponen los modelos de negocio y mecanismos de financiamiento para buses eléctricos. La metodología de cálculo y de estimación se describe a continuación.

2.2.1 Método TCO para la estimación del costo total de la propiedad

El costo total de la propiedad o en inglés Total Cost of Ownership (TCO) es un modelo de cálculo para la estimación del costo del ciclo de vida de una tecnología calculado en valor presente. Aunque el modelo es ampliamente empleado debido a su simplicidad, replicabilidad y utilidad para realizar comparaciones entre tecnologías que permiten tomar decisiones

según el costo que representaría en su vida útil, el método no contempla los ingresos o la remuneración obtenida durante el periodo analizado, por lo cual no determina la eficiencia y el retorno sobre la inversión (Gatti 2013).

El cálculo del TCO se divide en tres componentes: costo de capital (C_{CAP}), costos de operación (C_{OP}) y costo por reemplazos (C_{REP}).

Ecuación 1

$$T_{CO} = C_{CAP} + C_{OP} + C_{REP}$$

El costo de capital consiste en el costo del bus incluidas las baterías (C_{bus}), el costo del sistema de recarga incluido del cargador y de la instalación e infraestructura (C_{ha}) y el costo de salvamento al final de la vida útil (C_{sv}).

Ecuación 2

$$C_{CAP} = C_{bus} + C_{cha} - C_{sv}$$

Para el cálculo de los costos operativos se consideran, la distancia total recorrida (D_T), el costo del combustible (C_E), el costo de mantenimiento que incluye lubricantes y neumáticos (C_M), el costo del personal operativo incluido conductores (C_P) y otros gastos por

el recorrido muerto, gastos administrativos, seguros e impuestos (C_{Adm}). Hay que considerar que estos son costos anualizados en donde (d_{rate}) es la tasa de descuento y (j) es el año de donde la operación es descontada.

Ecuación 3

$$C_{OP} = \sum_{j=0}^n (D_T \times (C_E + C_M + C_P + C_{Adm})) \times (1 + d_{rate})^{-j}$$

Y el costo por reemplazo se refiere específicamente al costo del reemplazo de la batería en el caso donde se requiera, donde (C_{bat}) es el costo de la batería por unidad de energía y (E_{bat}) es la capacidad de

almacenamiento de la batería expresada en kilovatios hora. Debido a que el reemplazo o los reemplazos suceden en años posteriores, debe aplicarse la tasa de descuento en el año donde la batería es reemplazada.

Ecuación 4

$$C_{REP} = \sum_{j=0}^n (C_{bat} + E_{bat}) \times (1 + d_{rate})^{-j}$$

2.2.2 Método Well to Wheel para estimar las emisiones de GEI

El método Well to Wheel, WTW, (Pozo a Rueda en español) se emplea como método indicativo para estimar las emisiones causadas por el uso del combustible en un determinado recorrido y considera las emisiones tanto de la producción del combustible y transporte, Well to Tank, WTT, (Pozo a Tanque en español) como las emisiones por el proceso de combustión Tank to Wheel, TTW, (Tanque a Rueda en español). Debido a que los procesos de fabricación de los vehículos no se consideran dentro de los cálculos, esta metodología genera debates debido a que las emisiones causadas por la fabricación y disposición de las baterías no se estiman. Sin embargo debido a que las baterías de litio empleadas como fuente de potencia para los vehículos eléctricos son de alta eficiencia y larga duración, y que la industria de reciclaje de baterías presentan antecedentes de reciclaje hasta del 95% para baterías de plomo las cuales contienen materiales más tóxicos que el litio, se espera que el porcentaje de reciclaje supere el 99%.

Para el cálculo de las emisiones de gases efecto invernadero se emplea la metodología desarrollada para el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM por sus siglas en inglés) de la

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés). La metodología de referencia AMS-III.C (enfoque:1) y aplica para proyectos que introducen vehículos eléctricos y que desplazan el uso de combustibles fósiles para el transporte de pasajeros y de carga. De esta manera la reducción de emisiones (ER) se calcula como la diferencia entre la línea base o las emisiones causadas por la tecnología diésel o gas natural (BE) menos las emisiones del proyecto o causadas por la tecnología eléctrica (PE). Las emisiones de GEI representadas por el dióxido de carbono equivalente (CO_2e) incluyen las emisiones de CH_4 y N_2O y su respectivo potencial de calentamiento global (Greenhouse Gas Protocol 2016). Los factores de emisión de los combustibles corresponden a las emisiones WTT y TTW. Para el vehículo eléctrico solo se calculan las emisiones WTT debido a que las emisiones TTW son cero.

Ecuación 5

$$ER = BE - PE$$

La línea base de emisiones es calculada en base a la distancia recorrida y al factor de emisión del combustible por tipo de vehículo.

Ecuación 6

$$BE = \sum_j EF_{fbus} \times D_T \times N_b$$

Donde:

EF_{dbus}	=	Factor de emisión del bus de combustible (f) (g CO2e/km)
DT	=	Distancia anual recorrida j (km)
Nb	=	Número de buses a reemplazar

El factor de emisión del combustible puede calcularse como se indica a continuación:

Ecuación 7

$$EF_{fbus} = SFC \times NCV \times EF_{fuel}$$

Donde:

SF_{Cd}	=	Consumo de combustible (gal/km)
NVC	=	Poder calorífico del combustible (J/gal)
EF_{fuel}	=	Factor de emisión del combustible (g CO2e/l)

Para el cálculo de las emisiones causadas por el proyecto, se emplean las siguientes formulas:

Ecuación 8

$$PE = \sum_j EF_{e-bus} \times D_T \times N_b$$

Donde:

EF_{e-bus}	=	Factor de emisión del bus eléctrico (g CO2e/km)
DT	=	Distancia anual recorrida j (km)
N_b	=	Número de buses a reemplazar

Ecuación 9

$$EF_{e-bus} = (SEC_{e-bus} \times EF_{elec})$$

Donde:

SEC_{e-bus}	=	Specific electricity consumption by project vehicle category i per km in year y in urban conditions (kWh/km)
EF_{elect}	=	Factor de emisión de la red de suministro de energía (kg CO2e/kWh)

2.2.3 Método de flujo de caja y Montecarlo para análisis de la viabilidad económica y sensibilidad

Para el análisis de la viabilidad económica se emplea el método de flujo de caja en donde se mide el impacto de las variables consideradas en el TCO en la remuneración de los operadores de bus a través de indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Presente Neto del proyecto (VPN), el retorno de los recursos propios o equity (ROE) y el retorno de la inversión en años. Según Braley (2007) el método de flujo de caja se desarrolla mediante la siguiente estructura:

Ecuación 10

$$EBITDA = \text{ingresos} - \text{egresos operativos}$$

Ecuación 11

$$EBT = EBITDA - \text{Depreciación} - \text{Interés}$$

Ecuación 12

$$\text{Ingreso Neto} = EBT - \text{Impuesto de Renta}$$

Ecuación 13

$$\text{Flujo de caja} = \text{Ingreso Neto} - \text{Amortización} + \text{Depreciación}$$

Ecuación 14

$$VPN = \sum_{n=0}^N \frac{\text{Flujo de caja } n}{(1+d)^n} = 0; \text{ Donde } d = \text{tasa de descuento} = TIR (\text{Ecuación 14})$$

El margen EBITDA hace referencia a las ganancias antes de incurrir en intereses, depreciaciones, impuestos y amortizaciones y se calcula como la diferencia entre los ingresos y los egresos de la operación. Como resultado de las ecuaciones 10 a 13 se calcula el valor presente neto del proyecto el cual si el resultado es mayor a cero indica que el proyecto es viable desde el punto de vista del inversionista debido a que la tasa interna de retorno o rentabilidad del proyecto es mayor que la tasa de descuento.

Con el fin de identificar la robustez del proyecto se realiza el análisis de sensibilidad mediante el

método Montecarlo. El método se aplica a una serie de variables que presentan incertidumbre para identificar la probabilidad o frecuencia de distribución de los indicadores de salida considerados críticos (Gatti 2013). Aunque la literatura no es consistente en indicar el nivel mínimo de simulaciones para alcanzar un alto grado de exactitud, Lerche y Mudford (2005) recomiendan que 1500 simulaciones pueden alcanzar un 99% de exactitud. De esta manera el análisis considera 1500 simulaciones para el análisis.

FIGURA 14 Lógica del análisis Montecarlo



El método empleado para el desarrollo del Montecarlo, es de distribución Normal o curva campana, donde se define la media y una desviación estándar para describir la variación con respecto a la media.

2.2.4 Modelo PESTA y matriz probabilidad-impacto para estimación de riesgos y mecanismos de mitigación

El análisis PESTA o en inglés STEEP se refieren a los riesgos políticos, económicos, sociales, tecnológicos y ambientales que afectan el desempeño del proyecto (Gupta 2013). Los riesgos políticos incluyen cambios en el ambiente político, los cuales afectan las legislaciones y regulaciones que gobiernan un sector, en este caso el de transporte. El riesgo económico está compuesto por aquellos riesgos que afectan el

ciclo económico del proyecto como costos de la tecnología, tasas de cambio, mercado de capitales, etc. El riesgo social se refiere a cambios en los patrones demográficos, de comportamiento, o de gustos que conllevan a una reducción en el ingreso o aceptación de la tecnología. El riesgo tecnológico considera aquellos elementos de la tecnología que generan incertidumbre tanto para la operación como para el inversionista y el riesgo ambiental considera el efecto de la tecnología para el medio ambiente.

La figura 15, muestra la estructura empleada para la caracterización de los riesgos. La tabla se encuentra organizada según el tipo de riesgo para así clasificarlo, describirlo, asignarle responsable, realizar la estimación del riesgo según la probabilidad e impacto y mitigarlo según la estrategia de respuesta.

FIGURA 15

Estructura para la caracterización de los riesgos

Caracterización de riesgos para la operación de buses eléctricos							
Tipo de riesgo	Clasif.	Causa del riesgo	Descripción	Asignación	Probabilidad	Impacto	Mitigación
Político	1.1						
	1.2						
	Etc.						
Económico	2.1						
	2.2						
	Etc.						
Social	3.1						
	3.2						
	Etc.						
Tecnológico	4.1						
	4.2						
	Etc.						
Ambiental	5.1						
	5.2						
	Etc.						

Para garantizar efectividad en la estrategia de mitigación de riesgo y emplear los recursos necesarios, cada uno de los riesgos se ubican en la matriz de probabilidad-impacto, también conocida como mapa de calor, la cual categoriza los riesgos. Los riesgos que representan baja probabilidad e impacto son normalmente aceptados como parte de los costos del proyecto o el spread y no requieren una acción específica. Los riesgos ubicados en la región “reducir”, requieren de medidas de control, seguridad y

administración para realizar el adecuado seguimiento y manejo. En la región “transferir” los riesgos requieren de instrumentos de cobertura como seguros, garantías extendidas o subcontrato de manejo. Por último, los riesgos categorizados en evitar, indican que no existen mecanismos de cobertura o transferencia que pueda mitigarlo, por lo cual se convierte en un riesgo de muy alto costo y alto riesgo para el proyecto. La figura 16 presenta el modelo de la matriz o mapa de calor.

FIGURA 16

Matriz de probabilidad-impacto (BASE y POCH 2012; Pricewaterhouse Cooper 2008)

Probabilidad	ALTO	Transferir	Transferir o Evitar	Evitar
	MEDIO	Reducir	Transferir	Transferir o Evitar
	BAJO	Aceptar	Reducir	Transferir
		BAJO	MEDIO	ALTO
		Impacto		



3. ANÁLISIS DEL CONTEXTO Y DEL MERCADO PARA LOS BUSES ELÉCTRICOS EN LIMA

El gobierno nacional y regional, a través del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) han puesto en marcha diversos mecanismos con el fin de combatir la sobre oferta e informalidad del transporte urbano, heredado de la norma de libre acceso y de libre competencia en las tarifas implementada en 1991, el cual rigió durante casi 10 años.

De esta manera la Municipalidad ha venido reformando el sistema de transporte público y para el 2019 tiene previsto implementar un conjunto de estrategias de regulación, ampliación y renovación de flotas que abren espacio a la incorporación de tecnologías de mayor eficiencia y de baja emisión de gases de efecto invernadero.

Este capítulo ofrece una reseña de los avances de la tecnología eléctrica y de su operación al-

rededor del mundo y analiza el contexto local limeño para establecer las condiciones y el potencial del mercado para buses eléctricos.

3.1 Buses eléctricos para el transporte urbano

Según la Agencia Europea de Energía (EEA 2017), a nivel mundial, el transporte es el único sector de la economía que no ha tenido el decrecimiento gradual de emisiones de gases efecto invernadero que han presentado los otros sectores, y se estima que el 90% del crecimiento del sector en los siguientes 30 años serán provenientes de países emergentes y en desarrollo.

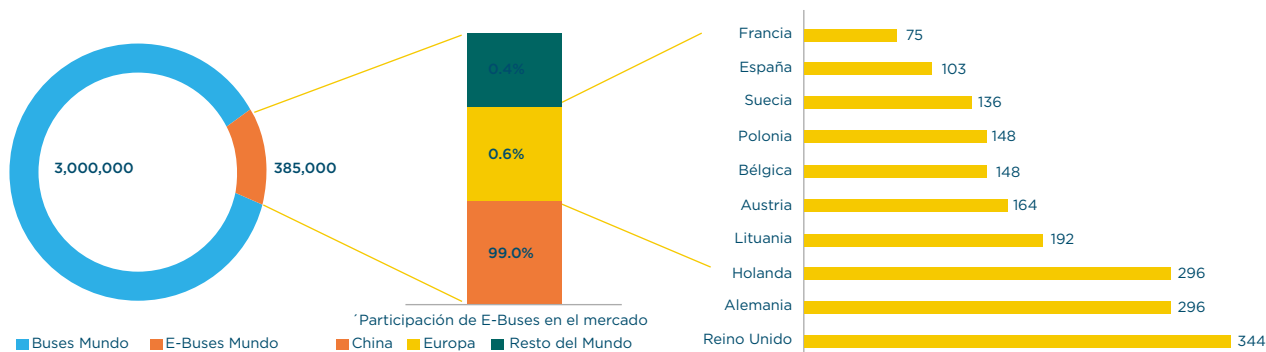
Es así como el transporte sostenible y en especial la tecnología eléctrica ha ganado impulso especialmente para ciudades metropolitanas

con alta densidad poblacional las cuales se encuentran bajo presión por mejorar la calidad del aire y reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), cuya acumulación es responsable del efecto invernadero y el incremento en la temperatura global (IPCC 2014).

Bloomberg New Energy Finance (2018) estimó que en 2017 había aproximadamente 3 millones de buses municipales en el mundo de los cuales el 12.8% eran de la categoría de eléctricos entre híbridos, plug-in o conectables y full eléctricos, ver figura 17.

FIGURA 17

Mercado mundial de buses eléctricos en el 2017
(Bloomberg New Energy Finance 2018, p.5)



Como se puede observar en la figura, China es el mayor usuario de buses eléctricos en el mundo con un 99% de participación. El éxito en la implementación de vehículos eléctricos se le atribuye a una combinación de estrategia de ventas, subsidios, modelo de negocio y los objetivos regionales de descontaminación. En el 2017 la flota de buses eléctricos e híbridos conectables representaron el 17% del total de la flota, de la cual el 85% es full eléctrica y el 15% híbrida conectable.

En Europa el total de buses eléctricos se estimó cercano a las 2,100 unidades, alcanzando una participación del 1.6% del mercado en el 2017. El Reino Unido tiene la mayor flota de buses eléctricos y conectables en Europa con un total de 344 unidades distribuidas entre 55% full eléctricas y 45% conectables. Según la Asociación de Vehículos Bajos en Carbono (Low Carbon Vehicle Partnership 2016), la participación de buses eléctricos en el mercado del Reino Unido es cercano al 1%.

En Estados Unidos el porcentaje de ventas de buses eléctricos incrementó en un 83% durante el 2017, pasando de 182 buses en enero de 2017 a 383 buses un año después. Aunque la parti-

cipación en el mercado es de 0.5%, la Organización Bus Sostenible (Sustainable Bus 2019) reporta que al menos un 9% de las compañías transportadoras municipales cuentan con buses eléctricos, entre operacionales y en pruebas.

Como consecuencia a la aceptación de la tecnología en los países en donde se ha implementado debido a los beneficios ambientales, además de la madurez tecnológica adquirida que ha permitido reducir los costos de capital especialmente en la fabricación de baterías, los países de América Latina han incrementado el interés por la tecnología.

Entre el 2018 y el 2019, dos países de la región, Chile y Colombia anunciaron sus planes para incorporar buses eléctricos a sus flotas. Chile ha recibido 200 buses eléctricos de fabricación China, (50% BYD y 50% Yutong) y se ha convertido en el país con la mayor cantidad de buses full eléctricos en el mundo, después de China. El nivel de éxito ha sido expresado por el director de METBUS, el señor Héctor Moya, quien en la octava Jornada de debate sobre movilidad eléctrica en América Latina, indicó sus planes para incorporar 188 buses eléctri-

cos más (ONU 2019). En Colombia, la ciudad de Medellín iniciará la operación de 64 buses eléctricos de marca BYD y en Cali entrarán 26 buses de la marca SUNWIN.

Así mismo otros países en la región se han sumado y han incorporado buses eléctricos con

el fin de obtener información de operación. La figura 18 muestra el total de buses incorporados y por incorporar en la región. En la figura se indica: el año de anuncio del proyecto y el año de entrada de este, en donde los marcados como “(O)” son los que se encuentran actualmente en operación.

FIGURA 18

Buses eléctricos en América Latina

Año de anuncio	País	Ciudad	Fabricante	Año de entrada	Cantidad
2017	Argentina	La Rioja	BYD	Por definir	50
2018	Chile	Santiago	BYD	(O) 2019	100
2018	Chile	Santiago	Yutong	(O) 2019	100
2018	Brasil	Sao Pablo	BYD	(O) 2019	15
2018	Ecuador	Guayaquil	BYD	(O) 2019	20
2018	Argentina	Buenos Aires	Yutong	2019	2
2018	Argentina	Buenos Aires	Zhongtong	2019	2
2018	Argentina	Buenos Aires	Higer Bus	2019	2
2018	Argentina	Buenos Aires	King Long	2019	2
2019	Perú	Lima	BYD	(O) 2019	1
2019	Panamá	Ciudad de Panamá	BYD	(O) 2019	2
2019	Colombia	Medellín	BYD	2019	64
2019	Colombia	Cali	Sunwin	2019	26
2019	Perú	Lima	QEV-Modasa	2019	1
2019	Perú	Lima	BYD	2019	1
2019	Chile	Santiago	BYD	2020	180
2019	Costa Rica	San José	Por definir	Por definir	3
Total					571

Cabe resaltar que la figura anterior no presenta los proyectos en donde los fabricantes han ofrecido los buses en modalidades de préstamo, los proyectos piloto implementados antes del 2017 ni el proyecto de Uruguay en donde el gobierno nacional ha solicitado un crédito al Fondo Verde del Clima (GCF por sus siglas en inglés) para financiar una flota de 120 buses.

Como se ha demostrado, la tecnología eléctrica ha ganado momento en los últimos años tanto a nivel mundial como a nivel regional. La incorporación de las nuevas flotas no solo permitirá obtener mayor información sobre su operación, también contribuirá para que la tecnología adquiera economía de escala y de esta manera continúe bajando el costo de adquisición.

3.1.1. Funcionamiento de los buses

Debido a que entre la literatura y los especialistas existe un debate con relación a los elementos que hacen una tecnología de transporte “elétrica”, este informe se enfoca en los buses eléctricos cuya única fuente de potencia es la batería recargable.

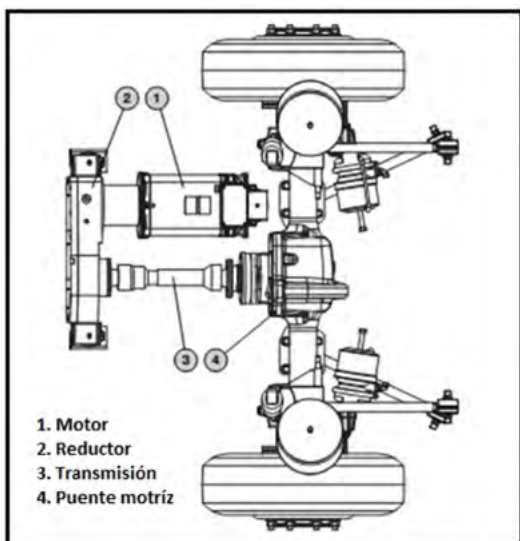
La fabricación de un bus urbano eléctrico tiene algunas diferencias con respecto al bus térmico convencional. El bus eléctrico tiene un mayor peso localizado debido a las baterías de tracción, por lo que la arquitectura del chasis y la carrocería son planificados para el correcto reparto de pesos sobre los ejes delantero y trasero. Si bien es cierto, que los componentes como

el motor térmico, como la caja de cambios, el tubo de escape y otros componentes, no están presentes en el bus eléctrico, el peso de las baterías actualmente fabricadas para el transporte, hacen que los buses eléctricos sean por lo general más pesados.

Para su funcionamiento, el bus eléctrico emplea un motor que se encarga de transmitir la energía al puente motriz mediante el eje de transmisión que se encuentra acoplado a un reductor diseñado para tal efecto, ver figura 19. El motor es alimentado por la batería de tracción la cual transfiere la energía demandada, por medio del inversor. A su vez el vehículo dispone del sistema CAN (Communication Area Network) para la correcta comunicación entre los sistemas tradicionales como pantalla del conductor, interruptores, luces de señalización, sistemas de frenado el cual es alimentado por la batería de servicio.

FIGURA 19

Sistema de tracción de un bus eléctrico (Rampini Carlo 2019)⁸



Adicionalmente los buses eléctricos están equipados con un sistema de freno regenerativo. Los frenos regenerativos se basan en el principio de que un motor eléctrico puede utilizarse como generador eléctrico. Al acelerar, el motor demanda energía de la batería y al desacelerar se genera el efecto contrario. En este caso el motor devuelve energía al inversor para que

éste la transforme y entregue en las condiciones que las baterías la requieren para el almacenamiento.

Aunque resulta complejo calcular con exactitud la energía “regenerada” que regresa a las baterías, algunos estudios sugieren que el frenado regenerativo puede incrementar el ciclo de conducción o la autonomía hasta un 15% (Von Srbik y Martinez-Botas 2012). También el sistema de frenado de regeneración reduce la necesidad de recambio de pastillas de frenos e incrementa la vida útil de los neumáticos debido a que se reduce la fricción aplicada entre la rueda y la superficie de la carretera.

El efecto de conducir un bus eléctrico es similar que operar un vehículo convencional un cambio por debajo del requerido, forzando de esta manera al motor a trabajar a mayor revolución y causar desaceleración del vehículo.

3.1.2. La batería y su vida útil

Aunque la armonización y las partes que controlan la operación del vehículo son de vital importancia para el desempeño del vehículo, son las baterías de tracción las que determinan en gran medida el peso del bus, la autonomía, su costo total y hasta su vida útil.

Las baterías de tracción están compuestas de celdas agrupadas en módulos de batería, vinculadas en serie o paralelo en función del voltaje y amperaje que se estime oportuno por parte del fabricante. Estas baterías son controladas por un BMS (Battery Management System) que monitorea constantemente todas las celdas tanto en el período de recarga como en el período de operación.

Aunque las baterías de tracción, dependiendo del fabricante, pueden ser de diferente composición química, las baterías que representan el mayor nivel de seguridad son las de Litio Hierro Fosfato (LFP). Estas baterías son las de mayor uso para el transporte eléctrico pesado debido tanto a la potencia específica como a su vida útil, ver figura 20.

⁸Información obtenida por el fabricante italiano Rampini Carlo en el 2019.

Actualmente los fabricantes de baterías de Litio Hierro Fosfato como BYD y CATL entre otros, ofrecen una densidad específica entre 140 a 180 Wh/kg. Esto indica que, para un bus con un recorrido diario de 180 km, la batería requerida incrementaría el peso del bus en aproximadamente 1.5 toneladas con respecto a un bus Diesel o a gas natural.

Otro aspecto para analizar en las baterías es su vida útil. Si bien los fabricantes indican que la batería alcanza una vida útil entre 3,000 ciclos y 4,000 ciclos de recarga, los cuales se alcanzarían entre 10 a 12 años, la garantía ofrecida es de 20% de degradación, es decir, que para un bus que se recargue solo una vez por día, la garantía se cumple en el año 8. Dicho en otras palabras, el fabricante espera que la capacidad de almacenamiento de la batería se reduzca en 20% en el año 8 y de igual manera la autonomía del vehículo. La figura 21 muestra el efecto de la degradación de la batería en el tiempo asumiendo un ciclo de descarga diario

FIGURA 20

Tipos de batería para el transporte eléctrico
(Buchmann 2019)

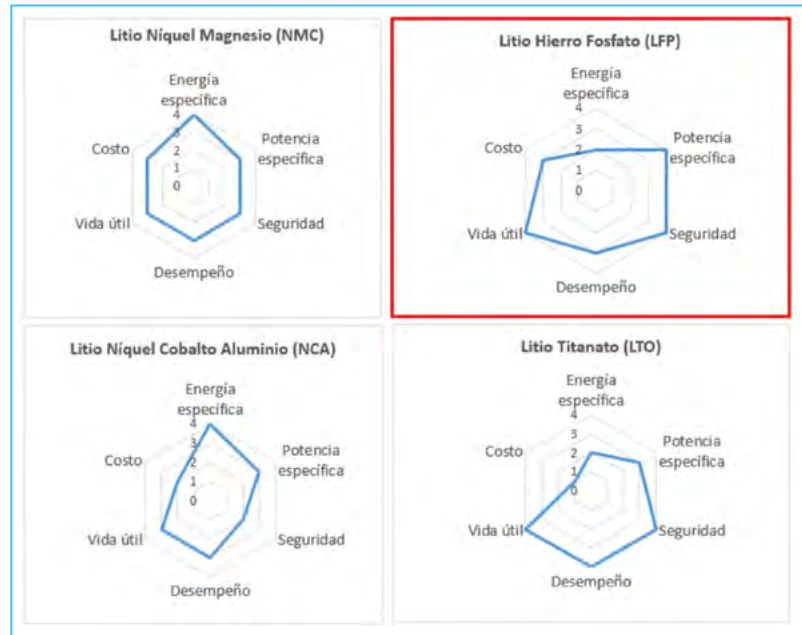
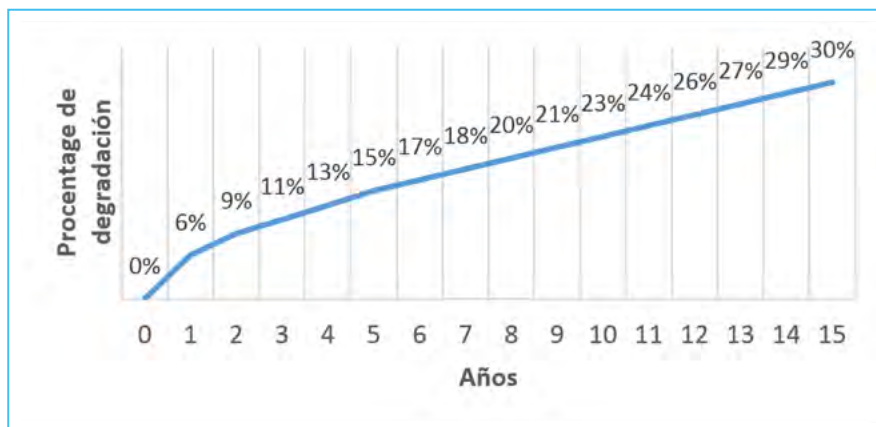


FIGURA 21

Degradación acumulada de la batería (ADL 2018)⁹



⁹Información obtenida por el consultor en entrevista con el fabricante de buses Alexander Dennis en el 2018.

Por último, y con el objetivo de preservar la integridad de la batería, los fabricantes recomiendan mantener un margen de seguridad entre el 10% y el 20%. El margen se emplea para evitar sobre recargas o descargas profundas. Debido a que por el efecto de la degradación, las baterías deben sobredimensionarse, el margen de seguridad recomendado es de 10%. De tal manera que si se requiere una batería con la capacidad de almacenar suficiente energía para realizar el mismo recorrido diario durante la garantía que ofrece el fabricante, la batería debería sobredimensionarse en un 30%.

La consecuencia del sobredimensionamiento de la batería es el costo que ésta representa sobre el valor final del bus. Según la experiencia del consultor evaluando implementaciones en América Latina y Europa, el costo de la batería representa entre el 45% y el 35% del valor total del bus, sin incluir cargadores. Inclusive se ha identificado variación hasta del 30% del valor de la batería por unidad de energía. Se estima que el valor de la batería se presenta, en algunos países, incluyendo el costo de la instalación. Adicionalmente cuando se solicita a los fabricantes informar sobre el precio de las baterías se menciona que el costo es de carácter indicativo, porque en la actualidad no se ofrecen los buses sin ellas.

La sensibilidad para ofrecer precios de baterías radica en su rápida evolución. Según la Agencia Internacional de Energía (2017), ver figura 22, el costo promedio de fabricación de baterías cayó de estar por encima de 900 USD/kWh en el 2010 a aproximadamente 300 USD/kWh para el 2014. A partir de esa fecha el precio de las baterías se ha venido reduciendo en aproximadamente 9% anual, para alcanzar un precio de 200 USD/kWh en el 2019. Aunque algunos fabricantes como Tesla y General Motors esperan que el precio de la batería alcance los 100USD/kWh entre el 2020 y el 2022, las estimaciones presentadas por Bloomberg sugieren que el precio de la batería ronde los 100 USD para el 2025 y 70 USD en el 2030 (Bloomberg New Energy Finance 2018).

Si bien la sensibilidad en el costo de las baterías ha generado incertidumbre en el valor real del bus, también la caída en su precio ha sido responsable de la cantidad de vehículos implementados. La siguiente figura muestra el efecto de la reducción del precio de la batería (línea naranja) en el número de vehículos eléctricos implementados (línea verde). Los puntos naranja, amarillo y marrón representan el costo de la batería según diferentes fabricantes.

FIGURA 22

Efecto de la reducción del costo de la batería en el Mercado de VE (Adaptación, IEA 2017)



3.1.3. Sistemas de recarga

Otro aspecto fundamental que incide tanto en la operación como en el costo del vehículo es el sistema de recarga. Actualmente existen tres tipos de sistemas de recarga, los conectables, los conductivos y los inductivos.

Tipos de sistemas de recarga

El sistema de recarga conectable o en inglés plug-in es el más empleado debido a su sencillez y bajo costo. El sistema, también conocido como sistema de recarga nocturno, en inglés overnight debido a que es empleado para cargar el vehículo en horas de la noche, se instala

comúnmente en los patios en donde se alojan los buses con el objetivo de recargar completamente la batería para que puedan ser operados durante el día. El tiempo de recarga de la batería varía según la potencia del cargador. En el mercado se ofrecen cargadores con potencias que varían entre 50kW a 300kW los cuales pueden cargar el 100% de la batería en un rango entre 6 a 1 horas. Sin embargo, los cargadores más empleados son de potencia entre 80 a 120 kW debido a que la ventana de recarga¹⁰ lo permite y a que las baterías sufren menor daño al recargar con menor potencia. La figura 23 muestra unas imágenes de un sistema de recarga nocturno empleado en un garaje en Londres.

FIGURA 23

Sistema de recarga de oportunidad, patio Waterloo, Londres (Chew y Llewellyn 2016)



¹⁰La ventana de recarga es el tiempo que el operador del bus dispone durante la noche para el alistamiento, desde la hora de llegada en la noche hasta la hora de salida en la mañana.

El sistema de recarga conductivo (por contacto), se emplea con el fin de reducir el tamaño de la batería para así maximizar la carga de pasajeros y reducir el costo del bus. La tecnología empleada para realizar estas recargas son los pantógrafos. Por medio de recargas cortas durante el trayecto, este cargador de oportunidad le permite al autobús ampliar su rango o autonomía. Estas cargas se realizan normalmente al principio o al final de la línea para no entorpecer el funcionamiento y se realizan por medio de cargas de alta potencia, entre 300 kW y 500 kW, que en corto tiempo, entre 3 a 6 minutos, entregan suficiente energía para que el bus realice una o dos vueltas de recorrido. Debido a que la carga ultra-rápida desestabiliza las celdas de la batería haciéndolas perder capacidad rápidamente, las operaciones que cuentan con sistemas de oportunidad cuentan también con sistemas de recarga nocturno con el fin de balancear las celdas por medio de recargas lentas. Aunque el costo de capital de la tecnología es alto, entre 4 a 5 veces más que el cargador nocturno, este cargador permite cargar hasta 20 vehículos por cada estructura,

adicionalmente requiere regulación detallada debido que se ubican en espacios públicos y en algunos países han generado controversia entre el público debido a mitos como estimulación de producción de células cancerígenas, consecuencia del campo electromagnético que produce el cargador.

Por último, existe una alternativa aún poco extendida que es la carga inductiva (sin contacto). Este tipo de carga tiene unos estándares de carga ya definidos, pero en los que el mercado aun no confía. Las pérdidas de energía no son despreciables y los protocolos de comunicación, no están claros. La tecnología se ofrece actualmente para aplicaciones estacionarias, en donde el bus se detiene para que el sistema de carga, sin necesidad de ningún tipo de conexión, recargue la batería y para aplicaciones dinámicas, la cual continúa en desarrollo y se realiza mientras el bus se encuentra en movimiento. La figura 24 presenta una imagen, a la izquierda, del sistema de recarga conductivo por pantógrafo y a la derecha el sistema de recarga inductivo.

FIGURA 24

Sistemas de recarga conductivo e inductivo¹¹



¹¹Stadtwerke Munster 2015; Begwani and Ustun 2017

Si bien los países en Europa y en China se encuentran migrando sus tecnologías de recarga a sistemas de oportunidad (carga por sistema de pantógrafo¹²), el consultor no cuenta con registro de alguna operación que haya realizado implementaciones de buses eléctricos, sin pasar por sistemas de recarga nocturno. Para llegar a etapas de implementación de sistemas de recarga de oportunidad, se requiere de experiencia tecnológica y alta presencia de buses en operación para que el alto costo de la infraestructura pueda ser amortizado y para que el país emita las normas y reglamentos necesarios que permiten la existencia y estandarización de sistemas de recarga de pantógrafo en espacios públicos.

Marco normativo y de estandarización de puntos de recarga

Una de las principales dificultades que tiene la tecnología es la diversidad en los protocolos de conexión. De la misma manera que los tomacorriente requirieron de un marco normativo para su estandarización, el sistema de recarga de vehículos eléctricos también requiere de estandarización para que tanto las tomas como los conectores empaten. Aunque la estandarización de los protocolos de recarga afecta de mayor manera a los vehículos livianos debido a que dependen de electrolineras públicas para su recarga, los dueños y autoridades del servicio de transporte masivo como los autobuses, deben tener claros los protocolos a implementar especialmente si se tratan de sistemas de recarga que podrían ser empleados por diferentes concesionarios, o transferidos.

Aunque el alcance de la consultoría no considera realizar una evaluación del marco normativo de los sistemas de recarga, es importante señalar la conveniencia de incluir en las licitaciones no solo las especificaciones de los vehículos, sino también la estructura de recarga para facilitar la estandarización. Desde el punto de vista normativo a continuación se resumen los principales estándares:

En la actualidad existen tres tipos de estándares de recarga: el GB/T empleado por los fabricantes chinos, el CHAdeMO empleado por los japoneses y el CCS, también llamado Combo, empleado en Europa y Estados Unidos.

La norma IEC 61851, define los estándares de comunicación para el vehículo eléctrico tanto para la carga en Alternating Current AC como en la carga en Direct Current DC. A partir de esta norma se definen las otras más específicas como la IEC 61851-1, que define los tipos de carga, la IEC 61851-22, que es específica para la carga en AC y la IEC 61851-23 y 24, que define de manera específica las opciones de recarga DC.

Para vehículos pesados, la normativa empleada en la China es la GB/T 20244 para carga DC, en Japón se emplea la CHAdeMO, en Estados Unidos se emplea la Combo en su versión 1 “CCS1” cuya norma es la DIN70121 bajo estándar ISO15118 y en Europa se emplea la CC2 la cual incluye carga inteligente en AC.

3.1.4 Principales barreras y mecanismos empleados para la masificación

A lo largo del numeral 3.1 se presenta un resumen sobre la evolución del mercado de buses eléctricos y sobre la presencia de nuevos elementos necesarios para la operación de los mismos. Debido a la novedad, cada uno de estos elementos podría ser considerado como barrera o incertidumbre tecnológica. Sin embargo, en la región se han implementado una serie de mecanismos económicos y no económicos que han permitido su implementación. A continuación, se presentan las principales barreras que detienen la masificación de la tecnología y los mecanismos implementados para promover el transporte eléctrico.

Alto costo de capital

El principal beneficio de la tecnología eléctrica es su bajo costo de operación. Según la literatu-

¹¹Stadtwerke Munster 2015; Begwani and Ustun 2017

¹²La recarga con sistemas de oportunidad (ultrarrápida por pantógrafo) se lleva a cabo al final de la línea o en paradas estratégicas para aprovechar el tiempo de parada y no interferir en los horarios del recorrido; el pantógrafo, una especie de brazo mecánico retráctil ubicado en el techo del autobús, que se despliega y se acopla al cargador para iniciar la carga.

ra y la experiencia del consultor, el ahorro promedio en el costo del combustible es de 65%, $\pm 15\%$ dependiendo del costo de los energéticos. Entre los ahorros en el combustible y en el mantenimiento¹³ es posible repagar el servicio de la deuda y el capital invertido. Sin embargo, el alto costo de la tecnología, entre 2 a 3 veces mayor que el diésel, ha sido una de las principales barreras para su masificación.

En algunos países de Europa y en Estados Unidos, esta barrera se ha mitigado por medio de subsidios directos. En el caso del Reino Unido, específicamente en Inglaterra, el gobierno nacional dispone del fondo de Buses de ultra-baja emisión (ULEB por sus siglas en inglés), al cual los operadores de buses y las municipalidades pueden aplicar para así obtener hasta el 75% de la diferencia entre el costo de un bus diésel y el eléctrico. Aunque el mecanismo ha ayudado en el proceso de transición, su escalabilidad se pone a prueba debido al uso de recursos públicos agotables y a que no incentiva a que los fabricantes y la industria ofrezcan productos competitivos. Según análisis propios, se estima que el costo de inversión de la tecnología eléctrica en el Reino Unido es aproximadamente 20% más elevando que el promedio observado en otros países europeos. Adicionalmente se ha identificado que la presencia de mecanismos de subsidios directos hace que la tecnología sea dependiente de estos, en donde su ausencia limitaría la toma de decisiones.

Para combatir la barrera, países como China generan presión a los fabricantes para ofrecer productos competitivos y establecen metas de reducción de costos. Adicionalmente han implementado modelos de negocio en donde el estado adquiere los buses para ofrecerlos a los operadores por medio de mecanismos de financiamiento como el leasing, el cual según los fabricantes entrevistados ha sido la estrategia principal y responsable para acelerar la transición a la tecnología eléctrica.

Debido al éxito del mecanismo de financiamiento, los fabricantes han promovido su uso dentro del ámbito privado. En Chile por ejemplo, la implementación de la flota de los 200 buses eléctricos se realizó mediante un meca-

nismo similar, 100 buses fueron adquiridos por la empresa de energía ENEL y los otros 100 por la empresa ENGIE. Aun cuando el modelo de financiamiento presentado recoge características del leasing operativo, debido a que actualmente los buses eléctricos no cuentan con un mercado de usados establecido, el valor total del vehículo se amortiza durante el periodo financiado y al final del repago, la propiedad es transferida al operador del bus quien es el tomador del financiamiento.

Existe otro modelo de financiamiento en etapa de experimentación que tiene la capacidad de mitigar la barrera del alto costo debido a que reduce hasta en un 50% el costo de capital. En este mecanismo la empresa de energía adquiere la infraestructura de recarga y la batería y el operador adquiere el chasis y la carrocería. El financiamiento ofrecido por la empresa de energía tiene las mismas características que el modelo de leasing operativo descrito anteriormente y el financiamiento del chasis y la carrocería lo realiza el operador del bus mediante recursos propios y/o financiamiento comercial. En este modelo de leasing parcial, el operador y la empresa de energía realizan contratos de energía a largo plazo y el repago del financiamiento se realiza por medio de las facturas mensuales. Aunque este mecanismo ha sido implementado con éxito en otros proyectos de energía sostenible, su aplicación en el sector de transporte se encuentra en desarrollo y los ejemplos disponibles son relacionados únicamente con el arriendo de la batería.

En una entrevista con el fabricante de buses británico Alexander Dennis (ADL) indicaban que tenían alianza con una empresa de energía especializada en energía solar que les interesaba adquirir la propiedad de las baterías para ofrecerlas en un modelo de arrendamiento. La finalidad del modelo consistía por un lado reducir la inversión inicial del bus y por el otro lado mantener la propiedad de la batería para darle una segunda vida útil. En este mecanismo no se incluía la infraestructura.

Más relacionado con el modelo de negocio anteriormente descrito como leasing parcial, se identificó que la organización Clean Ener-

¹³El ahorro en el costo de mantenimiento varía con respecto al estándar de emisiones de la tecnología diésel.

gy Works ha desarrollado la herramienta PAYS “Paga mientras ahorras” la cual ha sido destacada por el Global Innovation Lab for Climate Finance, en español Laboratorio de Innovación en Financiamiento Climático (The Lab 2018). La herramienta, que funciona bajo el mismo principio del leasing parcial se encuentra en etapa de desarrollo y análisis y según la Dra. Holmes Hummel directora de Clean Energy Works actualmente se encuentran trabajando en algunos casos potenciales en North Carolina, California y Hawái.

Incertidumbres operacionales

Debido a que los buses eléctricos carecen de implementaciones, la tecnología se percibe bajo una serie de incertidumbres que limitan la toma de decisiones. Entre otras se podría decir que las mayores barreras tecnológicas, se relacionan con la batería, el rango de operación y el mantenimiento. Con relación al rango de operación, algunos operadores han optado por instalar sistemas de recarga en las cabeceras de las rutas y en otros casos emplear horas no pico para llevar los buses a los patios para recargar durante 15 a 30 minutos. Debido a su bajo costo operacional, el sobre costo por los kilómetros en vacío es mínimo. Con relación a la batería, algunos fabricantes ofrecen garantías extendidas y solicitan la instalación del sistema de gestión de flotas que les permite monitorear su correcto uso. Este mecanismo es incluso apoyado con la posibilidad de que el fabricante pueda desarrollar el mantenimiento del bus. En el caso de Chile, los buses que se encuentran bajo la operación de la empresa Metbus tienen contratos de mantenimiento con el fabricante por 10 años que incluye una cláusula de disponibilidad de los buses. En el caso que la disponibilidad se incumpla, el fabricante tiene repercusiones monetarias como, por ejemplo, el pago de la cuota de arrendamiento del vehículo al financiador, en este caso particular, la empresa de energía ENEL.

Trayectoria de los fabricantes

Aunque en la actualidad se evidencia un mayor número de fabricantes provenientes espe-

cialmente de China ofreciendo vehículos tanto diésel como gas natural, los operadores tienen la opción de escoger fabricantes de trayectoria en el mercado como lo son Mercedes Benz, Volvo, Volkswagen, entre otros. Y es que para los operadores la adquisición de vehículos está completamente relacionado con el servicio post venta y su capacidad de poder asumir responsabilidades como garantías en el largo plazo. En Sudamérica el mercado de buses eléctricos se encuentra totalmente dominado por la industria China y pueden encontrarse marcas con poco registro de operaciones. Aunque la mayor experiencia en buses eléctricos proviene de allá y los fabricantes con experiencia limitada pueden ofrecer alternativas atractivas, los operadores observan con cautela su proveniencia debido a experiencias previas. Para proteger al consumidor, en Inglaterra, por ejemplo, se creó el grupo de trabajo para vehículos de baja emisión que se encarga de verificar y validar la entrada de nuevos fabricantes al mercado (Low Carbon Vehicle Partnership, 2016). En el caso de la energía sostenible se conocen operaciones de validación similares realizadas por empresas aseguradoras como por ejemplo Munich Re, quien ofrece coberturas en el caso que los fabricantes incumplan con las obligaciones de garantías, incrementando de esta manera la credibilidad tecnológica.

Incertidumbres sobre tarifas de energía eléctrica

En países latinoamericanos en donde una gran proporción de la generación la energía proviene de fuentes hídricas los fenómenos naturales impactan el precio de la energía, por lo cual realizar estimaciones y proyecciones para la planeación de proyectos suele ser riesgoso. Para mitigar esta barrera existen mecanismos como los contratos de energía a largo plazo (entre 7 a 12 años) en los cuales la tarifa de energía es pactada y ajustada anualmente por medio del índice de precios al consumidor IPC¹⁴. También existen las coberturas para fluctuaciones de energía como el implementado por la Bolsa Mexicana de Valores para grandes consumidores de energía (Rodríguez 2019).

¹⁴ Este es el caso de Colombia en donde la empresa generadora de energía ha indicado la disponibilidad de estos contratos a largo plazo con clientes libres o no regulados.

Con relación a tarifas preferenciales de energía, se conoce que algunos países de la región han estado estudiando la posibilidad de emitir tarifas preferenciales para el transporte. Sin embargo, en lo que respecta a aplicaciones actuales, las tarifas preferenciales han sido negociadas directamente entre operador de la flota de buses y la empresa de energía. En el caso de Chile se negoció una reducción del 40% de la tarifa de energía decretada y para el caso de Colombia como los usuarios deben demostrar por un periodo de seis meses que la demanda de energía les habilita como consumidores libres o no regulados, el sobre costo de la energía durante el periodo de transición es redistribuido durante el contrato, normalmente de largo plazo, para así reducir el impacto.

Política habilitadora

Cuando se discute de política habilitadora normalmente se tratan temas como beneficios tributarios y apoyos económicos del gobierno para facilitar la introducción de nuevas tecnologías. Si bien las políticas de apoyo económico como de reducción de aranceles y de impuestos de valor agregado (IVA) y los subsidios estimulan el mercado, no son factores que limitan la toma de decisiones para la transición tecnológica. La tabla a continuación muestra los principales instrumentos empleados para estimular el mercado de vehículos eléctricos en América Latina.

FIGURA 25

Instrumentos considerados para estimular el mercado de vehículos eléctricos (Adaptado, ONU 2018)

Instrumento	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Ecuador	México	Perú
Impuesto de importación	✓	✓		✓	✓		✓	✓
Impuesto de valor agregado				✓	✓	✓		
Impuesto de propiedad					✓		✓	
Tarifas de energía diferenciadas						✓		
Regulación de Sistemas de recarga			✓					
Ley o estrategia nacional de movilidad eléctrica	✓	✓	✓	✓		✓		✓
Buses eléctricos en rutas comerciales		✓	✓	✓				

Volviendo al caso de Santiago, los buses implementados no recibieron ningún tipo de beneficio económico ni afectaciones a la tarifa al usuario. En su lugar, el elemento que habilitó la transacción fue la garantía que tienen los operadores sobre el ingreso y que pudo ser transferida a los inversionistas. En Santiago, el ingreso del sistema de transporte se compone de aproximadamente 55% de la tarifa que pagan los usuarios y el 45% restante se deriva de recursos de subsidio provenientes de la Ley 20.378. La presencia de los subsidios o compensación a la tarifa actúa como un ingreso mínimo garantizado el cual el estado ha ofrecido como garantía a los inversionistas de los buses eléctricos, ENEL y ENGIE, y el cual es empleado para repagar el “leasing” entre el operador y el inversionista. Adicionalmente, la fórmula

de remuneración o de pago a los operadores permite separar parcialmente el Opex del Capex del negocio, donde la inversión en material rodante queda exenta de riesgo operacional y puede ceder a un tercero los derechos sobre esta cuota, caso en el cual el sistema pagará directamente a ese tercero.

En Colombia, la presencia de incentivos tributarios como lo son la exención de aranceles y del IVA están presentes como un elemento de compensación temporal, justificados para el sector de transporte urbano por la presencia de buses diésel con menores costos totales de la propiedad TCO, debido al estándar de emisiones requeridos EURO IV y EURO V. Sin embargo, el mecanismo que permitió la implementación de los 26 buses eléctricos en Cali

fueron los ajustes en la fiducia de recaudo que remunera al operador por el servicio¹⁵.

De tal manera una política habilitadora es aquella que identifica las barreras de la tecnología o servicio a promover, y ofrece mecanismos que facilitan la transacción entre las partes interesadas, en el caso del servicio de transporte: el concesionario, la concesión y el proveedor de financiamiento.

Para concluir, existe una serie de factores que limitan la introducción de buses eléctricos en los mercados regionales. Sin embargo, la introducción de mecanismos económicos y no económicos en la región ha logrado mitigar las barreras. Esto presenta una oportunidad

de diálogo con los diferentes actores regionales para estimular ideas sobre mecanismos que promuevan el transporte limpio.

3.2. Análisis del mercado local

El éxito en la implementación de programas de promoción tecnológica radica en el alineamiento entre las instituciones que conforman el mercado local y su ecosistema. En este apartado se analiza el ecosistema que se encuentra en formación para atender, demandar, controlar y crear ventajas competitivas para la tecnología eléctrica.

FIGURA 26

Ecosistema de la cadena de suministro de buses eléctricos (Modificado de Viswanadham y Kameshwaran 2013)



3.2.1. Oferta local de buses eléctricos

Según la comunicación de la empresa de Transmilenio S.A.¹⁶ del 10 de junio de 2019 en donde se anuncia la incorporación de una flota de 600 buses eléctricos para Bogotá durante el 2020, se indica que en el mundo existen aproxima-

damente 57 fabricantes de buses eléctricos (Transmilenio S.A. 2019). Dentro del listado se destacan por su representación en el mercado los de fabricación americana y europea como, Volvo, Solaris, ADL, Irizar, Optare y los de fabricación china como Byd, Yutong, Zhonglong y Jinlong (Bloomberg New Energy Finance 2018).

¹⁵Debido a la complejidad de la situación de la operación de los buses diésel en Cali y para facilitar la implementación de los buses eléctricos se crea una subcuenta en la fiducia para separar los ingresos de los buses diésel de los eléctricos y se le otorga al financiador prioridad de pago.

¹⁶Transmilenio S.A. es el ente gestor y de control del servicio público de transporte masivo en Bogotá, Colombia.

Durante el desarrollo de la consultoría, se identificaron 4 empresas fabricantes de buses eléctricos ofreciendo la tecnología en Lima. Las empresas identificadas fueron BYD, Yutong, QEV Tech y Sunwin¹⁷.

Oferta del fabricante BYD

BYD es una empresa especializada en la fabricación de vehículos y productos considerados de nueva energía. La compañía es de origen chino, establecida en la provincia de Xi An Shanxi y es uno de los mayores proveedores de baterías recargables. Según Bloomberg New Energy Finance (2018), BYD es una de las empresas líderes en China y en el mundo en venta de buses eléctricos reportando una venta de aproximadamente 15,000 unidades en Asia, Europa y América (China Buses 2018). De acuerdo con su reporte anual de 2017, la compañía declaró ingresos por cerca de 15.3 billones de dólares. Una de sus últimas negociaciones de buses eléctricos fue realizada en Chile, en donde la empresa ENEL le compró 100 buses para la ciudad de Santiago.

En el Perú la marca BYD livianos se encuentra posicionada con una amplia red de talleres y concesionarios y desde el 2017 han promovido vehículos eléctricos livianos y pesados. Para el transporte urbano de pasajeros BYD ofrece buses con baterías de 240kWh y 320 kWh. El costo del bus sin impuestos es de USD 315,500 y USD 352,000 respectivamente. Ofrecen un cargador de 80kW de potencia con un costo de USD 6,500 sin impuestos.

Con relación a la oferta ofrecida por sus competidores, se identifica que el bus es aproximadamente USD 22,000 más costoso debido a que cuenta con el convertidor de corriente alterna a corriente continua dentro del bus, mientras que la tecnología ofrecida por sus competidores realiza la conversión en los cargadores, los cuales en promedio y para una potencia de 80kW cuestan cerca USD 25,500 sin impuestos.

Las garantías ofrecidas fueron de 3 años para el chasis y la carrocería, 8 años para la batería y 1 año para el cargador. Según Roberto Obradovich, director de BYD Perú, pueden también

ofrecer el servicio de mantenimiento del bus por un costo 0.147 USD/km.

Actualmente BYD tiene un bus eléctrico bajo la administración de ENGIE, el cual han puesto a disposición de algunas municipalidades para recolectar información, entre ellas la de San Isidro. Además, informó que en marzo de 2019 llegó otro bus eléctrico de 12 metros para la operación de transporte de empleados de una mina y se espera que durante el segundo trimestre de 2019 llegue el bus financiado por el GSEP para el desarrollo del proyecto piloto firmado entre los ministerios.

Oferta del fabricante Yutong

Zhengzhou Yutong Group es un fabricante de carrocerías para buses y microbuses de uso urbano e interurbano de origen chino localizado en la ciudad de Zhengzhou. Actualmente es una de las empresas de carrocerías más importante en Asia y es líder en cuanto a ventas de buses eléctricos se refiere con un total de 90,000 buses los cuales operan en Francia, Reino Unido, Bulgaria, Islandia.

Su más reciente negocio fue realizado en Santiago, en donde la empresa ENGIE adquirió 100 buses para la operación en Santiago, Chile.

En Perú, Yutong es representada por la empresa Sinomaq dedicada a la comercialización de las marcas Lonking para la minería y construcción, YTO para el sector agrícola y FAW y Yutong para el transporte de pasajeros y mercancías. Todas las marcas anteriores operan por medio de combustibles fósiles.

Con respecto al transporte eléctrico, la empresa ofrece buses de 12 metros con batería de 320kWh por un costo de USD 324,000 sin incluir impuestos. También ofrece una variedad de cargadores de 60kW, 120kW y 150kW con un costo de USD 24,000, USD 45,000 y USD 55,000 respectivamente.

Las garantías ofrecidas fueron de 2 años por el chasis y la carrocería, 8 años por la batería y 8 años por los cargadores.

¹⁷El fabricante Sunwin ingresa al mercado Limeño en la etapa final de la consultoría por lo cual no se considera su oferta en el reporte.

Oferta del fabricante QEV Tech

QEV Technologies, es una empresa española ubicada en Barcelona, dedicada a la electro-movilidad. Desarrollan actividades como adecuaciones y montaje de trenes de potencia eléctricos, programas de infraestructura de recarga y vehículos eléctricos de alto rendimiento para campeonatos de vehículos eléctricos, como la Fórmula E.

A diferencia de sus competidores no cuenta con una experiencia marcada ofreciendo buses eléctricos en el mundo, aunque cuenta con experiencias de apoyos regionales en Italia, España y Portugal.

Recientemente QEV Tech y la empresa Modasa¹⁸ han firmado un acuerdo para fabricar buses eléctricos en Lima. Durante el periodo de la consultoría el acuerdo entre las compañías se formaliza y con el apoyo de la empresa de energía ENGIE se gestiona el desarrollo del primer bus piloto de la marca el cual estará disponible durante el segundo semestre de 2019, según conversaciones con Javier Peón, director de QEV Tech Latam.

La empresa ofrece un modelo de negocio enfocado en la flexibilidad. Debido a su fabricación nacional y experiencia en Kits eléctricos, la empresa puede ofrecer vehículos de acuerdo a la necesidad de la operación y según las indicaciones técnicas requeridas. Este es un modelo de negocio que le genera al fabricante ventajas competitivas, ya que está basado en modelos de economía de escala.

Según discusiones con el fabricante, el bus eléctrico que se encuentra en fabricación: es un bus de 12 metros y cuenta con una batería de 200kWh. El costo del bus es de USD 287,000 sin impuestos y ofrece un cargador de 80kW de potencia de marca ABB por un costo de USD 38,000.

Debido a la novedad de su oferta, no se logró obtener información sobre sus garantías.

Resumen de la oferta local

La figura 27 presenta el resumen de la oferta local de buses eléctricos a marzo de 2019 y sin considerar impuestos.

FIGURA 27

Resumen de la oferta local de buses eléctricos de 12 metros, sin impuestos
(Oferta dólares a marzo 2019)

Variable		Yutong	BYD	QEV-Tech
Chasis + carrocería + batería	USD	322,200	315,500	287,000
Capacidad batería	kwh	320	240	200
Costo del cargador	USD	24,000	6,500	38,000
Potencia del cargador	kw	60	80	80
Garantía chasis y carrocería	años	3	2	N/A
Garantía de la batería	años	8	8	N/A
Garantía del cargador	años	1	8	N/A

Debido a que los fabricantes ofertan los buses incluyendo la batería que, según sus estimaciones, es la indicada para el recorrido promedio en Lima, es complejo identificar cuál de los fabricantes tiene mayor costo de batería o mayor costo de fabricación de chasis y carrocería. Luego de varias reuniones con los fabricantes y de realizar estimaciones en conjunto, se logra identificar que el valor de la batería es de aproximadamente 460 USD/kWh.

Al realizar un análisis de las ofertas de buses eléctricos en países de la región se encuentra, sin considerar impuestos, que en Lima los buses eléctricos son aproximadamente un 2% más económicos que lo observado en Buenos Aires, 5% más costosos que lo observado en Santiago de Chile e igual a lo observado en Colombia. En base a esta información, se estima que la oferta local de buses eléctricos es comparable a

¹⁸MODASA es una empresa peruana de trayectoria y líder del mercado en la fabricación de buses y de servicios de reparación y mantenimiento.

lo observado en la región. Es muy factible que los precios de venta de los buses se reduzca en función de la economía de escala.

3.2.2 Sondeo de mercado con potenciales financiadores

Con el fin de identificar el interés del sector financiero en la tecnología eléctrica, se realizaron entrevistas con instituciones financieras como Cofide, ScotiaBank, BID Invest y Qori Capital¹⁹.

Con relación al interés de la institución financiera local en el sector, se identifica que, si bien se muestran interesados en financiar flotillas de buses por medio de préstamos a mediano plazo y por leasing, también se muestran conservadores debido a que el sector ha perdido credibilidad por incumplimientos en el repago de los créditos otorgados por las instituciones financieras a los operadores. Esta situación se ha presentado principalmente con los operadores

del Corredor Segregado de Alta Capacidad (COSAC I), o Metropolitano y es consecuencia de que los concesionarios se encuentran operando por debajo de su punto equilibrio económico y financiero (Guillermo y Tello 2018).

Según Scotiabank las tasas de interés con las que se ha financiado el sector de transporte han sido entre 9% y 11% efectivo anual en dólares con 5 años de plazo. Esta información fue contrastada con algunos operadores que indicaron que se han financiado con esas tasas en soles; incluso uno de los operadores informó que el último financiamiento realizado en el 2018 fue al 9% en soles y que la tasa promedio en su empresa es del 11% EA en soles, con un plazo de 5 años y 6 meses de periodo de gracia. De tal manera que, considerando la tasa de referencia, ver figura 28, se estima que actualmente el spread del financiamiento para los operadores de transporte varía entre 650 y 850 puntos porcentuales.

FIGURA 28

Tasa interbancaria en dólares y en soles (BCRP Data²⁰)



¹⁹Qori Capital es un administrador de fondos de capital privado enfocado en mecanismos de arrendamiento y de préstamo para adquisición de bienes de capital.

²⁰Según las estadísticas del Banco Central de la Reserva del Perú.

Con relación al interés en financiar la tecnología eléctrica, se identificó que tanto COFIDE como Scotiabank han venido trabajando en la creación de programas para financiar vehículos eléctricos, especialmente livianos. Con relación a COFIDE, la institución de desarrollo informó sobre el programa denominado Cofieléctrico el cual nace del modelo implementado por COFIDE en el 2008, el Cofigás, para financiar reconversiones de vehículos livianos y pesados a gas natural vehicular. Según Patricia Cancino, directora encargada del departamento de financiamiento corporativo de COFIDE, el desarrollo del mecanismo del Cofieléctrico se inició como apoyo a la NAMA de Transporte propuesta por el Ministerio de Energía y Minas, pero se detuvo debido a la falta de normativa, específicamente para la estructura de recarga de los vehículos y al alto riesgo percibido con relación a la seguridad y vida útil de la batería. El modelo de negocio del Cofigás se analiza en el numeral 7 del documento.

Por otra parte, Scotiabank indicó sobre el compromiso del banco en el desarrollo de iniciativas de transporte limpio y mencionó que en Scotiabank México se desarrolló una línea de crédito para vehículos híbridos y eléctricos, la cual tiene algunos beneficios como tasa preferencial (aproximadamente 150 puntos básicos de diferencia) y un bono de apoyo al medio ambiente²¹.

Por parte del BID Invest y Qori Capital, demuestran interés en financiar la tecnología siempre y cuando exista algún mecanismo de garantía de largo plazo para el repago del crédito. En las entrevistas se indicó que realizar un financiamiento de una flota de buses eléctricos bajo un mecanismo convencional puede no ser lo indicado, debido a que no podrían tomar los buses como colateral porque no existe un mercado establecido, y que la posibilidad que el operador ofrezca una garantía real para la implementación de una flota de 50, 100 buses o más puede no ser factible para el operador.

Por otra parte, también se identifica interés por parte de las empresas de energía ENEL y EN-

GIE en replicar la operación de financiamiento realizada en Chile, descrito en el numeral 3.1.4. Aunque el interés de las empresas de energía no es el mantener una línea de negocio para el financiamiento de flotas eléctricas, ellos esperan, por medio de este mecanismo, estimular el mercado de transporte eléctrico para así incrementar la demanda de energía.

3.2.3 El sistema integrado de transporte público en Lima y su potencial para buses eléctricos

Con el fin de combatir la sobre-oferta e informalidad del transporte urbano en Lima y mejorar la calidad del transporte a través de servicios de transporte públicos accesibles, eficientes, seguros, en el 2012 se crea el Sistema Integrado de Transporte de Lima (SIT) mediante la Ordenanza municipal 1613.

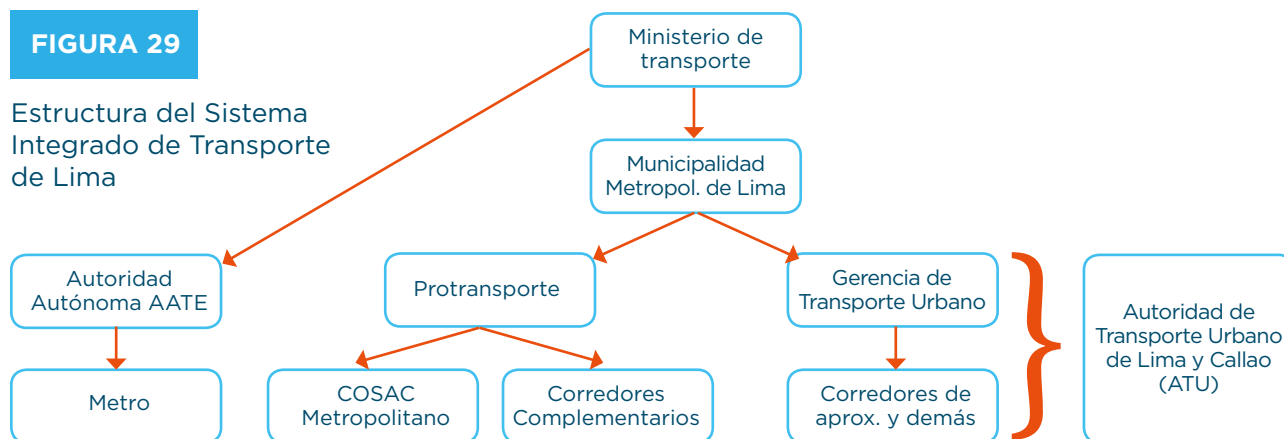
Según el ordenamiento legal peruano, a nivel nacional el ente rector y normativo es el Ministerio de Transportes y de Comunicaciones (MTC) y las políticas en materia de transporte terrestre son implementadas por la Dirección General de Transporte Terrestre. En el ámbito urbano las entidades facultadas para regular el transporte de pasajeros son las Municipalidades, a excepción del Metro que tiene régimen especial, siendo el MTC la entidad concedente y cuya autoridad es la Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE).

En Lima, la Municipalidad Metropolitana de Lima a través del Instituto Metropolitano de Transportes (Protransporte) y la Gerencia de Transporte Urbano (GTU), son las entidades a cargo de la administración y el control del Corredor Segregado de Alta Capacidad (COSAC), de los corredores complementarios y los corredores de aproximación y demás servicios. La figura 29 presenta la estructura del SIT.

²¹No se logró obtener información de referencia como colocaciones y mecanismos implementados para ofrecer las tasas preferenciales. El brochure de la línea de crédito puede encontrarse en <https://www.seminuevos.com/blog/ahora-mas-facil-comprar-auto-hibrido-electrico-scotiabank/?pais>

FIGURA 29

Estructura del Sistema Integrado de Transporte de Lima



Debido a la presencia de múltiples organismos reguladores, la armonización de la prestación del servicio es una tarea dispendiosa y compleja, por lo cual el MTC propuso la creación de una sola autoridad y presentó en julio de 2017 el proyecto de Ley para crear la Autoridad de Transporte Urbano (ATU) para Lima y Callao, la cual es creada en septiembre de 2018 por medio de la Ley 30900 y aprobada mediante el Decreto Supremo 005-2019.

Según la nota de prensa del MTC (2018) la ATU se encargará de planificar, regular y fiscalizar el servicio de transporte terrestre en la capital e iniciará la integración del sistema de transporte, en cuanto a los principales modos existentes, así como tarifas y medios de pago, mediante la puesta en marcha del sistema único de recaudo para la red multimodal, que incluye los corredores de alta capacidad, los complementarios, los de aproximación y trenes. Además, con la creación de la ATU se espera también erradicar la informalidad en el transporte público.

Otro aspecto de relevancia es que con la creación de la ATU el transporte de pasajeros en Lima es declarado por primera vez como servicio público lo cual permite la implementación de una política de subsidios y/o compensaciones, para garantizar la sostenibilidad del servicio.

Debido a que el inicio de la operación de la ATU se realiza en abril de 2019, un mes antes del desarrollo del presente informe, las regulaciones, políticas y planes que darán la vigencia a las disposiciones contempladas en la Ley de la creación de la ATU, no lograron ser consideradas en el mismo. Sin embargo, el proceso de recauda-

ción electrónico en los corredores complementarios se inició en abril y se espera que durante mayo y junio todos los corredores complementarios se hayan sumado. Esta implementación ha sido muy bien recibida por parte de las empresas operadoras de las concesiones, quienes indican que el mecanismo podrá reducir drásticamente las pérdidas que se presentan durante el proceso de recaudo, cercanas a un 25%.

Características del servicio

La Gerencia de Transporte Urbano (GTU) a través de la ordenanza 1876-2015 es la entidad encargada de planificar, regular y gestionar el servicio de los corredores de aproximación y otros servicios tradicionales, el tránsito urbano de pasajeros y otorga los permisos y autorizaciones de operación, los cuales según la ordenanza son revisados cada 3 años.

El servicio es prestado por buses, microbuses y combis los cuales representan aproximadamente el 70% del parque automotor de transporte público en Lima.

Si bien existe una tarifa técnica fijada por la MML, el servicio no tiene una tarifa fija. Además, las empresas operan mediante permisos de corto plazo los cuales son otorgados mediante un pago por la incorporación del vehículo, lo cual ha ocasionado una sobreoferta que obliga al transportista a infringir normas de tránsito en razón a la “guerra del centavo”.

Aunque el subsector ha ido decreciendo en número de flota, debido a que la Ordenanza 1893-2015 exige la retirada de los vehículos que se

superponen con los corredores complementarios, sigue siendo un sector muy atomizado en donde en muchos casos una empresa es constituida por un transportista con uno o dos buses en operación.

Los subsectores que presentan mayor regulación son el COSAC conocido como el Metropolitano y los Corredores Complementarios los cuales son operados por empresas privadas mediante contratos otorgados por la Municipalidad a través del Instituto Metropolitano de Transporte de Lima (Protransporte). Estos contratos tienen una duración entre 10 a 15 años y son remunerados bajo esquemas preestablecidos, los cuales están disponibles en los documentos del contrato de concesión.

Con relación a los ingresos del sistema, se identificó que debido a imprecisiones en la demanda proyectada e incumplimientos en los supuestos considerados en las licitaciones (Guillermo y Tello 2018), se ha provocado que los operadores, en especial los del servicio del Metropolitano, estén operando por debajo de su punto de equilibrio económico y financiero, por lo que no han podido cumplir con los compromisos de repago del financiamiento otorgados por COFIDE y las entidades financieras locales. También se identificó que en el servicio de los Corredores Complementarios también se presentan algunas anomalías en los ingresos de los operadores del servicio. En las reuniones con los operadores y

con Protransporte se indicó que los ingresos del sistema no han sido suficientes para para pagar el total de la operación, por lo cual los operadores han estado sumando acreencias las cuales el fondo de reserva no ha podido cancelar²². La explicación de la estructura del funcionamiento de las concesiones se encuentra en el siguiente numeral.

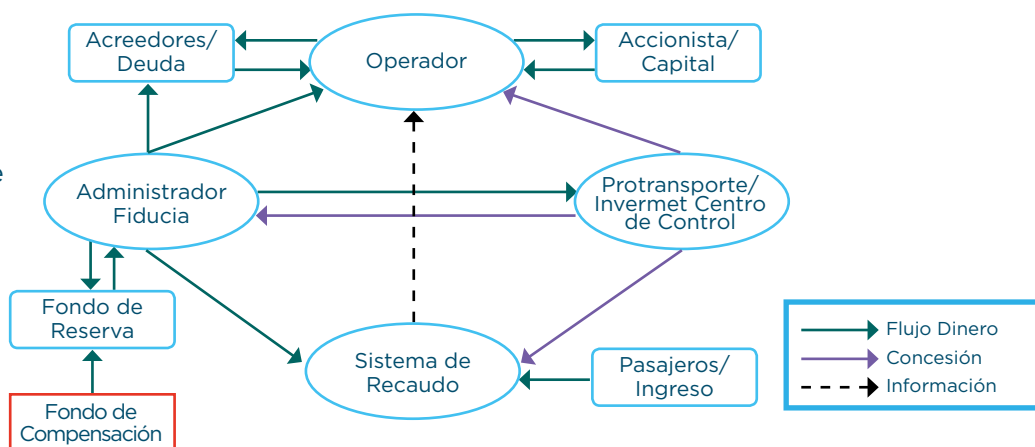
Estructura contractual de las concesiones

En Perú los contratos de concesión son celebrados dentro del marco de la Ley de Promoción de la Inversión Privada mediante Asociaciones Público-Privadas según el Decreto Legislativo 1224 aprobado por el Decreto Supremo 254-2017-EF. El ente rector del Sistema Nacional de Promoción de la Inversión Privada es la Dirección General de Política de Promoción de la Inversión Privada del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF).

En el caso del Gobierno Nacional, los Organismos Promotores de la Inversión Privada son la Agencia de Promoción de la Inversión Privada (Proinversión) y en el caso regional la Municipalidad Metropolitana de Lima, el Invermet se encarga de supervisar y de cumplir los lineamientos emitidos por el MEF, entre ellos, realizar los informes multianuales de la APP. En caso de ser requerido, el Invermet puede solicitar asistencia técnica a Proinversión.

FIGURA 30

Estructura contractual y de funcionamiento de las concesiones



²²Uno de los operadores del Corredor Complementario indicó que las acreencias actuales son del orden de S/ 17 Millones.

Como se muestra en la figura 30, la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) a través de Protransporte e Invermet realizan las actividades de supervisión, control y planeamiento de las concesiones. Mientras Invermet supervisa el cumplimiento de las APPs, Protransporte se encarga del control y supervisión de la operación. En líneas azules se muestra que además de las concesiones de operación de transporte, el sistema de recaudo y la administración de la fiducia también son concesionadas.

Siguiendo las líneas verdes, que indican flujo de dinero, se observa que los ingresos del sistema por la venta de pasajes se realizan por medio del sistema de recaudo. El sistema o unidad de recaudo es concesionada a terceros y encargada de la venta, recarga y validación de los medios de acceso al sistema y la custodia de los ingresos hasta la entrega al fiduciario. Como se comentó anteriormente, en la actualidad el sistema de recaudo se encuentra en proceso de transición para ser electrónico.

Del sistema de recaudo, los ingresos son entregados al fideicomiso. Protransporte es el encargado de construir el fideicomiso y actúa como fideicomitente y le da las instrucciones al administrador de la fiducia, actualmente Scotiabank, sobre la distribución de los ingresos. El sistema de transporte en Lima es económicamente auto-sostenible, lo que quiere decir que los ingresos del sistema deben ser suficientes para cubrir los egresos y que no cuentan con apoyo de fondos públicos. En el caso de que el ingreso del sistema sea mayor que los egresos, la diferencia se dispone al fondo de reserva. En caso contrario, la diferencia se consigna como una acreencia para que el fondo de la reserva lo pague una vez que dicho fondo cuente con excedentes. Con la entrada de la ATU se estima que el sistema dispondrá de un fondo de compensaciones y/o subsidios dependiente del MML para garantizar la sostenibilidad del servicio.

El contrato prevé que tanto el concedente como los demás participantes de la concesión, tienen derecho a participar de los ingresos. Al concedente le corresponde el 8%, a Invermet el 1% y también debe ser remunerado el fiduciario y el operador de recaudo. Con relación

al concesionario, su remuneración se realiza conforme a la propuesta económica realizada en la licitación. El análisis de la remuneración se realiza en el numeral 5.1. Se resalta que el concesionario con aprobación del concedente puede establecer a favor de los acreedores permitidos, garantía de pago preferente sobre el financiamiento obtenido para la adquisición de bienes para el desarrollo de la concesión. La cláusula 2.1 de la adenda número 2 al contrato de concesión de los corredores complementarios indica, entre otras cosas, que pueden ser acreedor permitido cualquier institución financiera o fondo de inversión nacional bajo el ámbito de la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP y que cuenten con una clasificación de riesgo local no menor a "A-", cuya evaluación haya sido realizada por una empresa calificadora de riesgos nacional debidamente autorizada por la superintendencia del Mercado de Valores. También las instituciones de financiamiento internacional pueden ser acreedores permitidos siempre y cuando tenga una clasificación no menor a "A" asignada por una calificadora de riesgo internacional de las que califican a la República del Perú. Debe cumplirse que para ser acreedor permitido la institución no puede tener vinculación económica con el concesionario.

Mercado potencial para buses eléctricos

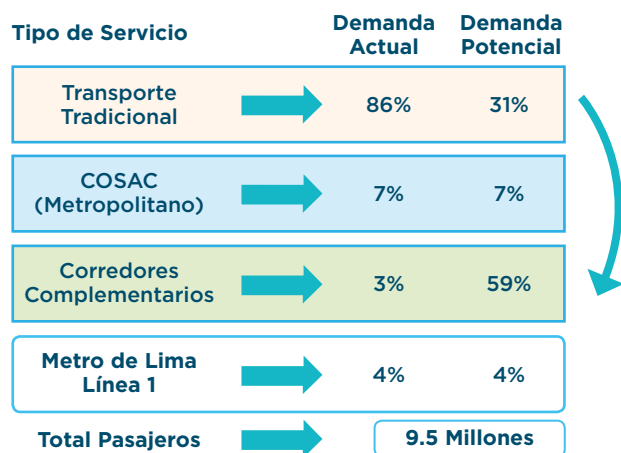
Según la Municipalidad Metropolitana de Lima, la demanda de pasajeros para el 2017 era del orden 9.5 millones de traslados al día. Del total de la demanda, el 86% se moviliza a través del transporte tradicional, 7% por medio del CO-SAC y 3% por medio de los corredores complementarios²³.

Si bien el mayor número de traslados proviene del servicio de transporte tradicional, según los diseños del Sistema Integrado de Transporte se espera que el 68% del servicio prestado por el transporte tradicional, sea realizado por el servicio de los corredores complementarios. De esta manera se espera que el servicio tradicional sea ofrecido por medio de la estructura de los corredores complementarios pasando de esta manera de una demanda del 3% a un 59%, ver figura 31.

²³El metro de Lima transporta el 4% de la demanda diaria.

FIGURA 31

Composición de la demanda actual y potencial (MML 2017)



Se encuentra entonces, que el servicio de corredores complementarios cuenta con el mayor potencial para implementación de nuevas flotas.

Con relación al potencial de implementación de buses eléctricos se identifica que para el sector tradicional puede ser limitada, debido a que se encuentra en etapa de transición hacia los corredores complementarios y que además el servicio es prestado mediante contratos a corto plazo; adicionalmente, la expectativa de retorno de inversión es de largo plazo. Por otra parte, se identifica que el servicio del Metropolitano el COSAC I ha sido licitado para que

su operación sea realizada exclusivamente por medio de vehículos a gas natural. A menos que se estructure el COSAC II, cualquier extensión al COSAC I que requiera incorporación de nueva flota y/o renovación de la flota actual debe ser realizada por vehículos que operen por medio del combustible GNV.

De esta manera se concluye que, de la manera como se encuentra diseñado el sistema de transporte en Lima, el servicio que presenta las condiciones para realizar una implementación buses eléctricos es el de los Corredores Complementarios. Adicionalmente, el contrato de concesión no limita a que el servicio deba ser prestado por vehículos de alguna tecnología específica. La posibilidad de incluir buses eléctricos a los Corredores Complementarios fue discutida con la dirección de Protransporte quien indicó que, “si el Concesionario decidiera invertir en tecnología eléctrica, los concesionarios de los Corredores Complementarios podrían seguir remunerándose bajo la misma fórmula de remuneración que está en los contratos de concesión”.

El servicio de los corredores complementarios se presta con un total de 739 buses de los cuales aproximadamente el 15% están pendientes de reemplazo. Adicionalmente, según el MML, existe una flota por implementar de 3,429 buses de la cual una proporción saldrá a licitación a principio de mayo de 2020 según el cronograma de licitaciones. El detalle de la flota actual y de la pendiente por implementar se encuentra en la figura 32.

FIGURA 32

Flota implementada y por implementar y cronograma de próximas licitaciones²⁴

Instrumento	Flota implementada				Flota por implementar				Cronograma de próximas licitaciones		
	9m	12m	18m	Total	9m	12m	18m	Total	Fase del desarrollo del proyecto de APP	Inicio	Fin
Tacna-Garcilaso-Arequipa	33	118	0	151	30	141	3	174	Estructuración	Agosto de 2018	Mayo de 2020
San Juan de Lurigancho	0	264	0	264	69	329	83	481	Transacción	Mayo de 2020	Marzo de 2021
Javier Prado	0	271		271	4	297	32	333	Ejecución Contractual	Marzo de 2021	Octubre de 2022
Panamericana	0	50	3	53	92	830	281	1203			
Carretera Central	0	0	0	0	198	1040	0	1238			
Total	33	703	3	739	393	2637	399	3429			

²⁴(Gerencia de Promoción de Inversiones y Concesiones 2017)



4. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COSTO TOTAL DE LA PROPIEDAD (TCO) ENTRE TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

El costo total de la propiedad (TCO por sus siglas en inglés) es una de las metodologías más empleadas para realizar comparaciones del costo total de la operación del vehículo durante su vida útil, entre diferentes tecnologías. Algunos autores realizan los cálculos sin considerar variables macroeconómicas y financieras que puedan presentar resultados sensibles, sin embargo, en algunos casos las proyecciones macroeconómicas son la diferencia entre elegir entre una tecnología u otra, debido a la expectativa del mercado como, por ejemplo, incrementos en combustible.

En este apartado se presentan las variables que inciden en el costo total de la tecnología eléctrica y bajo la metodología descrita en el numeral 2.2.1 y 2.2.2 se realiza el cálculo del TCO y de gases efecto invernadero para así comparar los resultados con los obtenidos para los buses a diésel y gas natural.

Se resalta que, de este punto en adelante se analiza únicamente el servicio y remuneración de los Corredores Complementarios debido a que de esa manera se define en los términos de referencia de consultoría y que según los análisis representa un mayor potencial para implementar flotas de buses eléctricos.

4.1. Descripción del servicio y del ciclo de conducción

El servicio de los Corredores Complementarios se encuentra dividido en 5 corredores, el Panamericano, San Juan de Lurigancho, Tacna-Arequipa, Carretera Central y Javier Prado. Según la figura 31, los cinco corredores tienen la capacidad de desplazar aproximadamente 90 millones de pasajeros al año. Sin embargo se estima que la cifra actual es cercana a 50 millones. La figura a continuación muestra el mapa de los recorridos de los corredores.

FIGURA 33

Mapa de los recorridos de los Corredores Complementarios (Google Earth 2019)



El servicio de los corredores varía desde ciclos urbanos cortos de 16 km como es el caso del corredor Tacna-Arequipa a recorridos extra-urbanos largos de 33 km como es el caso del corredor Panamericana. En promedio se encuentra que el servicio tiene una elevación mínima de 63 metros, hasta llegar a 278 metros sobre el nivel del mar. La ruta que presenta una mayor pendiente promedio es el de la carretera central con 1.8% y la que presenta una menor pendiente promedio es el corredor Javier Pr-

do. En promedio el servicio se presta desde las 5 am de la mañana hasta las 11 pm de la noche con un recorrido diario de 182 km. En el caso específico del operador del corredor Javier Prado, se indicó que tendría la facilidad de llevar el vehículo a los patios durante el día para realizar una recarga corta aprovechando el cambio de turno de los conductores. A continuación, se presenta el detalle del ciclo de conducción y de operación.

FIGURA 34

Descripción de la operación y del ciclo de conducción

Ciclos de operación promedio		
Distancia de la línea	km	24
Elevación mínima	m	63
Elevación máxima	m	278
Pendiente promedio	%	0
Duración del recorrido	horas	2.1
Tiempo de espera en cabeceras	min	5
Horas de operación diarias	horas	18
Velocidad promedio	km/hora	11.5
Distancia diaria recorrida	km	182
Días de operación equivalente al año	días/año	312
Índice de pasajeros por km	pax/km	5
Kilómetros recorridos al año	km/año	56,784
Pasajeros transportados al año	pax/año	276,214

4.2. Costos de capital

Como se muestra en la ecuación 2, el costo de capital está conformado por el costo del bus, el costo del sistema de recarga y el valor de salvamento. Debido a que el mercado de los buses eléctricos es nuevo, se desconoce un posible valor de salvamento tanto para el bus como para las baterías. Aunque en la actualidad se discute sobre un segundo uso de la batería para sistemas de almacenamiento de energía, principalmente para infraestructuras solares, su valor se desconoce por lo cual el salvamento no se considera.

Debido al alto costo de capital del bus eléctrico en comparación a los buses de combustión interna, en algunos casos se requiere extender el horizonte del análisis para garantizar el repago o el retorno de la inversión. Para poder encontrar el horizonte óptimo para el bus eléctrico, el TCO se calcula en tres horizontes, a 10 años que es el periodo inicial de la concesión,

12 años que es el horizonte promedio con el cual los operadores amortizan el bus y 14 años.

4.2.1 Costo del bus

El costo del vehículo lo conforma el costo del chasis y la carrocería y el costo de la batería. Aunque los fabricantes ofrecen los vehículos con la batería incluida y por lo general manejan capacidades determinadas, se conoce que los fabricantes pueden ofrecer flexibilidad en la capacidad de la batería siempre y cuando el pedido sea atractivo.

Tal como se mencionó anteriormente, para determinar el horizonte óptimo en donde el costo total de la propiedad, TCO, del bus electro es comparable a los buses diésel y gas natural, el análisis requiere estimar la capacidad de las baterías para los horizontes determinados, 10 años, 12 años y 14 años. Para el desarrollo del cálculo se consideran las siguientes variables:

FIGURA 35

Variables consideradas para el cálculo de la batería

Vida útil	Ciclos	300	Ciclo de descarga promedio Suministrado por los fabricantes
Degradación	%	Ver Fig.13	Como se muestra en la figura13
Porcentaje de seguridad	%	10%	Según se describe en el numeral 3.1.2
Autonomía requerida	km	182	Promedio estimado para la operación
Rendimiento del bus	km/kWh	0.95	Según el calculado en numeral 4.3.2

Además, para determinar la capacidad de la batería, el análisis contempla que un ciclo de descarga se alcanza al momento que la batería se descarga en la totalidad. Debido a que durante los primeros años la batería no tiene descargas completas su vida útil se extiende. En el caso que la batería deba ser recargada más de una vez al día, la batería llegará a su fin de vida más rápido. De esta manera, la capacidad de la batería es calculada para que en el horizonte

del análisis determinado la batería llegue al final de la vida útil en ciclos.

De la herramienta de cálculo desarrollada por el consultor para el análisis económico de los buses eléctricos en Lima se obtiene el resultado de la capacidad de batería para cada uno de los horizontes determinados. A continuación se presentan los resultados:

Opción 2. Esta opción corresponde al análisis realizado para determinar la capacidad de la batería para un horizonte de 12 años. El resultado del análisis indicó que la capacidad requerida para que la batería cumpla su vida útil en el año 12 es de 280kWh. Con esta capacidad

de batería el bus podría recorrer en promedio 205 km diarios. De esta manera y tal como se muestra en la figura 38 en la línea “Duración recarga diurna”, se puede apreciar que durante la vida útil el vehículo no requiere de recargas durante el día.

FIGURA 38

Cálculo de la batería y autonomía para un horizonte de 12 años

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Capacidad de la batería (kWh)	280.00	263.20	252.67	247.62	242.67	237.81	234.25	230.73	227.27	223.86	220.50	217.20	213.94
Autonomía (km)		232.54	222.64	217.69	212.75	207.80	204.09	200.38	196.67	192.96	189.25	185.54	181.82
Autonomía por cubrir (km)		50.54	40.64	35.69	30.75	25.80	22.09	18.38	14.67	10.96	7.25	3.53	0.18
Número de recargas por día		0.78	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.98	1.00
Duración recarga nocturna (minutos)		115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
Duración recarga diurna (minutos)		- 32	- 26	- 23	- 19	- 16	- 14	- 12	- 9	- 7	- 5	- 2	0
Número de Recargas por año		244.19	255.05	260.84	266.91	273.26	278.23	283.38	288.73	294.28	300.05	306.06	312.30
Vida útil de la batería (ciclos)	- 3,000	2,772.90	-2,535.71	-2,293.12	-2,044.90	-1,532.01	-1,532.01	-1,268.46	-999.94	-726.25	-447.20	-162.57	127.87
Vida útil en años	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.52	

Opción 3. La opción 3 corresponde al análisis realizado para determinar la capacidad de la batería para un horizonte de 12 años pero reemplazando la batería en el año 6. Es decir, que mientras que la vida útil del chasis y carrocería es de 12 años, la vida útil de la batería es de 6 años y se reemplaza para llegar a los 12 años del horizonte del análisis. Debido a que el precio actual de la batería es más elevado que el precio de la batería en el futuro, ver numeral 3.1.2., en este escenario se pretende identificar el efecto en el TCO empleando una batería de menor costo pero con suficiente capacidad para cumplir la vida útil en el año 6 y así deter-

minar si es más viable recambiar la batería en el año 6 o emplear una sola durante los 12 años tal como se propone en la opción 2.

Debido a que la batería se recambia en el año 6 por otra de las mismas condiciones, la figura 39 solo presenta los resultados de la modelación para los primeros 6 años del horizonte. El resultado del análisis demuestra que la capacidad requerida de la batería para cumplir con su vida útil en el año 6 es de 150kWh y sería necesario detener el vehículo por un periodo de 45 minutos para recargar la batería., lo cual podría causar perturbaciones en el servicio.

FIGURA 39

Cálculo de la batería y autonomía para un horizonte de 12 años realizando recambio de batería

Variable	0	1	2	3	4	5	6
Capacidad de la batería (kWh)	150.00		131.11	127.70	124.38	121.15	118.78
Autonomía (km)			115.30	111.85	108.41	104.96	102.38
Autonomía por cubrir (km)			66.70	70.15	73.59	77.04	79.62
Número de recargas por día			1.58	1.63	1.68	1.73	1.78
Duración recarga nocturna (minutos)			73	71	68	66	65
Duración recarga diurna (minutos)			42	44	46	49	50
Número de Recargas por año			464.73	507.67	507.67	541.01	554.66
Vida útil de la batería (ciclos)	- 3,000		-2,109.78	-1,637.64	-1,150.49	- 647.36	-131.52
Vida útil en años	6.00	-	-	-	-	-	6.23

Opción 4. Esta opción corresponde al análisis realizado para determinar la capacidad de la batería para un horizonte de 14 años en donde se reemplaza la batería en el año 7. Para un horizonte de 14 años es necesario realizar un reemplazo de la batería debido a que la garantía ofrecida por el fabricante normalmente termina en el año 8 y de emplearse una sola batería por

los 14 años causaría que durante 7 años la batería opere sin garantía. Tal como se muestra en la figura 40, el cálculo determina que la capacidad de la batería para el horizonte determinado sería de 180kWh y se requeriría detener el bus por un periodo de 32 minutos para recargar la batería y finalizar el recorrido diario.

FIGURA 40

Cálculo de la batería y autonomía para un horizonte de 10 años

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Capacidad de la batería (kWh)	180.00	165.96	157.00	153.24	149.26	145.37	142.54	139.76
Autonomía (km)		146.63	138.36	134.22	130.09	125.95	122.85	119.75
Autonomía por cubrir (km)		35.37	43.64	47.78	51.91	56.05	59.15	62.25
Número de recargas por día		1.24	1.32	1.36	1.40	1.44	1.48	1.52
Duración recarga nocturna (minutos)		93	87	85	82	80	78	76
Duración recarga diurna (minutos)		22	28	30	33	35	37	39
Número de Recargas por año		387.27	410.42	423.06	436.51	450.84	462.22	474.19
Vida útil de la batería (ciclos)	- 3,000	-2,639.84	-2,258.15	-1,864.70	-1,458.75	-1,039.46	-609.60	-168.60
Vida útil en años	7.00	-	-	-	-	-	-	7.35

4.2.2 Costo del chasis y la carrocería

Para determinar el costo del chasis y la carrocería se ha desagregado el valor de batería de 460 USD/kWh según lo determinado en 4.3.1.4. Adicionalmente, se considera

que los fabricantes reduzcan su oferta en aproximadamente 5% como se determina en el numeral 3.2.1.4. De tal manera se estima que el costo del chasis y la carrocería es de USD 182,115 sin impuestos y el costo de la batería de 437 USD/kWh.

FIGURA 41

Costo estimado del chasis y la carrocería

Costos del bus en USD	Yutong	BYD	QEV	Promedio
Chasis	175,000	205,100	195,000	182,115
Carrocería				

4.2.3 Costo del sistema de recarga

Para el cálculo del sistema de recarga se considera tanto el cargador como la infraestructura. El costo del cargado se estima como el promedio ponderado de la oferta local menos el 5% de descuento, según la consideración de economía de escala indicada anteriormente.

El costo de la infraestructura de recarga contempla tanto el costo del transporte de la energía desde red de media y alta tensión, como la instalación de subestaciones, barrajes y red interna, sistemas de protección, incluso el montaje y la ingeniería. Considerando los resultados obtenidos de la estimación de los costos de la infraestructura de recarga para un proyecto en

la región²⁵, y realizando un análisis de variación de la potencia de los cargadores, se estimó la estructura de recarga óptima en cuanto a logística y costos se refiere, ver figura 42.

Se estima que, para una implementación de 100 buses, que cuentan con una ventana de recarga menor a 6 horas durante la noche, la

infraestructura que representa el menor costo es para el escenario que emplea cargadores de 100kW. En este escenario es posible recargar 3 buses por cada cargador. El costo estimado para la infraestructura de recarga es de USD 32,294 y el costo del cargador por bus es de USD 10,094.

FIGURA 42

Estimación del costo del Sistema de recarga

Buses Padrones de 12 Metros								5.75
Considerando que los operadores tienen una ventana de recarga de ... horas								
Número de buses	100	unidad	100	unidad	100	unidad	100	unidad
Potencia del cargador	150	kW	120	kW	100	kW	80	kW
Costo del cargador	45,422	USD	36,338	USD	30,281	USD	24,225	USD
Eficiencia del bus	0.95	km/kWh	0.95	km/kWh	0.95	km/kWh	0.95	km/kWh
Recorrido diario requerido	182	km	182	km	182.00	km	182.00	km
Energía Consumida	192	kWh/día	192	kWh/día	192	kWh/día	192	kWh/día
Tiempo de recarga requerido	77	minutos	96	minutos	115	minutos	144	minutos
Max. Buses por cargador	4.5	buses/cargador	3.6	buses/cargador	3.0	buses/cargador	2.4	buses/cargador
Real Buses por cargador	4.0	buses/cargador	3.0	buses/cargador	3.0	buses/cargador	2.0	buses/cargador
Cargadores requeridos	25	cargadores	33	cargadores	33	cargadores	50	cargadores
Potencia requerida	3,750	kW	4,000	kW	3,333	kW	4,000	kW
Factor de seguridad	15%	%	15%	%	15%	%	15%	%
Potencia requerida	4.31	MW	4.60	MW	3.83	MW	4.60	MW
Costo de la infraestructura	3,527	USDM	3,703	USDM	3,229	USDM	3,703	USDM
Costo Infraestructura por bus	35,270	USD/bus	37,029	USD/bus	32,294	USD/bus	37,029	USD/bus
Total Costo Sistema Recarga	46,625	USD/bus	49,141	USD/bus	42,388	USD/bus	49,141	USD/bus

4.2.4. Costo de capital consolidado

Las figuras 44 y 45 presentan el resumen de los costos de capital tanto para los buses diésel y gas natural como para las 4 opciones de buses eléctrico considerados anteriormente. La información de los costos de los vehículos para las tecnologías convencionales fue proporcionada por el operador del corredor Javier Prado, el Grupo Allín, quien indica que sus vehículos no fueron cargados con aranceles o impuesto selectivo al consumo (ISC) debido a que son de fabricación local y adquiridos nuevos.

En Perú, además del arancel y del impuesto al valor agregado o impuesto general a las ventas, se considera el Impuesto Selectivo al Consumo

(ISC). El impuesto es un tributo que grava el uso o consumo específico de determinados bienes o servicios que no son considerados de primera necesidad, tanto de producción local o importación.

Al realizar la consulta sobre las partidas arancelarias correspondientes, tanto para los vehículos convencionales como los eléctricos para el transporte de más de 16 pasajeros, se encuentra que según el Decreto Supremo 95-2018-EF, la partida 8702.10.90.00 correspondiente a vehículos de encendido diésel y semi-diésel y la 8702.40.90 correspondiente a vehículos propulsados con motor eléctrico, están gravadas bajo las medidas impositivas que se muestran en la siguiente figura.

²⁵El consultor solicita el apoyo de una firma especialista en la región para determinar el costo de infraestructuras de recarga para demandas de 14MW, 7MW y 3.5MW

FIGURA 43

Relación de impuestos para vehículos convencionales y eléctricos nuevos y usados²⁶

Gravámenes Vigentes	Nuevos	Usados
Ad / Valorem	0%	0%
Impuesto Selectivo al consumo	0%	40%
Impuesto General a las ventas	16%	16%
Impuestos de Promoción Municipal	2%	2%
Seguro	1.50%	1.50%
Sobretasa Tributo	0%	0%

A continuación, se presenta el costo de capital para las tecnologías tanto en dólares americanos, figura 44, como en soles²⁷, figura 45. La descripción del significado de las opciones 1 a 4 que modela la capacidad de la batería se detalla en el numeral 4.2.1.

FIGURA 44

Costo total de capital de buses convenciones y eléctrico en dólares

Capex de los vehículos		Buses CI		Oferta promedio BE			
Costos del bus USD		Diésel	Gas	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Chasis		51,480	71,190	182,115	182,115	182,115	182,115
Carrocería		48,400	62,150				
Batería				104,880	126,730	65,550	78,660
Cargador				10,094	10,094	10,094	10,094
Instalación sistema de carga				32,294	32,294	32,294	32,294
Costo total sin impuestos	USD	99,880	133,340	329,383	351,233	290,053	303,163
Ad Valorem (arancel)	0%	-	-	-	-	-	-
Impuesto general a las ventas IGV	16%	15,980.80	21,334	52,701	56,197	46,408	48,506
Promoción municipal	2%	1,997.60	2,667	6,588	7,025	5,801	6,063
Impuesto Selectivo al consumo (ISC)	0%	-	-				
ISC buses eléctricos importados	0%			-	-	-	
Total Impuestos		17,978	59,289	59,289	63,222	52,209	54,569
Costo total de bus	USD	117,858	157,341	388,672	414,455	342,262	357,732

²⁶SUNAT 2019

²⁷La tasa de cambio empleada es de 3.35 S/. por USD

FIGURA 45

Costo total de capital de buses convenciones y eléctrico en soles

Capex de los vehículos		Buses CI		Oferta promedio BE			
Costos del bus USD		Diésel	Gas	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Chasis		172,458	238,487	610,085	610,085	610,085	610,085
Carrocería		162,140	208,203				
Batería				351,348	424,546	219,593	263,511
Cargador				10,094	33,814	33,814	33,814
Instalación sistema de carga				32,294	108,184.90	108,184.90	108,185
Costo total sin impuestos	S/.	334,598	446,689	1,003,821	1,176,630	971,677	1,015,595
Ad Valoren (arancel)	0%	-	-	-	-	-	-
Impuesto general a las ventas IGV	16%	53,535.68	71,470	160,611	188,261	155,468	162,495
Promoción municipal	2%	6,691.96	8,934	20,076	23,533	19,434	20,312
Impuesto Selectivo al consumo (ISC)	0%	-	-	-	-	-	-
ISC buses eléctricos importados	0%	-	-	-	-	-	-
Total Impuestos		60,228	80,404	180,688	211,793	174,902	182,807
Costo total de bus	S/.	394,826	527,093	1,184,509	1,388,423	1,388,423	1,198,402

El costo de la batería se determina según las opciones establecidas en el numeral 4.2.1 a un costo de 437 USD/kWh. Considerando que las opciones 3 y 4 requieren un recambio de batería en el año 6 y 7 respectivamente, se requiere estimar el costo de la batería para ese momento. Si bien las estimaciones de Bloomberg, ver numeral 3.1.2., sugieren que la batería ha venido reduciendo su precio a razón de 9% anual, el análisis considera un escenario conservador y aplica un 5% de reducción anual a la batería. De esta manera se determina que el precio de la batería en el año 6 sería de 321 USD/kWh y en el año 7 de 305 USD/kWh.

4.3. Costos de operación

Según la ecuación 3 de la metodología de cálculo del TCO, los costos operativos corresponden a los costos de combustible del bus, determinado por el rendimiento del bus y el consumo específico de combustible, y los costos de mantenimiento, salarios, administración e impuestos como al patrimonio y de renta.

4.3.1 Rendimiento del bus

El rendimiento de los buses eléctricos representado por la cantidad de kilómetros recorridos por unidad de energía, (km/kWh),

ha sido una de las principales incertidumbres de la tecnología. A falta de proyectos operativos en la región, el rendimiento presenta un alto grado de sensibilidad. Además, es conocido que los buses eléctricos son sensibles a las condiciones de operación, por ejemplo, en la ciudad de Oporto un análisis realizado en tres diferentes rutas dentro de la ciudad evidenció diferencias de 30% en el consumo de energía. De tal manera resulta incluso desafiante para un fabricante, poder proveer con certidumbre el rendimiento del bus.

Sin embargo, debido al número de implementaciones actuales en la región y a los avances en la tecnología con relación al peso de la estructura del bus y a la densidad de las baterías, es decir la cantidad de energía almacenada por cada kilogramo de batería, los buses eléctricos han venido presentando mejores resultados.

En Lima, el rendimiento del bus eléctrico que se encuentra bajo la administración de ENGIE y que ha sido operado en rutas establecidas por las Municipalidades, ha sido de aproximadamente 0.78km/kWh con aire acondicionado. Un resultado similar fue encontrado en un proyecto piloto realizado en Montevideo en el 2013 por el Ministerio de Energía y Minas en donde el bus alcanzó un rendimiento de 0.79km/kWh con aire acondicionado (MIEMDNE 2013).

En Bogotá, Colombia el proyecto piloto que se encuentra en operación desde hace 3 años tiene un rendimiento promedio de 0.95 Km/kWh sin aire acondicionado²⁸ y en Santiago de Chile, el proyecto piloto, anterior a la implementación de los 200 buses, alcanzó un rendimiento de 0.93 sin aire acondicionado²⁹. Con relación a la operación más reciente realizada en Santiago, el director de la empresa de transporte Metbus indicó que el rendimiento promedio del bus al momento es de 1 km/kWh con aire acondicionado (ONU 2019).

Como se puede evidenciar, el rendimiento de la tecnología ha incrementado a medida que se logra tener información de nuevas implementaciones. Es decir, es muy probable que el rendimiento que se estime hoy día sea inferior al que se obtendría en una tecnología fabricada dentro de un año.

La figura 46 presenta una comparación entre la oferta de los fabricantes con respecto al rendimiento de los buses y la experiencia obtenida.

FIGURA 46

Comparación del rendimiento de los buses según los fabricantes y la experiencia

Rendimiento según fabricantes				
Indicador	BYD	Yutong	QEVTProm	Promedio
km/kWh	1.06	1.11	1.10	1.09

Rendimiento según experiencias contemporáneas				
Indicador	BYD Bogotá	BYD Santiago	BYD Santiago	Promedio
km/kWh	0.95	0.93	1	0.96

Aunque es probable que los buses eléctricos alcancen un mayor rendimiento o similar que el observado en Santiago, el consultor considera apropiado emplear un rendimiento conservador para la estimación de los costos de operación. Debido a la similitud entre la operación de Bogotá y de Lima, se asume como rendimiento 0.95 km/kWh ±5%.

Con relación al rendimiento del bus diésel y bus a gas natural, se emplean las variables suministradas por el operador entrevistado de 7.5 km/gal para el bus diésel y 1.5 km/m³ para el bus a gas natural. Vale aclarar que aunque el estudio del MINEM “Estimación de los rendimientos de una flota representativa de buses en el ámbi-

to de Lima Metropolitana” (Target 2019), indica que el rendimiento de los buses diésel en Lima varían entre 6.01km/gal y 11.92km/gal con una media de 10.03 km/gal y para el bus a gas natural varía entre 0.98km/m³ y 1.98km/m³ con una media de 1.62km/m³, los valores de rendimiento suministrados por el operador corresponden a su estructura de costos y remuneración. Es decir, que el rendimiento suministrado por el operador y empleado en este reporte, corresponde al rendimiento promedio que obtiene en la ruta o paquete licitado. En el caso de emplear un rendimiento mayor o menor se debe identificar el operador que se encuentra en este rango para que pueda proporcionar sus costos totales licitados y remunerados.

²⁸Información reportada al consultor por la empresa Masivo Capital.
²⁹Información obtenida por parte Manuel Olivera, Director Regional del C40.

4.3.2 Tarifa de energía eléctrica

Perú cuenta con un sistema robusto de generación de energía con una participación de aproximadamente 56 empresas generadoras, 16 transmisoras y 13 distribuidoras. Según el Osinergmin (2016) en los últimos 20 años la producción de energía ha aumentado en un 186% y desde el 2015 ha mantenido un margen de reserva promedio de 56% (COES 2019). Adicionalmente cuenta con una matriz energética liderada en gran proporción por fuentes hídricas. En el 2018 por ejemplo, la generación de energía estuvo distribuida el 65.8% por las centrales hidroeléctricas, el 27.6% por las centrales termoelectricas y 6.6% por fuentes renovables (Equilibrium 2018).

Producto del exceso de oferta y el moderado crecimiento de la demanda, el costo marginal de corto plazo o precio spot de venta de energía entre las generadoras y el mercado mayorista se ha mantenido en niveles bajos, lo cual tiene efectos negativos en el retorno de los inversionistas especialmente las generadoras térmicas (Prometheo 2019; Equilibrium 2018).

De esta manera, a nivel nacional se están identificando mecanismos para incrementar el precio spot de la energía entre ellos y de mayor relevancia, el incremento de la demanda. Esta situación representa una oportunidad para el transporte eléctrico debido a la necesidad del mercado de ofrecer energía cuyas características sean atractivas desde el punto de vista económico y ambiental.

Con relación a las tarifas de energía eléctrica los usuarios o empresas tienen la posibilidad de adquirir la energía por medio del mercado libre o el mercado regulado. En el mercado regulado, las tarifas son determinadas por el Osinergmin y la energía es contratada exclusivamente por medio de la empresa distribuidora de energía de la zona de concesión. Esta tarifa incluye el precio en barra, que es determinado por el Osinergmin, peajes, compensaciones a la

transmisión y el valor agregado de la distribución. Adicionalmente el usuario tiene opciones tarifarias que varían según el nivel de tensión y el requerimiento o consumo horario.

Los clientes o usuarios libres están facultados para adquirir la energía directamente de la generadora. Según el Decreto Supremo 022-2009-EM, los usuarios cuya demanda anual sea mayor a 200kW y hasta 2500kW tienen derecho a elegir la condición de ser usuario regulado o libre, mientras que los usuarios cuya demanda anual sea superior a 2500kW tienen la condición de usuarios libres. Para cambiar la condición, se debe demostrar durante un periodo de un año que la demanda es superior a los rangos establecidos.

Para la estimación de la tarifa de energía no se consideran las opciones en baja tensión debido a que la demanda de energía de los cargadores de los buses eléctricos supera los 100 kW de potencia definidos como límite por el Osinergmin. Con relación a las tarifas de media tensión existe la tarifa MT2, MT3 y MT4. Debido a que la recarga de los buses puede ser realizada en horas fuera de punta, se eligen las opciones tarifarias pertinentes. De tal manera que se emplea la tarifa MT2, debido a que la tarifa es recomendable para suministros que trabajen principalmente en horarios fuera de punta y la tarifa MT3 que es recomendable para suministros cuya demanda de energía en horas punta³⁰ sea inferior al 24% del total suministrado. Las figuras 47 y 48 contienen las tarifas reguladas y libres consideradas en el análisis.

Es importante resaltar que debido a que la estimación de la infraestructura de recarga, ver numeral 4.2.3, sugiere que cada cargador tiene la capacidad de recargar tres buses, en el modelo económico la potencia demandada por cada bus se divide en tres.

³⁰El horario punta o HP comprende entre las 18 y 23 horas de cada día del mes. El horario fuera de punta o HFP es el periodo NO comprendido en las horas punta.

FIGURA 47

Tarifas de energía para usuario regulado

Cargo		Unidad	MT3	MT2
Cargo Fijo Mensual		S/. /mes	3.26	4.11
Cargo por Energía Activa		ctm. S/. /kWh	-	-
Cargo por Energía Activa en Punta		ctm. S/. /kWh	23.52	23.52
Cargo por Energía Activa Fuera de Punta		ctm. S/. /kWh	19.72	19.72
Cargo por Potencia Activa de Generación en HP		S/. /kW-mes	47.06	52.68
Cargo por Potencia Activa de Generación en HFP		S/. /kW-mes	32.07	0.00
Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP		S/. /kW-mes	11.35	10.25
Cargo por Potencia Activa de Distribución en HFP		S/. /kW-mes	11.41	0.00
Cargo por exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP		S/. /kW-mes	-	11.52
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa		ctm. S/. /kVar.h	4.28	4.28
En Punta	Potencia	S/kW-mes	58.41	62.93
	Energía	ctm. S/. kWh	0.235	0.235
Fuera de Punta	Potencia	s/kW-mes	43.48	11.52
	Energía	ctm. S/. /kWh	0.197	0.197

FIGURA 48

Tarifas de energía para usuario libre

Cargo		Unidad	Libre
Potencia		S/kW-mes	23.20
Energía Activa Hora Punta		ctm. S/. /kWh	12.65
Energía Activa Hora Fuera de Punta		ctm. S/. /kWh	12.65
Peaje Principal de Transmisión (PCSPT)		S/kW-mes	34.75
Peaje correspondiente al Área de Demanda 7		ctm. S/. /kWh	2.85
Peaje correspondiente al Área de Demanda 15		ctm. S/. /kWh	0.18
VAD Hora Punta		S/. /kW-mes	9.01
VAD Hora Fuera de Punta		S/. /kW-mes	9.75
En Punta	Potencia	S/kW-mes	66.96
	Energía	ctm. S/. kWh	0.157
Fuera de Punta	Potencia	s/kW-mes	9.75
	Energía	ctm. S/. /kWh	0.157

El costo de los combustibles diésel y gas natural se obtuvieron por medio de consultas realizadas a los operadores. Con relación al combustible diésel el costo indicado fue de 11.7 S./gal y el costo del combustible gas natural se encontró variación entre 1.07 y 1.35 S./m³. Para validar la tarifa del GNV se consulta la herramienta “Facilito” del Osinergmin, el cual contiene el precio reportado por los operadores de los establecimientos de venta de GNV. Se

obtiene que la tarifa más baja en el Perú se encuentra en la provincia de Lima en el Distrito de San Luís con un precio de venta de 1.33 S./m³ seguido por el distrito de Lima, con un precio de venta de 1.36 S./m³. En la provincia de Lima la tarifa más alta es de 1.72 S./m³ y por fuera de Lima alcanza 2.03 S./m³. Considerando las variaciones, se valida como tarifa de GNV la máxima reportado por los operadores de los corredores complementarios: 1.35 S./m³.

4.3.3 Mantenimiento

Es limitada la información sobre los costos de operación y mantenimiento de flotas eléctricas, incluso la información reportada es inconsistente con relación a la metodología empleada para el cálculo. En algunos reportes el costo de mantenimiento incluye mano de obra, en otros casos incluye los costos de lubricantes y neumáticos y en otras ocasiones solo se reporta el porcentaje de ahorro obtenido entre un bus diésel y un eléctrico. Debido a la falta de información sobre los costos de mantenimiento, varias de las implementaciones de buses eléctricos en la región han considerado subcontratar el servicio de mantenimiento con el fabricante.

Sería posible determinar el costo de mantenimiento de los buses eléctricos en Lima, pero se

requeriría realizar un análisis del detalle de la operación actual de las flotas diésel, para identificar las frecuencias y protocolos empleados para realizar los mantenimientos preventivos y correctivos y los precios locales, debido a que aproximadamente un 70% de los costos de mantenimiento del bus eléctrico están relacionados con partes como el sistema de frenos, chasis y carrocería, que también se encuentran en la tecnología diésel. Dado que este análisis de detalle no es parte de la consultoría, el costo del mantenimiento está basado en la experiencia del consultor y en la información obtenida por parte de implementaciones regionales y la literatura consultada.

La figura 49 presenta el costo de mantenimiento reportado por algunos estudios en la región y a nivel internacional.

FIGURA 49

Costo de mantenimiento según literatura

Fuente	Lugar de operación	Unidad	Diesel	Electric	Ahorro	Promedio de Ahorro
ONU 2019	Chile, Santiago	USD/km	0.260	0.086	66.9%	66.0%
Misanovick et al. 2008	Servia, Belgrado	USD/km	0.370	0.129	65.0%	
Mahmoud et al. 2016	Promedio varios estudios	USD/km	0.391	0.205	47.0%	47.6%
Potkany et al. 2018	Eslovaquia, Bratislava	USD/km	0.157	0.089	43.2%	
Cálculos propios	Colombia, Bogotá	USD/km	0.292	0.140	52.1%	
Promedio		USD/km	0.294	0.130		
Coeficiente de variación		%	31.6%	38.9%		

Como se puede ver, existe una alta variación en el costo de mantenimiento reportado tanto para la tecnología diésel como la eléctrica. Si bien es claro que el costo de mantenimiento varía según los ciclos, el tipo de conducción y el tamaño de la flota, la mayor parte de los reportes no ofrecen claridad sobre los elementos que se consideran en el costo del mantenimiento. Sin embargo, debido a que los reportes realizan comparaciones entre las tecnologías diésel y eléctrica, se asume que mantienen la misma metodología para presentar los resultados, por lo cual el porcentaje de ahorro debería ser consistente.

De esta manera la figura 49 asocia la literatura y experiencias según su porcentaje de ahorro en el costo de mantenimiento. El primer grupo que reporta ahorros promedio de 66% y el gru-

po siguiente que reportan ahorros de mantenimiento promedio de 47.6%.

En el caso de Santiago de Chile se conoce que los buses diésel son EURO VI y que el costo reportado para el mantenimiento de los buses eléctricos es parte del contrato entre la empresa BYD y el operador para realizar el mantenimiento durante 10 años. Los buses eléctricos en Santiago tienen una vida útil de operación de 14 años.

En el caso de Bogotá, la figura relaciona el costo de mantenimiento para buses diésel EURO V y para los eléctricos el costo de mantenimiento ofrecido por el fabricante es de 0.14 USD/km. Los buses eléctricos en Bogotá tienen una vida útil de operación de 15 años.

Basado en las experiencias anteriormente mencionadas se puede concluir que el porcentaje de ahorro entre los buses diésel y eléctrico varía según el estándar de emisión de los buses diésel y de los protocolos empleados en cada país para realizar el mantenimiento. Esta situación se refleja en el costo de mantenimiento que ofrece el fabricante de buses eléctricos, en donde en Santiago se ofreció a 0.086 USD/km y en Bogotá 0.14 USD/km. Es probable que, debido al tamaño de la flota en Santiago, se logre una negociación atractiva con el fabricante para realizar el mantenimiento.

Para ser consistentes en realizar los análisis bajo escenarios conservadores y que los buses diésel en Lima son de estándar de emisión Euro IV se define conveniente emplear el porcentaje de ahorro promedio encontrado en el segundo grupo. Considerando que el costo promedio de mantenimiento reportado por los operadores para los buses diésel en Lima es de 0.21 USD/km, se estima que el de mantenimiento para los buses eléctrico sería de 0.11 USD/km y se establecen como límites de sensibilidad el costo de mantenimiento observado en Santiago y en Bogotá.

4.3.4. Costos de operación consolidados

La figura 50 consolida los principales costos operativos de las tecnologías diésel, gas natural y eléctrico.

El costo del mantenimiento de la infraestructura de recarga es calculado como 2% del valor de la infraestructura y el cargador. Este valor ha sido suministrado por expertos en instalaciones de infraestructuras eléctricas.

El costo de los lubricantes para los buses diésel y gas natural son suministrados por el operador del corredor Javier Prado y el costo del eléctrico suministrado por asesores de la empresa Rampini en Italia, quienes indican que el costo del lubricante en los buses eléctricos se reduce un 75% con relación al diésel debido a la menor presencia de elementos de fricción.

El costo por kilómetro de los neumáticos se considera el mismo para las tres tecnologías. Si bien es cierto que un bus eléctrico parte de un mayor peso con respecto al bus térmico debido al conjunto de baterías de tracción, el sistema de frenado regenerativo del bus eléctrico reduce el desgaste del neumático (ver numeral 3.1.1). Por otra parte, la literatura y la experiencia no ofrecen resultados consistentes que indiquen lo contrario. El costo de los neumáticos es calculado considerando el costo del neumático: S./1,160 c/u, el número de neumáticos: 6 neumáticos por bus, dividido por la durabilidad de los neumáticos que es aproximadamente 120,000 km.

FIGURA 50

Costos de operación consolidados

Moneda (M)		Costo de operación en USD			Costo de operación en S/.		
Tecnología		Diésel	Gas	Eléctrico	Diésel	Gas	Eléctrico
Unidad del combustible (UC)		galones	m3	kWh	galones	m3	kWh
Recorrido anual	km	56,784			56,784		
Rendimiento	km/UC	7.50	1.50	0.95	7.5	1.5	0.95
Costo del combustible	M/UC	3.49	0.40	0.08	11.7	1.35	0.26
Mantenimiento	M/km	0.21	0.32	0.11	0.7	1.08	0.36
Matto Infra. Recarga	M/km			0.01			0.05
Lubricantes	M/km	0.02	0.04	0.01	0.08	0.12	0.02
Neumáticos	M/km	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.06
Personal Operativo	M/km	0.49	0.52	0.47	1.65	1.74	1.57
Seguro (Todo R y Soat)	% Capex bus	1.40%	1.40%	2.20%	1.40%	1.40%	2.20%

El costo del personal operativo es calculado considerando los factores de utilización de los conductores, supervisores, despachadores y mecánicos y los salarios con sus prestaciones sociales. La diferencia del costo de personal operativo radica en el factor de utilización de los mecánicos, el cual se incrementa aproxima-

damente en un 55% en los buses a gas natural y en los buses eléctricos se reduce en la misma proporción que el mantenimiento. Esta información fue obtenida por medio de las bases de cálculo realizadas por la consultoría “TÁRYET” para las concesiones, y ajustado según las indicaciones de los operadores.

FIGURA 51

Costos del personal operativo

Costos Personal Operativo en S/.	Factor de Utilización	Salario Mes con Prestación	Costo anual por bus Diésel	Factor de Utilización Gas	Factor de Utilización Gas	Costo anual por bus gas	Costo anual por bus
Conductores	2.50	2,317	93,646	2.50	98,601	2.50	89,367
Supervisores	0.02	2,431		0.02		0.02	
Despachadores	0.11	1,859		0.11		0.11	
Mecánico	0.30	2,145		0.47		0.16	
Prestaciones Sociales	43%						

Por último y con relación a los seguros, el operador informa que la tasa para calcular la prima es de 1.4% lo cual es muy similar a lo observado en la región. Para el seguro del bus eléctrico no se logró obtener una cotización por parte de las aseguradoras locales, por lo cual se emplea el promedio identificado a nivel regional.

gísticos los cuales fueron identificados por medio de las bases de cálculo para las concesiones, realizados por la consultora “TÁRYET” y ajustados según las recomendaciones de los operadores. Estos costos logísticos aplican para las tres tecnologías, diésel, gas natural y eléctrico.

Adicionalmente, el servicio de los corredores complementarios cuenta con otros costos lo-

FIGURA 52

Costos logísticos de la operación

Otros Costos		Definición
Porcentaje recorrido No Operativo	11.8%	Porcentaje del costo operativo
Gastos administrativos	21.0%	Porcentaje del costo operativo y no operativo. Se emplea el calculado por el bus diésel.
Base imponible al patrimonio	1.0%	Porcentaje del Capex del bus, se cobra durante tres años.
Garantías y Finanzas	1.5%	Calculado para el inicio de la concesión y calculado como porcentaje del Cepex bus diésel.
Capital de trabajo (% del Opex)	12.0%	Porcentaje del costo operativo.
Impuesto a la Renta	29.5%	Ley del impuesto a la renta, artículo 55.

4.3.5 Indicadores para la proyección de costos

El análisis del TCO basa la proyección de cada una de las variables, según la información histórica de los índices de precios tal como se define en el manual de operaciones de los corredores complementarios. Tanto el índice de precios al por mayor (IGM), el índice de precios de maquinaria y equipo para el transporte (IPPT) y el índice de precios al consumidor para Lima (IPC) fueron obtenidos del INAE, Instituto Nacional de Estadística e Informática y los índices de costo de los combustibles diésel, gas natural vehicular y energía eléctrica se obtuvieron de la base de datos del BCRP, Banco Central de Reserva de Perú.

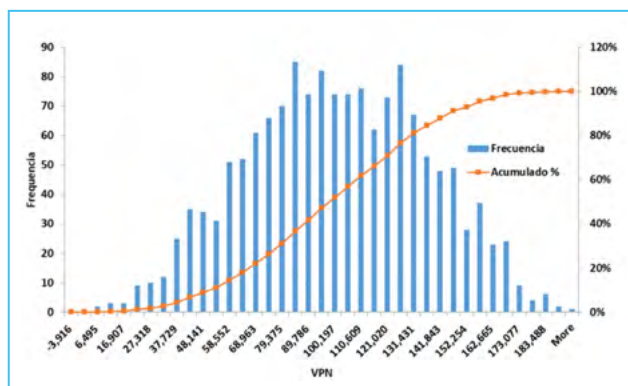
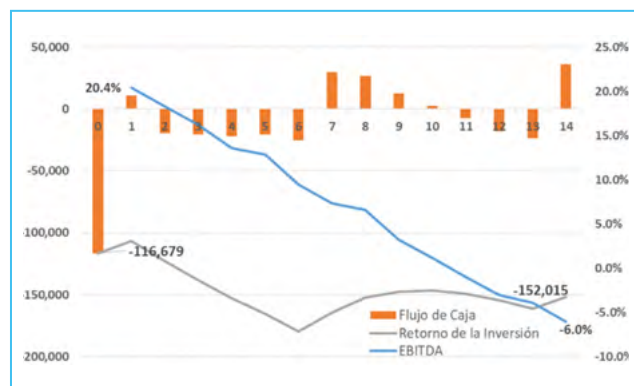
Las proyecciones tanto para la energía eléctrica como para el diésel son realizadas mediante

el método de regresión lineal, basado de la información histórica tomada a partir del 2015 y proyectadas por un periodo de tres años. A partir de los tres años se considera el mismo valor encontrado en el año tres. Para el caso del gas natural debido a que la información histórica demuestra que el costo del combustible ha decrecido en los pasados cuatro años, la función lineal pronostica mantener la reducción. Debido a esto, el consultor considera prudente emplear el incremento del año 2018 el cual muestra un crecimiento de 0.04% y mantenerlo estable durante el horizonte del análisis.

Para los otros tres índices, IGM, IPPT e IPC debido que la función de pronóstico no ofreció resultados que el consultor considerara acordes al mercado, la proyección es realizada a tres años basado en el promedio de cinco años de la información histórica.

FIGURA 53

Índice de precios históricos y de proyección



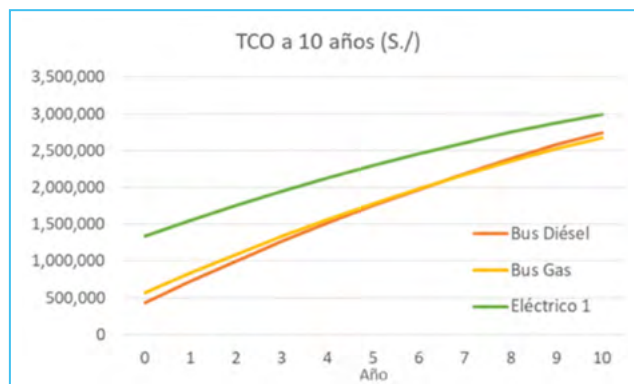
4.4. Resultado del análisis TCO

Las figuras 54 y 55, presentan el resultado del análisis del Costo Total de la Propiedad (TCO por sus siglas en inglés) para cada una de las opciones establecidas en el numeral 4.2.1. Con el objetivo de identificar el horizonte ideal en donde la tecnología eléctrica sea competitiva, la opción 1, compara las tecnologías a un horizonte de 10 años, la opción 2 y 3 a 12 años

y la opción 4 a 14 años. La tasa de descuento empleada para el análisis es de 10.23% la cual es calculada en función del promedio del índice de precios al consumidor de los últimos tres años, más el riesgo del sector en Lima que corresponde al spread promedio ofrecido por la banca local para financiar a los transportistas, ver numeral 3.2.2. No está de más aclarar que los análisis son realizados en moneda local y no incluyen financiamiento, a menos que la figura lo indique.

FIGURA 54

Análisis TCO para un horizonte de 10 años (opción 1)



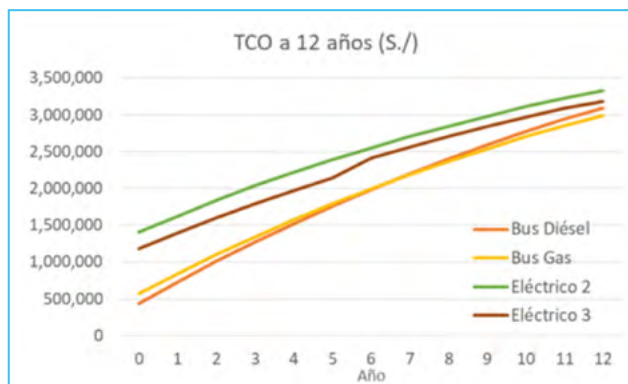
La figura 54 presenta los resultados del análisis a 10 años y evalúa el costo del bus eléctrico con una batería de capacidad de 240kWh. El resultado demuestra que, aunque la diferencia entre el costo de las tecnologías convencionales y la eléctrica se hace más cercana en el tiempo, producto de los bajos costos de operación del bus eléctrico, el periodo simulado no es suficiente para que la tecnología eléctrica sea competitiva. El resultado del cálculo del TCO del bus diésel es de S./2,739,024, el del bus a gas natural es de S./2,669,037 y el del bus eléctrico S./2,989,727.

Del análisis se encontró una diferencia o gap entre el TCO del diésel y el eléctrico de S./250,713 o USD 74,840 y un gap entre el eléctrico y el gas natural de S./320,700 o USD 95,730.

La figura 55 muestra los resultados del análisis a 12 años en el cual se evalúa el costo de dos opciones de bus eléctrico, la opción 2 con una batería de 280kWh y la opción 3 con una batería de 150 kWh en el cual se realiza un recambio de la batería en el año 6. La opción 2, si bien se indica en el numeral 4.2.1. que tiene capacidad para realizar el recorrido total con solo la recarga nocturna, presenta un TCO de S./3,328,241 el cual es superior al TCO del diésel S./3,090,071 y al del bus a gas natural S./2,984,548. El gap encontrado entre la tecnología eléctrica y el diésel fue de S./238,170 o USD 71,095 y entre el eléctrico y el de gas natural fue de S./343,692 o USD 102,594, lo cual es similar a lo observado en la opción 1.

FIGURA 55

Análisis TCO para un horizonte de 12 años (opción 2 y 3)



Con relación a la opción 3, la reducción en la inversión por el uso de una batería de baja capacidad, acerca la diferencia entre el TCO del bus diésel al eléctrico a S./96,480 o USD 28,800 y entre el bus a gas natural y el eléctrico S./202,002 o USD 60,299. El TCO calculado para el bus diésel y gas natural son los mismos que en la opción 2, y el TCO del bus eléctrico es de S./3,186,551.

Cabe resaltar que el uso de una batería de esta capacidad hace necesario detener el bus durante el día para realizar una o varias recargas por un periodo promedio de 45 minutos, lo cual podría ser inviable para la prestación del servicio.

La figura 56 presenta los resultados del análisis a 14 años y evalúa el costo del bus eléctrico con una batería de capacidad de 180kWh la cual debe reemplazarse en el año 7. El resultado demuestra que la capacidad de batería empleada en esta opción requiere de una recarga durante la operación por 32 minutos, la cual es posible realizar según las conversaciones con los concesionarios. Adicionalmente el resultado del TCO demuestra que el gap entre el eléctrico y el diésel (S./69,659 o USD 20,793) y el eléctrico y gas natural (S./212,324 o USD 63,380) es inferior que en las otras opciones.

Para identificar el efecto que tendría el financiamiento en esta opción, se incluyen en el modelo las condiciones de financiamiento comerciales que, tanto los operadores como

las instituciones financieras indicaron, han financiado las flotas actuales de buses diésel y gas natural, ver numeral 3.2.2. Empleando financiamiento de 10% EA, plazo de 6 años y porcentaje de deuda de 80%, para las tres tecnologías, el resultado del TCO, ver figura 57 y 58, no presentó gap entre el bus eléctrico y el bus diésel, por el contrario, bajo estas condiciones de financiamiento el bus eléctrico es más económico que el bus diésel en S./11,542 o USD 3,440. Sin embargo, persiste diferencia o gap entre el TCO del bus eléctrico y el TCO del bus a gas natural en S./143,964 o USD 42,974.

La figura 59 presenta el resultado de incorporar al modelo de TCO las condiciones de

financiamiento que harían la tecnología eléctrica competitiva con el gas natural. De esta manera, manteniendo las condiciones de financiamiento comercial para los buses diésel y gas natural y aplicando financiamiento preferencial al bus eléctrico de 7% EA, plazo de 10 años, porcentaje de deuda de 90% y periodo de gracia de 36 meses se identifica que el bus eléctrico es más económico que el diésel en USD 48,284 y más económico que el bus a gas natural en USD 1,870. El detalle sobre la modelación de las condiciones de financiamiento se encuentra en el numeral 5 sobre análisis de financiamiento y sensibilidad.

FIGURA 56

Análisis TCO para un horizonte de 14 años (opción 4)

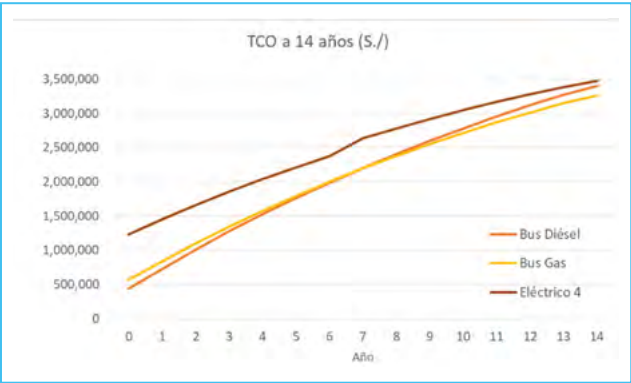
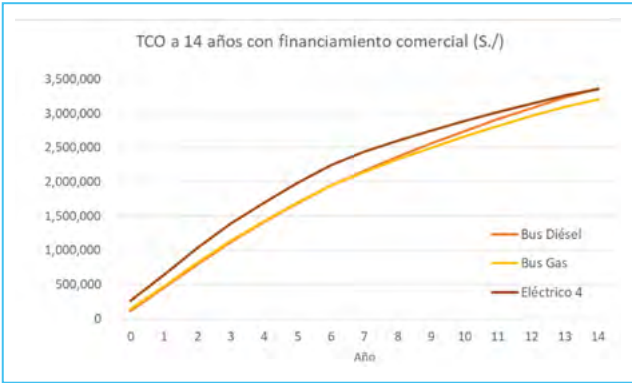


FIGURA 57

Análisis TCO para un horizonte de 14 años (opción 4) empleando financiamiento

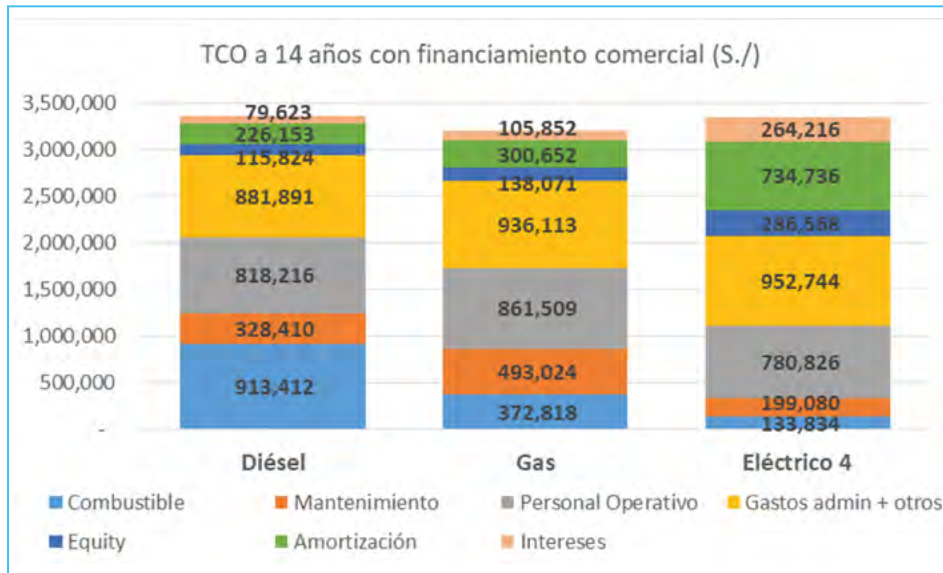


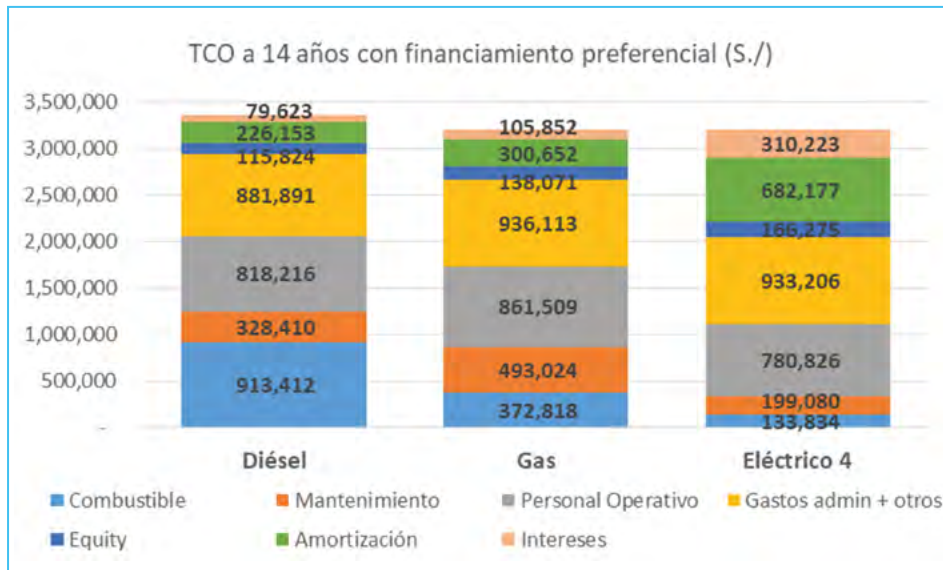
El resultado del análisis demuestra que para que el costo total de la propiedad del bus eléctrico sea comparable con los buses convencionales, se requiere, no solo ampliar el horizonte operacional del bus eléctrico hasta 14 años sino también tener flexibilidad para poder realizar al menos una recarga a la batería durante el día.

Adicionalmente, aunque las consideraciones de financiamiento actual hacen que los costos entre el bus eléctrico y el diésel sean comparativos, se requieren alternativas de financiamiento, inclusive preferenciales, para que la tecnología sea competitiva con el bus a gas natural.

FIGURA 58

Resumen del flujo de caja de un bus eléctrico (S./)


FIGURA 59

 Resultado del TCO aplicando financiamiento preferencial³¹


³¹Tasa 7% EA, plazo 12 años, 90% porcentaje de deuda y 36 meses periodo de gracia.

4.5. Cálculo de las emisiones de gases efecto invernadero

La razón principal de los esfuerzos globales en introducir tecnologías bajas en emisiones, son los beneficios tanto para la salud, como en la reducción de las emisiones de GEI responsables del cambio climático (IPCCC 2014). Si bien las tecnologías convencionales con estándar de emisión EURO VI han logrado evolucionar para reducir considerablemente los gases nocivos para la salud (Blumberg et al. 2019), el estándar no presenta reducción significativa en las emisiones de GEI, ver figura 9.

De esta manera el transporte eléctrico ha ganado aprobación a nivel mundial debido a que, no solo reduce el 100% los gases contaminantes y GEI provenientes de la combustión de combustibles fósiles, sino que incluso, considerando su producción tiene la capacidad de reducir un gran porcentaje de gases de efecto invernadero en países con matrices eléctricas de bajas emisiones de carbono.

Considerando la metodología explicada en el numeral 2.2.1, la figura 61 presenta el resultado del cálculo de reducción de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO2e) para una flota de 100 buses con vida útil de 14 años.

Los factores de emisión empleados fueron suministrados por el Ministerio de Energía y Minas del Perú, los cuales corresponden a estudios nacionales para determinar las emisiones del sector de transporte, específicamente de los buses que circulan en Lima Metropolitana. Para los combustible diésel y gas natural, los factores de emisión Tank to Wheel corresponden al análisis de los rendimientos de buses según combustibles locales, mientras que los factores de emisión Well to Tank empleados fueron datos conservadores obtenidos por medio de fuentes internacionales³² debido a que en la actualidad el factor de emisión de los combustibles por el proceso de fabricación y transporte no se tiene contabilizado en el Perú.

FIGURA 60

Parámetros empleados para el cálculo de emisiones de CO2e

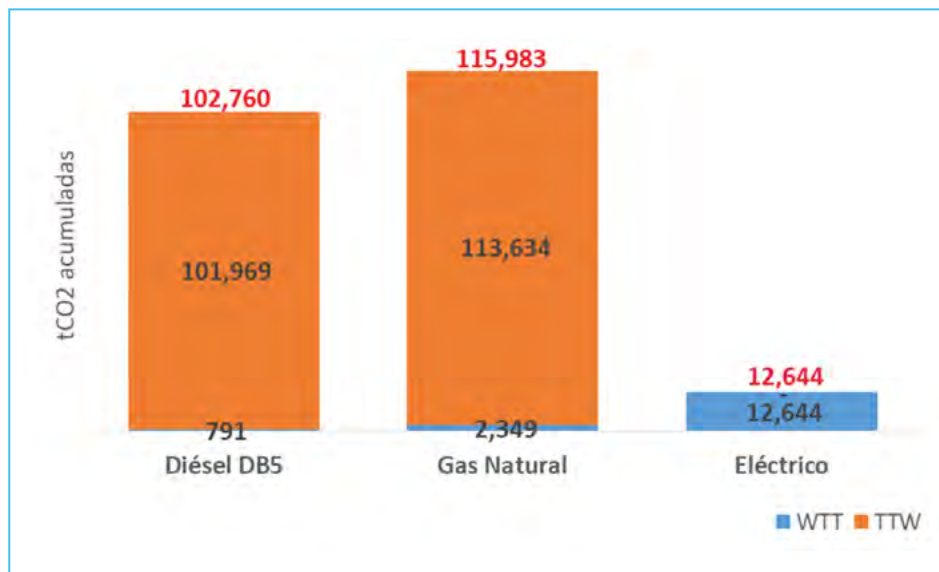
Factores de emisión (CO2e)				
Combustible	TTW	WTT	Total	Unidad
Diésel DB5	0.07	9.62	9.69	kgCO2e/gal
Gas Natural	0.04	2.14	2.19	kgCO2e/m3
Eléctrico	0.15	-	0.15	kgCO2e/kWh

Factor de emisión proveído por MINEM obtenido en base a datos de generación de electricidad correspondientes al año 2018 procedentes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional – SEIN.

³²Fuentes internacionales empleadas (Toyota 2014; Tong et al. 2014).

FIGURA 61

Emisiones acumuladas de CO₂e en 14 años por flota de 100 buses



Según el cálculo, la flota de los 100 buses eléctricos reduce hasta 103,339 tCO₂e durante los 14 años de operación, es decir 87.7% menos emisiones que los buses diésel y 89.1% menos que un bus a gas natural. Viéndolo desde otro punto de vista, 9.2 buses eléctricos generan la misma emisión de GEI que un solo bus a gas natural. De lograrse cuantificar las emisiones reducidas en términos económicos para transarlos en los mercados regulados o voluntarios de emisiones, nacionales o internacionales, el ingreso podría servir de estrategia para apalancar los costos iniciales de la tecnología eléctrica.

Para países con estrategias firmes en cambio climático, establecer precio al carbono es un paso importante para abordar eficazmente el objetivo climático (Banco Mundial 2017). Mientras que en algunos países estimulan el uso de mercados establecidos, otros países diseñan mecanismos propios dentro de los presupuestos de obras sociales. Por ejemplo, en Inglaterra el Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial publica anualmente el precio a pagar por tonelada reducida, para que los proyectos de reducción puedan incluir estos

ingresos en sus presupuestos y obtenerlos a la entrada de operación del proyecto.

Según algunos autores que se han dedicado a estudiar el costo social de la emisión de GEI, estiman que el precio de la tonelada varía entre USD 40 y USD 80 (Banco Mundial 2017; Shindell 2013; Miller et al. 2017), sin embargo, la mayor parte de los precios actuales son inferiores, como es el caso de Inglaterra que ofrece 28 USD /tCO₂ reducida (DBEIS 2018).

Para el transporte sostenible en Lima, la estrategia podría estar alineada con el programa de chatarreo de flotas antiguas. Si bien el programa está diseñado para ofrecer un bono de hasta USD 10,000 para incentivar la renovación de buses con más de 20 de años de antigüedad (Art. 25 Ordenanza 1613), el programa podría ajustarse para que adicionalmente contemple, el tipo de tecnología o su nivel de emisiones y por medio de la contribución del IGV, porcentualmente pueda ser retribuido. Por ejemplo: si el programa de chatarreo actual ofrece hasta USD 10,000 por incluir un bus cuyo IGV es de USD 60,000, lo que corresponde al 15% del IGV. Si este porcentaje

fuera ofrecido para el bus eléctrico cuyo IGV es aproximadamente USD 200,000, el bono de chatarreo aplicable sería de USD 30,000. Al dividir el bono de chatarreo en el total de emisiones evitadas con la tecnología eléctrica, se tendría un valor de 29 USD/tCO₂ reducida lo cual se encuentra dentro de los parámetros observados en la literatura.

Al incluir el beneficio dentro del análisis del TCO, se encuentra que, con el financiamiento comercial, el bus eléctrico sería USD 35,448 más económico que el bus diésel durante su vida útil y el gap con el bus a gas natural sería de USD 10,967 el cual podría ser mitigado en su totalidad ofreciendo financiamiento con tasa de 9.5% EA, plazo 10 años, porcentaje de financiamiento 80% y periodo de gracia de 12 meses, lo cual es muy asequible.



5. ANÁLISIS FINANCIERO Y DE SENSIBILIDAD

Hasta este punto se ha identificado el horizonte requerido para que el bus eléctrico sea competitivo para la operación en Lima y la capacidad óptima de la batería para la operación. En este apartado se estima la remuneración o retribución de los operadores de los corredores complementarios por la prestación del servicio de transporte y se evalúa la capacidad del ingreso en absorber la sensibilidad en los precios encontrados en el mercado local.

Todos los costos incluyen la carga impositiva, la cual no puede ser descontada debido a que el servicio de transporte o el ticket que pagan los usuarios se encuentra exonerada del IGV según decreto supremo 0.36-2004-EF.

Los indicadores empleados para realizar la comparativa entre las tecnologías son:

La tasa interna de retorno (TIR): Es un indicador de la rentabilidad del proyecto definida como el promedio geométrico de los rendimientos futuros. Es la tasa bajo la cual el valor presente neto (VPN) es igual a 0. A mayor TIR mayor rentabilidad.

El valor presente neto (VPN): Permite determinar si los flujos futuros del proyecto (actualizados mediante una tasa de descuento) permiten repagar la inversión y si el valor obtenido, el cual es el neto del proyecto, genera valor -o no - al inversionista.

El periodo de retorno: Permite medir el plazo de tiempo requerido para que los flujos netos del proyecto repaguen la inversión.

Índice de rentabilidad sobre la inversión

(ROE): El índice mide la utilidad del proyecto con relación a cada unidad monetaria invertida y está calculada como relación entre el VPN y los recursos propios del inversionista.

5.1. Cálculo de la remuneración

Como retribución al servicio, los concesionarios tienen derecho a participar de los ingresos del sistema mediante el mecanismo de remuneración establecido en el anexo 7 de los contratos de concesión. El mecanismo establece que, conforme a la propuesta económica realizada en la licitación, la participación del operador de transporte (POT) o visto en otras palabras lo que le corresponde al operador según lo indicado en la licitación, resulta del cálculo del valor licitado por kilómetro por los kilómetros eficientes autorizados y el valor licitado por pasajero por el número de validaciones correspondientes a los pasajeros equivalentes en un porcentaje 70% - 30%. Esto indica que el 70% de los kilómetros recorridos son remunerados y el 30% de pasajeros transportados son remunerados.

Ecuación 15

$$POT = [\alpha * PEK + (1-\alpha) * PEP]$$

Donde:

POT	= Participación del Operador de Transporte en el periodo
PEK	= Participación Equivalente por Kilómetro del Operador
PEP	= Participación Equivalente por Pasajero
α	= Ponderador de Pago

Sin embargo, debido a que el servicio de transporte en Lima es auto-sostenible, el ingreso del sistema (ITS), calculado como la cantidad de tiquetes vendidos, debe ser suficiente tanto para remunerar tanto a los operadores como al concedente, que es

Protransporte, en 3%, a Invermet 0.5%, a la fiducia 0.1% y al operador del recaudo 3%. Adicionalmente se debe destinar un 2% al fondo de reserva. El ROT es la remuneración del sistema de los corredores complementarios menos la remuneración del concedente y otras remuneraciones.

Ecuación 16

$$ROT = ITS - OR$$

$$ITS = \beta * PTotal * TPA + (1 - \beta) * PT * TPE$$

$$OR = ITS * (RPT + Invermet + Fiducia + FReser + RRec)$$

Donde:

ROT	= Remuneración de los Operadores del sistema	OR	= Otras Remuneraciones a cargo del concedente
ITS	= Ingresos total del sistema por la operación	RPT	= Remuneración a PROTRANSPORTE
β	= Factor de pasajero equivalente actual	Invermet	= Remuneración a Invermet (sistema de Control)
Ptotal	= Pasajeros Totales	Fiducia	= Pago a la Fiducia
TPA	= Tarifa a público adulto	FReser	= Fondo de Reserva
TPE	= Tarifa a público estudiante	RRec	= Remuneración al operador del recaudo

En el caso que los Ingresos del sistema (ITS) menos las otras remuneraciones (OR) o en otras palabras el ROT menos el ROT o lo que le corresponde a los concesionarios por

contrato de concesión tengan saldos, positivos o negativos, el fondo de la reserva realiza el aporte o acreencia.

Ecuación 17

$$AFR = ROT - POT$$

Donde:

AFR	= Aporte ó Acreencias al Fondo de Reserva
ROT	= Remuneración de los Operadores
POT	= Participación del Operador de Transporte en el periodo

El mecanismo del fondo de reserva fue establecido bajo la suposición, de acuerdo a los cálculos realizados, que si bien algunas líneas podían ser rentables, otras no, y que de

la modelación de todos los costos del sistema, se estableció la tarifa a los pasajeros, las cuales para sistemas auto-sostenibles como Lima, deben ser mayores o iguales a la tarifa técnica.

Ecuación 18

$$PT = \frac{PTS}{PTotal} = PEU \frac{ITS}{PTotal}$$

Donde:

PT	= Pasaje Técnico
PEU	= Pasaje Equivalente al Usuario
PTS	= Participación Total del Sistema. En este caso es igual al POT + OR
ITS	= Ingresos total del sistema por la operación
Ptotal	= Pasajeros Totales

Del análisis realizado al concesionario, se identificó que los ingresos recibidos por la operación no eran los correspondientes al licitado o al POT, sino los correspondientes al ingreso por pasajero (ITS) menos las otras remuneraciones a cargo del concedente (OR). Debido a que la ecuación 17 indica que si los ingresos del sistema no son suficientes para remunerar al operador el fondo de reserva debería hacer el aporte. Se realizó la consulta al operador y a otros concesionarios, los cuales indicaron presentar la misma situación y añadían que el ingreso del fondo de reserva no era suficiente para compensar el déficit del sistema.

Resultado de las consultas a los operadores a continuación se señalan los factores más relevantes del desbalance del sistema:

1. El recaudo no es electrónico: Según el operador, se estima que las pérdidas en el recaudo son aproximadamente 25%. Aunque a partir de abril de 2019 se inicia la operación del recaudo electrónico, para la elaboración de este documento no se contó con información para validar la mejora en el ingreso.
2. El número de pasajeros transportados es inferior al determinado: Los operadores indican que la reducción en el número de pasajeros es consecuencia de la presencia de otras rutas de aproximación que entran

a las líneas del servicio de los corredores a recoger pasajeros y que, adicionalmente, existe servicio informal o “pirata”. Se indicaba que según los contratos de concesión es responsabilidad de la autoridad retirar las rutas superpuestas.

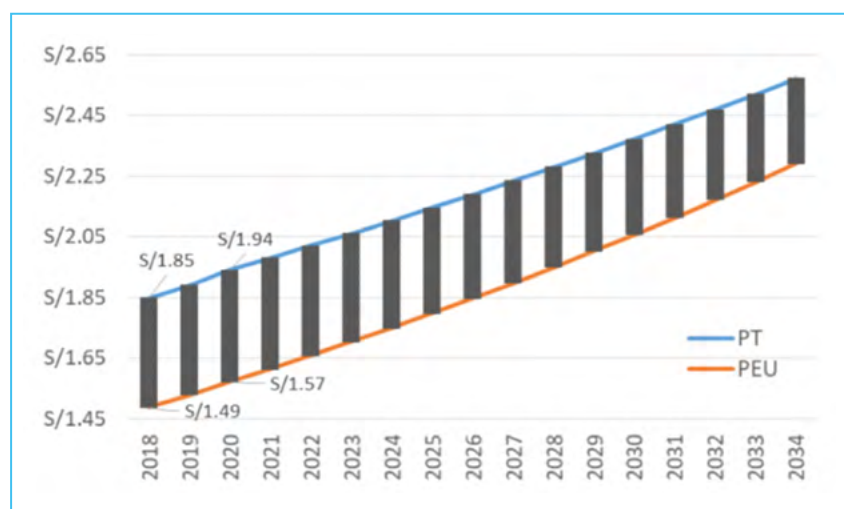
3. El factor equivalente de pasajero inferior al estimado: Debido a que en Lima se ofrecen tiquetes de transporte descontados, aproximadamente 50%, para empleados del servicio civil y estudiantes, se identificó que el factor estimado en la licitación entre el número de pasajeros que pagan el tiquete completo y los pasajeros que pagan el tiquete descontado es superior al real, en la licitación el factor es de 0.8882 y el identificado es de 0.7651.

Si bien el contrato establece que en el caso que el equilibrio económico se quebrante éste debería ser reestablecido, la información histórica presentada por el operador no presenta cambios significativos que indiquen que se estén implementando acciones para reequilibrar el sistema. Según la información facilitada por el operador entrevistado, se determina que el desbalance en el sistema es de aproximadamente 19.5%.

La figura 62 presenta el resultado del análisis del desbalance del sistema según la ecuación 18.

FIGURA 62

Desbalance en el sistema entre el pasaje técnico (PT) y el pasaje al usuario (PEU)



En el caso que el factor por pasajero se incrementara, del actual 0.7651, al de la licitación 0.8882 el desbalance del sistema sería de aproximadamente 13.9%.

Con el objetivo de identificar el impacto de la reducción en los ingresos en el flujo de caja

de los buses diésel, a continuación se muestra el resultado con el ingreso esperado y el recibido, sin considerar financiación y tasa de descuento de 10.23% tal y como fue definido anteriormente.

FIGURA 63

Flujo de caja ESPERADO para los buses diésel (S./)

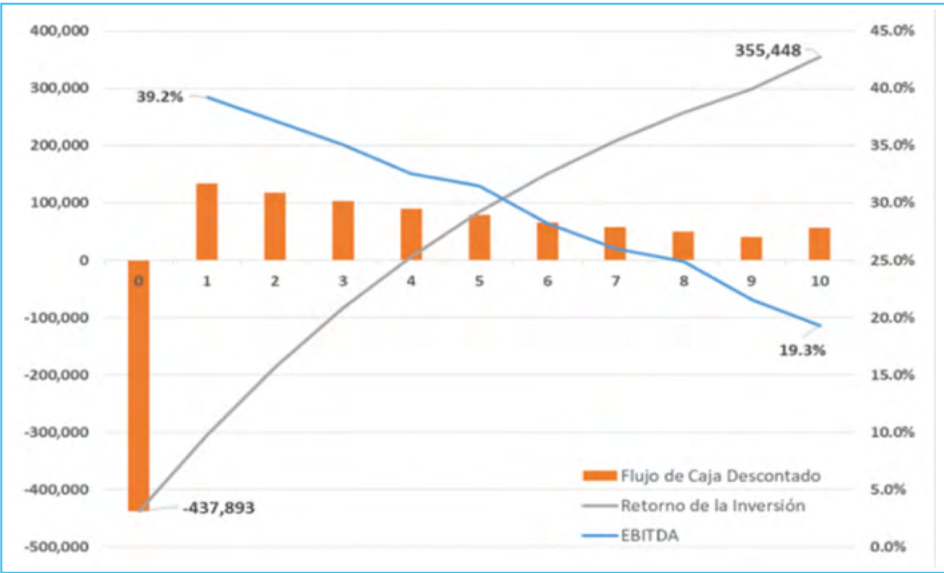
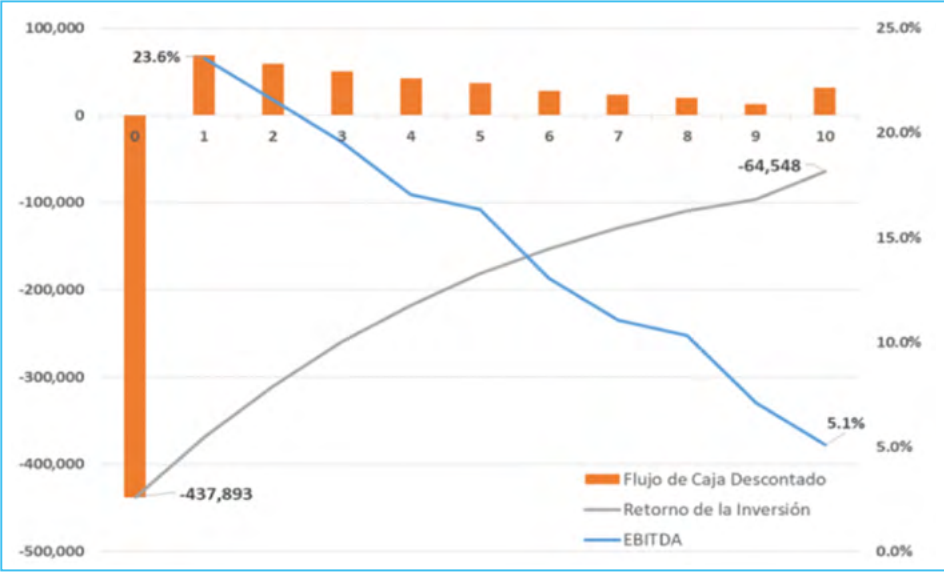


FIGURA 64

Flujo de caja ACTUAL para los buses diésel (S./)



Como se puede evidenciar, el desequilibrio económico en la operación está causando que el ingreso recibido no sea suficiente para retornar la inversión. Si bien el operador esperaba, según su oferta para la concesión, retornar la inversión en aproximadamente 4 años e incrementar el valor del negocio por medio del VPN en S./ 355,448 (ver figura 63), en su lugar, durante el periodo analizado, el operador no alcanza a recuperar su inversión y esperaría pérdidas de S./ 64,548, ver figura 64.

Según comunicados de prensa, la nueva Ministra de Transporte, María Jara Risco, está al tanto de la situación por la que atraviesan los operadores de transporte en Lima; además expresa su inconformidad sobre la presencia de empresas “cascarón” y ha generado alta expectativa para la entrada en operación de la nueva Autoridad Única de Transporte, la ATU (El Comercio 2019). Se espera que, por medio de la entrada del mecanismo de recaudación electrónico, la posición concreta de la ministra en abolir el servicio informal y con la declaración del servicio de transporte como un bien “público” que permitiría generar incentivos o compensación al sistema por medio de recurso públicos, el sistema logre balancearse.

Sin embargo, al momento y durante la elaboración de este reporte no es posible estimar o predecir la posición del servicio, por lo tanto, los análisis son realizados considerando el caso actual en donde los operadores reciben un 19.5% menos ingresos que según el establecido en el contrato de concesión.

5.2. Resultado del análisis financiero

El cálculo de los indicadores TIR, VPN, periodo de retorno e índice de rentabilidad han sido calculados bajo dos condiciones, la primera sin tomar en cuenta apoyo financiero externo, sólo considerando la inversión por parte del operador a la tasa de descuento anteriormente estimada, 10.23%, y la segunda

tomando en cuenta financiamiento con deuda. Esta distinción se realiza debido a que los indicadores cambian significativamente cuando el proyecto cuenta con financiamiento externo, por el apalancamiento entre las tasas de descuento y de interés.

Adicionalmente, debido a que actualmente la remuneración no obedece a la ecuación 15 como le correspondería al operador según el contrato de concesión, se aplica la ecuación 16 y las tarifas al público son proyectadas con el IPC. El resultado del cálculo de la remuneración (ver figura 65), se emplea para las tres tecnologías.

FIGURA 65

Remuneración empleada para el análisis financiero³³

Plazo	0	1	2	
Año	2019	2020	2021	
Remuneración	386,093	396,639	407,472	
	</			

Por otra parte, vale aclarar que si bien el análisis es realizado a un horizonte de 14 años, tal como se estableció en los resultados del análisis de TCO, (ver numeral 4.4), para los buses convencionales mantener en operación flotas antiguas no es atractivo debido al alto costo que representan en mantenimiento. Como se muestra en la figura 66, mantener un bus diésel por más de 10 años genera una reducción en los indicadores económicos. Aunque para los buses a gas natural sucede el efecto contrario esta situación se presenta debido a la baja inflación considerada para el combustible gas natural. En el caso que la inflación del combustible gas natural se eleve a un punto similar que el IPC, 2.73% promedio, sucedería el mismo efecto que en el caso diésel.

³³La figura 65 presenta el resultado de la remuneración a 7 años sin embargo es calculado al horizonte del análisis, 14 años.

FIGURA 66

Remuneración empleada para el análisis financiero

Horizontes del análisis	10 años		12 años		14 años	
Tecnologías	Diésel	Gas	Diésel	Gas	Diésel	Gas
TIR	6.38%	10.46%	6.11%	11.46%	5.2%	12.11%
VPN (S./)	- 64,548	5,439	-71,985	33,538	-85,925	56.740
Recuperación de Inv. (años)	-	9.89	-	11,14	-	11.82
Índice de Rentabilidad	-14.74%	0.96%	-16.44%	5.92%	-19.62%	10.01%

5.2.1 Resultado del análisis SIN financiamiento

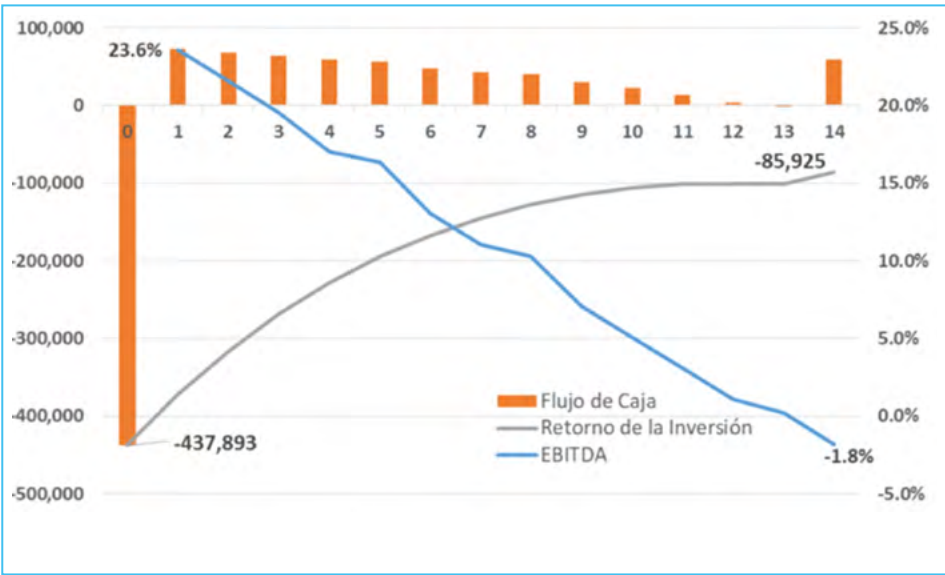
Las siguientes figuras: 67, 68 y 69 resumen el flujo de caja de los buses diésel, gas natural y eléctrico sin emplear fuentes de financiamiento externa. El detalle de los flujos se muestra en el Anexo 1.1.

Las barras color naranja representan el flujo de caja del bus durante el horizonte de 14

años, la línea azul presenta el EBITDA que es el porcentaje de los ingresos disponibles luego del pago de los costos operativos y antes del pago de los intereses, impuestos, depreciación y amortización y la línea gris muestra el retorno de la inversión calculado como el flujo acumulado de los ingresos y los egresos ajustados mediante la tasa de descuento.

FIGURA 67

Resumen del flujo de caja de un bus diésel (S./)



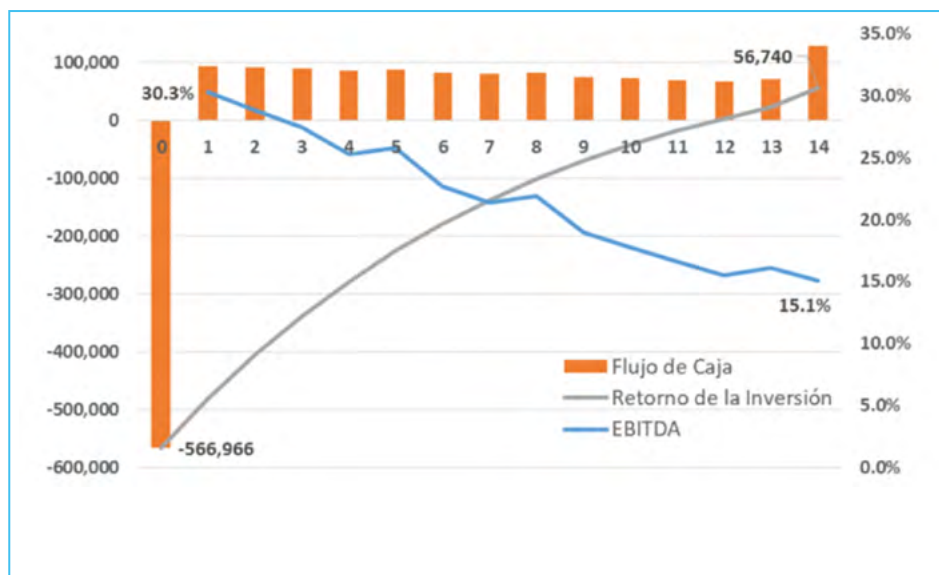
Este escenario muestra que el ingreso del bus diésel no es suficiente para amortizar el costo de capital. El EBITDA en el año 1 es de 23%. Debido a que el incremento en los costos operativos, como el mantenimiento, el combustible, los salarios, costos administrativos, etc., es superior al incremento en la remuneración, el EBITDA decrece hasta volverse negativo en el año 14. Si bien es de esperarse este tipo de comportamiento para un bus diésel debido a que los gastos en el primer año, especialmente el

mantenimiento, son inferiores, la remuneración es normalmente calculada para superar esta característica. Sin embargo, debido la situación actual con la remuneración, los ingresos son inferiores a los requeridos para prestar el servicio.

El cálculo de los indicadores demuestra que la TIR de 5.27% es inferior que la tasa de descuento y el VPN es negativo es decir al final del horizonte el operador pierde S./85,925.

FIGURA 68

Resumen del flujo de caja de un bus a gas natural (S./)

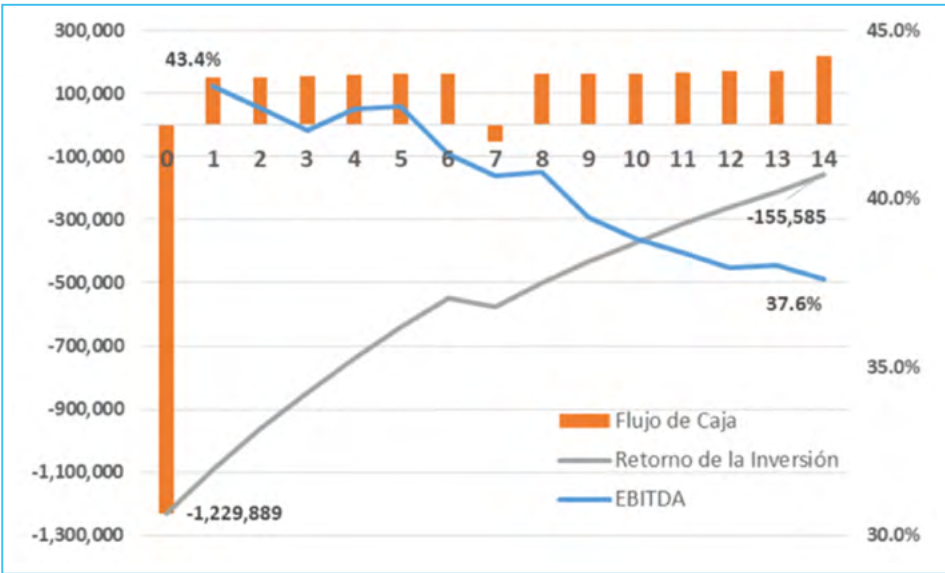


El escenario del bus a gas natural es más favorable, aunque el capital de trabajo es más elevado que el del bus diésel, los costos operativos del bus son inferiores. Si bien se muestra que el EBITDA se reduce en aproximadamente 15% durante el horizonte

del análisis, los ingresos permiten amortizar la inversión. El cálculo de los indicadores demuestra que la TIR de 12.11% es superior que la tasa de descuento empleada, el retorno de la inversión se realiza cerca al año 12 y el VPN es de S./ 56,740.

FIGURA 69

Resumen del flujo de caja de un bus eléctrico (S./)



Al igual que para el bus diésel, el escenario del bus eléctrico no es favorable. Si bien el EBITDA es superior y más estable que los casos anteriores, el mayor costo de capital no permite que los ahorros en combustible y mantenimiento, principalmente, sean suficientes para amortizar la inversión. En el año 7 se puede apreciar un comportamiento inusual en el flujo de caja que corresponde al recambio de la batería. El cálculo de los indicadores demuestra que la TIR

de 7.89% es inferior que la tasa de descuento sin embargo superior que la TIR del bus diésel, ver figura 70.

La siguiente figura resume el resultado del cálculo de los indicadores para las tres tecnologías. De las tres tecnologías y sin incluir financiamiento en el análisis solo el bus a gas natural presenta resultados favorables desde el punto de vista del inversionista.

FIGURA 70

Resultado del cálculo de los indicadores financieros SIN financiamiento

Resultado del Análisis sin Financiamiento			
Tecnología	Diésel	Gas	Eléctrico
Inversión Inicial Cap. Propio (s./)	437,893	566,966	1,229,889
TIR	5.27%	12.11%	7.89%
VPN (S./)	-85,925	56,740	155,285
Recuperación de Inv. (años)	-	11.82	-
índice de Rentabilidad	-19.62%	10.01%	-12.65%

5.2.2 Resultado del análisis CON financiamiento

El análisis de los indicadores financieros se llevó a cabo tomando en cuenta las condiciones de financiamiento que reciben los concesionarios y se emplea para las tres tecnologías.

FIGURA 71

Estructura de financiamiento disponible para buses en los corredores complementarios

Estructura de financiamiento para buses			
Tecnología		Diésel y Gas	Eléctrico
Horizontes del análisis	años	14	14
Plazo del préstamo	años	6	6
Porcentaje de deuda	%	80%	80%
Tasa de interés equivalente	%EA	10%	10.0%
Periodo de gracia	meses	6	6

La figura 72 muestra el resultado de los indicadores financieros para las tres tecnologías. El detalle del cálculo puede verse en el anexo 1.2.

FIGURA 72

Resultado del cálculo de los indicadores financieros CON financiamiento

Resultado del Análisis sin Financiamiento			
Tecnología	Diésel	Gas	Eléctrico
Inversión Inicial Cap. Propio (s./)	116,679	139,938	267,544
TIR	4.56%	17.29%	7.97%
VPN (S./)	- 46,999	108,490	-80,582
Recuperación de Inv. (años)	-	9.63	-
índice de Rentabilidad	-40.28%	77.53%	-30.12%

Bajo la estructura de financiamiento considerada, no se identifica mayor efecto en los indicadores de los buses diésel y eléctrico. Con relación al bus diésel, aunque el uso de financiamiento externo o deuda mejora el VPN en aproximadamente S./ 38,900 el indicador permanece negativo en S./ 46,999.

Similar que para el bus diésel, el VPN del bus eléctrico también mejora, sin embargo, al final del horizonte del análisis, el VPN permanece negativo en S./ 80,580 y la tasa interna del proyecto es de 7.97% la cual es inferior que la tasa de descuento del inversionista.

A diferencia de los casos anteriores, las condiciones de financiamiento comerciales favo-

recieron al bus a gas natural. El resultado del análisis demuestra que el bus a gas natural presenta la mejor TIR, muy por encima de las otras dos tecnologías analizadas. También el flujo del proyecto es positivo en S./ 108,490 y el retorno de la inversión se alcanza en el año 9.63.

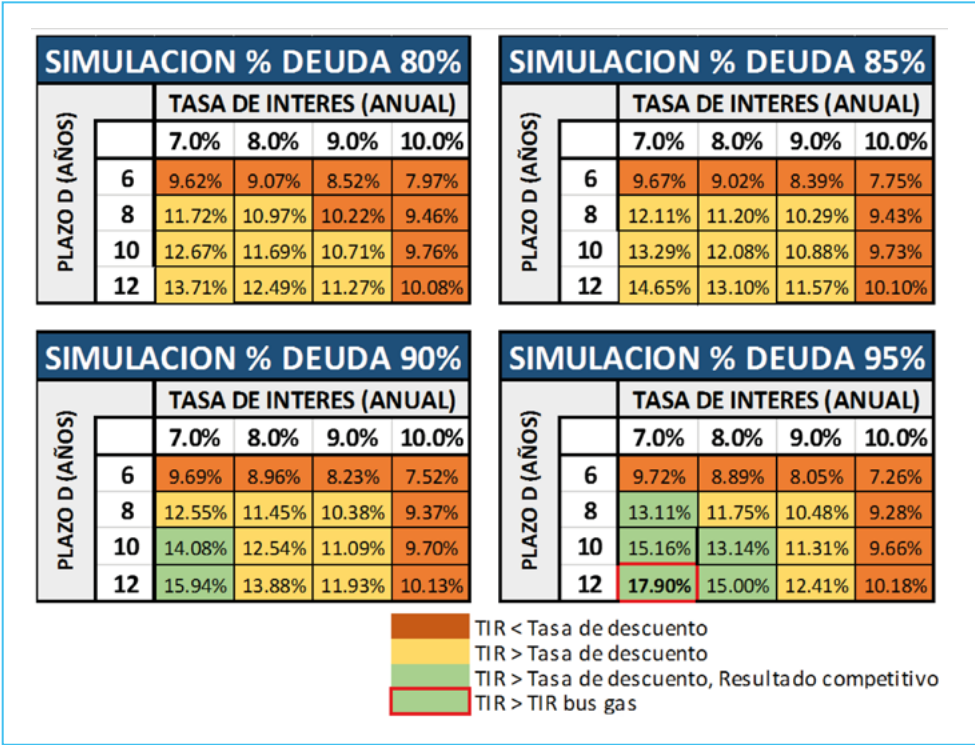
La razón principal que los buses a gas natural resulten más favorables que las demás tecnologías se debe al costo del combustible. Aunque en el Perú, el gas natural vehicular no cuenta con subsidios, existe una oferta agresiva por parte de los proveedores debido a una gran disponibilidad del combustible.

Según las condiciones empleadas para el análisis, para que la tecnología eléctrica pueda masificarse en Lima el benchmarking no debería ser el bus diésel sino el bus a gas natural. A continuación, se presenta el resultado de la

simulación de múltiples condiciones de financiamiento para identificar bajo qué condiciones los indicadores del bus eléctrico son positivos y competitivos con relación al bus a gas natural.

FIGURA 73

TIR considerando diferentes estructuras y condiciones de financiamiento



La figura 73 presenta el resultado de la tasa interna de retorno considerando diferentes estructuras y condiciones de financiamiento. Se establecen como estructuras de financiamiento, 80% de deuda, 85% de deuda, 90% de deuda y 95% de deuda y se varían las condiciones de financiamiento entre 6 a 12 años de plazo y entre 7% y 10% de tasa.

El resultado de la modelación se presenta de la siguiente manera:

1. El color marrón indica que la TIR calculada es menor que la tasa de descuento del

inversionista, por lo cual el VPN es menor a 0. Estas condiciones de financiamiento no apalancan la operación suficientemente, y desde el punto de vista del inversionista no es una inversión viable.

2. El color amarillo indica que la TIR calculada es mayor que la tasa de descuento por lo cual el VPN es mayor a 0. Esta es una operación viable para el inversionista, pero no es comparable con el resultado que ofrece el bus a gas natural.

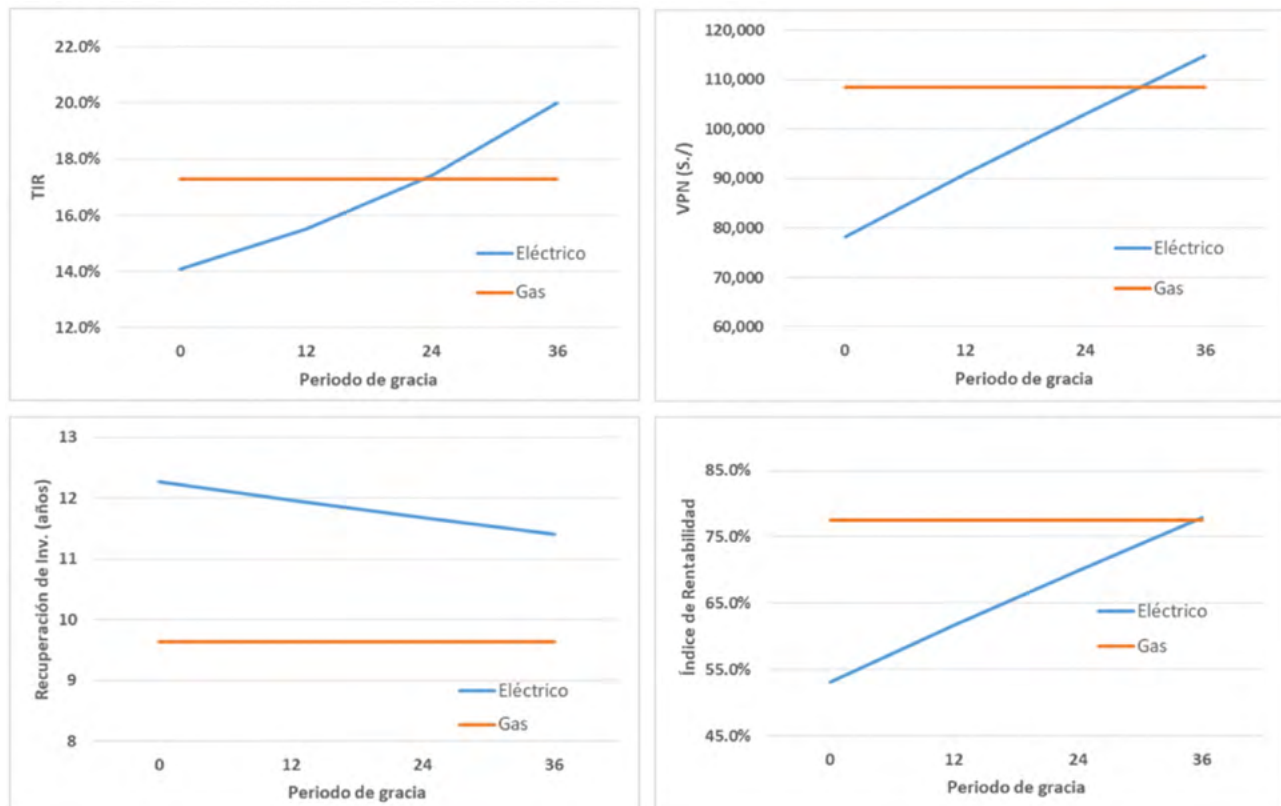
3. El color verde indica que la TIR calculada es mayor que la tasa de descuento y el resultado es competitivo con el bus a gas natural.

da es mayor que la tasa de descuento y las condiciones empleadas pueden hacer competitiva la tecnología eléctrica con relación al gas natural si adicionalmente, se ofrece flexibilidad en el repago del crédito. Tomando como ejemplo la tabla inferior izquierda de la figura 73, que corresponde a la simulación con 90% de deuda y las condiciones

de financiamiento 7% de tasa y 10 años plazo, se encuentra que la TIR calculada es de 14.08% la cual es mayor que la tasa de descuento, sin embargo, al considerar un periodo de gracia al financiamiento, se observa que los indicadores financieros se mejoran y comparan con los indicadores del bus a gas natural.

FIGURA 74

Resultado de la variación del periodo de gracia en los indicadores financieros



Por ejemplo, en la figura 74, el índice de rentabilidad el cual mide la utilidad del proyecto con relación a cada unidad monetaria invertida, muestra que con un periodo de gracia de 36 meses la inversión realizada para el bus eléctrico es tan atractiva como la inversión en un bus a gas natural.

Una vez analizados las múltiples condiciones de financiamiento, se puede deducir que, bajo condiciones ideales, los resultados o indicadores financieros del bus eléctrico se vuelven

competitivos con relación al bus a gas natural. El resultado de incluir financiamiento preferencial con 90% porcentaje de deuda, 10 años de plazo, 7% tasa de interés y 36 meses de periodo de gracia, no solo hace competitiva la tecnología eléctrica con relación al bus a gas natural, también aproxima la proporción de capital propio o depósito inicial, lo cual según las entrevistas con los operadores simplificaría el proceso de toma de decisiones. El resumen del resultado se muestra a continuación:

FIGURA 75

Resultado del cálculo de los indicadores financieros
con financiamiento preferencial

Resultado del Análisis con Financiamiento Preferencial			
Tecnología	Diésel	Gas	Eléctrico
Inversión Inicial Cap. Propio (s./)	116,679	139,938	147,251
TIR	4.56%	17.29%	20.01%
VPN (S./)	- 46,999	108,490	114,755
Recuperación de Inv. (años)	-	9.63	11.41
Índice de Rentabilidad	-40.28	77.53%	77.93%

5.3. Resultado del análisis de sensibilidad

Luego de determinar las condiciones de financiamiento favorables para la tecnología eléctrica, se procede a identificar el efecto de la sensibilidad de los parámetros definidos sobre las variables financieras o rentabilidad del proyecto. Para esto se realiza un análisis de sensibilidad unidimensional o por variable y multidimensional en todas las variables definidas.

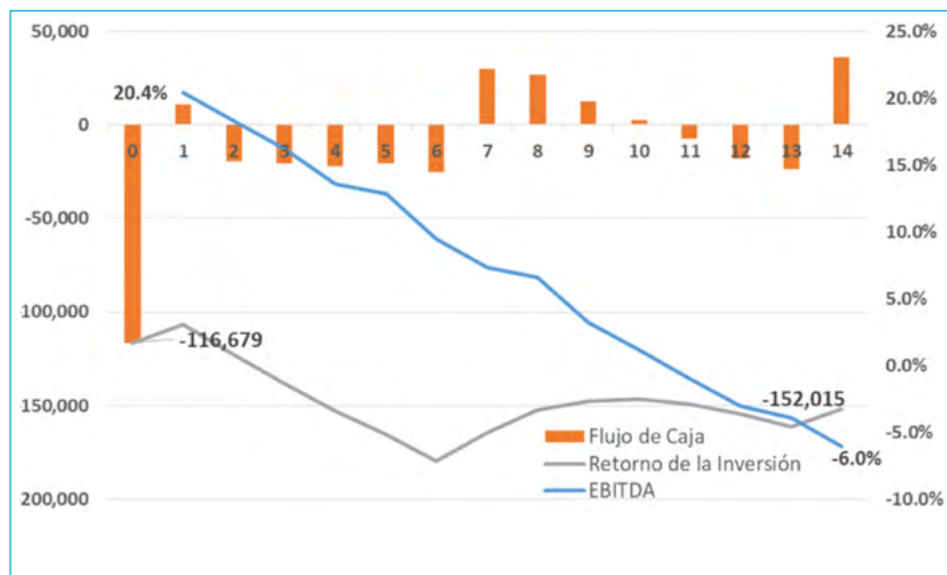
El análisis es realizado por medio de simulación Monte Carlo tal como se define en el marco metodológico, numeral 2.

Es importante aclarar que, si bien en los proyectos de inversión los ingresos son objeto de análisis de sensibilidad, para el desarrollo de este análisis se asume que la variación actual en el ingreso del concesionario, 19.5% por debajo del esperado, corresponde al escenario

más ácido o pesimista. La situación cambiante en el panorama del transporte en Lima, explicado en el numeral 5.1. conlleva a interpretar que es más probable que los ingresos del operador incrementen en el corto y mediano plazo, a que disminuyan. De tal manera, considerando que los ingresos actuales corresponden a un escenario conservador, el análisis de sensibilidad se realiza bajo este parámetro, por lo cual el ingreso no hace parte del análisis de sensibilidad. Sin embargo, se identificó que si los ingresos disminuyen en un 4% más que el 19.5% actual, no solo los indicadores financieros tanto del bus a gas natural como el eléctrico se vuelven negativos, los costos operativos del bus diésel serían más elevados que la remuneración, por lo cual el inversionista no podría abonar a capital y la deuda se incrementaría aún más, ver figura 76.

FIGURA 76

Efecto de reducir 4% más de los ingresos en el flujo de caja del bus diésel (S./)



A continuación, se definen las variables y parámetros empleados para el análisis de sensibilidad:

Chasis y carrocería: Según la oferta local se encontró que la diferencia entre los fabricantes varía en aproximadamente 8.5%. El análisis define como probable el promedio de la oferta local y establece límites de la siguiente manera: S./182,115 \pm 8.5%.

Batería: La variación a la batería se realiza según el criterio del consultor sobre precios regionales y economía de escala. El análisis define como probable el promedio de la oferta local y establece límites de la siguiente manera: 437 USD/kWh \pm 5%.

Rendimiento del bus. La sensibilidad en el rendimiento el bus se establece según los resultados de los proyectos piloto en la región, ver numeral 4.3.1. El análisis define como probable el promedio regional y establece los límites de la siguiente manera: 0.95 km/kWh \pm 5%.

Tarifa de energía. Se encontró una gran variación en la tarifa de energía eléctrica especialmente entre el mercado regulado y libre y entre consumir energía fuera o en hora punta. Debido

a que se requiere de tres buses para satisfacer el requerimiento de potencia para tener derecho al mercado libre, se asume que los operadores tendrán tarifas de usuario libre. Por otra parte, también se asume que el consumo de energía será realizado fuera de punta. Si bien es posible requerir de recargas diurnas, es factible realizar las recargas por fuera del periodo entre las 6pm y 11pm. Por último, debido a que el exceso de oferta de energía ha ocasionado que el precio spot se ubique en niveles bajos, ver numeral 4.3.2, es posible que se adopten medidas para incrementar el cargo por peajes. Aunque no se logró identificar documentos relacionados sobre la proporción del incremento, el consultor considera conservador incrementar la tarifa de cliente regulado de 0.26 S./kWh a 0.30 S./kWh y establece como límite el porcentaje correspondiente a la tarifa actual de la siguiente manera, 0.30 S./kWh \pm 15%. Vale aclarar que la tarifa considerada incluye el costo por potencia.

Mantenimiento del bus La sensibilidad en el costo de mantenimiento se establece según las experiencias reportadas en el numeral 4.3.3. El análisis define como probable el costo de mantenimiento calculado y establece los límites de la siguiente manera: 0.71 kWh/km \pm 20%.

5.3.1. Resultado del análisis de sensibilidad unidimensional

El análisis unidimensional muestra que la mayor sensibilidad en el análisis se genera por medio de los costos de capital, debido a que el porcentaje de variación empleado como dato de entrada, es menor que el impacto en el flujo de caja del proyecto. Es decir, pequeños cambios en los costos generan mayor daño a la rentabilidad del proyecto que mayores cambios en los

costos operativos. El porcentaje de impacto es el coeficiente de variación o grado de variabilidad del VPN en el flujo de caja y se expresa como la desviación estándar de la media aritmética.

El resultado se presenta en tres escenarios, pesimista que corresponde al valor mínimo identificado en las 1500 simulaciones, el optimista es el máximo y el probable es el promedio de los resultados.

FIGURA 77

Resultado del análisis de sensibilidad unidimensional

Escenarios	Dato de entrada	VPN			Probabilidad	
	% Variación	% Probable	Pesimista	Optimista	%Impacto	VPN<0
Chasis y carrocería	8.50%	118,937	72,895	163,444	21.8%	0.0%
Batería	5%	115,812	99,077	132,462	8.4%	0.0%
Rendimiento dl bus	5%	114,701	110,177	118,875	2.4%	0.0%
Tarifa de energía	15%	114,736	94,842	134,208	10.8%	0.0%
Mantenimiento	20%	114,922	91,888	137,352	12.0%	0.0%

En términos de impacto, se identifica que el costo del chasis, el costo de mantenimiento y la tarifa de energía reducen en mayor proporción el VPN del proyecto. Sin embargo, debido al nivel de apalancamiento generado por medio del financiamiento preferencial, discutido anteriormente, en ningún caso el VPN del proyecto es menor a 0.

Hay que resaltar que, aunque el porcentaje de impacto por el rendimiento del bus es bajo en comparación a las otras variables, la disminución en el rendimiento indica que la batería del bus debería ser recargada por un periodo más largo de tiempo. Es decir, si el bus con batería de capacidad de 180kWh requiere en promedio 30 minutos de recarga diurna con un rendimiento de 0.95km/kWh, si se reduce el rendimiento a

0.90km/kWh se requeriría de aproximadamente 38 minutos de recarga diurna.

5.3.2 Resultado del análisis de sensibilidad multidimensional

Si bien el análisis unidimensional ofrece información sobre las variables que impactan en mayor proporción el flujo de caja del proyecto, en la realidad todas las variables generan sensibilidad simultáneamente, por lo cual el análisis multidimensional agrupa todas las variables para determinar su impacto conjunto.

El resultado del análisis se presenta a continuación.

FIGURA 78

Histograma de distribución de probabilidad del VPN

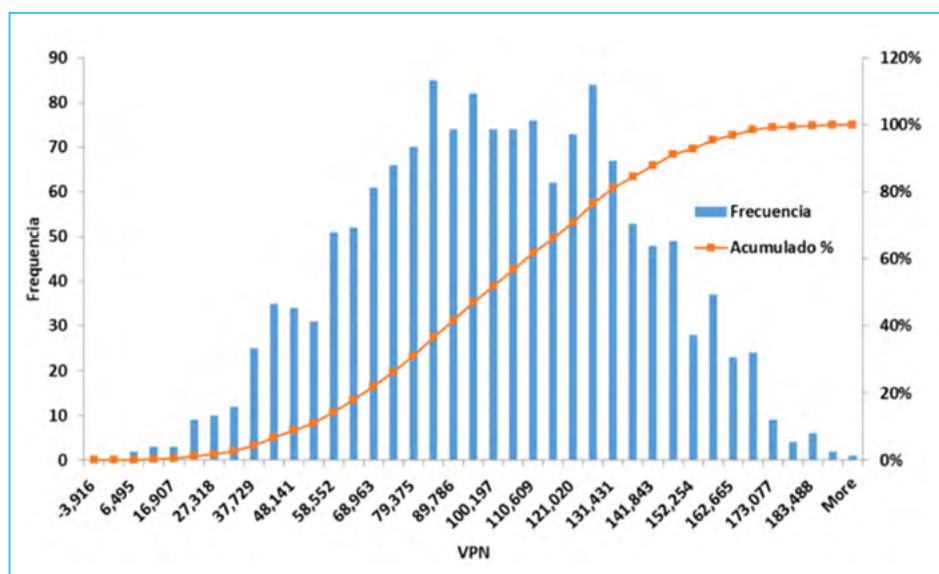


FIGURA 79

Resultado del análisis de sensibilidad multidimensional

Análisis de sensibilidad multidimensional				
Estadística	TIR (%)	VPN (S./)	Rec.Inv (años)	Rentabilidad (%)
Probable	18.7%	98,715	118	67.7%
Pesimista	10.0%	-3,059	-	-2.0%
Optimista	28.6%	191,675	9.5	136.2%
% Impacto	18.6%	35.6%	7.3%	37.4%
Prob < 0	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%
Prob > Diésel	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%
Prob > Gas	63.7%	0.1%	0.1%	35.5%

Con relación a las variaciones propuestas, se identifica que existe una probabilidad de 0.1% que el VPN del proyecto del bus eléctrico sea menor a 0, una probabilidad del 100% que el VPN sea mayor al de diésel y una probabilidad de 39.5% que el VPN sea mayor que el VPN del bus a gas natural. De las 1,500 simulaciones realizadas solo se encontraron 2 resultados en donde la TIR es menor a la tasa de descuento del inversionista por lo tanto el VPN es negativo. Con relación al retorno de inversión, se encuentra una probabilidad de 0.1% que la recuperación de la inversión se genere más rápido

que el bus a gas natural, lo cual es consistente con la necesidad de amortizar el bus eléctrico en el mayor plazo posible.

El resultado del análisis de sensibilidad multidimensional demuestra que con las condiciones de financiamiento preferenciales definidas en 5.2.2., la tecnología eléctrica no solo se hace competitiva con la tecnología a gas natural, también reduce la probabilidad de que el proyecto entre en default en el peor caso que pueda presentarse.



6. MATRIZ DE RIESGOS

En el documento se han definido y evaluado los riesgos tecnológicos y económicos que inciden en mayor proporción sobre el flujo de caja o sobre la inversión de buses eléctricos. Sin embargo, no se puede aislar la tecnología de las condiciones macroeconómicas o externas que pueden afectar cualquier proyecto de inversión.

Mediante un análisis PESTA (Gupta 2013), la figura 80 presenta los riesgos políticos, económicos, sociales, tecnológicos y ambientales que podrían impactar el proyecto y ofrece el mecanismo de mitigación apropiado según la probabilidad e impacto del riesgo.

En total se identificaron 24 riesgos, a continuación se presenta el resumen de ellos mediante el uso de la matriz de probabilidad e impacto.

FIGURA 80

Resultado del análisis de riesgo mediante matriz de probabilidad e impacto

PROBABILIDAD	ALTO		
	2.7 2.8	3.1	
	1.3 4.2 4.1	2.5 2.6 2.2 2.4 5.1	4.4 4.5 2.1 4.6
	BAJO		
	1.1 1.2 3.2 3.3	4.7 2.3 4.8 4.3 5.2	
	BAJO	MEDIO	ALTO
	IMPACTO		

El análisis muestra que la matriz de riesgo se encuentra distribuida de la siguiente manera:

- 4 riesgos que se aceptan y hacen parte del costo natural del proyecto, sin embargo, se debe permanecer vigilante de posibles cambios que incremente el nivel del riesgo.
- 8 riesgos que requieren ser reducidos mediante medidas de control y seguridad.
- 7 riesgos que deben ser transferidos mediante instrumentos de cobertura como garantías de pago, seguros, garantías extendidas y/o subcontratación de servicios.
- Y 5 riesgos que igualmente deben ser transferidos pero que dentro de las entrevistas demostraron ser un mayor objeto de preocupación, entre ellos la recaudación, y la estabilidad del fabricante en el mercado.

FIGURA 81

Matriz de análisis de riesgos y de mecanismos de mitigación para buses eléctricos

Caracterización de riesgos para la operación de buses eléctricos							
Tipo de riesgo	Clasif.	Causa del riesgo	Descripción	Asignación	Prob.	Imp.	Mitigación
Político	1.1	Cambio de gobernantes	Corresponde al efecto económico causado por el cambio de gobierno que podrían desincentivar el uso de la tecnología eléctrica. Como consecuencia podría incrementar tarifas de energía, costos de adquisición y disposición de baterías y otras normativas que impactan el flujo de caja de los proyectos.	Inversionista y operador	Bajo	Bajo	Tanto el inversionista como el operador deben asegurarse de tener claridad de elementos susceptibles de cambios políticos para hacerles seguimiento o asegurarlos por el periodo del contrato.
	1.2	Tasas impositivas	Consiste en el efecto económico por la modificación de la política tributaria.	Inversionista operador	Bajo	Bajo	El incremento en tasas impositivas incrementaría el costo del servicio, por lo cual los contratos de concesión estipulan que en el caso que los ingresos del operador incrementen o disminuyan en un 10% la autoridad de transporte debe restablecer el equilibrio económico y financiero.
	1.3	Regulación en infraestructura de recarga.	Corresponde al efecto económico causado por la necesidad de actualizar las infraestructuras de recarga instaladas según la normativa o estándar que entre a regir.	Inversionista y operador	Medio	Bajo	La implementación de regulación sobre infraestructuras de recargas corresponde a la estandarización de los cargadores para recarga pública. Las infraestructuras de recarga propuestas en este análisis son ubicadas en áreas privadas como lo son los patios o garajes de los buses. El inversionista debe asegurarse que la instalación de la infraestructura de recarga es realizada por una empresa certificada bajo la norma nacional para instalaciones eléctricas.

Caracterización de riesgos para la operación de buses eléctricos							
Tipo de riesgo	Clasif.	Causa del riesgo	Descripción	Asignación	Prob.	Imp.	Mitigación
Económico	2.1	Menor demanda de pasajeros	Corresponde al efecto económico por aumento o disminución de la demanda de pasajeros.	Autoridad de transporte	Medio	Bajo	Los contratos de concesión estipulan que en el caso que los ingresos del operador incrementan o disminuyan en un 10% la autoridad de transporte debe restablecer el equilibrio económico y financiero. Según lo establece el marco legal para APPs el estado puede comprometerse a realizar pagos por co-financiamiento o pagos por ingresos mínimos garantizados.
	2.2	Variación en la tarifa de pasajeros	Corresponde al efecto económico por aumento o disminución de la demanda de pasajeros.	Autoridad de transporte	Medio	Bajo	
	2.3	Riesgo cambiario en compra de vehículos y equipos.	Consiste en el efecto económico consecuencia de las fluctuaciones del dólar y la devaluación de la moneda local.	Inversionista, operador.	Bajo	Medio	El inversionista y el operador deben realizar análisis y estudios que permitan determinar el efecto de la tasa de cambio sobre la remuneración acordada. Con relación al mantenimiento con los fabricantes, se debe solicitar el servicio en moneda local y se debe acordar dentro del contrato del servicio el indexador a emplear, puede ser el IPC. En caso de que el operador realice el mantenimiento, se conoce que el costo asignado a las partes del sistema eléctrico es el orden del 30%. El mayor costo de mantenimiento es consecuencia a ajustes y mantenimiento al chasis y carrocería, servicio conocido por el operador y manejado en moneda local.
	2.4	Costo de reemplazo de batería	Consiste en el efecto económico consecuencia de incremento en el costo de la batería en el año de reemplazo.	Inversionista.	Medio	Bajo	El inversionista y operador deben acordar con el fabricante los términos contractuales para que este garantice la disponibilidad de la batería y establecer un tope máximo sobre el costo en el año del reemplazo.
	2.5	Incremento en la tarifa de energía	Corresponde al efecto económico por aumento y fluctuaciones en la tarifa de energía.	Inversionista y operador.	Medio	Medio	El inversionista y el operador deben, desde la etapa inicial del proyecto, formar alianzas con la empresa de energía de su conveniencia para establecer las condiciones y contratos de suministro de energía en el corto, mediano y largo plazo.

Caracterización de riesgos para la operación de buses eléctricos							
Tipo de riesgo	Clasif.	Causa del riesgo	Descripción	Asignación	Prob.	Imp.	Mitigación
Económico	2.6	Fluctuaciones tasas de financiamiento.	Consiste en el efecto derivado de las variaciones e incremento en las tasas de interés.	Inversionista y operador	Medio	Medio	El inversionista y el operador pueden solicitar que el financiamiento se realice a tasa fija. Se debe contar con asesoramiento financiero que permita identificar la viabilidad entre asumir el costo de un interest rate swap (intercambio de tasa de interés) o tomar financiamiento variable. El costo del swap puede ser hasta de 200 puntos básicos sobre la tasa de interés.
	2.7	Demoras en la construcción y entrega de la infraestructura.	Corresponde al efecto económico causado por demoras o retrasos en la construcción y puesta en marcha de la infraestructura de recarga.	Inversionista y operador	Alto	Bajo	El inversionista y el operador deben solicitar que dentro el contrato de construcción de la infraestructura se incluyan garantías de construcción y entrega de la obra con castigo por incumplimiento.
	2.8	Demora en la entrega de los buses.	Corresponde al efecto económico causado por demoras o retrasos en la entrega.	Inversionista y operador	Alto	Bajo	El inversionista y el operador deben solicitar al fabricante garantía de entrega de los vehículos con castigo por incumplimiento.
Social	3.1	Fraude por medios de pago.	Consiste en el efecto económico ocasionado por el fraude en la utilización de los sistemas de recaudo.	Autoridad de transporte	Medio	Medio	La autoridad de transporte debe garantizar la vigilancia del sistema de recaudo y de las estaciones de recolección de pasajeros. La implementación de sistemas de recaudo electrónico es un mecanismo implementado para mitigar este riesgo.
	3.2	Orden público	Corresponde al efecto económico causado por daño emergente y lucro cesante proveniente de rebelión, guerra, ataques terroristas, etc.	Inversionista y operador	Bajo	Bajo	El inversionista y el operador deben asegurarse de que la propiedad cuenta con los seguros de riesgo contractuales y extracontractuales, además del seguro todo riesgo con cobertura de lucro cesante. Para los seguros contractuales y extracontractuales aplican las mismas tarifas que para los buses convencionales, debido a que dependen del índice de siniestralidad del operador. Por otra parte el seguro contra todo riesgo para los buses eléctricos, aplica con una tasa sobre el costo del bus de aproximadamente 2.2%
	3.3	Desaprobación de la tecnología	Consiste en el riesgo económico causado por daño emergente ocasionado por grupos o individuos cuyo objetivo es desacreditar la tecnología.	Inversionista y operador.	Bajo	Bajo	El inversionista y el operador deben asegurarse que la propiedad cuenta con seguros contra todo riesgo. En los países donde se ha implementado la tecnología, se han identificado cambios de actitud y mejoras en el comportamiento y trato hacia la propiedad.

Caracterización de riesgos para la operación de buses eléctricos							
Tipo de riesgo	Clasif.	Causa del riesgo	Descripción	Asignación	Prob.	Imp.	Mitigación
Tecnológico	4.2	Pérdida en el rendimiento y autonomía.	Consiste en el efecto económico derivado de la disminución de la capacidad de recorrido diario.	Inversionista y operador	Medio	Bajo	El rendimiento del bus depende de factores como, la orografía por donde transita el vehículo, el tipo de conducción y la calidad de la batería. El inversionista y el operador deben solicitar al fabricante garantía sobre el rendimiento del bus el cual puede ser establecido mediante rangos. Adicionalmente se debe solicitar que con la compra de los vehículos eléctricos se considere un programa de instrucción a conductores. Todos los fabricantes entrevistados ofrecen este servicio como valor agregado al producto. Para que tanto el inversionista y el operador, como el fabricante, cuenten con la información necesaria para ejecutar la garantía, es necesario que los vehículos cuenten con software de gestión de flota, el cual viene disponible con la compra de los vehículos.
	4.3	Vida útil de la batería	Consiste en el efecto económico derivado de la disminución de la vida útil de las baterías.	Inversionista y operador	Bajo	Medio	Los fabricantes ofrecen los buses eléctricos con la garantía que en el año 8 el bus aun cuenta con el 80% de capacidad, se requiere cumplir con condiciones de recarga y uso. El inversionista y el operador deben tener claro las condiciones contractuales e implementar un mecanismo como el sistema de gestión de flota que permita por medio de la data diaria tener herramientas para ejecutar las garantías.
	4.4	Garantías y respaldo del fabricante.	Consiste en el efecto económico derivado de no recibir el servicio postventa y las garantías del vehículo.	Inversionista, operador.	Medio	Alto	El inversionista y operador deben asegurarse de tener detalle sobre las garantías del vehículo. Por ejemplo, entender si el kit eléctrico como el motor, el inversor, reductor, etc, cuentan con diferente garantía que el chasis del bus y de ser el caso, negociar garantías extendidas. Sin embargo, es muy importante identificar el respaldo del fabricante. Algunos fabricantes forman alianzas con empresas locales para fabricar o realizar el servicio post venta; otras entran al mercado ofreciendo todo el servicio. Debido a que el bus tiene una vida útil de 14 años se debe tener certidumbre de la estabilidad del fabricante en el mercado. Para esto existe el servicio de seguro contra garantías el cual es contratado con la empresa aseguradora para que por medio de un análisis tecnológico y financiero del fabricante, pueda ofrecer coberturas en el caso que el fabricante incumpla. Este es un producto con trayectoria en proyectos de energía y para el transporte. La empresa reaseguradora Munich RE tiene interés y puede ofrecer el servicio. Según reuniones con la aseguradora el costo del servicio puede variar entre 0.5% y 10% sobre el valor del bus y se cobra una sola vez.

Caracterización de riesgos para la operación de buses eléctricos							
Tipo de riesgo	Clasif.	Causa del riesgo	Descripción	Asignación	Prob.	Imp.	Mitigación
Tecnológico	4.5	Disponibilidad de reemplazo de la batería	Corresponde al efecto económico producto de la falta de disponibilidad de la batería de reemplazo.	Inversionista y operador	Medio	Alto	El inversionista y el operador deben acordar con el fabricante los términos contractuales para que este garantice la disponibilidad de la batería y establecer un tope máximo sobre el costo en el año del reemplazo.
	4.6	Mantenimiento de infraestructura de recarga.	Corresponde al efecto económico causado por daños en los buses que al no poder ser resueltos rápidamente impiden su operación.	Inversionista y operador	Medio	Alto	El inversionista y el operador pueden solicitar al fabricante compensación en el caso que un daño en el vehículo impida su servicio por un periodo, por ejemplo, superior a tres días consecutivos o 10 días durante el año. Esta es una opción que se ofrece cuando el fabricante es el que realiza el servicio de mantenimiento del bus. La compensación puede definirse como el pago de la cuota del financiamiento del vehículo o pago sobre el ingreso diario del bus.
	4.7	Mantenimiento de infraestructura de recarga.	Consiste en el efecto económico derivado del incremento en el costo de mantenimiento y desconocimiento la infraestructura de recarga.	Inversionista y operador	Bajo	Medio	El inversionista y el operador deben garantizar que el servicio de mantenimiento de la infraestructura de recarga se realiza periódicamente, por una empresa certificada en instalaciones eléctricas. Este servicio tiene un costo de aproximadamente 2% anual sobre el valor de la infraestructura.
	4.8	Cortes de energía.	Consiste en el efecto económico causado por la falta de suministro de electricidad.	Inversionista y operador	Bajo	Medio	Según los acuerdos con la empresa de energía y la garantía del suministro energético, el inversionista y el operador deberán incluir dentro de la infraestructura de recarga un sistema de apoyo en caso de cortes. Según la información histórica sobre la frecuencia y duración de cortes, se puede definir el tamaño del sistema.
Ambiental	5.1	Disposición de baterías	Consiste en el efecto económico y ambiental causado por la disposición de las baterías al final de su ciclo de vida.	Inversionista y operador	Medio	Medio	El inversionista y el operador deben discutir con el fabricante sobre la responsabilidad de la disposición de las baterías y solicitar la responsabilidad por escrito. Durante las entrevistas los fabricantes indicaron que ellos se encargan de la disposición de las baterías argumentando que tienen certeza de poder ubicar las baterías para una segunda vida en instalaciones solares. Adicionalmente indican que conocen que se están formando empresas que se dedican a la disposición final de las baterías. En ningún caso los fabricantes indicaron que la disposición final tuviera algún costo extra.
	5.2	Desastres naturales	Consiste en el efecto económico causados por eventos o fenómenos naturales tanto de corto plazo como de largo plazo.	Inversionista y operador	Bajo	Medio	El inversionista y el operador deben asegurarse que la propiedad cuenta con seguro de riesgo contra todo e identificar la necesidad de incluir coberturas extras si así se determina.



7. MODELOS DE NEGOCIOS

El análisis del mercado local, numeral 3.2., identifica una serie de actores interesados en la masificación de la tecnología eléctrica, que en su conjunto y de manera alineada, conforman el ecosistema de transporte eléctrico para Lima. El éxito de la implementación tecnológica radica de la capacidad de estos actores locales en identificar mecanismos y políticas habilitadoras que ofrezcan soluciones a las barreras y riesgos descritos a lo largo del documento.

La figura 82 presenta los mecanismos de mayor relevancia para la conformación de modelos de negocio que faciliten la inversión de buses eléctricos en Lima.

FIGURA 82

Mecanismos claves para la conformación de modelos de negocio para buses eléctricos

Mecanismo	Originario	Destinatario	Descripción	Disponibilidad
Garantía de crédito	Banca multilateral, pública y privada.	Financiador	Debido a la precepción de riesgo en el sector de transporte, las tasas de interés se han visto afectadas. La garantía de crédito funciona como un seguro para la institución de financiamiento y se ejecuta en el momento que el tomador del crédito incumple con los pagos.	Banca multilateral, pública y privada.
Aseguramiento de garantías	Aseguradora	Institución financiera, operador y fabricante	La institución financiera y el operador se muestran intranquilos debido a las garantías y poca trayectoria de los fabricantes de buses eléctricos en el mercado local. Para esto existe el servicio de seguro contra garantías el cual es contratado con la empresa aseguradora, para que, por medio de un análisis tecnológico y financiero del fabricante, pueda ofrecer coberturas en el caso que el fabricante incumpla. Este es un producto con trayectoria en proyectos de energía. Para el transporte, la empresa Reaseguradora Munich RE tiene interés y puede ofrecer el servicio. Según reuniones con la aseguradora el costo del servicio puede variar entre 0.5% y 10% sobre el valor del bus y se cobra una sola vez.	Debe solicitarse
Fideicomiso	Protransporte, ATU y administrador de la fiducia	Acreedores permitidos, operador y otros participantes de la concesión.	Contrato de administración de los activos de la concesión y se encarga de dar cumplimiento a los compromisos de pagos conforme a la directriz de Protransporte.	En operación
Acreedores permitidos	Ministerio de Economía y Finanzas	Financiador	Son Instituciones de financiamiento acreditadas que otorgan financiamiento al proyecto o al concesionario y que tienen la posibilidad de constituir garantías sobre los ingresos o flujos futuros de la concesión. Las garantías permitidas se encuentran relacionadas en la cláusula décimonovena de los contratos de concesión.	En operación
Pagos por ingresos mínimos garantizados	Ministerio de Economía y Finanzas	Financiador	Con el fin de mantener el equilibrio económico de un contrato APP, el Estado puede comprometerse a realizar pagos por ingresos mínimos garantizados. En Perú el artículo 58 del Reglamento APP dispone que el restablecimiento del equilibrio económico-financiero se invoca cuando la causa del desequilibrio sean elementos bajo control directo del gobierno.	Existente en APPs, se desconoce su aplicabilidad en los contratos de concesión.
Recaudo electrónico	Concesión de recaudo	Acreedores permitidos, operador y otros participantes de la concesión.	Es el sistema centralizado que recibe los pagos de los tiquetes y administra y reporta los ingresos hasta el momento de entregarlos a la fiducia.	En operación

De las entrevistas con los operadores y fabricantes se logra identificar una dirección clara hacia el modelo de negocio que separa la propiedad de la operación. Este es un modelo de negocio ofrecido por las empresas de energía que en su afán de proporcionar estrategias que permitan la masificación de la tecnología eléctrica, presentan su interés mediante el financiamiento tipo leasing operativo a los operadores. A diferencia del leasing operativo convencional, el financiamiento se realiza a largo plazo y al final el operador se queda con la propiedad. Aunque este modelo de negocio jugó un papel fundamental en la implementación de las flotas en Santiago de Chile, las empresas de energía buscan hacer del mecanismo un motor de

arranque, pero no constituirlo como un negocio de la empresa.

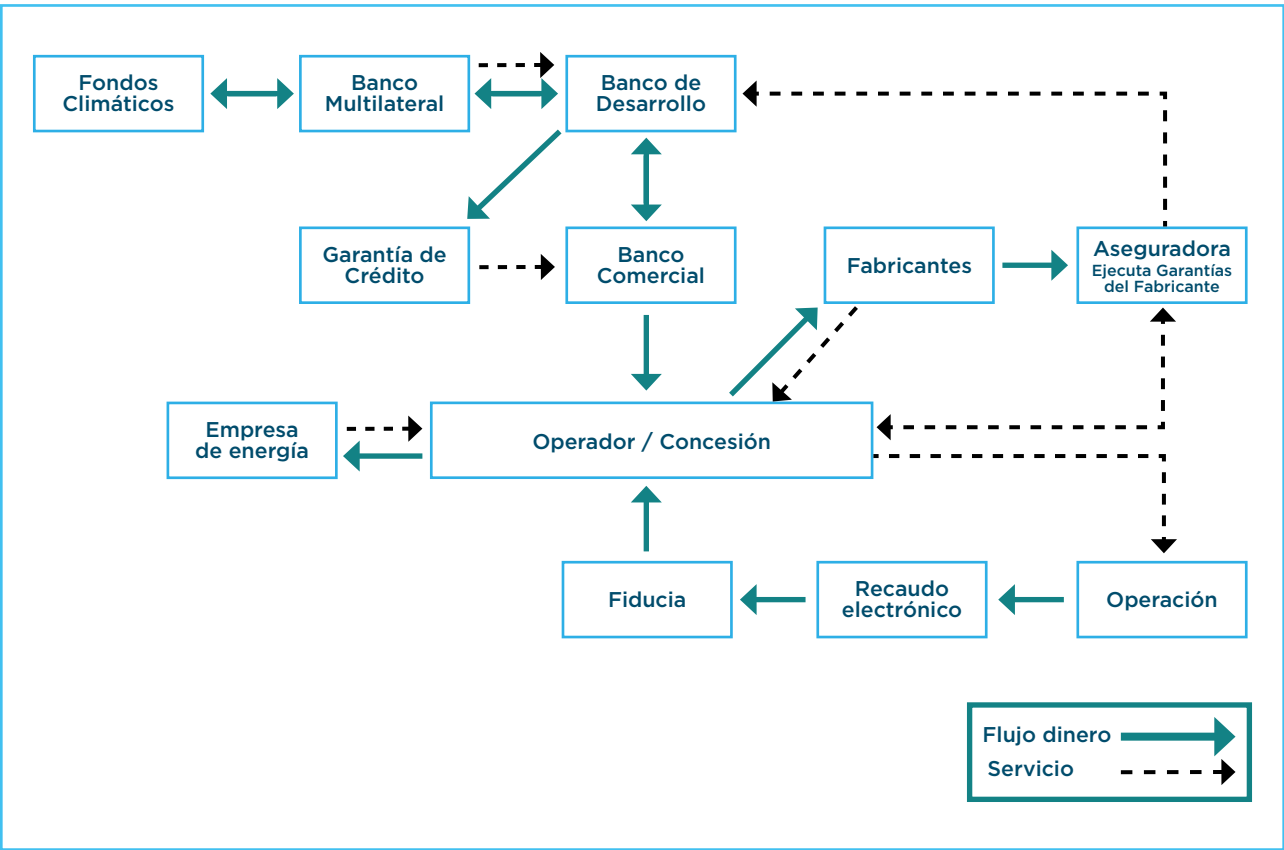
Si bien la apuesta de las empresas de energía minimiza la barrera del costo capital y facilita la transición tecnológica, es posible emplear ese recurso para transferir conocimiento al sector financiero y fondos de inversión interesados en establecer líneas de negocio dedicadas y de largo plazo.

Con el objetivo de identificar opciones sostenibles y de largo plazo, a continuación se presentan tres modelos de negocio, el financiamiento comercial, el leasing parcial y el leasing total.

7.1. Modelo de negocio por financiamiento comercial

FIGURA 83

Modelo de negocio por financiamiento comercial



En el modelo de negocio por financiamiento comercial el bus y las baterías son adquiridas por medio de crédito prendario o leasing financiero con entrega de la propiedad al final del servicio. Según la cláusula sexta del contrato de concesión, los bienes de la concesión son de propiedad o titularidad del concedente o del concesionario y que al final del contrato de concesión la propiedad debe traspasarse al concedente.

Para garantizar condiciones favorables de financiamiento, el modelo de negocio considera el uso de fondos concesionales adquiridos por medio de fondos climáticos como lo son el Fondo Verde del Clima (GCF por sus siglas en inglés), el Fondo de Tecnología Limpia (CTF), el Programa de Infraestructura Sostenible del Reino Unido, entre otros. La utilización de los fondos, ofrece la posibilidad de apalancar las tasas locales por medio de fondeo inferior a la tasa interbancaria. Adicionalmente y con el objetivo de reducir el spread del servicio de financiamiento los fondos pueden emplearse para conformar una garantía de crédito la cual la banca de desarrollo local administra y puede participar. Aunque en la figura 83 el desembolso de los fondos concesionales es realizado por medio de la banca de desarrollo, la banca

comercial o por el ejemplo el BID Invest podría ser receptora de los recursos y/o constituir la garantía de crédito.

En el modelo, el banco comercial ofrece el financiamiento al operador. Luego que el operador y el banco reciben la carta de aseguramiento de las garantías del fabricante por parte de la aseguradora, el banco desembolsa los recursos al concesionario o al fabricante.

Entre el banco y el operador solicitan al Ministerio de Economía y Finanzas que la institución pueda ser acreditada como acreedor permitido para que pueda recibir las garantías según lo establecido en el contrato de concesión, entre ellas la garantía sobre los ingresos o flujos futuros de la concesión. Por otra parte, para mitigar el riesgo por demanda de pasajeros, la institución puede hacer uso de mecanismos de ingresos mínimos garantizados o esquema de bandas.

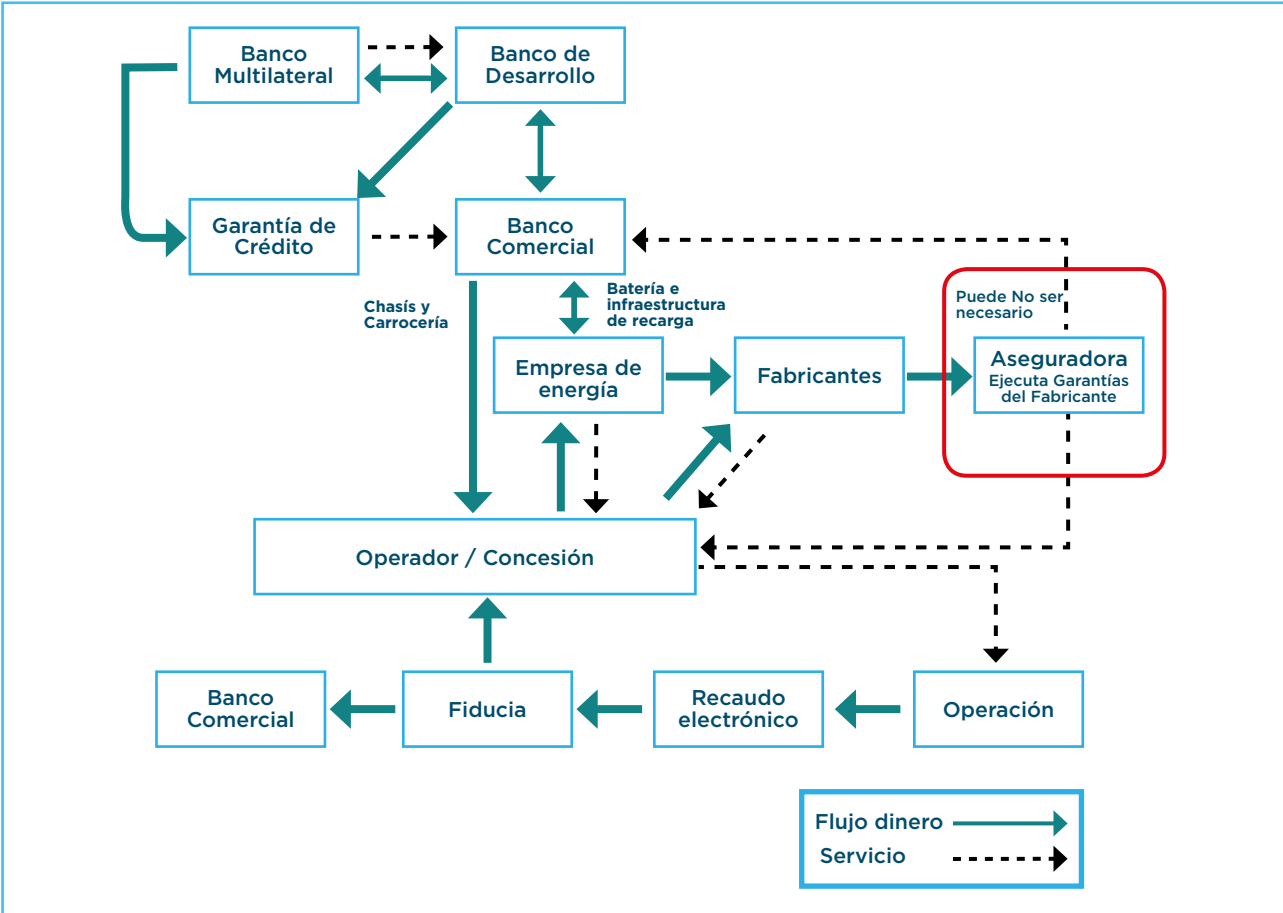
A menos que el banco comercial ofrezca una estructura de financiamiento de al menos 90% de deuda, el operador seguirá siendo susceptible a la barrera del alto costo de capital por lo cual el servicio de financiamiento puede no ser usado.



7.2. Modelo de negocio por leasing parcial

FIGURA 84

Modelo de negocio por leasing parcial



El modelo de leasing parcial puede parecer más sofisticado que el financiamiento comercial. El modelo se basa en la posibilidad de financiar el bus y las baterías mediante diferentes modalidades. Mientras el banco comercial financia el chasis y la carrocería, la empresa de energía financia la batería y la infraestructura de recarga por medio de leasing o renta en donde al final del servicio la propiedad es transferida. Si bien la empresa de energía puede solicitar financia-

miento al banco comercial, también puede realizar la financiación con recursos propios.

Aunque este modelo atípico causa incertidumbre por parte del banco comercial debido a la separación de la propiedad, la realidad es que al momento de adquirir los buses el operador debe certificar con el prestador del servicio de financiamiento que los vehículos son del uso exclusivo de la concesión y que al final del pago

del financiamiento estos pasan a ser propiedad de la concesión, por cual ni las baterías ni el bus una vez vinculados al servicio pueden retirarse. En el caso que el operador incumpla con las responsabilidades de la concesión y sea destituido, los buses pasan al servicio del siguiente operador el cual acoge los compromisos pendientes.

Este es un mecanismo el cual el Global Innovation Lab for Climate Finance, en español Laboratorio de Innovación en Financiamiento Climático tiene interés en implementar debido a que reduce la barrera del costo de capital y vincula a la empresa de energía con la adquisición de equipos asociados con la prestación del servicio de energía, lo cual lo convierte en un modelo de negocio escalable. Durante la consultoría se realizaron varias reuniones de trabajo con el equipo del Clean Energy Works quienes diseñaron la herramienta PAYS “Paga mientras ahorras” (The Lab 2018) para apoyar a la empresa de energía sobre el beneficio del modelo de negocio y ofrecer una herramienta que facilite la transición tecnológica. De las reuniones con su directora, la Dra. Holmes Hummel, se logró identificar que se encuentran realizando análisis para poner a prueba el mecanismo sin embargo hasta el momento no cuentan con un caso implementado.

Debido a que el mayor riesgo de la tecnología, las baterías, son ofrecidas por parte de la empresa de energía, el riesgo es transferido por lo cual la necesidad del seguro de las garantías por el fabricante puede no ser necesario o incluso tener un menor costo.

Aunque en este modelo de negocio la banca comercial puede ser acreedor permitido, la empresa de energía al no ser una institución de financiamiento bajo el ámbito de la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP no puede registrarse bajo este régimen. El repago del financiamiento de las baterías se realiza por medio de la factura de energía. Cabe resaltar que, en el modelo, la infraestructura y cargadores

son instalados por la empresa de energía y no es viable recargar los buses sin estos cargadores por lo cual es un servicio de necesidad.

El sistema de pago por factura de energía no es inusual en Lima, ya que ha sido empleado por el modelo de financiamiento COFIGAS cuyo objetivo es la conversión de vehículos a gas natural vehicular. En el modelo COFIGAS, el costo por el combustible contiene el financiamiento del sistema de GVN, el cual, en su totalidad, no es superior al costo del combustible diésel o gasolina. Debido al éxito del programa, COFIDE ha estructurado un esquema similar para vehículos livianos eléctricos llamado COFIELECTRICO. El esquema presenta características similares al propuesto en el modelo de negocio del leasing parcial. Al hacer un análisis comparativo entre el costo del combustible diésel y el costo de la energía eléctrica considerando financiamiento de las baterías e infraestructura, se encuentra que el ahorro, en valor presente neto, es de S./ 245,529 que corresponde a la factura del diésel por un poco más de dos años. Pero si adicionalmente, sumamos el costo del chasis y carrocería, el bus eléctrico sería S./386,254 más costoso que el bus diésel, por lo cual el éxito de la implementación es la separación de los elementos tal cual se plantea en el modelo de leasing parcial.

Por otra parte, el mecanismo ofrece como beneficio las tasas y los plazos que dispone la empresa de energía. La empresa puede fondearse con tasas preferenciales, las cuales puede transferir al concesionario y el financiamiento puede realizarse con estructura de 100% de capital a plazo de 14 años que corresponde a la vida útil del bus.

A continuación, se presenta el resultado de incluir el leasing parcial en el flujo de caja del proyecto. Para la modelación la tasa se mantiene a 7% sin embargo el plazo de financiamiento de la batería e infraestructura de recarga se incrementa a 14 años.

FIGURA 85

Comparación del resultado del financiamiento preferencial y el leasing parcial

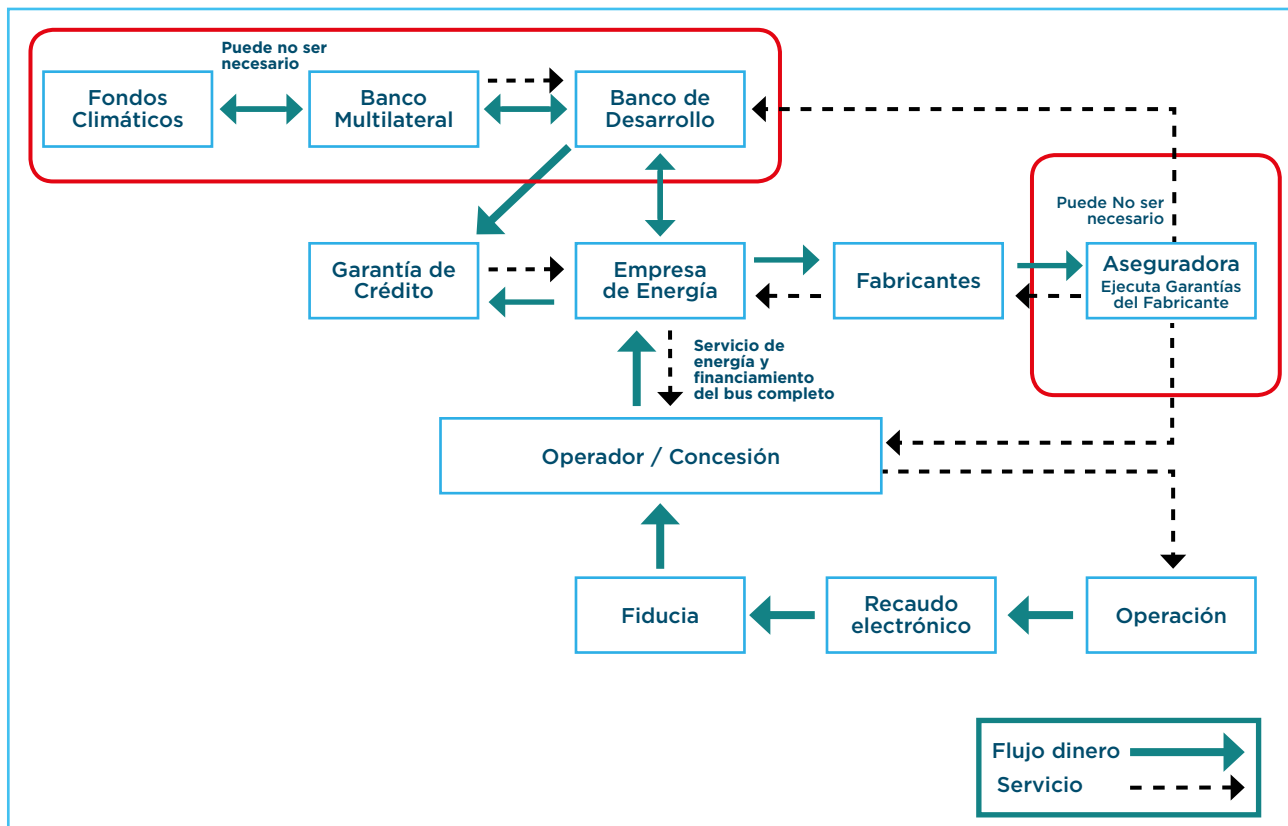
Resultado del Análisis Financiamiento para modelo de leasing parcial				
Tecnología	Diésel	Gas	Eléctrico Fin.	Eléctrico Lease P
Inversión Inicial Cap. Propio (s./)	116,679	139,938	147,251	109,034
TIR	4.56%	17,29%	20.01%	22.81%
VPN (S./)	- 46,999	108,490	114,755	116,453
Recuperación de Inv. (años)	-	9.63	11.41	10.91
Índice de Rentabilidad	-40.28%	77.53%	77.93%	106.81%

El resultado demuestra una mejora en los indicadores financieros del leasing parcial consecuencia de la mayor flexibilidad en las condiciones de financiamiento. Si bien tiene sentido que al incrementar el periodo del préstamo mejoren los indicadores, el banco comercial difícilmente podría ofrecer estas condiciones por lo cual

la mejora en el resultado es considerada como ganancia. También se puede observar que la necesidad de inversión de capital propio disminuye incluso por debajo del requerimiento para el bus diésel por lo cual el riesgo de costo de capital es mitigado.

7.3. Modelo de negocio por leasing total

FIGURA 86 Modelo de negocio por leasing total.



Como se ha indicado anteriormente, el modelo de leasing total es uno de los más exitosos debido a que el financiamiento se genera sobre el 100% de la inversión. Adicionalmente al ser la empresa de energía la responsable por garantizar la operatividad del bus, el riesgo percibido hacia los fabricantes es transferido.

En este modelo es posible que la empresa de energía emplee fondos propios para ofrecer el financiamiento y que no requiera del seguro sobre las garantías. Sin embargo, debido a que la empresa no puede ser acreditada como acreedor permitido, se hace necesario estructurar una garantía de crédito que podría estar asociada a una línea de financiamiento corporativa, por lo que un banco de desarrollo lo podría atender directamente.

Como alternativa al modelo por leasing total se puede reemplazar la empresa de energía por un inversionista o entidad financiera. Al igual que

en el caso anterior el inversionista adquiere la tecnología para financiarla al operador o concesionario mediante un leasing de largo plazo. De esta manera el inversionista es responsable de garantizar la operatividad del bus. Para este caso es posible que la institución requiera del seguro sobre las garantías y que pueda acreditarse como acreedor permitido siempre y cuando cumpla con los requisitos establecidos en la cláusula 2.1. de la adenda número 2 al contrato de concesión por lo cual no sería necesario la garantía de crédito.

El resultado del análisis financiero muestra que los indicadores del modelo de negocio de leasing total son los más atractivos entre las otras alternativas evaluadas. Debido a que la necesidad de capital propio corresponde únicamente al capital de trabajo, la recuperación de la inversión del proyecto sucede más rápido que en el bus a gas natural y el índice de rentabilidad del proyecto se duplica.

FIGURA 87

Resultado consolidado del análisis financiero de los modelos de negocio

Resultado consolidado de los modelos de negocio					
Tecnología	Diésel	Gas	Eléctrico Fin.	Eléctrico Lease P	Eléctrico Lease T.
Inversión Inicial Cap. Propio (s./)	116,679	139,938	147,251	109,034	47,063
TIR	4.56%	17.29%	20.01%	22.81%	26.50%
VPN (S./)	- 46,999	108,490	114,755	116,453	104,239
Recuperación de Inv. (años)	-	9.63	11.41	10.91	7.17
Índice de Rentabilidad	-40.28%	77.53%	77.93%	106.81%	221.49%



8.

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

La ciudad de Lima no es ajena al transporte urbano eléctrico. Desde hace varios meses se ha visto rodar un bus eléctrico de baterías administrado por la empresa ENGIE el cual se encuentra realizando operaciones de transporte de pasajeros y recolectando información sobre sus costos. Además, el gobierno a través de sus ministerios y de la gestión de la Dirección General de Eficiencia Energética del Ministerio de Energía y Minas y del desarrollo y registro de la NAMA de transporte terrestre ha anunciado su interés en contar con flotas de buses eléctricos por lo cual ha firmado un acuerdo con la organización GSEP para realizar un proyecto piloto y así consolidar su posición con relación a la tecnología.

Existe una oferta clara y competitiva de buses eléctricos en el país por medio de cuatro empresas, tres de fabricación china y de trayectoria a nivel internacional como lo es BYD, Yutong y Sunwin y otra en formación a nivel nacional, la alianza de QEVTech-Modasa.

También de relevancia el papel de las empresas de energía ENGIE y ENEL, quienes se encuentran a la expectativa de establecer las condiciones y el marco habilitador que les permitiría replicar en Lima la experiencia obtenida en Santiago de Chile.

Por parte de los concesionarios de los corredores complementarios se identificó interés por la tecnología, la cual demostraron por medio de la asistencia y participación en los talleres de socialización de los resultados. Inclusive los consorcios que demostraron mayor conocimiento sobre la tecnología tienen interés de realizar implementaciones de flotas una vez se logren clarificar percances relacionados con el servicio que se presta actualmente en los corredores.

Con relación al tamaño potencial del mercado se identificó que el servicio de los corredores complementarios se presta con un total de 739 buses de los cuales aproximadamente el 15%

están pendientes de reemplazo. Adicionalmente, debido a que el Sistema Integrado de Transporte se encuentra en proceso de reestructuración, según el MML, existe una flota de 3,429 buses por implementar, de los cuales una primera licitación saldrá para principio de mayo de 2020. Según las reuniones y entrevistas con Protransporte, se indicó que el marco de los contratos de concesión permite la integración de buses eléctricos al sistema y que la remuneración del servicio puede realizarse bajo el mismo mecanismo empleado tanto para los buses diésel como a gas natural.

Los resultados del análisis de costo total de la propiedad (TCO) demuestran que el costo de operación del bus a gas natural es inferior que los costos del bus diésel y el bus eléctrico. También se encontró que bajo las condiciones de financiamiento comerciales actuales el costo del bus eléctrico es aun superior al diésel lo cual se mitiga al incrementar el plazo de financiamiento de 6 años a 7 años. Adicionalmente se encontró que al ofrecer condiciones de financiamiento preferencial el costo total de la tecnología eléctrica se iguala a los costos del bus a gas natural.

El análisis de reducción de gases efecto invernadero demuestra que la tecnología eléctrica tiene la capacidad de reducir 1033 toneladas de CO_{2e} durante los 14 años de operación. Aunque en la actualidad la regulación peruana no cuantifica en términos económicos el valor de la tonelada reducida, por medio del programa del chatarreo se estimó que si el bono fuera ofrecido en la misma proporción que se ofrece para flotas nuevas diésel y gas natural, la tonelada reducida tendría un valor de 29 USD/tCO₂ lo cual se encuentra dentro de los parámetros observados en la literatura. También se encontró que al incluir este beneficio dentro del análisis del TCO, el costo total de la propiedad sería inferior al bus diésel y competitivo con el bus a gas natural.

Con el objetivo de identificar el impacto de los costos de capital y operativos de la tecnología eléctrica sobre la remuneración actual, se analiza el mecanismo de ingreso de los corredores complementarios y se encuentra que el sistema presenta un desbalance económico cercano al 19.5% el cual debió ser corregido mediante el

uso de los instrumentos de recuperación de equilibrio-económico. Según esto, la percepción de riesgo sobre el sector ha incrementado y se espera que la entrada de la nueva autoridad de transporte la ATU por medio de mecanismo de control e incentivos logre balancear el sistema para así regresar la credibilidad para que los concesionarios puedan adquirir nuevos compromisos.

Sin embargo, la situación actual ofrece una oportunidad para poder realizar evaluaciones económicas y financieras considerando las condiciones ácidas. Según este criterio de evaluación el análisis financiero encontró que, con las condiciones de financiamiento actual, el flujo de caja del bus eléctrico presenta indicadores financieros superiores a los del bus diésel, pero inferiores que los del bus a gas natural. Haciendo de los indicadores del bus a gas natural el benchmarking de la evaluación, se encontró que para que la tecnología eléctrica sea competitiva con la de gas natural, se debe ofrecer un financiamiento preferencial con condiciones mínimas de 10 años de plazo, 7% de tasa de interés, estructura de 90% de deuda y 36 meses de periodo de gracia.

Al aplicar las condiciones de financiamiento preferencial en el análisis de sensibilidad, el cual considera variaciones en el costo del bus, el costo de la batería, el rendimiento del bus, la tarifa de energía y el costo de mantenimiento, se demuestra que la probabilidad de que el VPN del bus eléctrico sea menor a 0 es de 0.1% y que la probabilidad de que el índice de rentabilidad del proyecto sea mayor que el del bus a gas natural es de 35%. Esto indica que las condiciones de financiamiento estimadas no solo hacen la tecnología eléctrica competitiva, también mitigan el incremento de tarifas y costos según los rangos encontrados en el mercado local.

Adicional al análisis de riesgos tecnológicos también se realizó un análisis de riesgos PESTA para identificar no solo los riesgos de la tecnología también los riesgos externos que puedan impactar el flujo de caja del proyecto. El análisis presenta un total de 24 riesgos de los cuales 4 son aceptables, 8 controlables, 7 que deben ser transferidos y 5 que requieren especial debido a la probabilidad de ocurrencia y alto impacto.

Los riesgos que requieren mayor atención se presentan a continuación:

- Menor demanda de pasajeros: Aunque los análisis del consultor indican que las condiciones de la demanda y el ingreso están en proceso de mejora, la percepción del bajo ingreso limita la toma de decisiones por parte del concesionario y el inversionista. Para esto se recomienda emplear el mecanismo de acreedores permitidos el cual ofrece garantía sobre los ingresos futuros y genera prioridad en la cascada de pagos programada en la fiducia y de ser el caso establecer una subcuenta para separar los ingresos de la flota eléctrica. También puede emplearse el mecanismo de ingresos mínimos garantizados por bandas.
- Fraude por medios de pago: Aunque en la actualidad el riesgo de fraude por medio de pagos podría disminuir considerablemente con la entrada en operación del recaudo electrónico, el riesgo fue planteado por parte de los concesionarios con alta frecuencia. Al igual que lo discutido en el caso anterior el riesgo puede mitigarse a través de los mecanismos disponibles.
- Garantías y respaldo del fabricante, disponibilidad de reemplazo de la batería y menor disponibilidad de flota por daños: Estos tres riesgos considerados como riesgos tecnológicos pueden ser mitigados por parte del inversionista incluyendo seguros sobre las garantías del fabricante y subcontratando el servicio de manteniendo con el fabricante para así demandar que en el caso que los buses presenten fallas que limiten su disponibilidad de servicio, el fabricante pueda ser penalizado.

También, debe considerarse que, aunque los contratos de concesión son de 10 años, el concesionario puede extender el periodo por 5 años más ejecutando el programa de actuali-

zación de flotas propuesto en la licitación. Sin embargo, debido a que las concesiones en los corredores llevan más de dos años en la etapa de operación, la implementación de flotas eléctricas requerirá de mayor plazo para ser amortizada. Según esto se sugiere verificar las condiciones de la remuneración para identificar si los ajustes en el ingreso aceleran el periodo de retorno de la inversión o solicitar al MEF que la implementación de la tecnología eléctrica sea considerada dentro de la optimización de la oferta del contrato y así solicitar la extensión requerida o simplemente esperar las nuevas licitaciones las cuales contarán con plazos suficientes para amortizar la tecnología.

Debido a que las empresas de energía no son aptas para poder conformarse como acreedores permitidos, se recomienda emplear una figura en donde la empresa emplee fondos privados de inversión o fondos admiradores de la propiedad, asset managers, avalados por la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP y que cuenten con una clasificación de riesgo local no menor a "A-". Bajo este mecanismo el fondo puede constituirse como acreedor permitido, garantizando de esta manera los flujos futuros.

Por último, se recomienda establecer un modelo de remuneración preciso para la tecnología eléctrica, incluso para el bus a gas natural. El actual modelo fue desarrollado para los buses diésel por lo cual las ponderadores para la indexación de los costos de operación no son los adecuados y pueden causar desbalance en el ingreso del operador en el mediano plazo. La implementación de tarifas por tecnologías tendría la opción de incentivar tecnologías de baja emisión y ofrecería mayor dinamismo en la canasta de costos del sistema de transporte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ally, J. y Pryor, T., 2016. Life cycle costing of diesel, natural gas, hybrid and hydrogen fuel cell bus systems: An Australian case study. Elsevier, 94 (2016), 285-294.
- Banco Mundial 2017. Fijación del precio del carbono. Washington D.C.: Grupo Banco Mundial. Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/carbon-pricing> [Consultado 8-04-2019].
- BASE y POCH 2012. Diagnóstico, análisis de modelos de financiamiento y recomendaciones de coberturas y/o instrumentos de mitigación de riesgo para las energías renovables no convencionales (ERNC) en Chile. Chile: Ministerio de Energía.
- Begwani, A.K. y Ustuni, T.S., 2017. Electric bus migration in Bengaluru with dynamic charging technologies. AIMS Energy, 5 (6), 944-959.
- C40, 2016. Good practice guide: Low emission vehicles. C40 Cities Climate Leadership Group.
- Bloomberg New Energy Finance, 2018. Electric buses in cities: Driving towards cleaner air and lower CO2. London: Bloomberg Finance L.P.
- Blumberg, K., Posada, F., Pineda, L., Isenstadt, A. y Hernandez, U., 2019. Buses sin hollín para Perú. Washington D.C: ICCT, The International Council on Clean Transportation.
- Buchmann, I., 2017. Safety of Lithium-Ion Batteries. Cades Electronics Inc.
- Chew, L. y Lewellyn, A., 2016. Challenges on charging infrastructure support: Electric bus project at Waterloo bus garage, London. London: UK eBus Summit.
- COES, 2019. Estudio de verificación del margen de reserva firme objetivo (MRFO) del SEIN. Lima: Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional.
- DBEIS, 2018. Updated short-term traded carbon values: Used for modelling purposes. London: Department for Business, Energy and Industrial Strategy.
- Dominguez, S., 2019. El Perú es un potencial exportador de electricidad. Lima: El Peruano. Disponible en: <https://elperuano.pe/noticia-el-peru-es-un-potencial-exportador-electricidad-47304.aspx> [Consultado 10-04-2019].
- El Comercio, 2019. El caos de Lima según María Jara, la nueva ministra de transportes [VIDEO]. Lima: El Comercio. Disponible en: <https://elcomercio.pe/lima/transporte/caos-lima-maria-jara-nueva-ministra-transportes-video-noticia-630382> [Consultado 10-05-2019].

- EPA, 2018. Emission factors for greenhouse gas inventories. Environmental Protection Agency. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/emission-factors_mar_2018_0.pdf [Consultado 10-04-2019].
- Equilibrium, 2018. Análisis del Sector Eléctrico Peruano: Generación. Lima: Equilibrium Clasificadora de Riesgo S.A.
- Ercan, T. y Tatari, O., 2015. A hybrid life cycle assessment of public transportation buses with alternative fuel options. Springer, 20, 1213-1231.
- Gatti, S., 2013. Project finance in theory and practice: Designing, structuring and financing private and public projects. Waltham: Elsevier Inc.
- Gestión, 2017. CAF: El 25% de limeños demora más de dos horas en trasladarse entre su casa y trabajo. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/caf-25-limenos-demora-dos-horas-trasladarse-casa-149815> [Consultado 10-04-2019].
- Greenhouse Gas Protocol, 2016. Global warming potential values. Disponible en: https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf [Consultado 20-08-2019].
- Guillermo, L.L. y Tello, P.S., 2018. La regulación del transporte urbano en Lima: caso El Metropolitano. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Gupta, A., 2013. Environmental and pest analysis: An approach to external business environment. Merit research journal of art, social science and humanities [online], 1 (2), 013-017.
- IEA, 2017. Global EV outlook 2017. Paris: International Energy Agency Publications.
- Interact Analysis, 2019. LATAM Electric Bus Market Strong but May Fail to Reach Potential. Disponible en: <https://www.interactanalysis.com/latam-electric-bus-market-strong-but-may-fail-to-reach-potential/> [Consultado 19-05-2019].
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jing-Quan, L., 2013. Battery-electric transit bus developments and operations: A review. International Journal of Sustainable Transportation, 10 (3), 157-169.
- Lajunen, A., 2014. Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. Elsevier, 38 (2014), 1-15.
- Lajunen, A., 2018. Lifecycle costs and charging requirements of electrical buses with different charging methods. Journal of Cleaner Production, 172, 56-67.
- Lajunen, A. y Lipman, T., 2016. Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. Elsevier, 106 (2016), 329-342.
- Lerche, I. y Mudford, B., 2005. How Many Monte Carlo Simulations Does One Need to Do? Energy Exploration & Exploitation, 23(6), 405-427
- Limacomovamos, 2018. VIII Informe de percepción sobre calidad de vida de Lima y Callao. Disponible en http://www.limacomovamos.org/cm/wp-content/uploads/2018/03/EncuestaLimaC%C3%B3moVamos_2017.pdf [Consultado 19-05-2019].
- Low Carbon Vehicle Partnership, 2016. The low emission bus guide. London: The Low Carbon Vehicle Partnership.

- Low Carbon Vehicle Partnership, 2017. Any journey is greener by bus: Passenger experiences of modern bus service. London: The Low Carbon Vehicle Partnership.
- Mackenzie, E.M. y Durango-Cohen, P., 2012. Environmental life-cycle assessment of transit buses with alternative fuel technology. Elsevier, 17(2012), 39-47.
- Mahamoud, M., Garnett, R., Ferguson, M. y Kanaroglou, P., 2016. Electric buses: A review of alternative powertrains. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 673-684.
- MIEMDNE, 2013. Pruebas de Campo Bus 100 % Eléctrico Montevideo, Uruguay. Montevideo: Ministerio de Energía y Minas.
- Miller, J., Minjares, R., Dallmann, T. y Jin, L., Financing the transition to soot-free urban bus fleets in 20 megacities. Washington D.C.: International Council on Clean Transportation.
- Misanovic, S., Vasic, M. y Stanojevuc, N., 2018. Maintenance of electric city buses – cost benefit analysis. Maintenance Forum 2018. Disponible en: http://www.maintenanceforum.net/cp2018/papers/S_Misanovic-mf18.pdf [Consultado 10-02-19].
- MTC, 2018. Con la Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao se podrá planificar, regular y fiscalizar el servicio de transporte terrestre. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/18955-mtc-con-la-autoridad-de-transporte-urbano-para-lima-y-callao-se-podra-planificar-regular-y-fiscalizar-el-servicio-de-transporte-terrestre> [Consultado 10-05-19].
- ONU, 2018. Movilidad eléctrica: Avances en América Latina y el Caribe y oportunidades para la colaboración regional. ONU Medio Ambiente
- ONU, 2019. Programa MOVE: Experiencias de un Operador de Transporte Público en la introducción de buses eléctricos en Santiago, Chile. Disponible en: <http://movelatam.org/portfolio-item/experiencias-de-un-operador-de-transporte-publico-en-la-introduccion-de-buses-electricos-en-santiago-chile/> [Consultado 10-05-19].
- Portal PQS, 2017. El 21% de limeños pierde hasta 3 horas diarias en transportarse. Disponible en: <https://www.pqs.pe/economia/limenos-horas-perdidas-transporte-caos-vehicular> [Consultado 8-04-19].
- Potkany, M., Hlatka, M., Debnar, M y Hanzl, J., 2018. Comparison of the Lifecycle Cost Structure of Electric and Diésel Buses. Disponible en: <http://www.nasemore.com/wp-content/uploads/2018/11/20.-Potkany-Hlatka-Debnar-Hanzl.pdf> [Consultado 10-02-19].
- PricewaterhouseCooper, 2008. A practical guide to risk assessment: How principles-based risk assessment enables organizations to take the right risks. United States: PricewaterhouseCoopers International Limited.
- Prometheo, 2019. Desafíos del Sector Eléctrico 2019. Lima: Prometheo. Disponible en: <http://prometheo.pe/desafios-del-sector-electrico-2019/> [Consultado 24-04-2019].
- Rodriguez, C.A., 2019. BMV ofrecerá cobertura para fluctuaciones en tarifas eléctricas. Don Dinero. Disponible en: <https://dondinero.mx/notas/bmv-ofrecera-cobertura-para-fluctuaciones-en-tarifas-electricas/> [Consultado 11-05-19].
- Shindell, D.T., 2013. The Social Cost of Atmospheric Release. New York: Kiel Institute for the World Economy.
- Stadtwerke Munster, 2015. The first electric bus for Munster: ultrafast charging at end stops [video online]. YouTube. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=EyRKM08bfIM> [Consultado 13-07-18].

- SUNAT, 2019. Tratamiento arancelario por sub-partida nacional. Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria. Disponible en: <http://www.aduanet.gob.pe/itarancel/arancelS01Alias> [Consultado 15-01-19].
- Sustainable bus, 2019. Electric bus, main fleets and projects around the world. Milan: Sustainable Bus. Disponible en: <https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/electric-bus-public-transport-main-fleets-projects-around-world/> [Consultado 10-04-19].
- The Lab, 2018. Paga mientras ahorras para el transporte limpio. Global Innovation Lab for Climate Finance.
- Tong, F., Jaramillo, P. and Azevedo, I., 2014. Comparison of Life Cycle Greenhouse Gases from Natural Gas Pathways for Medium and Heavy-Duty Vehicles. *Environ. Sci. Technol.*, 49, 7123-7133.
- Toyota, 2004. Well-to-Wheel Analysis of Greenhouse Gas Emissions of Automotive Fuels in the Japanese Context. Toyota Motor Corporation. Disponible en: <https://www.mizuho-ir.co.jp/english/knowledge/report/pdf/wtwghg041130.pdf> [Consultado 22-08-19].
- Transmilenio S.A., 2019. Bogotá tendrá la flota de buses eléctricos más grande de Latinoamérica. Bogotá: Transmilenio S.A. Disponible en: <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/151302/bogota-tendra-la-flota-de-buses-electricos-mas-grande-de-latinoamerica/> [Consultado 10-06-19].
- Ugaz Montero, C., 2018. Presentación: Transporte en Lima y Callao: Oportunidades de Mejora. Lima: AATE, Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao.
- Viswanadham, N. y Kaneshwaran, S., 2013. Ecosystem-Aware Global Supply Chain Management. Singapore: World Scientific Co. Pte. Ltd.
- Von Srbik, M.T. y Martinez-Botas, R.F., 2012. Vehicle optimisation for regenerative brake energy maximisation. *Sustainable Vehicle Technologies*. Elsevier B.V.
- UNFCCC, 2019. Nationally Determined Contributions (NDCs) [online]. Bonn: United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponible en: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions/ndc-registry> [Consultado 10-05-2019].
- Xylia, M., Leduc, S., Patrizio, P., Kraxner, F. y Silveira S., 2017. Locating charging infrastructure for electric buses in Stockholm. *Elsevier*, 78 (2017), 183-200.

