

## **Análisis de los costes de inversión y operativos en el ciclo de vida del material rodante ferroviario: Implicaciones para los actores clave y estrategias de gestión**

### ***Analysis of investment and operational costs in the life cycle of railway rolling stock: Implications for key stakeholders and management strategies***

[10.29073/rae.v3i1.917](https://doi.org/10.29073/rae.v3i1.917)

**Recebido:** 4 de junho de 2024.

**Aprovado:** 18 de novembro de 2024.

**Publicado:** 3 de fevereiro de 2025.

**Autor/a:** Juan Bueno, Patentes Talgo, Espanha, [jmramirez@talgo.com](mailto:jmramirez@talgo.com).

#### **Resumo (ES)**

El objetivo de este estudio es explorar los desafíos y las complejidades relacionadas con los costes de inversión (CapEx) y los costes operativos (OpEx) en el ciclo de vida del material rodante ferroviario. Se centra en los cuatro actores fundamentales dentro de este ciclo, considerando sus roles duales como compradores y vendedores. El análisis también se basa en la interconexión de estos actores en relación con el Coste del Ciclo de Vida (LCC) del activo (material rodante), y cómo sus decisiones estratégicas en términos de inversión y costes operativos están influenciadas por su poder económico y financiero, así como por su experiencia y madurez tecnológica.

El estudio investiga la preferencia entre tener OpEx potencialmente más costosos en comparación con un CapEx más económico, y explora cómo esta preferencia puede estar influenciada por las metas financieras a largo plazo y la capacidad de gestionar los costes operativos a lo largo del ciclo de vida del material rodante. Además, se examinan las razones detrás de la tendencia general de reducir el CapEx y trasladar los costes a los OpEx, y se considera cómo esta estrategia puede estar relacionada con la optimización de los recursos iniciales y la flexibilidad para adaptarse a las variaciones futuras de la explotación. Se investiga también por qué a menudo se subestiman los costes operativos en las decisiones estratégicas, destacando la importancia de considerar de manera integral tanto los costes iniciales como los costes a lo largo del ciclo de vida.

El método para realizar el estudio ha consistido en dividirlo en tres fases. La primera fase del estudio ha involucrado una revisión de la literatura existente, así como una exploración de fuentes académicas, informes técnicos, normativas y publicaciones relevantes para obtener una comprensión de los avances, desafíos y tendencias en la industria. La segunda etapa se ha centrado en el análisis de casos prácticos de ofertas de material rodante. La tercera fase ha implicado la consulta a expertos en el campo del material rodante ferroviario.

**Palavras-Chave:** CapEx; Estrategia; LCC; Material Rodante; OpEx.

#### **Abstract**

The objective of this study is to explore the challenges and complexities related to investment costs (CapEx) and operational costs (OpEx) in the life cycle of railway rolling stock. It focuses on the four key actors within this cycle, considering their dual roles as buyers and sellers. The analysis is also based on the interconnectedness of these actors in relation to the Life Cycle Cost (LCC) of the asset (rolling stock), and how their strategic decisions in terms of investment and operational costs are influenced by their economic and financial power, as well as their technological expertise and maturity.

The study investigates the preference between having potentially more expensive OpEx compared to cheaper CapEx and explores how this preference may be influenced by long-term financial goals and the ability to manage operational costs throughout the rolling stock lifecycle. In addition, it examines the reasons behind the general trend of reducing CapEx and shifting costs to OpEx and considers how this strategy may be related to optimization



of initial resources and flexibility to adapt to future variations in operation. It also investigates why operational costs are often underestimated in strategic decisions, highlighting the importance of comprehensively considering both upfront and life-cycle costs.

The method for conducting the study has been divided into three phases. The first phase of the study involved a review of existing literature, as well as an exploration of academic sources, technical reports, regulations, and relevant publications to gain an understanding of developments, challenges, and trends in the industry. The second stage focused on the analysis of case studies of rolling stock offers. The third phase involved consultation with experts in the field of railway rolling stock.

**Keywords:** CapEx; LCC; OpEx; Rolling Stock; Strategy.

## 1. Introducción

El material rodante ferroviario es un tipo de activo móvil (Campbell, 2011), que reúne dos características principales en lo referente a los costes del ciclo de vida (LCC): su elevado coste inicial y su elevado coste de ciclo de vida restante. La fase de adquisición del material rodante es una fase preminentemente de costes de inversión (CapEx), donde para poder producirse la compra es necesario recurrir a financiación propia y principalmente ajena. Por otra parte, la fase de utilización del material rodante, llamada periodo de explotación está dividido a su vez en dos grandes bloques: la operación del material rodante, para prestar los servicios ferroviarios y, por otra parte, el mantenimiento de dicho material rodante, para conservar el activo en el estado adecuado para la circulación. Es en el bloque de operación donde se producen las únicas entradas de ingresos de todo el ciclo de vida, provenientes de los viajeros y, en el caso de los servicios públicos, tanto de los viajeros como de las administraciones contratantes de dichos servicios. En las Tablas 1 y 2 se muestran los principales costes de inversión y operativos, respectivamente (Idris et al., 2022).

**Tabla 1:** Costes de inversión (CapEx) típicos de un contrato de material rodante.

Tipo de coste		Desglose
Costes iniciales de adquisición	de	Precio de compra del material rodante
		Costes de personalización y modificación
		Costes de diseño e ingeniería
		Desarrollo de especificaciones técnicas y documentación
Infraestructura y equipamiento	y	Construcción o adaptación de talleres
		Instalaciones y equipos de mantenimiento
		Inventario de piezas de repuesto y utillajes
		Equipos de diagnóstico y pruebas
Inversiones en tecnología		Sistemas embarcados
		Sistemas informáticos para la gestión del mantenimiento y las operaciones
		Sistemas de monitorización de estado y mantenimiento predictivo
Gestión de proyectos y consultoría	y	Costes por gestión de proyectos
		Costes de consultoría jurídica y financiera
		Consultoría técnica y de ingeniería
Cumplimiento y certificación		Costes de certificación
Evaluaciones de seguridad		Costes asociados a la obtención de certificados de seguridad



**Tabla 2:** Costes operativos (OpEx) típicos en un contrato de material rodante.

Tipo de coste	Desglose
Costes de alquiler	Pagos periódicos de leasing de material rodante
	Mantenimiento incluido en los contratos de leasing
Mantenimiento y reparaciones	Actividades de mantenimiento programado
	Mantenimiento no programado e intervenciones de emergencia
	Sustitución de componentes sometidos a desgaste
Costes operativos	Formación y salarios del personal
	Costes de energía
	Consumibles
Seguros	Primas de las pólizas de seguro de accidentes, responsabilidad civil y daños
Costes de auditoría y certificación	Auditorías continuas de cumplimiento de obligaciones y de seguridad
	Actualización de certificaciones y evaluaciones de seguridad
Contratos de servicios	Acuerdos de nivel de servicio (SLA)
	Contratos de mantenimiento de pago por uso
Tecnología y servicios informáticos	Licencias y actualizaciones de software
	Soporte y servicios de TI para sistemas de gestión de la explotación
Gastos administrativos y generales	Costes de oficina relacionados con la gestión de la explotación
	Costes generales de administración

Los dos bloques, operación y mantenimiento generan a su vez importantes costes operativos (OpEx). Este trabajo se va a centrar en los costes de mantenimiento de la fase de explotación, teniendo en cuenta cómo se ha producido la adquisición del material rodante, y si en esa adquisición ha habido costes que, por su importe y naturaleza, pudiesen haberse transferido a la fase de explotación. Con esta visión, es necesario tratar todo este ciclo desde la perspectiva de un proyecto de inversión (Chain, 2011), desde el punto de vista de todos los actores involucrados, donde cada uno intentará obtener su rentabilidad en un punto determinado del ciclo de vida del material rodante.

## 2. Desafíos y Complejidades

El ciclo de vida del material rodante ferroviario involucra desafíos significativos en relación con los costes de inversión (CapEx) y los costes operativos (OpEx). Estos desafíos pueden variar según la etapa del ciclo de vida, desde la adquisición inicial hasta la fase de explotación. Algunos de los desafíos y complejidades más comunes incluyen:

### 2.1. En los Costes de Inversión (CapEx)

Como desafíos se incluyen los costes iniciales elevados en la adquisición, financiación y presupuesto para la inversión inicial, la adopción de tecnologías más avanzadas y trenes más innovadores que puedan incrementar los costes, y el ciclo de vida prolongado, que vuelve a generar costes de inversión en determinadas fases del ciclo de vida. Entre las complejidades, se encuentran las decisiones de adquisición (tecnología, capacidad, eficiencia y compatibilidad con la infraestructura existente), financiación y presupuesto para la adquisición inicial, las negociaciones con proveedores, la tecnología del material rodante en evolución constante, los estándares normativos cambiantes y la planificación a largo plazo.

### 2.2. En los Costes Operativos (OpEx)

Existen desafíos en mantenimiento y reparaciones, consumo de energía (normalmente en el lado del operador), gestión de los activos, cumplimiento normativo, obsolescencia de los componentes del material rodante, capacitación del personal, variabilidad de la demanda en la operación, sostenibilidad y eficiencia ambiental, además de en la gestión de riesgos operativos. Por otra parte, existen complejidades en la gestión del mantenimiento, la gestión de la cadena de suministro, la eficiencia energética, la gestión de recursos humanos,



la adaptabilidad a la demanda, el cumplimiento normativo, la gestión de riesgos operativos, la gestión de los contratos y los proveedores, la integración de tecnologías emergentes y la gestión de la obsolescencia.

### 3. Actores Involucrados

**Fabricante:** Es la empresa que construye el material rodante. La fabricación del material rodante puede centrarse en la integración de sistemas (empresa integradora) o bien, la propia integración de sistemas junto con el diseño y fabricación de sistemas, normalmente críticos (empresa de desarrollo integral).

**Propietario:** Es la empresa que compra el material rodante. En el rol de propietario suelen diferenciarse dos tipos de empresa: empresas propietarias de material rodante, también llamados ROSCO (ROLLing StoCk Owner), que son empresas que se dedican a adquirir el material rodante y alquilárselo a operadores y, por otra parte, grandes operadoras ferroviarias, por lo general empresas estatales de gran tamaño que pueden permitirse la adquisición de un activo de coste tan importante como es el material rodante.

**Operador:** Es el actor que se encarga de gestionar la operación del material rodante. El Operador es el actor principal en todo este proceso, ya que es el que crea la necesidad (transportar viajeros o mercancías por ferrocarril) que mueve al resto de actores. También se distinguen dos tipos de operador: por una parte, operadores de gran tamaño, que puede también asumir el rol de mantenedor del material rodante y que suelen ser empresas estatales o bien empresas privadas de larga trayectoria y, por otra parte, operadores de menor tamaño, que suelen ser empresas privadas con menor personal y conocimiento, que por lo general suelen encargarse exclusivamente de la operación, delegando el mantenimiento a mantenedores externos o incluso los propios fabricantes.

**Mantenedor:** Es el actor que se encarga del mantenimiento del material rodante. Aquí se distinguen tres tipos de empresa: operadores de gran tamaño, que además tiene conocimiento e instalaciones para realizar el mantenimiento del material rodante, fabricantes de material rodante, en su rol de mantenedor, que son los que mayor conocimiento tienen del material rodante que fabrican y que por su conocimiento y experiencia, pueden estar en disposición de mantener material rodante de terceros y finalmente, mantenedores de material rodante, que son empresas especializadas en mantenimiento ferroviario y suelen ser empresas de menor tamaño que las anteriores (Puig et al., 2013).

Existen otros dos actores que aparecen en determinadas fases del ciclo de vida: el Financiador, que aporta el capital para comprar el material rodante o las infraestructuras asociadas a la explotación (si el Propietario no dispone de él), y el Asegurador, que cubre los riesgos relacionados con la integridad de los activos y las incertidumbres en la ejecución de los contratos. En la Figura 1 se muestran esquemáticamente las relaciones entre todos los actores.

**Figura 1:** Relación entre los actores en un contrato de material rodante ferroviario.



#### 4. Coste de Ciclo de Vida del Material Rodante

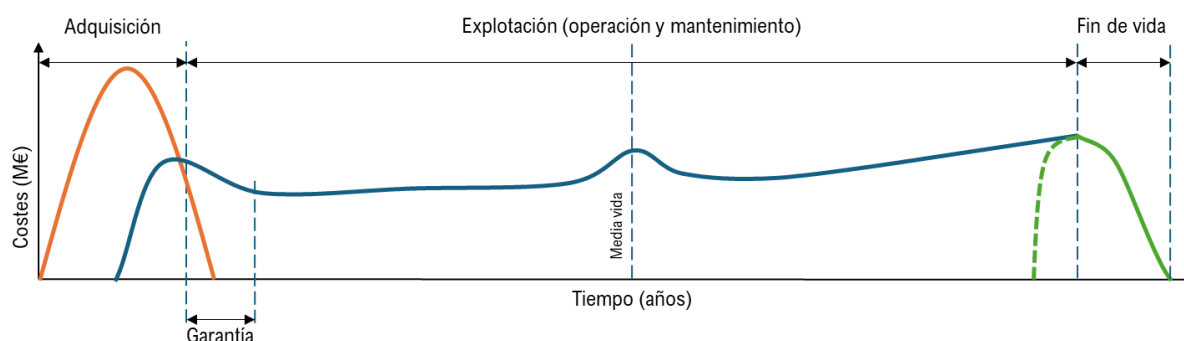
El ciclo de vida del material rodante ronda entre 30–45 años normalmente. Los costes asociados están divididos en tres fases (Campbell et al., 2011) (Márquez et al., 2012):

- Adquisición: fase de compra, diseño, fabricación y pruebas del material rodante. Suele tener una duración nominal de 3-5 años.
- Explotación: fases de operación y mantenimiento, que tienen lugar en paralelo. Tiene una duración de 25–40 años. En esta fase tienen lugar eventos generadores de coste, como costes de cánones y energía por la parte de operación, mientras que por el mantenimiento aparecen mantenimiento preventivo y correctivo, reformas y obsolescencia de componentes, además de los costes derivados de los posibles accidentes y vandalismo que el material rodante sufra. Al comienzo de la etapa de explotación se encuentra el periodo de garantía, donde el Fabricante se hace cargo del mantenimiento correctivo del material rodante.
- Fin de vida: retirada, desmantelamiento, valorización, reciclaje y eliminación de residuos.

La Figura 2 muestra una distribución típica de cada tipo de coste a lo largo del ciclo de vida.

Desde el punto de vista del propio activo (material rodante), el modelo de negocio está evolucionando desde un enfoque tradicional basado en la compraventa del producto hacia una perspectiva de negocio durante todo el ciclo de vida (McKinsey & Company, 2016). El artículo se va a centrar en las fases de adquisición y explotación, ya que son las partes que, por lo general, más coste generan en su conjunto (Johnson et al., 2016).

**Figura 2:** Costes característicos del ciclo de vida del material rodante ferroviario.



##### 4.1. LCC como Criterio de Compra

Además de la calidad y prestaciones del material rodante (número de plazas, tipo de tracción, etc.), el coste es obviamente un factor importante en las decisiones de compra. El enfoque del cálculo del coste del ciclo de vida (LCC) tiene en cuenta los costes del Operador a lo largo de todo el ciclo de vida del material rodante (Raczyński, 2018). Esto incluye los costes de inversión (intereses de depreciación) y los costes de operación (energía, mantenimiento, etc.). En la práctica, no existe un concepto de LCC unificado para los vehículos ferroviarios, aunque se han hecho intentos por crear un estándar (por ejemplo, el modelo LCC de UNIFE, comúnmente utilizado en el sector), utilizando cada actor utiliza su propio modelo. Algunos modelos de cálculo del LCC incluyen los costes del personal de explotación, los costes de los tiempos de inactividad y los costes de eliminación, como ejemplos, mientras que otros no los incluyen.

El receptor principal del LCC es el Operador, que previamente lo ha tenido que recibir del Fabricante del material rodante, que es el que, en primera instancia, establece todos los costes en función del diseño del activo. El Mantenedor establece en primera instancia sus costes operativos en función también del LCC provisto por el Fabricante, mientras que el Operador puede utilizar el mismo para controlar su OpEx.

#### 4.2. Relevancia del LCC en la Compra de Material Rodante

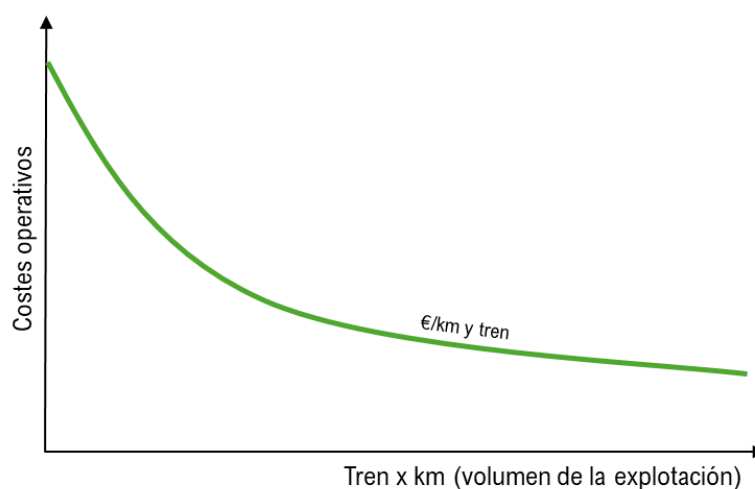
La mayoría de los contratos de compra entre Operadores y Fabricantes contienen garantías de LCC y prevén cláusulas de penalización en caso de incumplimiento. Sin embargo, en muchos casos los costes de compra, más que el LCC, son decisivos en la contratación.

Aunque teóricamente es el indicador de costes más completo, el LCC es difícil de manejar y no se puede dar de forma general y directa. La razón es su fuerte dependencia de las condiciones operativas, que varían entre Operadores y pueden no ser predecibles para el futuro (Fourie & Tendayi, 2016).

Por otra parte, la mayoría de las tecnologías incorporadas en el material rodante que mejoran la eficiencia energética, mejorarán el LCC al tiempo que aumentarán los costes de adquisición (Felix Benz et al., 2021). Desde un punto de vista más técnico, cualquier tecnología con un plazo de amortización inferior al ciclo de vida reducirá el LCC. Sin embargo, a pesar de que el LCC suele estar claramente a favor del material rodante energéticamente eficiente, las decisiones de compra suelen preferir productos menos eficientes debido a la menor inversión inicial.

El LCC, en la parte de explotación, depende mucho de la cantidad de trenes circulando y la distancia que éstos recorren (tren x km, también llamada “producción” o volumen de la explotación), por lo que no se puede establecer un porcentaje definido de antemano del reparto entre adquisición y explotación. La Figura 3 muestra de forma cualitativa cómo se produce esta variación o elasticidad al comparar costes operativos y volumen de la explotación. Esto hay que tenerlo en cuenta de forma importante para que los financiadores puedan calcular el retorno de la inversión. Por ejemplo, las explotaciones tipo “low-cost” se basan en una producción elevada del material rodante, lo que desplaza mucho la distribución de los LCC hacia el lado de la operación.

**Figura 3:** Elasticidad de los costes operativos en la fase de explotación, en función del volumen (tren x km).



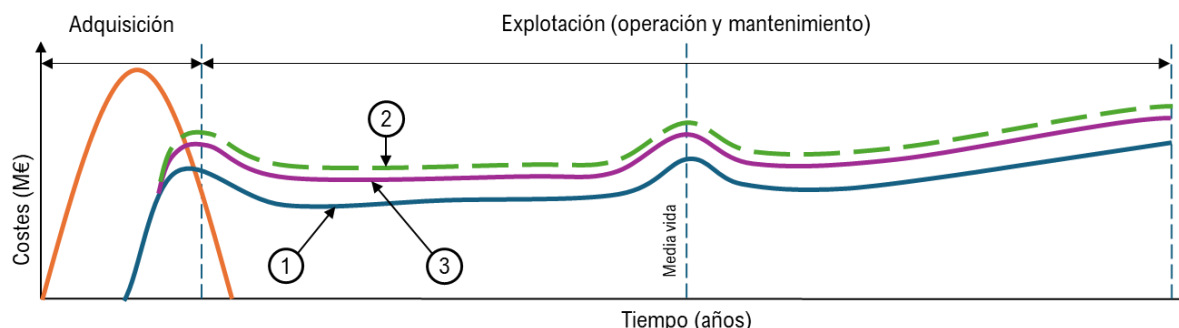
En la Figura 4 se muestra el efecto cualitativo de esta elasticidad en los costes de explotación de la flota. La curva 1 indica el coste en un momento dado de una determinada explotación. Si se aumenta la producción en un valor determinado de trenes x km, en lugar de obtener la curva 2, que correspondería a un aumento proporcional de los costes, se obtiene la curva 3, de menor coste, debido a la elasticidad de los costes operativos. Básicamente, al aumentar la producción se producen sinergias debido a la mayor dilución de los costes fijos asociados y a las economías de escala.

En función del tamaño de la flota, el precio de adquisición del tren, la vida del tren y el volumen de producción anual (tren-km/año), puede ser de más impacto en volumen económico la fase de adquisición que la de explotación o viceversa. Por ejemplo, en explotaciones de alta velocidad, donde se realizan muchos servicios al día de promedio, es frecuente encontrar repartos de alrededor de 30% adquisición-60% mantenimiento hasta 15% adquisición-75% mantenimiento, en este último caso si el tamaño de la flota es elevado. Estos valores tienden



a igualarse cuando el kilometraje diario es moderado y la flota no es muy numerosa. Además, el coste por kilómetro recorrido por cada tren en mantenimiento tiende a bajar según se aumentan los tren-km/año, debido a la dilución de los costes fijos.

**Figura 4:** Variación de los costes de explotación en función de la producción y la elasticidad de los costes.



1. Costes de explotación con producción de N (trenes x km)
2. Costes de explotación teóricos por un aumento de producción de N+X (trenes x km)
3. Costes de explotación reales por un aumento de producción de N+X (trenes x km)

## 5. Instrumentos y Mecanismos de Financiación Utilizados para la Compra de Material Rodante Ferroviario

La adquisición de material rodante ferroviario puede requerir importantes inversiones de capital, y para financiar estos proyectos, las empresas ferroviarias pueden utilizar diversos instrumentos y mecanismos de financiación (Hugh Gardner et al., 2023) (OTIF, 2007). Los más comunes se muestran en la Tabla 3.

## 6. Influencia de Poder Económico y Financiero de los Actores en Relación con su Experiencia y Madurez Tecnológica

No existe un método científico único y universal para determinar de manera precisa si una empresa debería optar por costes de inversión o costes operativos. La elección entre CapEx y OpEx depende de varios factores específicos de la empresa, su estrategia, su situación financiera y sus objetivos a largo plazo (Johnson et al., 2016).

### 6.1. Prácticas para Determinar la Relación entre el Poder Económico-Financiero de una Empresa y su Nivel de Conocimiento o Experiencia

Existen consideraciones que pueden ayudar en la toma de esas decisiones, tales como los análisis de coste-beneficio, evaluación financiera, análisis de riesgos, su estrategia empresarial, su nivel de conocimiento y experiencia, su nivel de externalización, la inversión en innovación y tecnología y la duración del ciclo de vida del activo, entre otras.

Inciendo en esto, se pueden utilizar diferentes enfoques para evaluar aspectos relacionados con el conocimiento y la experiencia en el contexto de la salud financiera de una empresa en relación con su conocimiento y experiencia. Algunas prácticas se muestran en la Tabla 4. Es importante destacar que estos enfoques no proporcionan una relación directa o cuantitativa entre el poder económico-financiero y el nivel de conocimiento o experiencia de una empresa, sin embargo, al considerar múltiples factores, se puede obtener una visión más completa de la relación entre la salud financiera y la experiencia en la gestión de una empresa.

En la parte económico-financiera, por un lado, una empresa financieramente fuerte tiene la capacidad de invertir en material rodante de más prestaciones, que puede tener costes iniciales más altos, pero a su vez, costes de mantenimiento más bajos y una vida útil más larga, lo que se traduce en menores costes operativos y por tanto, costes globales de ciclo de vida, mientras que una empresa financieramente débil puede verse obligada a adquirir material rodante de menores prestaciones (por ejemplo, material de segunda mano), con menores costes iniciales, pero mayores costes de mantenimiento y menor vida útil, lo que a su vez se traduce en mayores costes



operativos y costes de ciclo de vida (Little, 2017). Esas prestaciones del material rodante se pueden medir por la fiabilidad de los componentes, nivel de redundancias y su menor tendencia a la obsolescencia.

Por otro lado, una empresa con un flujo de caja sólido puede distribuir el coste de adquisición de material rodante a lo largo de un periodo de tiempo más largo, reduciendo el impacto en el flujo de caja a corto plazo y mejorando el coste de ciclo de vida, mientras que una empresa con un flujo de caja débil puede verse obligada a financiar la adquisición de material rodante con deuda a corto plazo, lo que se traduce en mayores costes por intereses y un mayor coste de ciclo de vida.

**Tabla 3:** Mecanismos de financiación para la compra de material rodante ferroviario

Mecanismo	Descripción
Financiamiento bancario tradicional	Obtener préstamos o líneas de crédito de instituciones financieras tradicionales como bancos comerciales
Arrendamiento financiero (Leasing)	La empresa no compra el material rodante, sino que lo alquila a través de un contrato financiero (con opción a compra)
Arrendamiento operativo	Similar al Leasing financiero, el arrendamiento operativo permite a la empresa utilizar el material rodante sin comprometerse a la compra al final del contrato
Acuerdos de compra a plazos	Se efectúa un pago inicial y se acuerdan pagos periódicos hasta la liquidación completa del coste del material rodante
Financiamiento a través de organismos gubernamentales	Obtener financiación a través de organismos gubernamentales que ofrecen programas de apoyo financiero para proyectos ferroviarios
Inversionistas privados	Inversionistas o fondos de inversión interesados en proyectos ferroviarios. En algunos casos, se establecen participaciones público-privadas (PPP) para compartir riesgos y beneficios
Bonos y emisiones de deuda	Emitir bonos o deuda corporativa en el mercado financiero. Las empresas pueden recaudar capital al vender bonos, comprometiéndose a devolver el dinero con intereses en un plazo determinado
Participación de proveedores y fabricantes	Negociar acuerdos de financiación con los proveedores. Algunas empresas ofrecen programas de financiamiento interno o colaboran con instituciones financieras para facilitar la adquisición de sus productos
Fondos de pensiones e inversiones institucionales	Inversiones de fondos de pensiones o instituciones financieras a través de acuerdos de inversión directa, interesados en proyectos a largo plazo con rendimientos estables
Subvenciones gubernamentales y subsidios	Subvenciones y subsidios gubernamentales destinados a proyectos ferroviarios. Estos fondos pueden cubrir parte de los costes de adquisición o mejoras tecnológicas
Crowdfunding o financiamiento colectivo	Financiación a través de plataformas de crowdfunding, donde múltiples inversores contribuyen con determinadas cantidades para respaldar el proyecto
Fondos de desarrollo multilaterales	Financiación de instituciones financieras multilaterales, como el Banco Mundial o el Banco Europeo de Inversiones, que pueden ofrecer apoyo financiero y técnico para proyectos de transporte



**Tabla 4:** Prácticas para determinar la relación entre el poder económico-financiero de una empresa y su nivel de conocimiento o experiencia.

Práctica	Descripción
Análisis de estados financieros	Examinar los estados financieros de la empresa, como el balance, la cuenta de resultados y el flujo de caja
Índices financieros	Utilizar índices financieros, como el índice de liquidez, el índice de endeudamiento, el retorno sobre la inversión (ROI) y otros, para evaluar diferentes aspectos del rendimiento financiero de la empresa
Análisis de la competencia	Comparar el rendimiento financiero de la empresa con el de sus competidores en la industria puede proporcionar una visión sobre su posición relativa
Historial de rendimiento	Evaluar el historial de rendimiento financiero de la empresa a lo largo del tiempo
Gestión del riesgo	Analizar cómo la empresa gestiona y mitiga los riesgos financieros
Innovación y adaptabilidad	Evaluar la capacidad de la empresa para innovar y adaptarse a cambios en el entorno empresarial
Participación en la industria y reconocimientos	Considerar la participación activa en la industria y los reconocimientos recibidos
Calificación crediticia	Comprobar la calificación crediticia de la empresa por agencias especializadas
Entrevistas y evaluación de talentos	Realizar entrevistas con directivos y profesionales clave dentro de la empresa para evaluar su conocimiento y experiencia

En lo referente al conocimiento y madurez tecnológica, determinar el nivel de conocimiento o experiencia de una empresa en una materia específica puede ser un proceso complejo que involucra la evaluación de varios aspectos. Se pueden utilizar diversas estrategias y fuentes de información para obtener una comprensión más completa del conocimiento y la experiencia de una empresa en un área específica. Algunos métodos y enfoques que podrían ser útiles pueden ser: auditorías de documentación interna, entrevistas con personal clave, experiencia en proyectos anteriores, publicaciones y artículos técnicos, reputación en la industria, colaboraciones y alianzas estratégicas previas, certificaciones y acreditaciones, evaluación del talento y capacitación, evaluación de clientes actuales y anteriores, evaluación del volumen de subcontratación en tecnologías clave, análisis de la competencia y participación en eventos y conferencias.

Empresas con elevado poder económico y financiero, combinado con alto conocimiento y madurez tecnológica tienden a centrarse en CapEx. Para las empresas al otro lado del espectro, preferirán trasladar costes a OpEx, mientras para las empresas que están en medio de las dos situaciones dependerá del proyecto en concreto.

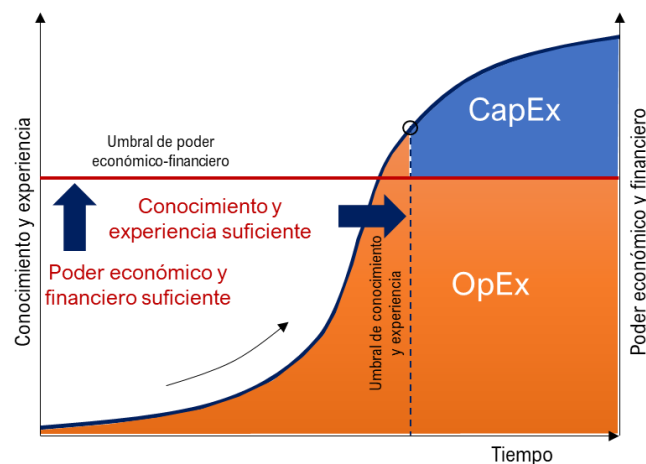
## 6.2. Curva de Aprendizaje

Una curva de aprendizaje representa la relación entre el rendimiento o habilidad de una persona y el tiempo o la experiencia acumulada en una tarea específica. Esta herramienta visual muestra cómo mejorar el desempeño a medida que una persona gana experiencia o práctica en una actividad particular. Esta teoría de la curva de aprendizaje se puede aplicar a las empresas (actores) involucrados en el ciclo de vida del material rodante. Aplicado al caso de un Mantenedor, se puede aplicar un modelo de aprendizaje típico como es la curva de aprendizaje de rentabilidad creciente-decreciente o "curva en S". Este modelo es la curva de aprendizaje más citada en la bibliografía y se basa en medir a un individuo que es nuevo en una tarea (Andreev, 2022). En la Figura 5 se muestra un modelo cualitativo aplicado a Fabricantes, Operadores y Mantenedores, la parte inferior de la curva "s" indicaría un aprendizaje lento, ya que la empresa trabaja para dominar las habilidades necesarias y tarda más tiempo en hacerlo. La segunda mitad de la curva indicaría que la empresa tarda menos tiempo en completar la tarea porque ya domina las habilidades necesarias. Habitualmente, el final de la curva comienza a

nivelarse, lo que indica que los conocimientos a adquirir cada vez son menos y consecuentemente, puede dar comienzo a una fase de nuevos retos.

Por tanto, si se establece un valor umbral para el conocimiento y experiencia de la empresa, (esto mediante un punto de la curva que indique suficiente conocimiento), y otro valor umbral para el poder económico y financiero, (mediante un límite horizontal en el eje de ordenadas), la curva de aprendizaje puede indicar por tanto si una determinada empresa debería decantarse por inversiones (CapEx) o confiar en otras empresas para realizar las tareas (OpEx). Así, los límites indicados marcados en el gráfico de la Figura 5 mostrarían en el área de color azul las empresas que se decantan por invertir (CapEx) y en el área de color naranja las empresas que preferirían pagar por servicios (OpEx).

**Figura 5:** Curva de aprendizaje de la empresa relacionada con su conocimiento y experiencia frente a su poder económico y financiero, y si la empresa debiera decantarse por CapEx u OpEx.



## 7. Tendencias en la Reducción de CapEx

### 7.1. Razones Detrás de la Tendencia de Reducir CapEx y Transferir Costes a OpEx

La reducción del coste de inversión y el traslado de coste a costes operativos en muchas estrategias empresariales se relacionan directamente con la optimización de recursos iniciales y la búsqueda de flexibilidad para adaptarse a variaciones futuras en la operación (Fourie & Tendayi, 2016). Esto puede deberse a varias razones. Entre estas razones se encuentran principalmente una mayor flexibilidad financiera, poder evitar grandes inversiones iniciales, enfocarse en el negocio principal, adaptabilidad a la demanda fluctuante, temas relacionados con la contabilidad y beneficios fiscales, menor riesgo de obsolescencia tecnológica y un acceso a conocimientos especializados.

Por estas razones, puede que a un Operador no le interese invertir en CapEx, si finalmente se va a hacer cargo del mantenimiento durante la operación y por tanto, responsable del OpEx (rol dual de Operador y Mantenedor). Otra situación análoga se produce cuando el Mantenedor aporta activos que al final del contrato se acuerda que pasen a ser propiedad del Operador. Con esta transferencia de CapEx a OpEx, el Mantenedor financia parte del CapEx al Operador.

### 7.2. Viabilidad del Negocio Transfiriendo CapEx a OpEx.

En ciertos casos, el negocio de la adquisición y explotación del material rodante va a depender de la capacidad de la empresa de financiarse en la fase de adquisición. Por ello se tiende a despojar de la adquisición aquellos costes que no se consideran específicos del material rodante y que de alguna forma se pudiesen considerar ligados a la explotación. Estos costes engrosarán los costes operativos y serán más o menos diluidos en función del tamaño de la explotación, como se ha visto.

### **7.3. Razones Financieras para Transferir CapEx del Operador a OpEx del Mantenedor en los Contratos de Material Rodante Ferroviario**

Esta transferencia puede mitigar significativamente los riesgos financieros del Operador. A continuación, se presentan las principales razones financieras que justifican esta estrategia. La previsibilidad de costes y la gestión presupuestaria son fundamentales. Al convertir CapEx en OpEx, el operador transforma grandes inversiones de capital impredecibles en costes de explotación predecibles. Además, al transferir los CapEx al Mantenedor, el Operador evita el riesgo de sobrecostes, dejando que el mantenedor asuma cualquier coste adicional imprevisto. Reducir la carga financiera inicial es otro beneficio clave. La transferencia de CapEx a OpEx disminuye la necesidad de grandes inversiones iniciales, liberando capital para que el Operador lo utilice en otras inversiones estratégicas.

La gestión del riesgo de depreciación también es esencial ya que el material rodante se deprecia con el tiempo. Al transferir la propiedad de los activos al Propietario o Financiador, el Operador evita el impacto financiero de la depreciación. Por otra parte, el Mantenedor colabora con el mantenimiento minimizando el impacto de la depreciación. De hecho, el material rodante ferroviario presenta una depreciación menor que otro tipo de activos, debido al mantenimiento continuo al que es sometido. Diversificar el riesgo financiero es otra razón importante. La transferencia de CapEx a OpEx permite al Operador distribuir los riesgos financieros asociados a grandes inversiones de capital, reduciendo la concentración de riesgo financiero en su balance. Además, compartir los riesgos de mantener el material rodante con el Mantenedor diversifica su exposición financiera.

La eficiencia operativa y el ahorro de costes son otros beneficios destacados. Los Mantenedores pueden lograr economías de escala al prestar servicio a múltiples operadores, resultando en menores costes de mantenimiento. Los Mantenedores, pueden realizar el mantenimiento de manera más eficiente, reduciendo los costes operativos generales para el Operador. Evitar la obsolescencia tecnológica es crucial. Al transferir esta responsabilidad al Mantenedor, el operador evita este coste potencial. Al transferir los CapEx al Mantenedor, se garantiza que éste asuma los costes de mantener la tecnología actualizada, mitigando así ese riesgo.

La gestión del flujo de caja se mejora significativamente. Convertir CapEx en OpEx facilita la gestión del flujo de caja del Operador, ya que los OpEx periódicos son más fáciles de manejar y prever que los grandes CapEx poco frecuentes. Esto permite al Operador asignar los recursos financieros de manera más eficaz, centrándose en las operaciones principales y en el crecimiento estratégico.

Finalmente, se logran ahorros en seguros y gestión de riesgos. Transferir las responsabilidades de propiedad al Propietario y de mantenimiento al Mantenedor puede resultar en pólizas de seguro más bajas para el Operador, al reducir el perfil de riesgo global.

### **7.4. Costes Potencialmente Transferibles de CapEx a OpEx**

De los costes que son puramente de la parte de CapEx, son susceptibles de transferir los siguientes: Ciertos costes de la fase de diseño (elementos adicionales al material rodante, fácilmente integrables), costes de construcción y pruebas de dichos elementos, inversiones en talleres, maquinaria, utillaje específico y herramientas que se van a utilizar en la fase de explotación, almacén inicial de repuestos del material rodante e inversiones en repuestos reparables de alto coste. Todos los elementos mencionados generan a su vez costes operativos por mantenimiento, salvo los repuestos no reparables y los consumibles.

### **7.5. Subestimación de Costes Operativos en Decisiones Estratégicas**

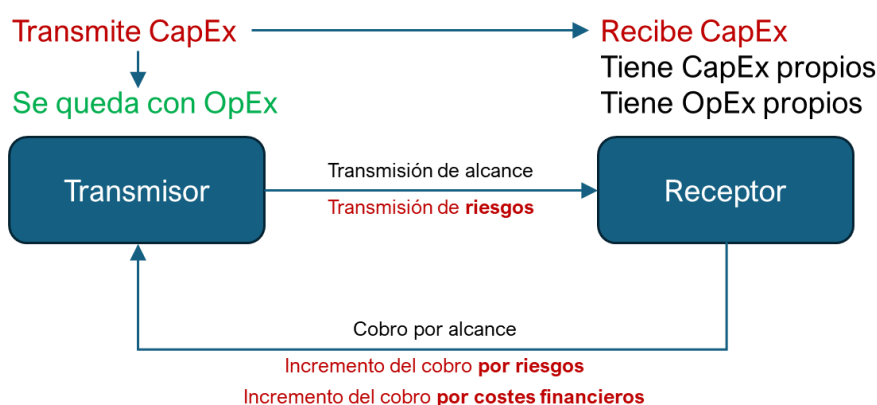
Las razones por las que los costes operativos se subestiman en ciertas ocasiones están relacionadas con la complejidad en la medición, ya que los costes operativos a menudo están distribuidos a lo largo del tiempo y pueden variar según la eficiencia operativa. También por falta de visibilidad, al pasar desapercibidos o no ser completamente transparentes, lo que dificulta su evaluación precisa en las decisiones estratégicas. Otra razón es el enfoque a corto plazo de las empresas al enfocarse en los beneficios inmediatos o a corto plazo, sin considerar completamente los costes a largo plazo asociados con la operación continua. Por otra parte, por falta

de comprensión integral de todos los costes operativos involucrados, incluyendo los costes de mantenimiento, actualización y soporte continuo.

### 7.6. Efecto de la Transferencia de CapEx a OpEx

La parte de costes de inversión que se transfiere a los costes operativos la asume el Operador en dichos costes (los paga a lo largo del tiempo), pero se la financia el proveedor de los servicios (el Mantenedor), que es el que en realidad asume el coste transferido. El Mantenedor corre el riesgo de no haber amortizado la inversión si el contrato o explotación termina de forma prematura. Todo este proceso se muestra en la Figura 6, donde se pone de manifiesto que la transferencia de un actor a otro de un determinado alcance del contrato en forma de inversión o activo (CapEx), implica para el Receptor la asunción de una serie de riesgos que debe ser capaz de mitigar y costes financieros adicionales por la adquisición del activo. Así, el Receptor debe asegurarse de que esos costes derivados de los riesgos y de la financiación se incluyen dentro del precio cobrado al Transmisor por el servicio prestado, a la vez de valorar debidamente que es capaz de asumir estos costes transferidos que se a su vez se sumarán a sus CapEx y OpEx propios. El Transmisor, de esta manera, habrá convertido una inversión (CapEx) en un pago por servicios (OpEx).

Figura 6: Proceso y efectos de la transferencia de CapEx a OpEx.



Por tanto, transferir costes de inversión a costes operativos es una forma de transferir riesgos y obligaciones financieras de un actor a otro.

### 7.7. Factores para Tener en Cuenta a la Hora de Aumentar los Precios

Cuando un Mantenedor asume riesgos y costes adicionales en un contrato de material rodante, incluyendo el CapEx transferido, tendrá que ajustar sus precios para reflejar esta nueva realidad.

Primero, es fundamental considerar la prima de riesgo. El mantenedor asume riesgos financieros asociados a la depreciación, el valor residual y los sobrecostes, por lo que debe añadirse una prima al precio del servicio. Además, el riesgo operativo, que incluye el aumento potencial de los costes de mantenimiento y reparaciones inesperadas, debe tenerse en cuenta. El coste del capital es otro factor clave. El Mantenedor debe recuperar las inversiones en instalaciones, incluyendo intereses y rendimientos, así como los costes de depreciación.

En cuanto a los costes de mantenimiento y explotación, es esencial calcular el coste de las actividades de mantenimiento ordinario y de las reparaciones imprevistas. También se deben incluir los costes asociados a la contratación, formación y retención de personal cualificado. La tecnología y las mejoras también son cruciales. Deben considerarse los costes de actualización e integración de nuevas tecnologías y el cumplimiento de normativas de seguridad, medioambientales y operativas.

Los KPIs (Key Performance Indicators, o indicadores de cumplimiento o rendimiento) de rendimiento y disponibilidad de la explotación deben ser considerados (Campbell et al., 2011) (Márquez et al., 2009). En el sector ferroviario son frecuentes los SLA (Service Level Agreement) o acuerdo de nivel de servicios, que son contratos entre un proveedor de servicios y un cliente que identifica los servicios a prestar y el nivel o calidad del



servicio esperado. Es necesario incorporar esos costes de cumplimiento de los SLA, incluyendo penalizaciones por indisponibilidad y bonificaciones por alto rendimiento. También, se debe asegurar que el precio refleje el coste de mantener una alta fiabilidad y disponibilidad del material rodante.

Finalmente, los seguros y la gestión de riesgos son esenciales. Es imprescindible incluir el coste de asegurar el material rodante y las actividades de mantenimiento, así como los costes asociados a la gestión de riesgos operativos y financieros.

### **7.8. Estrategias de Fijación de Precios en los Contratos**

En primer lugar, es fundamental calcular el coste base, considerando el coste total de la prestación de servicios de mantenimiento, incluidos los costes operativos, de personal, tecnología y cumplimiento normativo. A este coste base se le añade un margen de beneficio razonable para garantizar la viabilidad del negocio y recompensar el riesgo asumido por el Mantenedor.

Para los contratos a precio fijo, una opción es ofrecer un precio todo incluido que cubra todas las actividades de mantenimiento y las primas de riesgo, proporcionando previsibilidad de costes al Operador. Es recomendable incluir revisiones periódicas de precios para ajustar la inflación, los cambios en los costes y las circunstancias imprevistas, manteniendo así la equidad y sostenibilidad del contrato.

Para los precios basados en los KPIs, se puede establecer un precio base con bonificaciones por superar los objetivos de fiabilidad y disponibilidad, y penalizaciones por resultados insuficientes. También es útil incluir componentes de precios variables basados en el uso real del material rodante, las métricas de rendimiento y el cumplimiento de los acuerdos de nivel de servicio (SLA), incentivando la mejora continua y el alto desempeño.

Otra estrategia es el leasing con paquetes de mantenimiento, combinando el alquiler del material rodante con servicios de mantenimiento en un precio único y todo incluido. El precio puede ajustarse en función de las garantías de valor residual y los calendarios de depreciación, asegurando que el valor del activo se mantenga equilibrado a lo largo del tiempo.

Finalmente, las cláusulas de actualización de costes son cruciales. Estas deben incluir ajustes por inflación u otros indicadores económicos de forma anual. También es esencial permitir ajustes que repercutan aumentos significativos de costes en materiales, mano de obra o cumplimiento de normativas, garantizando que el Mantenedor pueda mantener el servicio sin incurrir en pérdidas.

## **8. Mejora de OpEx a lo Largo del Ciclo de Vida**

Optimizar los costes operativos a lo largo del ciclo de vida del material rodante es fundamental para mejorar la eficiencia y rentabilidad. Algunas posibilidades de mejorar los costes operativos inicialmente desfavorables en el ciclo de vida del material rodante pasan por optimizar el mantenimiento preventivo y predictivo, una gestión eficiente de activos, actualización tecnológica, negociación del contrato de mantenimiento, capacitación y desarrollo del personal, análisis de datos de la operación y aprendizaje automático, negociación de costes de suministros y repuestos, innovaciones en diseño en remodelaciones y monitorización y mejora continuos.

La implementación de prácticas de gestión de activos eficientes, la adopción de nuevas tecnologías y la capacitación continua del personal técnico son componentes esenciales para optimizar el rendimiento y reducir los costes operativos a lo largo del tiempo. Además, una integración de estas tres prácticas produce sinergias, de forma que se optimiza la eficiencia operativa y reduce los costes. Por ejemplo, una gestión eficiente de activos puede requerir el uso de tecnologías avanzadas, y el personal capacitado puede aprovechar al máximo estas herramientas.

Además, si el Mantenedor es el Fabricante, existen potenciales sinergias durante el periodo de garantía, al poder compartir recursos humanos y técnicos durante dicho periodo. Hay que tener en cuenta que el periodo de garantía puede suponer un porcentaje de tiempo apreciable dentro de la duración del contrato (entre un 13%-



20%, en función de la duración del contrato y del propio periodo de garantía, que suele durar alrededor de 2-3 años).

### 9. Gestión de los Riesgos

La adquisición de material rodante conlleva varios riesgos a futuro que habrá que tener en cuenta en ese momento, entre ellos la obsolescencia tecnológica prevista, las fluctuaciones del mercado (demanda y competencia), cambios normativos e inestabilidad política. La gestión de esos riesgos consiste en identificar, evaluar, mitigar y transferir los riesgos asociados a la adquisición, operación, mantenimiento y deposición de material rodante. Una gestión eficaz del riesgo garantiza la estabilidad financiera y la eficiencia operativa de los cuatro actores (Hopkin, 2017). Los principales riesgos relacionados con el ciclo de vida del material rodante se muestran en la Tabla 5, indicados a nivel general por (Gumparthi, 2010) y combinados con los 4 actores involucrados.

**Tabla 5:** Principales riesgos de los 4 actores a lo largo del ciclo de vida (P-Propietarios, F-Fabricantes, O-Operadores y M-Mantenedores).

Tipo	Riesgo	P	F	O	M
Técnicos	Defectos de diseño		x		
	Defectos de fabricación		x		
	Incumplimiento de las especificaciones		x		
Financieros	Sobrecostes	x	x	x	x
	Riesgos de financiación		x	x	
	Fluctuaciones monetarias	x	x	x	x
	Variaciones de los tipos de interés	x	x	x	x
Operativos	Problemas en la ejecución del mantenimiento			x	x
	Interrupciones del servicio comercial			x	x
	Ineficiencias operativas			x	x
	Accidentes y vandalismos			x	x
Legales y normativos	Cambios en la normativa	x		x	x
	Incumplimiento de normas de seguridad y medioambientales			x	x
	Disputas contractuales	x	x	x	x
De mercado	Contratos demasiado cortos	x		x	
	Fluctuaciones de la demanda			x	
	Entrada de competencia			x	
De la cadena de suministro	Cambios en condiciones del mercado (pandemias, etc.)			x	x
	Retrasos en la entrega de componentes		x		x
	Insolvencia de los proveedores		x		x
	Problemas de calidad		x		x

#### 9.1. Mecanismos de Transferencia del Riesgo

La transferencia de riesgos en los contratos de material rodante ferroviario implica trasladar de una parte a otros diversos tipos de riesgos asociados a la adquisición, explotación, mantenimiento y enajenación de los vehículos. Estos contratos son fundamentales para garantizar una gestión eficaz de los riesgos financieros y operativos, protegiendo los intereses de todas las partes implicadas (Cooper et al., 2005). Los principales mecanismos de transferencia de los riesgos son los indicados en la Tabla 6 para la fase de adquisición del material rodante, y en la Tabla 7 para su fase de explotación.



**Tabla 6:** Mecanismos de transferencia de riesgos y su impacto en el CapEx y OpEx en la fase de Adquisición.

Transmisor	Receptor	Mecanismo
Propietario	Fabricante	<p><i>Contratos a precio fijo</i></p> <p>El Propietario y el Fabricante acuerdan un precio fijo por el material rodante. Transferencia del riesgo: El riesgo de sobrecostos se transfiere al Fabricante. Impacto: Fija el CapEx del Propietario al evitar la escalada de costes durante la adquisición.</p>
Operador	Propietario	<p><i>Acuerdos de leasing</i></p> <p>En lugar de comprar, el Operador alquila el material rodante a una empresa de leasing (Propietario). Transferencia del riesgo: El riesgo financiero de la propiedad, incluido el riesgo de depreciación y valor residual, se transfiere al Propietario (ROSCO). Impacto: Reduce el CapEx del Operador al eliminar la necesidad de inversión de capital inicial, convirtiéndolo en OpEx a través de pagos regulares de alquiler.</p>
Propietario	Fabricante	<p><i>Fianzas de cumplimiento y garantías</i></p> <p>Las fianzas y garantías aseguran el cumplimiento de los plazos de entrega y la calidad pactada en contrato por parte del Fabricante. Transferencia del riesgo: El Fabricante asume el riesgo de incumplimiento y defectos. Impacto: Asegura que las inversiones en CapEx del Propietario están protegidas al garantizar la calidad y el rendimiento del material rodante.</p>
Propietario	Fabricante	<p><i>Cláusulas de indemnización</i></p> <p>El Fabricante indemniza al Propietario frente a riesgos específicos, como defectos de diseño o incumplimiento de la normativas o calidad establecida en el contrato. Transferencia del riesgo: El Fabricante asume la responsabilidad financiera de determinados riesgos. Impacto: Protege el CapEx del Propietario garantizando el cumplimiento y mitigando posibles responsabilidades futuras de OpEx (del Operador y Mantenedor).</p>
Fabricante	Aseguradora	<p><i>Pólizas de seguros</i></p> <p>Los seguros cubren diversos riesgos, como daños durante el transporte, accidentes y responsabilidades de terceros. Transferencia del riesgo: Las aseguradoras asumen el riesgo financiero de los eventos asegurados por el Fabricante. Impacto: Reduce los CapEx inesperados del Fabricante al cubrir los costes de reparación o sustitución. Implica crear un OpEx para el Fabricante a través de las primas de seguro.</p>
Operador	Fabricante Mantenedor	<p><i>Compra inicial con paquetes de garantía y mantenimiento</i></p> <p>Compra de material rodante con garantía y mantenimiento incluidos en el precio. Transferencia del riesgo: Los riesgos de mantenimiento y defectos a corto plazo son asumidos por el proveedor (Fabricante y Mantenedor unidos). Impacto: Aumenta el CapEx del Operador (posteriormente transferido al Propietario) debido a mayores costes iniciales, pero reduce el OpEx al agrupar los servicios de mantenimiento con la compra del material rodante.</p>
Mantenedor	Operador	<p><i>Inversión en tecnología de mantenimiento predictivo</i></p>



		<p>Inversión inicial en sistemas avanzados de monitorización y mantenimiento predictivo.</p> <p>Transferencia del riesgo: El Operador asume el riesgo de la inversión inicial en tecnología.</p> <p>Impacto: Aumenta el CapEx del Operador debido al coste de la tecnología, pero reduce el OpEx del Operador al optimizar los planes de mantenimiento y poder predecir averías.</p>
Operador	Propietario	<p><i>Desarrollo de talleres e infraestructuras</i></p> <p>Inversión en la construcción o habilitación de talleres e instalaciones de mantenimiento.</p> <p>Transferencia del riesgo: El Propietario, o bien el Mantenedor, o ambos, asumen el riesgo de la construcción o adecuación de talleres e instalaciones de mantenimiento.</p> <p>Impacto: Mayor CapEx de Propietario o Mantenedor para proyectos de infraestructura, pero puede reducir el OpEx del Operador.</p>

**Tabla 7:** Mecanismos de transferencia de riesgos y su impacto en el CapEx y OpEx en la fase de Explotación.

Transmisor	Receptor	Mecanismo
Operador	Propietario	<p><i>Acuerdos de leasing</i></p> <p>El Operador alquila material rodante a una empresa de leasing que también presta servicios de mantenimiento (típicamente cuando hay un ROSCO en el holding del Operador).</p> <p>Transferencia del riesgo: La empresa de leasing (Propietario) asume el riesgo de propiedad, depreciación y mantenimiento.</p> <p>Impacto: Reduce el CapEx del Operador al eliminar la necesidad de inversión de capital inicial y traslada los costes a OpEx a través de pagos de alquiler y mantenimiento.</p>
Operador	Mantenedor	<p><i>Contratos de mantenimiento (acuerdos de nivel de servicio - SLA)</i></p> <p>Contratos que especifican KPIs y responsabilidades para el mantenimiento del material rodante.</p> <p>Transferencia del riesgo: El Mantenedor asume el riesgo de mantener el material rodante según lo acordado en el contrato.</p> <p>Impacto: Aumenta el CapEx del Operador si el mantenimiento se incluye en el precio de compra, pero reduce el OpEx del Operador al dar costes de mantenimiento predecibles.</p>
Operador	Mantenedor	<p><i>Contratos de pago por uso</i></p> <p>El Operador paga al Mantenedor en función de la utilización del material rodante (por ejemplo, kilómetros recorridos).</p> <p>Transferencia del riesgo: El Operador traslada algunos riesgos operativos al Mantenedor, que debe garantizar la disponibilidad del material rodante ajustando sus costes.</p> <p>Impacto: Traslada costes del Operador de CapEx a OpEx, ya que los pagos se basan en el uso y no en cuotas de mantenimiento fijas, alineando los gastos con los ingresos.</p>
Operador	Aseguradora	<p><i>Pólizas de seguros</i></p> <p>Pólizas que cubren accidentes, vandalismos y en general, responsabilidades frente a terceros.</p>



		<p>Transferencia del riesgo: Las aseguradoras asumen el riesgo financiero de los eventos asegurados.</p> <p>Impacto: Reduce el CapEx inesperado del Operador al cubrir los costes de reparación importantes debidos a accidentes, se traslada a OpEx a través de las primas de seguro.</p>
Operador	Mantenedor	<p><i>Garantías de rendimiento</i></p> <p>El Mantenedor garantiza ciertos niveles de rendimiento o KPIs (por ejemplo, disponibilidad y fiabilidad) y puede incurrir en penalizaciones por incumplimiento.</p> <p>Transferencia del riesgo: El Mantenedor asume el riesgo de no cumplir con los KPIs.</p> <p>Impacto: Puede aumentar el CapEx inicial del Operador (inclusión de las garantías), pero puede reducir el OpEx del Operador por la mejora de la fiabilidad y la disponibilidad.</p>
Operador	Mantenedor	<p><i>Contratos donde se incorpora mantenimiento basado en la condición (CBM)</i></p> <p>El mantenimiento se realiza en función de la condición real del material rodante, en lugar de un plan de mantenimiento con intervenciones fijas.</p> <p>Transferencia del riesgo: El Mantenedor asume el riesgo de supervisar y garantizar un rendimiento óptimo del material rodante sin contar con intervenciones fijas programadas.</p> <p>Impacto: Puede aumentar el CapEx del Mantenedor si se requieren tecnologías costosas, pero reduce su OpEx al optimizar el mantenimiento y evitar inspecciones innecesarias.</p>

En los contratos a precio fijo, los altos costes inesperados a cargo del Fabricante podrían dar lugar a un mayor OpEx del Propietario (transferido al Operador) si los costes de mantenimiento derivados del incremento del coste de fabricación se incluyen en futuros contratos de mantenimiento. Por otra parte, en las fianzas de cumplimiento y garantías, el impacto también incluye posibles ahorros futuros en OpEx (del Operador y Mantenedor) debido a un menor número de defectos de garantía y problemas de mantenimiento. Asimismo, el desarrollo de talleres e infraestructuras puede reducir el OpEx del Operador centralizando y obteniendo sinergias de la relación del Mantenedor con la construcción de su propio taller de mantenimiento.

## 9.2. Repercusiones de Malas Decisiones de Transferencia de Riesgos en la Fase de Contratación Sobre la Fase Operativa

En los contratos de material rodante ferroviario, la transferencia eficaz del riesgo durante la fase de contratación es crucial para la gestión de riesgos financieros y técnicos en la fase operativa. Las malas decisiones en esta etapa pueden acarrear grandes cargas financieras y problemas operativos. Aplicar acuerdos de mantenimiento exhaustivos, contratos basados en el rendimiento, garantizar la compatibilidad tecnológica e incluir condiciones contractuales flexibles ayuda a mitigar estos riesgos y asegurar una transición fluida de la adquisición a la explotación, manteniendo altos niveles de servicio y rentabilidad durante todo el ciclo de vida del material rodante.

Las decisiones deficientes en la transferencia de riesgos pueden tener consecuencias significativas. Un ejemplo es optar por contratos de mantenimiento inadecuados, que no cubren reparaciones inesperadas o fallos de componentes. Esto resulta en altos costes imprevistos de mantenimiento, incrementando significativamente los gastos operativos (OpEx) y provocando ineficiencias operativas, menor fiabilidad y problemas de seguridad. Otra situación es la inclusión de garantías de rendimiento insuficientes. Sin penalizaciones estrictas por incumplimiento, los proveedores no están motivados para cumplir las normas de rendimiento, lo que conlleva mayores costes y una menor fiabilidad y disponibilidad del material rodante, afectando la calidad del servicio y la satisfacción del cliente.



La excesiva dependencia de soluciones tecnológicas sin garantizar la compatibilidad con sistemas existentes o la formación adecuada del personal, también puede llevar a problemas operativos significativos. Finalmente, los contratos a precio fijo sin flexibilidad pueden ser problemáticos. Cualquier cambio o actualización necesarios durante la fase operativa conllevan elevados costes adicionales y la incapacidad de cumplir con nuevas normas o requisitos puede resultar en incumplimientos y problemas operativos.

## 10. Conclusiones

En este artículo se ha señalado la tendencia a pasar costes a OpEx por razones de viabilidad del negocio futuro, ya en la fase de adquisición del material rodante y teniendo en mente a los actores involucrados: Fabricantes, Propietarios, Operadores y Mantenedores. Se pone de manifiesto que en la fase de explotación del material rodante aparecen nuevos costes operativos, costes financieros asociados a la transferencia, además del aumento de la provisión de riesgos por incertidumbre de amortización de los activos transferidos. También se ha mencionado la posibilidad de un adelanto del fin de vida del material rodante por pasar CapEx a OpEx, debido al incremento del coste operativo, en comparación con la adquisición de nuevo material rodante, en principio menos costoso de mantener.

En lo referente a los riesgos, aparecen riesgos de tipo financiero derivados de la transferencia de costes de CapEx a OpEx, al adquirir el Mantenedor activos que al final de un periodo, que suele ser el de la duración del contrato, pasarán a manos del Operador, pudiendo una finalización prematura del contrato causar un perjuicio económico. Por otra parte, se incide en la variabilidad del riesgo de transferencia de costes de CapEx a OpEx en función del volumen de la explotación ferroviaria, el riesgo es menor cuanto mayor es la producción tren-km/año, debido al valor relativo de los activos transferidos frente al mayor volumen de los costes de explotación, produciéndose una mayor dilución de los costes.

Por la parte del conocimiento, las empresas involucradas en la explotación del material rodante ferroviario deberán buscar dónde está su potencial de conocimiento propio que les permita reducir las partidas de CapEx y/o de OpEx por medio de la eliminación de intermediarios en los procesos que aporten valor al negocio. En este sentido, es importante destacar el grado de madurez de los cuatro actores para que el coste del ciclo de vida del material rodante, en sus distintas fases, sea considerado en su medida para un mejor reparto de costes y, por tanto, una mayor rentabilidad de la adquisición y explotación del material rodante. Se hace mención a las curvas de aprendizaje como elemento de evaluación del conocimiento y experiencia de los actores involucrados y de la medida del riesgo de pasar de CapEx a OpEx y viceversa.

Por último, se pone de manifiesto la importancia de considerar de manera integral tanto los costes iniciales (CapEx) como los costes a lo largo del ciclo de vida (OpEx) ya desde las primeras fases de planificación del negocio.

## Referencias

Crespo Márquez, A., Parra Márquez, C., Gómez Fernández, J. F., López Campos, M., & González-Prida Díaz, V. (2012). *Asset management: The state of the art in Europe from a life cycle perspective*. Chapter 6: Life cycle cost analysis. Springer.

Crespo Márquez, A., Moreu de León, P., Gómez Fernández, J. F., Parra Márquez, C., & López Campos, M. (2009). The maintenance management framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(3), 317–326. <https://doi.org/10.1108/13552510910969439>

Arthur D. Little. (2017). *Efficiency & effectiveness in rail operations: The role of long-term capex planning and major asset renewal and replacement*. [https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl\\_ee\\_rail\\_operators\\_0.pdf](https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl_ee_rail_operators_0.pdf)

Fourie, C. J., & Tendayi, T. G. (2016). A decision-making framework for effective maintenance management using life cycle costs in a rolling stock environment. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(4), 142–152. <https://doi.org/10.7166/27-4-1661>



Cooper, D., Grey, S., Raymond, G., & Walker, P. (2005). *Project risk management guidelines*. John Wiley & Sons, Ltd.

Benz, F., Pahl, M., Pieper, C., Ullrich, P., & Zawadzki, A. (2021). The keys to success in rolling stock procurement. *Boston Consulting Group*. [https://www.linkedin.com/posts/felixbenz\\_keys-to-success-in-rolling-stock-procurement-activity-6788871422853840896-LIVB/?originalSubdomain=de](https://www.linkedin.com/posts/felixbenz_keys-to-success-in-rolling-stock-procurement-activity-6788871422853840896-LIVB/?originalSubdomain=de)

Gardner, H., Brambilla, M., & Matheus, D. (2023). *Perspectives for the rolling stock supply in the EU*. Study for the European Parliament's Committee on Transport and Tourism.

Raczyński, J. (2018). Life cycle cost as a criterion in purchase of rolling stock. *MATEC Web of Conferences*, 180, 02010. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818002010>

Parada Puig, J. E., Basten, R. J. I., & van Dongen, L. A. M. (2013). Investigating maintenance decisions during initial fielding of rolling stock. *Procedia CIRP*, 11, 199–203. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.07.032>

Campbell, J. D., Jardine, A. K. S., & McGlynn, J. (2011). *Asset management excellence: Optimizing equipment life-cycle decisions*. CRC Press.

McKinsey & Company. (2016). *Huge value pool shifts ahead – How rolling stock manufacturers can lay track for profitable growth*. Advanced Industries. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-rolling-stock-manufacturers-can-lay-track-for-profitable-growth/>

Mohamad Idris, M. F., Saad, N. H., Yahaya, M. I., Shuib, A., Wan Mohamed, W. M., & Mohamed Amin, A. N. (2022). Cost of rolling stock maintenance in urban railway operation: Literature review and direction. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 30(2), 1045–1071. <https://doi.org/10.47836/pjst.30.2.16>

Sapang, C. N. (2011). *Proyectos de inversión: Formulación y evaluación* (2<sup>nd</sup> ed.). Pearson.

OTIF. (2007). *Luxembourg Protocol — To the Convention on International Interests in Mobile Equipment on Matters Specific to Railway Rolling Stock*. Unidroit.

Hopkin, P. (2017). *Fundamentals of risk management: Understanding, evaluating, and implementing effective risk management* (4<sup>th</sup> ed.). Kogan Page Limited.

Gumparthi SSn, S. (2010). Risk assessment model for assessing non-banking financial companies (asset financing) customers. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 1(1), 61–64. <https://doi.org/10.7763/ijtef.2010.v1.2>

Johnson, T., Lindenau, N., & Salci, L. (2016). *Rolling stock procurements — Lessons learned*. U.S. Department of Transportation - Federal Railroad Administration.

Andreev, I. (2022). Learning curve: Theory, meaning, formula, graphs. *Valamis*. <https://www.valamis.com/hub/learning-curve>

### Declaração Ética

**Conflito de Interesse:** Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla-cega.



Todo o conteúdo da **RAE — Revista de Ativos de Engenharia** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.