

Guía de autoevaluación para la electrificación de los buses de transporte público en Áreas Metropolitanas de América Latina

Ejecutado por:

ONU programa para el medio ambiente 50 1972-2022

Financiado por:

CRUSA Cambiando VIDAS

Contenido

1 Introducción 1
1.1 La herramienta 1
1.2 Marco conceptual 2
2 Análisis cualitativo: evaluación del modelo de negocio de transporte público presente en su ciudad 3
2.1 Análisis de componentes del modelo de negocio 3
Paso 1.- Analice los elementos cualitativos presentes en su sistema 5
3 Análisis cuantitativo: estimación del Costo Total de Propiedad 8
3.1 Costos de capital 10
Paso 2.- Calcule los costos de capital 10
Paso 3.- Estime las condiciones de financiamiento 11
3.2 Costos de operación 13
Paso 4.- Estime los costos de operación 13
Paso 5.- Calcule la tasa de descuento 14
Paso 6.- Estime el valor actual del CTP 15
4 Análisis de riesgos 17
Paso 7.- Identifique su nivel de riesgo de demanda e inversión 19
Referencias 20

Presentación

Este documento consiste en una "*Guía de autoevaluación para la electrificación de los buses de transporte público en Áreas Metropolitanas de América Latina*", con base en el caso de San José, a partir del análisis de los costos de adquisición de flota, financiación y operación, y del estudio de los riesgos legales, económicos, técnicos y financieros.

El presente documento se presenta en conjunto con el documento de "Desarrollo de una propuesta de estructuración financiera y legal para la electrificación de los autobuses de transporte público en el Área Metropolitana de San José de Costa Rica", que representa el último entregable del quinto componente de "Desarrollo de instrumentos financieros que promuevan el despliegue de buses eléctricos" del proyecto "Dando el salto a los autobuses eléctricos en Costa Rica". La autoría de este estudio pertenece al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y busca brindar insumos técnicos que apoyen a la toma de decisiones.

El proyecto "Dando el salto a los autobuses eléctricos en Costa Rica" ("Leapfrogging to electric buses in Costa Rica", en inglés) es ejecutado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y financiado por la Fundación Costa Rica Estados Unidos de América para la Cooperación (CRUSA). Este proyecto busca generar información técnica de utilidad y necesaria para la introducción y escalamiento de autobuses eléctricos en el transporte público del Área Metropolitana de San José (AMSJ).

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (en adelante, PNUMA) contrató a inicios de 2021 a los consultores Julio Briones Molina, ingeniero civil en transporte, y Sergio Valverde Fernández, abogado, con el fin de desarrollar una propuesta financiera y legal que permitiera definir las condiciones necesarias para la incorporación de buses eléctricos en el Área Metropolitana de San José. Esta propuesta procura fomentar la inversión, tanto pública como privada, en el sector. Además, basado en el análisis de riesgos legales, económicos, financieros y técnicos, los consultores desarrollaron una guía de autoevaluación que puede ser replicada en otros sistemas de transporte en América Latina, con base en el presente caso de Costa Rica.

Ambos consultores han coordinado, con la aprobación de PNUMA, trabajar las propuestas de manera conjunta para asegurar que las propuestas financiera y legal sean consistentes entre sí. Este acuerdo fue aceptado por la contraparte técnica del PNUMA en una reunión sostenida por todas estas partes el día 26 de febrero de 2021.

Entregable:	Guía de autoevaluación para la electrificación de los buses de transporte público en Áreas Metropolitanas de América Latina
Equipo PNUMA:	Julio Briones – Experto financiero Sergio Valverde – Experto legal Arturo Steinvorth – Experto técnico local Esteban Bermúdez – Coordinador de Mitigación de Cambio Climático Jone Orbea – Líder de Movilidad Eléctrica
Revisión CRUSA	Juan Guillermo Murillo – Coordinador de Programas y Proyectos Carolina Rodríguez – Oficial de Proyectos
Fecha de entrega:	Junio 2021

1 Introducción

Como complemento al estudio “Desarrollo de una propuesta de estructuración financiera y legal para la electrificación de los autobuses de transporte público en el Área Metropolitana de San José de Costa Rica”, elaborado en el marco del proyecto “Dando el salto a los buses eléctricos en Costa Rica”, se presenta la siguiente Guía de Autoevaluación. Su finalidad es apoyar a autoridades, consultores y operadores de transporte en la evaluación de su propio sistema de transporte público frente a la implementación de buses eléctricos en ciudades de América Latina.

Se propone una autoevaluación en tres etapas, que a su vez pueden dividirse en pasos

1. Análisis cualitativo: análisis de componentes, que detalla los factores a considerar para reducir los costos de implementación de buses eléctricos y nivel de desagregación de los gastos de capital (o CAPEX, por sus siglas en inglés).
2. Análisis cuantitativo: estimación de costo total de propiedad (CTP) para la operación con buses de combustión interna y buses eléctricos.
3. Análisis de riesgos, que permite identificar la dirección a seguir para mitigar los riesgos de ingreso para los operadores y los costos de financiamiento.

Luego de completar las tres etapas, se recomienda volver a estimar los costos de implementación para ajustarse al modelo de negocios proyectado en un proceso iterativo. Cada uno de estos pasos es explicado en las próximas secciones.

1.1 La herramienta

El reemplazo de los buses a combustión interna por buses eléctricos permitirá reducir de forma notoria las emisiones totales de gases de efecto invernadero en las áreas urbanas. No obstante, realizar la transición hacia autobuses eléctricos presenta desafíos técnicos, normativos y financieros. Esto se debe a que los actuales mecanismos de provisión del servicio de transporte público, las alternativas de financiamiento de buses de combustión interna y plazos de los contratos de concesión presentes en muchas ciudades de América Latina son inadecuados para fomentar la incorporación de los buses eléctricos.

Si bien estos buses son menos contaminantes y tienen costos de operación más bajos que los actuales buses de combustión interna, su costo de adquisición es sustancialmente más elevado. En este sentido, es importante analizar en detalle los modelos de negocios aplicables con el fin de identificar potenciales cambios normativos que permitan reducir riesgos técnicos, operativos y financieros que implica la implementación de una nueva tecnología y acceder a condiciones de financiamiento más favorables.

Para incorporar autobuses eléctricos de manera escalable y sostenible, es necesario evaluar la capacidad que tiene el sistema de obtener los recursos necesarios para financiar y repagar esta tecnología.

Esta herramienta de autoevaluación facilita el análisis sobre el nivel de madurez del sistema de transporte público para incorporar autobuses eléctricos, incluyendo una comparación con ciudades que ya los han incorporado. Esta herramienta puede ser utilizada para el diseño de la política pública de electrificación, o bien, para evaluar la viabilidad de lograr cumplir con las metas de incorporación de autobuses eléctricos planteadas.

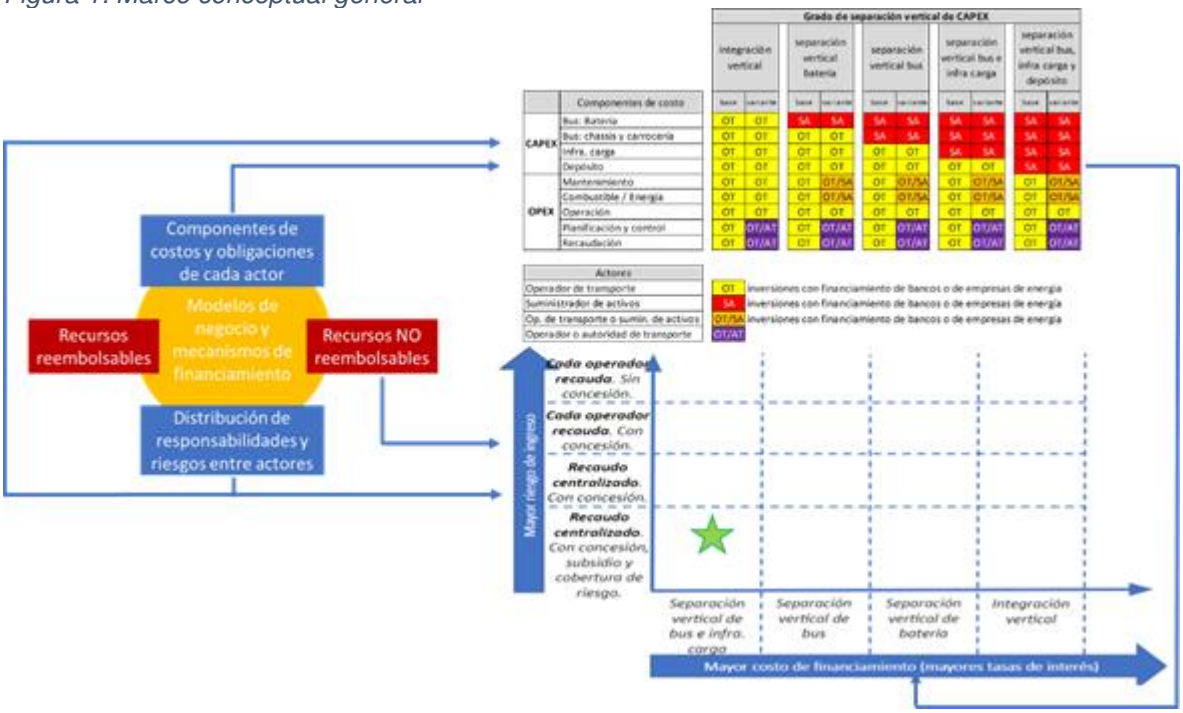
Diversos estudios señalan que la principal barrera de entrada es el costo de los autobuses eléctricos y de la infraestructura de carga, por lo que es necesario que una ciudad logre diseñar una estrategia de implementación de autobuses eléctricos acompañada de varias políticas públicas, entre ellas una que permita tener acceso a los recursos necesarios para financiar el costo de inversión. De la misma manera, es importante resaltar que se deben asegurar los ingresos a largo plazo que permitan pagar la operación y deudas adquiridas. Esta herramienta se complementa con el análisis financiero –CTP (Costo Total de Propiedad)-, de modo que permite dimensionar el incremento en costos que implicaría incorporar autobuses eléctricos y por ende la robustez de los recursos requeridos.

1.2 Marco conceptual

Esta herramienta está basada en la integración de tres marcos conceptuales: a) el análisis de los componentes del modelo de negocio, b) los mecanismos de financiamiento y c) el grado de separación vertical del CAPEX. Estos componentes alimentan la matriz de riesgos de ingreso y costo de financiamiento.

Esto permitirá que cuente con una noción de cómo se encuentra el nivel de riesgo del sistema de su ciudad – que tan bancable es- y hacia dónde se debe movilizar en términos de reducción de riesgos y grado de separación vertical. Cabe destacar que la estrategia no solo dependerá de la posición en la matriz, sino del diferencial de costos estipulados por el CTP y la viabilidad de efectuar los cambios normativos necesarios.

Figura 1: Marco conceptual general



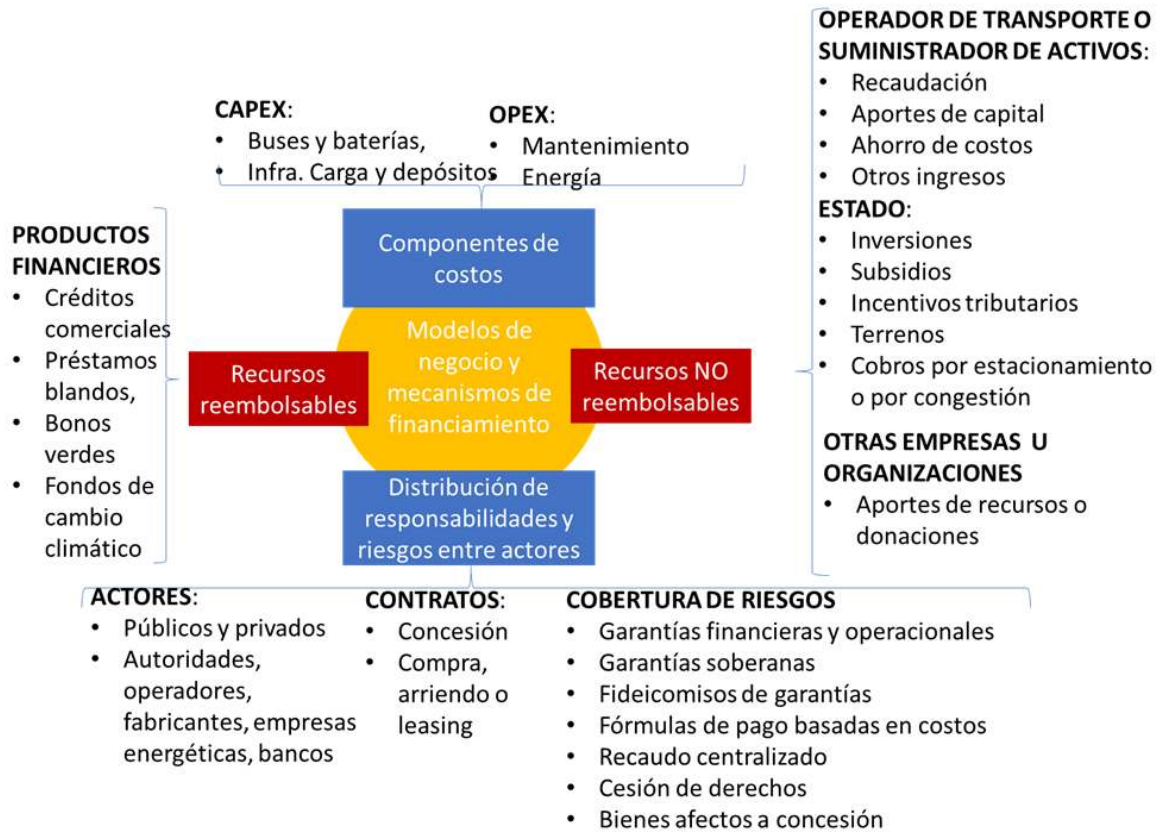
Fuente: Elaboración propia

2 Análisis cualitativo: evaluación del modelo de negocio de transporte público presente en su ciudad

2.1 Análisis de componentes del modelo de negocio

Un marco útil para el análisis detallado de los componentes a considerar en el desarrollo de un modelo de negocio fue elaborado por el World Resources Institute (2017). Este marco fue desarrollado a partir de una investigación que consideró 22 casos de estudio en el mundo (Li et al., 2018) y se resume en la siguiente figura.

Figura 2: Marco analítico de modelos de negocio y de fuentes de recursos financieros de los sistemas de transporte público.



Fuente: Elaboración propia a partir de WRI (2017), Li et al. (2017) y GIZ (2019)

En esta figura, se observa en el eje vertical las componentes de costos asociadas a la operación de buses eléctricos (parte superior) y cómo se distribuyen las responsabilidades y riesgos de dicha operación entre los distintos actores (parte inferior). En tanto, en el eje horizontal se presentan las fuentes y mecanismos de financiamiento, que se dividen en recursos reembolsables (izquierda) y no reembolsables (derecha).

Por medio de este marco, se puede sustentar el nivel de riesgo de ingreso con el que cuenta el sistema, en función a las coberturas de riesgo y diversidad de recursos no reembolsables, así como el grado de separación vertical en función a la distribución de las responsabilidades de cada actor.

En cuanto a la distribución de responsabilidades y riesgos entre actores**,** es usual que la explotación del servicio de transporte público sea materializada por un paquete único de compra, operación y mantenimiento, el cual puede ser por medio de compañías de autobuses estatales o las compañías operadoras privadas, las cuales se apegan a las condiciones establecidas en los contratos[1].

Por otro lado, en algunas ciudades se están desarrollando contratos independientes, uno para la provisión de activos y otro para la operación y mantenimiento. Este mecanismo ha sido utilizado en Bogotá, Colombia y Santiago, Chile, ciudades que más autobuses eléctricos han incorporado en Latinoamérica actualmente[2].

Es clave determinar las responsabilidades u obligaciones de cada actor, cuáles son los riesgos que asumen y qué mecanismos de coberturas de riesgos existen en su sistema.

En cuanto a los recursos reembolsables, se pueden encontrar los créditos comerciales, bonos verdes y préstamos en condiciones blandas, y están directamente relacionados con la cobertura de riesgos que el sistema pueda ofrecer. Cabe destacar que la matriz de riesgos permitirá definir las posibilidades que tiene el sistema de transporte público de su ciudad de acceder a estos recursos.

Los recursos no reembolsables, no requieren de un repago por parte de los actores involucrados en la operación e inversión y se pueden encontrar los ingresos por recaudación, otros ingresos, como lo son publicidad o venta de activos. Así mismo, existen recursos que son aportados por el Estado, donde se debe prestar principal atención a las exoneraciones tributarias y la existencia de subsidios, los cuales permiten disminuir el costo de financiamiento de los autobuses eléctricos.

A mayor disponibilidad de recursos y mejor distribución de riesgos y responsabilidades, menor será el riesgo del negocio, lo que aumentará la factibilidad de incorporar buses eléctricos. Cabe destacar que la falta de disponibilidad de algunos recursos a menudo se relaciona con barreras legales o económicas, algunas de las cuales requieren de la coordinación entre múltiples actores para resolverse.

[1] https://blogs.worldbank.org/es/voices/mi-autobus-es-tu-autobus-como-el-esquema-desagregado-de-provision-de-flota-puede-apoyar-los

[2] https://blogs.iadb.org/transporte/es/la-nueva-tendencia-en-concesiones-de-brt-en-america-latina/

Paso 1.- Analice los elementos cualitativos presentes en su sistema

Para utilizar la guía de autoevaluación, analice las políticas públicas relacionadas con la electrificación del sistema, ya sea directamente como aquellas que establecen metas, planes de sustitución, entre otras, o indirectas, las que puedan modificar los recorridos o tipologías de los autobuses o aquellas que tengan en consideración elementos de infraestructura de carga. Más tarde, reproduzca la Figura 2, identificando las componentes disponibles en el modelo de negocios proyectado.

Para analizar los componentes siga la siguiente guía:

1. **Análisis de las políticas públicas:**
    a. Identifique si existe una política pública para la inclusión de flota cero emisiones y detállela; incluyendo aquellas relativas a desarrollo urbano, reducción de emisiones, transporte, financiamiento, infraestructura, y energía.

    b. Revise si existen proyectos de modernización o modificación del sistema que impacten el recorrido y tipologías de los autobuses. Inclúyalos dentro del análisis, detallando si son políticas que se encuentran en proyectos de ley, programas de gobiernos o planes de desarrollo, discusiones públicas, entre otras.

2. **Distribución de responsabilidades y riesgos entre actores:**

    a. Identifique los principales actores y sus funciones dentro del sistema de transporte

    b. Defina el tipo de explotación del servicio público: contratos de concesión (operación, suministrador de activos), permisos de operación, contratos de administración, entre otros.
        i. Defina si el derecho de explotación lo ejecuta un sujeto de derecho público o privado
        ii. Defina el plazo por el cual se otorga ese derecho de explotación
        iii. Defina las obligaciones con las que cuentan quienes explotan el servicio y quienes lo otorga, con mayor relevancia, determine las obligaciones que tienen que ver con las inversiones, diseño y cumplimiento de esquemas operativos, obligación de recaudación, y cual actor se encarga de cubrir los costos de operación e inversión

    c. Evalúe las coberturas de riesgo presentes en el sistema. Entiéndase coberturas de riesgo como aquellas que brindan mayores garantías y seguridad jurídica a los proveedores de recursos reembolsables. Detalle:
        i. Qué tipo de garantías existen: hipotecarias, prendarias, fideicomisos, garantías soberanas, recaudo centralizado, cesión de derechos, bienes afectos a la concesión, fórmulas de pago basadas en costos, entre otras posibilidades.
        ii. Determine quién las aporta y cite las que están establecidas por ley.

3. **Componentes de costos:** detalle los costos en los que se incurre para operar el sistema en dos categorías: gastos operacionales (OPEX) y gastos de capital (CAPEX). Adicionalmente

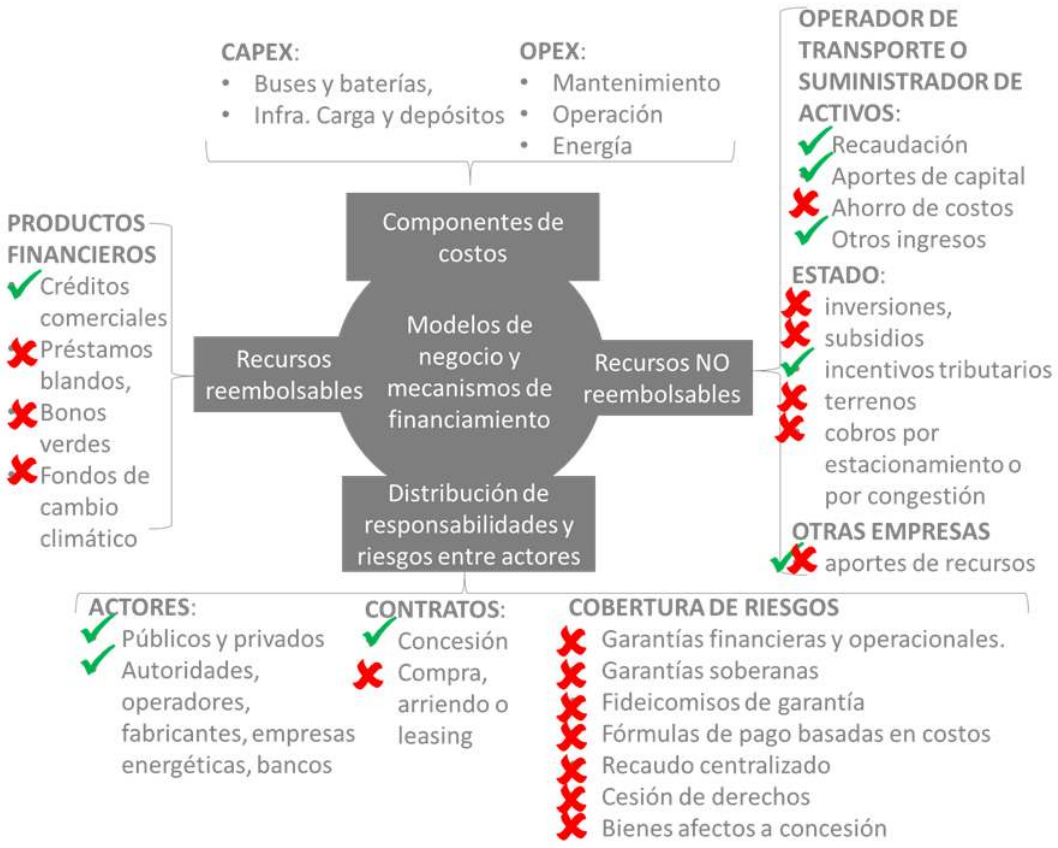
defina quien incurre en los costos, si el otorgante del derecho de explotación (Estado) o quien ostenta el derecho (operador). Adicionalmente detalle lo siguiente:

a. Mencione la fuente generadora del costo: exigencia por ley, contrato o costumbre.
b. Para el caso de la flota, desarrolle la tipología obligada a utilizar, edad máxima de los autobuses y tecnología requerida.
c. Para el caso de las inversiones en infraestructura, detalle si se cuentan con depósitos / patios de encierros / encierros (indique las características exigidas) e infraestructura de carga para los casos en los que se haya incorporado autobuses eléctricos.
d. Recursos no reembolsables: Defina los mecanismos de retribución que tiene el operador (o quien ostente el derecho de explotación), así como aquellos que aporta el Estado.
    a. Operador:
        i. Defina el régimen tarifario o la manera en cómo se calcula la tarifa.
        ii. Defina si el operador cuenta con otros mecanismos de ingresos, como publicidad, venta de activos, chatarrización, alquiler de locales comerciales, entre otros
    b. Defina los aportes del Estado:
        i. Inversiones en activos: flota, terminales, infraestructura vial enfocada al transporte público, patios, terrenos, entre otras.
        ii. Defina si existe una política de subsidios y determine si estos son al CAPEX o al OPEX
        iii. Determine si existen otros aportes estatales
        iv. Adicionalmente identifique posibles mecanismos de fondeo para los casos en los que no existen subsidios o los aportes del Estado en términos de recursos son escasos.

e. **Recursos reembolsables:** defina cuál es el mecanismo de financiamiento usados hasta el momento y existentes en el país o región:
    a. Banca comercial
    b. Fondos verdes
    c. Créditos en condiciones favorables: internacionales, concesionales, banca para el desarrollo, entre otros
    d. Para cada uno, defina los plazos, tasas y mecanismos de coberturas de riesgos requeridos.

Como se puede observar en la siguiente figura, se presenta un resumen de los componentes del modelo de negocios y mecanismos de financiamiento, presentes en el modelo detectado para el Área Metropolitana de San José.

Figura 3: Análisis de componentes para el Área Metropolitana de San José



3 Análisis cuantitativo: estimación del Costo Total de Propiedad

El costo total de propiedad (conocido como TCO, por sus siglas en inglés) corresponde a la suma de los costos relacionados con la operación de un negocio en un tiempo dado. Al analizar la incorporación de buses eléctricos, deben tenerse en cuenta los costos totales (evaluados a valor presente neto) en que incurren los prestadores del servicio –que pueden ser empresas concesionarias y/o suministradoras de activos – como la flota y la infraestructura de carga.

En la operación de un sistema de buses urbanos, el costo total de propiedad del operador se divide en dos grandes familias:

- **CAPEX** (CAPital EXpenditures, en inglés), que incluye los costos de adquisición de buses, infraestructura de carga para los buses, así como los depósitos o terminales.
- **OPEX** (OPerational EXpenditures en inglés) cuyas principales componentes son el costo de combustible o energía eléctrica, mantenimiento, otros costos operacionales (choferes, administración), los sistemas de recaudación, y de planificación y control.

Al realizar el análisis económico de la incorporación de buses eléctricos, deben compararse los CTP de los buses eléctricos con una flota equivalente de combustión interna para un periodo de tiempo determinado en el diseño. Dicho periodo puede coincidir con el plazo de concesión o bien con la vida útil de los buses.

Dado que la renovación de flota es una operación costosa, las condiciones de financiamiento (es decir, el porcentaje de la inversión que será cubierto por préstamos, así como los plazos de los créditos y las tasas de interés) son relevantes para la estimación de costos totales. Dichas condiciones dependen de los riesgos derivados de los modelos de negocio planteados para incorporar buses eléctricos.

Para fines de esta guía, se considera que el modelo tradicional es aquel en el que un operador de transporte (habitualmente una empresa privada que presta en forma exclusiva una o más rutas de transporte público) debe asumir la compra de los vehículos, las terminales y la infraestructura de carga. Asimismo, se debe encargar del mantenimiento y operación de la flota. Mientras que la planificación del sistema y la recaudación son responsabilidad – en mayor o en menor medida – de una autoridad de transporte.

En los últimos años, se han desarrollado nuevos modelos de negocio en los que la inversión en CAPEX está distribuida entre la empresa operadora y otras firmas suministradoras de activos, como la flota (o partes esenciales de los vehículos, como las baterías), la infraestructura de carga y los depósitos. Esta división se denomina separación vertical. Para implementarla, se efectúan contratos de concesión independientes, uno para la provisión de activos y otro para la operación y mantenimiento. Este mecanismo ha sido utilizado en ciudades de América Latina con las mayores flotas de autobuses eléctricos a la fecha, como Bogotá, Colombia. La separación vertical responde a la necesidad de mitigar riesgos del negocio a través de una mejor asignación de los mismo y permite:

- Independizar los activos de la operación, de modo que, ante vencimientos del plazo o incumplimientos, los activos puedan ser reasignados a otro operador;
- Atraer inversionistas no vinculados a la industria con mayor capital y mayores posibilidades de apalancamiento;
- Generar economías de escala;
- Definir diferentes plazos de concesión según el riesgo asumido y el plazo requerido para amortizar las inversiones.

Existen cuatro familias de modelos de negocio para evaluar la posible incorporación de buses eléctricos a cualquier ciudad. Tal como se muestra en la Figura 4 a continuación, las distintas componentes del costo pueden ser asumidas por diversos actores: operador de transporte, suministrador de flota, suministrador de energía, suministrador de depósitos y autoridad de transporte.

Figura 4: Familias de modelos de negocio para la incorporación de buses eléctricos.

Grado de separación vertical de CAPEX

	Componentes de costo	Sin separación	parcial 1			parcial 2			total		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C
CAPEX	Buses	OT	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF
CAPEX	Infraestructura de carga	OT	OT	OT	OT	SE	SE	SE	SE	SE	SE
CAPEX	Depósito (terreno)	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	SD	SD	SD
OPEX	Mantenimiento	OT	OT	SF	SF	OT	SF	SF	OT	SF	SF
OPEX	Combustible / Energía	OT	OT	OT	SF	OT	OT	SF	OT	OT	SF
OPEX	Operación	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT
OPEX	Planificación y control	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT
OPEX	Recaudación	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT	OT/AT

Actores		
Operador de transporte	OT	inversiones con financiamiento de bancos o de empresas de energía
Suministrador de flota	SF	inversiones con financiamiento de bancos o de empresas de energía
Suministrador de energía	SE	inversiones con financiamiento de bancos o de empresas de energía
Suministrador de depósitos	SD	
Operador o autoridad de transporte	OT/AT	

Fuente: Elaboración propia.

En el primer modelo, llamado “sin separación vertical”, todo el costo corresponde al operador de transporte. Una variante de este modelo es cuando las funciones de planificación y control y de recaudación son ejercidas por la autoridad de transporte o por alguna empresa contratada por ésta para tal efecto.

La segunda familia de modelos se le denomina “con separación vertical parcial 1”. En estos casos, la inversión en buses es realizada por una empresa especializada, denominada “suministrador de flota” que endeudarse a un costo menor que el operador de transporte. Los materiales de mantenimiento y provisión de la energía pueden ser adquiridos por el propio operador de transporte, o bien ser provistos por el suministrador de flota. También, bajo este modelo se pueden dar las mismas variantes sobre las funciones de planificación y control y recaudación que para el primer modelo.

A la tercera familia de modelos se le denomina “con separación vertical parcial 2”. Esta familia es parecida a la anterior (“parcial 1”), pero además la infraestructura de carga para los buses eléctricos es provista por el mismo suministrador de energía. Al igual que el suministrador de flota, un suministrador de energía es una empresa con un menor costo de endeudamiento, por lo que podría financiar la construcción de esta infraestructura a un menor precio.

La última familia de modelos se denomina “con separación vertical total”. Es similar a la anterior (“parcial 2”), pero considera que adicionalmente el depósito es provisto por una empresa especializada denominada “suministrador de depósito” (o plantel de buses). Así, tanto los buses como la infraestructura de carga y los depósitos quedan a cargo de empresas especializadas que le prestan la provisión de estos activos al operador de transporte.

Una vez establecidos los modelos de negocio a evaluar, deben estimarse los costos para cada componente. Algunos de estos costos (que se señalan **en negro** en cada tabla) tienen valores similares para cualquier ciudad de la región. De todos modos, se recomienda modificar estos valores para su ciudad si cuenta con estimaciones más precisas. En tanto, otros componentes (cuyas celdas están marcadas en amarillo) presentan alta variabilidad según la ciudad en estudio. Dado que todos

los costos pueden variar, se recomienda hacer un análisis de sensibilidad, tal como una simulación de Monte Carlo (Mooney, 1997), de modo que permita evaluar la probabilidad de ocurrencia de diferentes escenarios.

3.1 Costos de capital

Los costos de capital (o CAPEX) corresponden a los costos derivados de la inversión necesaria, esto es vehículos, infraestructura y patios. Atendiendo a los diferentes modelos de negocios en la región, y dado que los vehículos, en todos los casos, son adquiridos por los operadores; se considera el CAPEX como los vehículos, calculados como el costo por bus, multiplicado por el número de buses a adquirir.

Para fines de esta guía, se asume que el número de buses a adquirir no depende del tipo de energía que consumen. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, factores como la dinámica de carga de las baterías, la necesidad de mantenimiento o la capacidad en pasajeros bus puede incidir en esta consideración.

Paso 2.- Calcule los costos de capital

Para utilizar la guía de autoevaluación, complete las celdas en amarillo con los valores correspondientes a su ciudad. Además, si dispone de estimaciones adecuadas a la realidad local para las celdas marcadas **en negro**, puede reemplazar los valores sugeridos.

Tabla 1: Costos de capital

	Diésel	Eléctrico
Número de buses		
Vida útil (años)		
Valor bus 12m completo (USD/bus)	**119.700**	**300.000**
Valor bus 12 m – solo chasis y carrocería (USD/bus)	No aplica	**166.720**
Valor residual bus (%)		
Valor batería inicial (USD/bus)	No aplica	**133.280**
Valor cargador (USD/bus)	No aplica	**2.000**
Valor infraestructura de carga (USD/bus)	No aplica	**30.000**

Nota: El "valor del bus 12m: completo" (fila 2 del cuadro) incluye todas las componentes necesarias para la operación del bus, ya sea diésel o eléctrico. El "valor bus 12m: sólo chasis y carrocería" (fila 3) incluye sólo estos componentes para el bus eléctrico. Por separado, se indica el valor de la batería (fila 4). Esta separación no aplica para el caso de los buses diésel.

Los datos de la Tabla 1 han sido seleccionados a partir de un análisis comparativo entre los estudios de Grütter (2018), Deloitte (2018) y Centro Mario Molina de Chile (2021) para el caso de San José, Costa Rica. Por otro lado, en este trabajo se tendrá como supuesto inicial, que el costo de la infraestructura de carga lo asume el operador de transporte.

Paso 3.- Estime las condiciones de financiamiento

Los costos anuales correspondientes a la inversión en la flota dependen de las condiciones de financiamiento, que a su vez varían con el modelo de negocio planteado. En este sentido, se recomienda estimar el CTP para distintos modelos de negocio y seleccionar el más adecuado.

Los factores por considerar son:

- Entidad que recibe el crédito: habitualmente las condiciones de los créditos para la inversión en buses eléctricos son más favorables (en tasa de interés, plazo y/o periodo de gracia) cuando éstos son solicitados por empresas especializadas – suministradores de activos – que por los operadores de transporte.
- Plazo de crédito (años) y periodo de gracia si aplica.
- Tasa de interés anual
- Moneda (USD / moneda local)
- Prima (porcentaje de la inversión que debe ser cubierta por la empresa operadora o suministradora de activos)

Dichos factores serán variables, no sólo en función del modelo de negocio, sino también según la entidad financiera que suministra el crédito, el contexto económico en la ciudad y el país en donde se solicita el préstamo, y el monto de la inversión, entre otros.

A continuación, se muestra un ejemplo de tabla con dos modelos de negocio, uno en el que el operador de transporte asume los costos y el otro en el que el suministrador de activos es quien solicita el financiamiento.

Para utilizar la guía de autoevaluación, reemplace las celdas de la tabla, en amarillo, por las condiciones correspondientes a su ciudad. Por su parte, las celdas resaltadas en naranja son cálculos. Además, si dispone de estimaciones adecuadas a la realidad local para las celdas marcadas **en negro**, puede reemplazar los valores sugeridos por sus estimaciones propias.

Tabla 2: Condiciones de financiamiento

	Modelo 1	Modelo 2
Recibe crédito	Operador de transporte	Suministrador de activos
Periodo (años)		
Tasa interés anual		
Moneda	**USD**	**USD**
Prima	**30%**	**30%**
Tasa interés mensual		

La tasa de interés mensual se obtiene a partir del interés anual mediante la fórmula de interés compuesto. En Microsoft Excel ®, el comando correspondiente es:
"(POTENCIA(1+**i**;1/12))-1", donde **i** es la tasa de interés anual.

Una vez estimadas las condiciones de financiamiento, debe calcularse la cuota anual por concepto de financiamiento de cada una de las componentes de inversión. Para realizar el cálculo puede utilizarse la función "PAGO" de Microsoft Excel ®, que calcula el valor de las cuotas mensuales asociadas al financiamiento de una inversión considerando el monto a financiar, una tasa de interés y número de períodos en los que se pagará esta cuota. Luego, se multiplica por 12 para obtener el valor de cuota anual para cada componente del costo.

A continuación, se presentan las tablas con el cálculo de la cuota mensual y anual para el Área Metropolitana de San José. **Para utilizar la guía de autoevaluación** , reproduzca el formato de las

tablas, aplicando los valores de las condiciones de financiamiento (Tabla 2) que correspondan a su ciudad.

Tabla 3: Cálculo de cuota anual de pago de crédito, por componente de inversión, por alternativa de financiamiento, en millones de USD (ejemplo AMSJ)

Prima

en millones de USD

	Alternativa de financiamiento				
	Bus Diesel	Bus Eléctrico			
	situación actual	crédito 7 años	crédito 15 años	leasing parcial	leasing total
Valor bus 12 m	$ 7,33	$ 18,36	$ 18,36		$ 18,36
Valor chassis y carrocería				$ 10,20	
Valor batería inicial				$ 8,16	
Valor reposición batería año 8		$ 3,66	$ 3,66	$ 3,66	$ 3,66
Valor cargador		$ 0,12	$ 0,12	$ 0,12	$ 0,12
Valor infraestructura de carga		$ 1,84	$ 1,84	$ 1,84	$ 1,84

Valor a financiar mediante crédito bancario

en millones de USD

	Alternativa de financiamiento				
	Bus Diesel	Bus Eléctrico			
	situación actual	crédito 7 años	crédito 15 años	leasing parcial	leasing total
Valor bus 12 m	$ 17,09	$ 42,84	$ 42,84		$ 42,84
Valor chassis y carrocería				$ 23,81	
Valor batería inicial				$ 19,03	
Valor reposición batería año 8		$ 8,55	$ 8,55	$ 8,55	$ 8,55
Valor cargador		$ 0,29	$ 0,29	$ 0,29	$ 0,29
Valor infraestructura de carga		$ 4,28	$ 4,28	$ 4,28	$ 4,28

Cálculo de cuota mensual.

en millones de USD

	Alternativa de financiamiento				
	Bus Diesel	Bus Eléctrico			
	situación actual	crédito 7 años	crédito 15 años	leasing parcial	leasing total
Valor bus 12 m	$ 0,26	$ 0,66	$ 0,40		$ 0,34
Valor chassis y carrocería				$ 0,37	
Valor batería inicial				$ 0,27	
Valor reposición batería año 8		$ 0,13	$ 0,13	$ 0,12	$ 0,12
Valor cargador		$ 0,00	$ 0,00	$ 0,00	$ 0,00
Valor infraestructura de carga		$ 0,07	$ 0,04	$ 0,03	$ 0,03

Cálculo de cuota anual.

en millones de USD

	Alternativa de financiamiento				
	Bus Diesel	Bus Eléctrico			
	situación actual	crédito 7 años	crédito 15 años	leasing parcial	leasing total
Valor bus 12 m	$ 3,17	$ 7,94	$ 4,83	$ -	$ 4,04
Valor chassis y carrocería	$ -	$ -	$ -	$ 4,41	$ -
Valor batería inicial	$ -	$ -	$ -	$ 3,22	$ -
Valor reposición batería año 8	$ -	$ 1,58	$ 1,58	$ 1,44	$ 1,44
Valor cargador	$ -	$ 0,05	$ 0,03	$ 0,03	$ 0,03
Valor infraestructura de carga	$ -	$ 0,79	$ 0,48	$ 0,40	$ 0,40

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Costos de operación

Al igual que para los costos de adquisición de flota, los costos correspondientes a la energía y mantenimiento tienen componentes que varían para cada ciudad. Lo mismo ocurre con la cantidad de kilómetros a recorrer por bus y por flota y el precio de los combustibles. Para otros valores, como el rendimiento y el mantenimiento la variabilidad es menor, aunque también depende de factores como la topografía y la necesidad de utilizar aire acondicionado o calefacción.

Paso 4.- Estime los costos de operación

Para utilizar la guía la autoevaluación, complete las celdas en amarillo con los valores correspondientes a su ciudad y aplique las fórmulas para llenar las celdas en naranja. Además, si dispone de estimaciones adecuadas a la realidad local para las celdas **en negro**, puede reemplazar los valores sugeridos por sus estimaciones propias.

Tabla 4: Resumen de datos y cálculo de costos combustible, energía y mantenimiento

	Diesel	**Eléctrico**	***cálculo***
Kilómetros/año/bus			-
Kilómetros/año/flota			Multiplicar km/año/bus por el número de buses (Cuadro 2)*
Mantenimiento: materiales y personal (USD/km)	**0,15**	**0,09**	-
Mantenimiento: materiales y personal (USD/año)			Multiplicar mantenimiento/km por km/año/flota
Precio diésel/energía (USD/l, USD/kWh)			-
Rendimiento combustible/energía (km/l, km/kWh)	**2,13**	**0,76**	-
Costo combustible/energía (USD/año)			Multiplicar rendimiento por km/año/flota

Nota: El costo de mantenimiento y el rendimiento para buses diésel y eléctricos fue obtenido con base en un análisis comparativo entre los estudios de Grütter (2018), Deloitte (2018) y Centro Mario Molina de Chile (2021) para el caso de San José, Costa Rica. Mientras que el rendimiento es prácticamente igual en los estudios mencionados, existen diferencias significativas en el costo de mantenimiento, que pueden deberse a variaciones locales en el costo de la mano de obra y de los materiales.

* En el análisis de CTP para el Área Metropolitana de San José (AMSJ), se estimó que el tamaño de flota será constante para el periodo de evaluación. En caso en que el crecimiento en la demanda justificara la incorporación de nuevos buses, deben repetirse los cálculos para los períodos correspondientes con cada nueva ampliación de flota.

Paso 5.- Calcule la tasa de descuento

Para expresar el CTP, se deben considerarse los costos a valor actual, por lo que el flujo de cada año debe ser afectado por la tasa de descuento d, que corresponde al costo de oportunidad del capital invertido, según la siguiente expresión para cada año i del periodo de análisis:

$$TCO_{descontado_i} = \frac{TCO_i}{(1+d)^i} \quad (1)$$

Dado que el capital es proporcionado en parte por el operador (a través de la prima) y el resto se financia con créditos, se debe considerar la tasa de descuento como el costo de capital promedio ponderado (WACC) entre las entidades correspondientes.

$$WACC = d_{operador} \cdot Prima + d_{banco} \cdot (100 - Prima) \quad (2)$$

Donde:

$WACC$	Costo de capital promedio ponderado (%)
$d_{operador}$	Tasa de descuento del operador (%)
d_{banco}	Tasa de descuento del banco (%)
$Prima$	Prima (%)

Para utilizar la guía de autoevaluación, reemplace los valores sugeridos por sus estimaciones propias, en caso de contar con ellas. De lo contrario, puede aplicar los valores sugeridos.

Tabla 5: Estimación de la tasa de descuento (WACC), ejemplo San José, Costa Rica

$d_{operador}$	**12**
d_{banco}	**6,5**
$Prima$	**30%**
$WACC$	8,1%

Nota: Las tasas de descuento surgen de Grütter (2018) y pueden variar según la coyuntura económica. Si el préstamo se realiza en moneda local, debe considerarse una corrección por tipo de cambio.

En el caso del Área Metropolitana de San José, resultó un WACC de 8,1%.

Paso 6.- Estime el valor actual del CTP

Una vez estimados el CAPEX, el OPEX y la tasa de descuento para el periodo de análisis, puede calcularse el CTP para cada modelo de negocio estudiado. En las tablas siguientes se resumen los ejemplos para el Área Metropolitana de San José, para la incorporación de buses diésel financiados por el operador de transporte y de buses eléctricos con separación vertical parcial (batería suministrada por una empresa especializada).

Tabla 6: CTP por año (ejemplo AMSJ)

año	0	1	2	...	15
CAPEX					
Bus	$ 7,33	$ 3,17	$ 3,17	..	
OPEX					
Mantenimiento	-	$ 1,26	$ 1,26	..	$ 1,26
Combustible	-	$ 3,46	$ 3,46	..	$ 3,46
Total	$ 7,33	$ 7,89	$ 7,89	..	$ 4,72
Total descontado	$ 7,33	$ 7,30	$ 6,75	..	$ 1,47
VA	$ 63,93				

año	0	1	2	...	15
CAPEX					
Bus: Chassis y carrocería	$ 10,20	$ 4,41	$ 4,41	..	
Batería inicial	$ 8,16	$ 3,22	$ 3,22	..	
Resposición batería año 8				..	
Cargador	$ 0,12	$ 0,03	$ 0,03	..	$ 0,03
Infraestructura de carga	$ 1,84	$ 0,40	$ 0,40	..	$ 0,40
OPEX					
Mantenimiento	-	$ 0,70	$ 0,70	..	$ 0,70
Energía	-	$ 1,03	$ 1,03	..	$ 1,03
Total	$ 20,32	$ 9,79	$ 9,79	..	$ 2,16
Total descontado	$ 20,32	$ 9,06	$ 8,38	..	$ 0,67
VA	$ 84,75				

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la autoevaluación, reproduzca el formato de las tablas. Los resultados variarán según los datos que incluyó en las tablas anteriores.

El valor actual (VA) para cada modelo de negocio puede compararse a través de una tabla resumen.

Tabla 7: Resumen CTP por modelo de negocio (ejemplo AMSJ)

	Alternativa de financiamiento				
	Bus Diesel	Bus Eléctrico			
	situación actual	crédito 7 años	crédito 15 años	leasing parcial	leasing total
TCO	$ 63,93	$ 88,01	$ 87,89	$ 85,20	$ 79,94
Diferencia c/r a situación actual		$ 24,08	$ 23,96	$ 21,27	$ 16,01

Fuente: Elaboración propia.

Esta primera estimación de CTP puede resultar favorable a la incorporación de buses eléctricos o bien a mantener la operación con buses a combustión interna. Si es el segundo caso, deberá evaluar en qué condiciones el costo total de los buses eléctricos pasaría a ser menor. En ciertas condiciones podría justificarse un subsidio a la compra de buses, a la infraestructura de carga y/o a la energía eléctrica.

Los beneficios por la reducción en la emisión de gases y la contaminación acústica son externalidades positivas, que no forman parte del cálculo del CTP, pero sí son percibidos por la sociedad y cuantificables para un análisis de costo-beneficio. Su estimación – que varía para cada ciudad según un conjunto de factores demográficos, técnicos y climatológicos – podría justificar desde el punto de vista económico la implementación de dichos subsidios por parte del Estado.

4 Análisis de riesgos

Los riesgos para la incorporación de buses eléctricos pueden ser clasificados en dos, riesgos de ingreso y de costo de inversión.

Riesgos de ingreso:

El riesgo de ingreso está relacionado con el modelo de regulación del sistema de transporte público. Se distinguen tres tipos de modelo:

- El *modelo de libre mercado*, en el que los operadores compiten en la calle por la demanda, presenta un alto riesgo de ingreso ya que pueden entrar nuevos operadores al sistema. Además, en algunos casos éstos pueden modificar sus tarifas para captar más pasajeros. Modelo altamente informal y sin regulación.

- El *modelo con concesión bajo contrato a costo neto*, en el que cada operador de transporte recauda las tarifas, presenta un riesgo intermedio. Al no existir competencia directa con nuevos entrantes, el riesgo de demanda es menor que en el modelo de libre mercado. No obstante, persiste el problema de la competencia en la calle cuando la concesión ha sido organizada con base en rutas, como es el caso del Área Metropolitana de San José de Costa Rica. Este problema se controla en la medida que la concesión esté organizada en base a áreas o sectores de la ciudad como en Santiago de Chile o Bogotá, Colombia. Usualmente, las coberturas de riesgo presentes son las privadas dado que el sistema usualmente se financia mediante banca comercial. Además, la recaudación del sistema puede disminuir en forma brusca, como se ha visto durante la pandemia.

- El *modelo de concesión a costo bruto*, donde una organización independiente del operador de transporte es la que recauda, tiene menor riesgo de demanda. En este caso las fuentes de ingresos del operador son más diversificadas y provienen de un pago que realiza la autoridad de transporte sobre la base del número de pasajeros transportados, kilómetros recorridos o una combinación de éstas y otras variables de desempeño. Así, el riesgo de ingreso se reduce en la medida que una parte del pago no depende del número de pasajeros transportados y depende de una variable que está directamente bajo el dominio del operador como son los kilómetros. En estos sistemas también se puede ceder derecho sobre los ingresos de tal suerte que algunos proveedores o entidades financieras puedan disponer directamente del dinero, sin que éste pase por las manos del operador. Tanto el recaudo centralizado, como la cesión de derechos permiten reducir el riesgo de ingresos y, con ello, conseguir mejores tasas de interés para el financiamiento de los buses eléctricos.

  En este modelo, adicionalmente a los mecanismos para la mitigar los riesgos de ingreso expuestos anteriormente, pueden existir subsidios al OPEX y CAPEX e inversores con posibilidad de aportar capital que permiten reducir el costo de la inversión, y coberturas de riesgos financieros como garantías soberanas, fideicomisos de garantía, mecanismos que permitan ampliar el plazo del financiamiento como contratos de concesión prolongados o bienes afectos a la concesión, que posibilitan el acceso a créditos en condiciones blandas.

El riesgo de ingreso es un elemento fundamental en la evaluación de las tasas de interés de créditos bancarios. Al desplazarse desde abajo hacia arriba a lo largo de esta dimensión, las tasas aumentan, y con ello el costo del financiamiento

Riesgos de costos de inversión:

El riesgo de costo de inversiones está relacionado con el modelo de financiamiento utilizado como se describe a continuación:

- Modelo "sin separación vertical". Cuando el operador de transporte realiza todas las inversiones, ya sea en un modelo de libre mercado o con concesiones a costo bruto y neto, existe *integración* vertical. En este caso el costo de financiamiento es alto, lo que se relaciona tanto con el mayor riesgo de demanda (lo que podría dificultar el pago de los créditos) como con la falta de especialización de los operadores para gestionar activos, en particular aquellos relacionados con la carga de los buses eléctricos.

- Modelos "con separación vertical parcial 1" y "con separación vertical 2". La *separación vertical de inversiones de componentes eléctricas* (batería, cargador e infraestructura de carga), en la que un suministrador de flota compra con recursos propios o con financiamiento las baterías y la infraestructura de carga, y luego lo entrega al operador de transporte bajo un contrato de leasing financiero, presenta un costo de inversión intermedio. En este modelo los componentes "clásicos" (chasís y carrocerías de los buses) son comprados por el operador de transporte con recursos propios y financiamiento de un banco. El suministrador de flota obtiene un menor costo de financiamiento que el operador por tratarse de una empresa de mayor tamaño especializada en la gestión de activos.

- Modelos de separación vertical total**.** Si existe *separación vertical de todas las inversiones*, es decir que los buses, baterías y equipos e infraestructura de carga son suministrados por empresas especializadas, el costo de inversión será menor.

La siguiente figura resume, en un gráfico bidimensional, los riesgos de ingreso y de costo de inversión según el modelo de negocio.

Figura 5: Riesgos de ingreso y de costo de inversión, cuadro base



Paso 7.- Identifique su nivel de riesgo de demanda e inversión

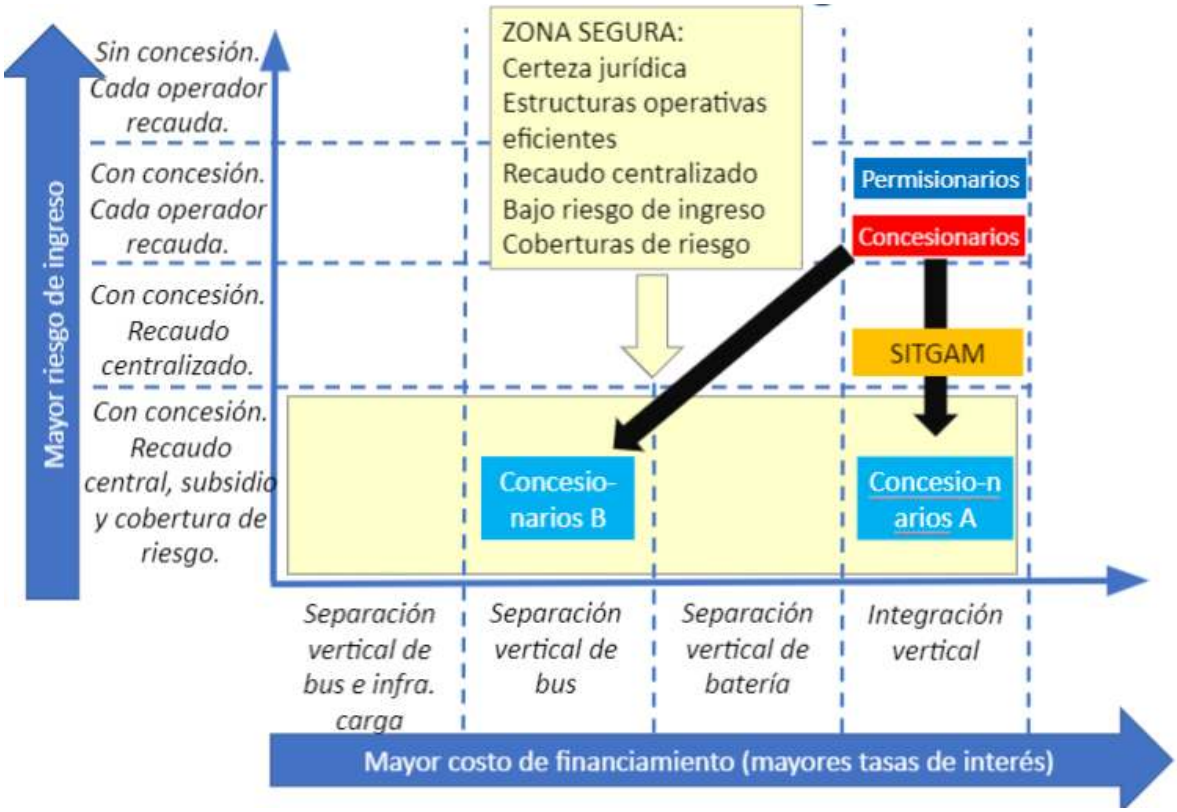
Para realizar la autoevaluación, en primer lugar, debe identificar el cuadrante en el que se encuentra su ciudad actualmente, con base en el análisis de los componentes del modelo de negocio y los mecanismos de financiamiento presentes en el sistema de transporte, así como el nivel de separación del CAPEX.

Dado que el costo de financiamiento es menor en el cuadrante inferior izquierdo – en el que se encuentran ciudades de la región como Santiago, señalado en la Figura 4 - debería **analizarse la factibilidad de transitar hacia un sistema menos riesgoso con nuevos modelos de negocio**.

En este sentido, se recomienda evaluar **distintos escenarios futuros**, tal como se muestra en la siguiente figura para el Área Metropolitana de San José, Costa Rica. Se deben implementar mayores mecanismos de reducción de ingreso y analizar el grado de separación vertical en función a la posibilidad que cada modelo ofrece en términos de coberturas de riesgos, aporte de recursos no reembolsables y accesibilidad a créditos blandos.

Como se plantea en la siguiente figura, para viabilizar la incorporación de autobuses eléctricos, es necesario que el sistema de transporte público de su ciudad se encuentre en la **"Zona Segura"**, que va a permitir crear el instrumento financiero adecuado que permita cerrar la brecha entre el diferencial de costos establecidos por el CTP y los recursos y coberturas de riesgos con los que cuenta el sistema. Llegar a esta zona dependerá en gran medida de la viabilidad de efectuar modificaciones al marco regulatorio de ser necesarias.

Figura 6: Riesgos de ingreso y de costo de inversión, escenarios futuros (ejemplo AMSJ)



Referencias

BID (2018) Tecnologías alternas para buses urbanos en Costa Rica. Grütter Consulting.

CRUSA-PNUMA (2020) Resultados del análisis de costos de las rutas de autobús del Área Metropolitana de San José con base en su consumo energético. Centro Mario Molina.

World Bank (2019) Desarrollo de una metodología de costos y tarifa para la adopción de servicios de autobús eléctrico en Costa Rica. Informe final. Deloitte.

Li, X., Castellanos, S., & Maassen, A. (2017). Current trends and innovations affecting the potential for a widespread adoption of electric buses-A comparative case study of 22 cities in the Americas, Asia-Pacific and Europe. https://ses.library.usyd.edu.au/bitstream/handle/2123/19576/Thredbo_15_Thredbo_15_Paper_99.pdf?sequence=1&isAllowed=y

World Resources Institute (2017) ¿Cómo pueden las ciudades llevar a cabo las inversiones complejas como son buses de bajas emisiones? Presentación en XIII Congreso Internacional "Ciudades y Transporte" https://wrimexico.org/events/xiii-congreso-internacional-ciudades-y-transporte

BID (2020) Análisis y diseño de modelos de negocio y mecanismos de financiación para buses eléctricos en Lima, Perú.

GIZ (2018) Climate change mitigation in Costa Rica's transport sector – MiTransporte, Stewart K. Pirnie.

Canon Rubiano, L (2018) Mi autobús es tu autobús: cómo el esquema desagregado de provisión de flota puede apoyar los programas de modernización de autobuses. Banco Mundial Blogs. https://blogs.worldbank.org/es/voices/mi-autobus-es-tu-autobus-como-el-esquema-desagregado-de-provision-de-flota-puede-apoyar-los

GIZ (2021) Webinario 6 ¿Cuáles son las transformaciones que debe tener una empresa operadora ante la introducción de buses eléctricos en su flota? Presentación de Jurg Grütter. Disponible en: https://www.youtube.com/channel/UC7Y1zprSXgbPGaCvfFOPEQA

UITP (2020) Guía para la licitación de autobuses.

GIZ (2020) Mecanismos de fondeo y financiamiento para la movilidad sustentable: oportunidades para Costa Rica.

Cepal (2020) Hacia una electromovilidad pública en México. https://www.cepal.org/es/publicaciones/46060-electromovilidad-publica-mexico

CRUSA-PNUMA (2020) Análisis y mitigación de barreras para el despliegue de autobuses eléctricos en Costa Rica.

GIZ (2019) Financial mechanisms for electric bus adoption.

GIZ (2021) Webinar 6.

Mooney, C. Z. (1997). Monte Carlo simulation (No. 116). Sage.