

**Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico  
infraestructuras ferroviarias**

**ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS OPERACIONALES PARA EL  
APROVECHAMIENTO ESTRATÉGICO INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS**

**HOLMAN DAVID BENAVIDES QUINTERO**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL**

**BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.**

**2024**

**Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico  
infraestructuras ferroviarias**

**ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS OPERACIONALES PARA EL  
APROVECHAMIENTO ESTRATÉGICO INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS**

**HOLMAN DAVID BENAVIDES QUINTERO**

**Maestría en Infraestructura Vial**

holmanbenavides@usantotomas.edu.co

TESIS DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

MAGISTER EN INFRAESTRUCTURA VIAL

**CARLOS ALBERTO GONZÁLEZ CAMARGO**

**Director de proyecto**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL**

**BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.**

**2024.**

# **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por las oportunidades y fortalezca necesarias para llevar a cabo este proyecto. Sin Su guía y bendiciones, este logro no habría sido posible,

En segundo lugar, a mi familia, quienes son parte de este logro, en especial a mis padres, por el valor del esfuerzo y la perseverancia en apoyo a esta meta.

En especial agradecimiento a la Universidad Santo Tomás, por medio del Director y miembros del comité, por sus valiosas sugerencias y comentarios que han enriquecido esta investigación.

Mi gratitud se extiende a todos y cada una de las personas y entidades como Railroad Holding SAS y a la Fundación Nacional De La Academia Colombiana Y Artes De Los Ferrocarriles - FUNACAF, que de una u otra forma, han contribuido a la realización de este trabajo.

Finalmente, quiero recordar a una cita que ha inspirado este trabajo de ingeniería ferroviaria: "Cada trabajo de ingeniería es hecho para un fin especial ulterior, es un instrumento para cumplir con un propósito especial". Alfredo D. Bateman, 1935

# **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

## Contenido

I.	RESUMEN .....	8
II.	ABSTRACT.....	9
III.	PALABRAS CLAVE .....	10
IV.	ABREVIACIONES .....	10
V.	JUSTIFICACIÓN: .....	11
VI.	Titulo.....	14
VII.	Objetivos.....	14
VIII.	Introducción.....	15
IX.	Marco de referencia .....	16
	Marco normativo internacional.....	19
	Gestión de activos viales en Colombia .....	27
X.	Marco Histórico .....	32
	Marco jurídico en Colombia.....	34
XI.	Estado del arte.....	35
XII.	Identificación del problema.....	55
XIII.	Metodología .....	55
XIV.	Resultados .....	56
	Propuesta del modelo de gestión estratégica de activos ferroviarios.....	74
XV.	Conclusiones .....	92
XVI.	Referencias.....	93
XVII.	Anexos .....	100

# **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

## **Índice de figuras**

Figura 1. Nivel de relación de activos .....	16
Figura 2. Estructura general del marco de la gestión de activos.....	18
Figura 3. Jerarquía de Legislación, Regulación, Normas, estándares y Códigos de practicas .....	19
Figura 4. Contexto organizacional de la gestión de activos.....	21
Figura 5. Lista de Objetivos de Desarrollo Sostenible – ONU.....	23
Figura 6. Categorías de Planeación de Activos .....	24
Figura 7. Pasos para la identificación y valoración de un Activo.....	25
Figura 8. Nivel de activos por su importancia .....	25
Figura 9. Estados que conforman la OCDE según su estatus. ....	27
Figura 10. Reporte de estado de gestión de activos en Latinoamérica en 2016. ....	28
Figura 11. Índice de Competitividad Global (IGC). ....	29
Figura 12. Asignación presupuestal por modo vigencia 2021 .....	29
Figura 13. Concesiones de la Red Ferroviaria - Colombia.....	31
Figura 14. Identificación de relación de investigaciones en gestión de activos .....	36
Figura 15. Marco tiempos establecido para la revisión de artículos.....	37
Figura 16. Clasificación general sin el valor de gestión de activos ferroviarios. ....	40
Figura 17. Identificación del valor en la gestión de activos ferroviarios.....	41
Figura 18. Grupos de clasificación de infraestructura ferroviaria. ....	43
Figura 19. Beneficios de la gestión de infraestructuras ferroviarias.....	45
Figura 20. Participación de IA en el sector ferroviario.....	47
Figura 21. Unmanned Aerial Vehicle- UAV .....	48

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Figura 22. Identificación del ancho de grietas de hormigón con imágenes adquiridas por vehículos aéreos no tripulados .....	49
Figura 23. Modelo Conceptual de la gestión de activos IAM .....	50
Figura 24. Composición de Grupos de actividades IAM.....	51
Figura 25. Actividades del Objetivo 1 .....	55
Figura 26. Actividades del Objetivo 2 .....	56
Figura 27. Actividades del Objetivo 3 .....	56
Figura 28. Marco del universo de la información de activos ferroviarios en Colombia .....	57
Figura 29. Entidades mixtas o públicas en contratación de actividades ferroviarias.....	58
Figura 30. Red Ferroviaria Colombiana con activos asociados.....	59
Figura 31. Empresas Autorizadas para la prestación de servicios ferroviarios en Colombia.....	61
Figura 32. Gestión de Activos a Nivel Global ISO 55000 .....	66
Figura 33. Identificar de Clúster por investigaciones .....	67
Figura 34. Países con gestión de activos relacionados con la infraestructura .....	70
Figura 35. Países por número de certificación ISO 55000 en AM en Transporte .....	71
Figura 36. Participación de países por sectores en AM .....	73
Figura 37. Jerarquía de un activo en la Gestión Integrada - AM.....	75
Figura 38. Modelos de Gestión de Activos del IAM.....	76
Figura 40. Propuesta de Modelo de Gestión de Activos Estratégicos Ferroviarios.....	86
Figura 41. Análisis por programa y riesgo en la aplicación de gestión de activos .....	87
Figura 42. Variación del riesgo en AM por componente ferroviario analizado .....	89
Figura 43. Actividades de la AM por nivel de riesgo asociado al sector ferroviario .....	91

**Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico  
infraestructuras ferroviarias**

**Índice de Tablas**

Tabla 1. Organizaciones registradas en ISO 55000 .....	64
Tabla 2. Gestión de Activos por sector a nivel global certificados en ISO .....	68
Tabla 3. Organizaciones relacionadas al sector ferroviario .....	69
Tabla 4. Países por certificación ISO:55000.....	72
Tabla 5. Niveles de impacto en los activos en su aplicación .....	76
Tabla 6. Nivel de impacto en el sector ferroviario por gestión en el tiempo .....	77
Tabla 7. Nivel de riesgo para la gestión de activos ferroviarios.....	78
Tabla 8. Propuesta de Modelo de Gestión de Activos Estratégicos Ferroviarios.....	79
Tabla 9. Sensibilidad por riesgo del componente ferroviario analizado.....	87

# **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

## **I. RESUMEN**

La gestión de activos ferroviarios ha ganado una especial relevancia en la última década, esto debido a la necesidad de adoptar estrategias operacionales y de mantenimiento a largo plazo, que aseguren la sostenibilidad, fiabilidad, eficiencia y seguridad de los sistemas ferroviarios. La implementación de la gestión de activos bajo la normativa ISO 55000, ha demostrado su eficacia tanto en empresas privadas como en instituciones públicas. Esta normativa ha permitido una administración optimizada de las infraestructuras y servicios, facilitando una planificación más eficiente. En este contexto, el objetivo de este trabajo es proponer un modelo analítico de gestión de activos ferroviarios basado en indicadores característicos de la gestión estratégica en la planificación de servicios de transporte, mejorando la toma de decisiones en las infraestructuras.

Esta investigación resalta cómo la adopción de la ISO 55001 y su aplicación en el sistema como en el sector ferroviario aportar valor agregado, optimizando la recolección de datos y la identificación de procesos periódicos y rutinarios característicos de las infraestructuras. Además, permite un análisis único por medio de las actividades de gestión de activos, incluyendo mantenimiento, operación y prestación de servicios, presentando un análisis crucial para la toma de decisiones estratégicas y operacionales para la gestión de activos ferroviarios.

De forma, que esta investigación desarrolla a partir del Índice de Prioridad de Riesgos, una metodología para la gestión de activos ferroviarios, aportando una propuesta de modelo gestión de activos ferroviarios para la gestión estratégica de infraestructuras ferroviarias.

# **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

## **II. ABSTRACT**

Railway asset management has gained special relevance in the last decade, due to the need to adopt long-term operational and maintenance strategies that ensure the sustainability, reliability, efficiency and safety of railway systems. The implementation of asset management under the ISO 55000 standard has proven its effectiveness in both private companies and public institutions. This standard has allowed for optimized management of infrastructures and services, facilitating more efficient planning. In this context, the objective of this work is to propose an analytical model for railway asset management based on indicators characteristic of strategic management in the planning of transport services, improving decision-making in infrastructures.

This research highlights how the adoption of ISO 55001 and its application in the system and in the railway sector provide added value, optimizing data collection and the identification of periodic and routine processes characteristic of infrastructures. Furthermore, it allows a unique analysis through asset management activities, including maintenance, operation and service provision, presenting a crucial analysis for strategic and operational decision making for railway asset management.

Thus, this research develops, based on the Risk Priority Index, a methodology for railway asset management, providing a proposal for a railway asset management model for the strategic management of railway infrastructures.

# **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

## **III. PALABRAS CLAVE**

Modelos de mantenimiento ferroviario, Gestión de activos ferroviarios, gestión ferroviaria, Activos estratégicos, ISO 55000, ISO 55001, gestión de infraestructuras ferroviarias, seguridad, gestión de riesgos, optimización.

Railway maintenance models, Railway asset management, railway management, Strategic assets, ISO 55000, ISO 55001, railway infrastructure management, safety, risk management, optimization.

## **IV. ABREVIACIONES**

AM - Asset Management (Gestión de activos)

GFMAM - Global Forum on Maintenance and Asset Management

IAM - Institute of Asset Management (Instituto de gestión de activos)

ISO - International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).

KPI - Key Performance Indicators (indicadores claves de desempeño)

MT – Ministerio de Transporte de Colombia.

UN - United Nations (Organización de las Naciones Unidas)

OCDE - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

ODS - Objetivos de Desarrollo Sostenible

RID - Regulaciones para el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (Regulation Concerning the International Carriage of Dangerous Goods By Rail).

RIM - Rail Infrastructure Manager (Administrador de infraestructuras ferroviari

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

### **V. JUSTIFICACIÓN:**

La gestión de activos ferroviarios, en la industria del ferrocarril es relativamente nueva o es una actividad emergente, (Stagmaier, Raul. 2018), dado que la aplicación de la gestión de activos corresponde la adopción de estrategias operacionales y del mantenimiento en un horizonte de largo plazo, que asegura, la sostenibilidad, fiabilidad, la eficiencia y seguridad de cada uno de los componentes y sistemas que integran el servicio ferroviario. la implementación de la gestión de activos estandarizada bajo la normatividad ISO 55000, y el desarrollo en la última década, ha permitido evidenciar las bondades de la implementación tanto en empresas privadas como en instituciones públicas, puesto que ambas están correlacionadas en la gestión de las infraestructuras que corresponden a los activos físicos del sistema, que a su vez permiten la administración optimizada en la planeación de las infraestructuras y servicios. De forma que, esta investigación se centrará en el análisis de la gestión de activos ferroviarios y la adopción de la normativa ISO 55000, su adopción específica en Colombia compara con prácticas comunes en la industria y propuesta particular la su implementación.

En antecedentes, la gestión de activos sea enfocado inicialmente en lo tradicional del mantenimiento programado y a las estrategias más avanzadas en la predicción del estado general del activo. No obstante, la aplicación de la ISO 55000, publicada en 2014, proporciona un marco estandarizado de mayor especificación para la gestión de activos, enfocándose en la eficiencia operativa y la reducción de costos asociados a la planificación programada. Es así como en la revisión del estado del arte se han evidenciado que países como el Reino Unido, Australia, y Japón, son pioneros en la adopción de esta normativa, logrando mejoras notables en la fiabilidad y disponibilidad de sus sistemas ferroviarios, en particular para con la infraestructura de servicios.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Es así, cómo la investigación en la gestión de activos de infraestructura ferroviaria aporta a la optimización y comprensión de como la aplicación de estándares con aplicación especializada, genera valor agregado a la recolección de datos e identificación de procesos periódicos y rutinarios, permitiendo conocer nuevos datos del resultado de análisis de adopción de la ISO 55001 y la integración como sistema en el sector ferroviario, de infraestructura y servicios. Igualmente, la aplicación y desarrollo de estas especificaciones por sector y sistema crean la oportunidad de análisis único de actividades que integran la gestión de activos como el mantenimiento, la operación y prestación de servicios, permitiendo tratar y presentar datos contundentes para las decisiones estratégicas y operacionales dentro del sector ferroviario.

Por otra parte, la gestión de activos ferroviarios es de gran relevancia en el sector público, al tratarse en la mayoría de casos de gestión de activos asociados a activos físicos tangibles como intangibles, los cuales en el sector del ferrocarril se corresponden en la prestación de cualquier servicio, haciendo que el conocimiento de estos activos sea más eficientes, con menores costos, mayor fiabilidad, seguridad, con menor índice de siniestralidad por eventos, prolongación de la vida útil de los activos como son las infraestructuras y en definitiva mayor beneficio para las organizaciones ferroviarias, resultando en un impacto positivo para con los usuarios y en mejores servicios y en aspectos clave como son: seguridad, la puntualidad y menores costos, disminuyendo la carga en la sociedad sobre el mantenimiento de las infraestructuras y servicios públicos.

Por lo anterior, esta investigación radica su enfoque práctico para el desarrollo y adopción de un modelo analítico de gestión estratégica de activos ferroviarios, en las organizaciones con alguna gestión sobre los activos ferroviarios en Colombia. La cual se origina de la revisión del

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

estado del arte en la adopción a nivel internacional en certificaciones ISO 55000 y 55001, normas que estandarizan los procesos a nivel internacional, al igual que fomentan la innovación y promueven la sostenibilidad. Además de la identificación de las organizaciones en el registro de certificaciones ISO y su relación con el sector ferroviario, se enfoca en la gestión, tanto de activos físicos, es decir la infraestructura, como de activos intangibles, como pueden ser los servicios relacionados con la gestión del transporte ferroviario. De forma que, proporciona nuevo conocimiento sobre la aplicación específica de indicadores para la gestión de activos del sector ferroviario y en particular de la red ferroviaria de Colombia, actividad que aún no ha sido abordada por el sector público o privado.

Adicional, esta investigación permitirá dar a conocer la aplicación y propuesta metodología para la gestión de activos ferroviarios, en la gestión de optimización de mantenimiento y actividades operativas relacionadas con la infraestructura, para un sector crítico y estratégico como son los ferrocarriles. Lo mencionado anteriormente, cobra aún más relevancia con los compromisos por Colombia en el marco de la adopción de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles – ODS, que para el 2030, deberá cumplir con metas asociadas al incremento del 50% de corredores e infraestructura nueva en los próximos 25 años.

Ahora bien, esta investigación al tratar de gestión de activos ferroviarios crea una necesidad potencial en adoptar estándares de recolección de información por parte de las organizaciones que gestionan los activos, por lo cual el análisis metodológico propuesto para la implementación de la gestión de activos, por medio de indicadores que pueden reducir la incertidumbre en la implementación, de forma que se obtiene un análisis específico para el sector ferroviario, esperando proporcionar valiosos conocimientos teóricos y prácticos que beneficien tanto al sector ferroviario como a la sociedad en general.

# **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

## **VI. Título**

Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico de infraestructuras ferroviarias.

## **VII. Objetivos**

General:

Proponer un modelo analítico de gestión de activos ferroviarios basado en indicadores característicos de la gestión estratégica en la planificación de servicios de transporte.

Específicos:

1. Analizar los datos según el tipo de gestión de activos asociados a los servicios de transporte ferroviario de acuerdo con la ISO 55000.
2. Caracterizar la base de interrelaciones entre los activos identificados y los servicios ferroviarios.
3. Proponer un modelo de gestión estratégica para la toma de decisiones por medio de indicadores cuantitativos.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

### **VIII. Introducción.**

El desarrollo urbano junto con el crecimiento del bienestar social, la sostenibilidad ambiental y las mejoras en los índices financieros de los sistemas de transporte, son asuntos que definen la organización del territorio, las cuales están estrechamente enlazados con la calidad en la movilidad. Es así como con la infraestructura con sus activos permiten la conectividad, competitividad y seguridad. Por tanto, el análisis del estudio de los proyectos de transporte, permiten a la academia, gobierno y comunidades conocer el valor de las diferentes actuaciones para la sostenibilidad de los proyectos de transporte. Sin embargo, no siempre las inversiones realizadas en las infraestructuras y reservas viales son analizadas en el desarrollo y explotación del mejoramiento de la calidad de los servicios con relación peso que representan en el transporte, estableciendo como objetivo el proponer un modelo de gestión de activos estratégicos para los sistemas ferroviarios, basado en las normativas internacionales.

Es así como presente trabajo de investigación se centra en analizar el aprovechamiento sostenible de los activos ferroviarios, destacando la capacidad de implementación junto con las características fundamentales para el sector ferroviario. Para ello, se identificaron y analizaron los marcos de planificación, desarrollo y explotación de los servicios ferroviarios, integrando la gestión de los activos de infraestructura y las actividades relacionadas con su operatividad y disponibilidad en la planificación.

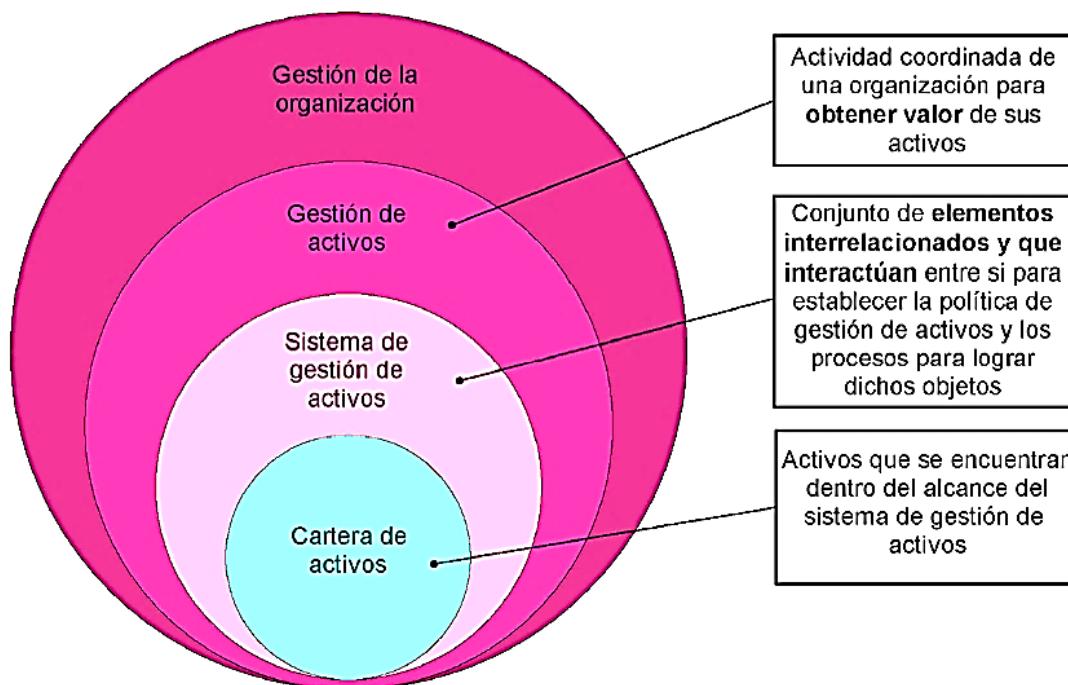
Finalmente se propone un modelo estratégico basado en indicadores para el sector ferroviario, que servirá como herramienta para la toma de decisiones, beneficiando a los actores clave involucrados en la planificación, selección y gestión de los servicios relacionados con los servicios y la infraestructura ferroviaria.

# Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

## IX. Marco de referencia

Toda infraestructura y bienes conexos, destinados para la prestación del servicio de transporte, con una debida organización se convierte en activos gestionables dentro de la organización, lo cual permite planear las metas y objetivos de cumplimiento, resultando en la optimización de recursos y mejoramiento de la calidad en los servicios. Sin embargo, esto no se logra sin antes conocer a detalle las actividades, bienes, servicios, usuarios, infraestructura y demás componentes requeridos para la prestación del servicio de transporte.

**Figura 1. Nivel de relación de activos**



Fuente: Términos relevantes entre la gestión de activos (ISO 55000, 2014).

Es así, como aplicación de la gestión de activos permite asegurar el cumplimiento de objetivos orientados al mejoramiento de los servicios y la ampliación de los sistemas con mayor rango de alcance y capacidad, enmarcados en un desarrollo consciente y sostenible. Prescott, D., & Andrews, J., (2015).

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Toda gestión que se desarrolla en el campo de la ingeniería civil exactamente cuando se trata de gestionar las infraestructuras, están ligadas a procedimientos que garantizan la disponibilidad y fiabilidad en la prestación de un servicio, por tanto, la organización de estos procesos permite plantear rutas indicadoras de planes estratégicos, los cuales son alimentados por fuentes de información organizada y actualizada, extrayendo el máximo aprovechamiento de cada actividad que pueda registrar datos y variables sobre el comportamiento y evolución tanto de las infraestructuras como de los servicios, denominándose activos.

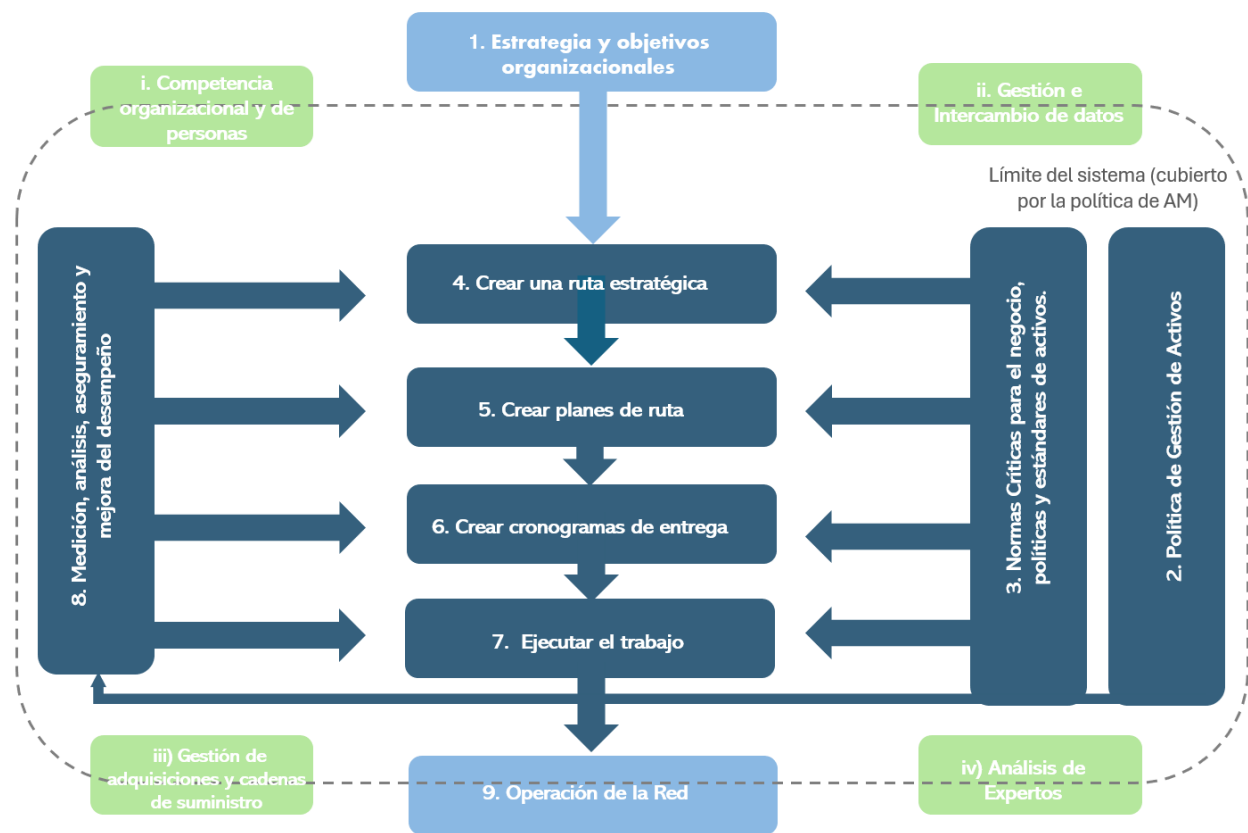
Ahora bien, identificar un activo dentro del sector de la industria ferroviario no siempre suele ser tan fácil, más cuando no se tienen parámetros definidos en algunos casos, por tanto, esta actividad sin una previa revisión técnica suele confundirse con un inventario general de elementos, lo cual se distancia del concepto del activo ferroviario, puesto que este tiene un componente financiero y un componente técnico definido por el servicio. También se puede presentar la gestión de activos sobre capitales o activos industriales, los cuales están dentro de la metodología de gestión y rendimientos, a diferencia de los ferroviarios, ya que estos se definen por el carácter de mantenibilidad, lo cual guarda una estrecha relación entre la caracterización y variación con el uso medible mediante la aplicación de Indicadores Clave de Desempeño (Key Performance Indicators - KPI).

Dentro de la gestión general, se desarrolla una primera actividad que consisten en la identificación de los activos, los cuales tienen programas estructurados de actualización de información continua, en el cual las mediciones son estandarizadas y a partir de estos desarrolla la segunda actividad que corresponde a la creación de protocolos para el flujo de información a registrar, los cuales son tratados bajo reglas definidas y políticas internas de verificación mediante el contraste de datos. De manera que, al realizar las actividades antes mencionadas se logra

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

identificar la información clave y la información básica de registro. Estos dos procedimientos se desarrollan de forma conjunta el plan de trabajo para análisis posteriores de pertinencia, caracterización de estratégica de intervenciones y estrategias de mejora en aspectos puntuales medibles en los servicios, como se puede identificar dentro de la **figura 2**. Estructura general de un marco de gestión de activos, para los ferrocarriles británicos.

**Figura 2. Estructura general del marco de la gestión de activos.**



*Nota:* El proceso general de la gestión es generalmente caracterizado en nueve pasos identificables.

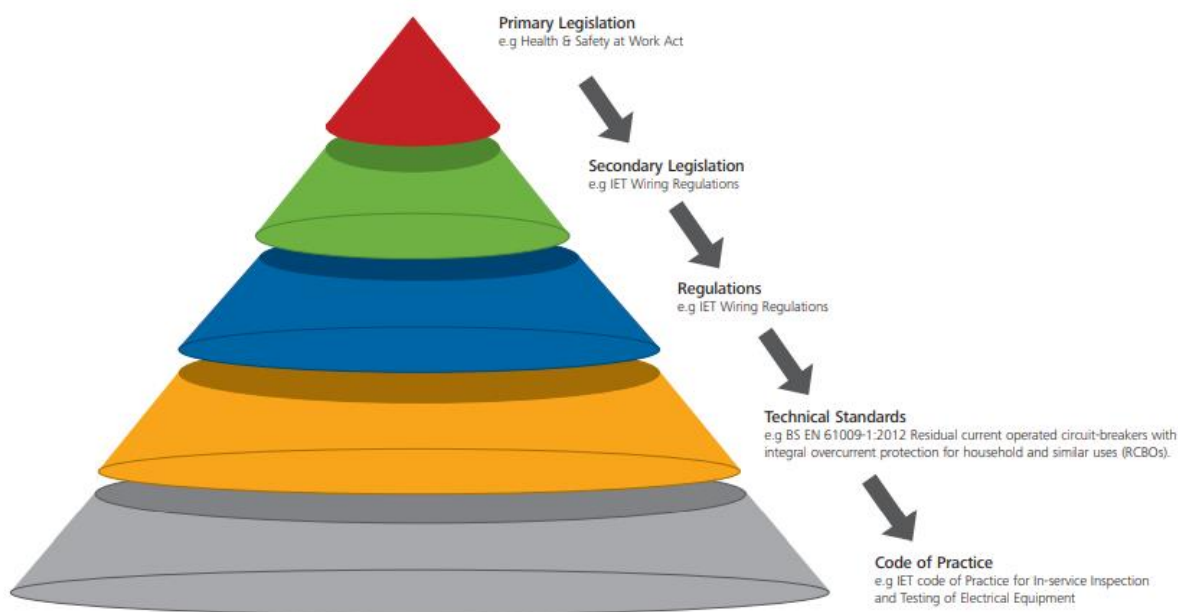
Fuente: (Networkrail, 2018).

En la gestión de activos, las organizaciones desarrollan el cumplimiento de la legislación primaria y secundaria requerida para su operación, la cual es incorporada a través de regulaciones específicas en la materia para asunto propios de la operación de la organización. No

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

obstante, la definición de normativas y estándares técnicos son adoptados por la industria según requerimientos en la competitividad de los servicios, como es el caso de las infraestructuras estratégicas las cuales deben ser gestionadas con normativas pertinentes bajo estándares y especificaciones propias de la política de procesos de la organización. Esta gestión de normativa, especificaciones, estándares y códigos, corresponden a la política de buenas prácticas las cuales son derivadas de requerimientos de legislación o regulación, al tratarse de servicios esenciales o estratégicos, por tanto, la normativa de gestión de activos para las infraestructuras críticas se deriva de las propias necesidades de los activos para ser gestionados.

**Figura 3. Jerarquía de Legislación, Regulación, Normas, estándares y Códigos de practicas**



Fuente: IAM, 2024

### Marco normativo internacional

La gestión de activos pueden ramificarse de diferentes áreas, sin embargo dentro del campo de la ingeniería del transporte y civil, la gestión de activos responden a la gestión de componentes de vía que derivan en un servicio de uso, es así como en el marco de más cercano

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

comparativo regional de América Latina, países como México, Perú, Ecuador, Bolivia, Chile y Argentina, han desarrollado metodologías de avance en la caracterización de los activos viales carreteros, con lo cual buscan mejorar la planeación de inversión en la gestión de la infraestructura, sin embargo estas solo se centran en aspectos de las infraestructuras y su cuantificación descriptiva, según la publicación de gestión de activos viales (W. Flintsch, 2019).

En el marco normativo europeo, la regulación normativa técnica está dirigida bajo las normas de la Organización Internacional para la Estandarización (*International Organization for Standardization – ISO*), que en su norma internación No. 55000, contiene los entandares unificados de la gestión de activos para las empresas y la optimización de procesos con la asignación de recursos durante la vida útil. En cuanto al transporte y sus actividades la ISO elaboró la especificación 55001 de 2014, sobre los requisitos de la gestión de activos y las actividades y procesos coordinados para garantizar la seguridad y máxima eficiencia, y aún más especializada la ISO expidió la norma 55002 que complementa de forma general los términos principios y directrices para la implementación. Estas especificaciones fueron elaboradas para las diferentes industrias entre ellas la de infraestructura, transporte, telecomunicaciones, redes eléctricas y servicios públicos.

Así mismo, la gestión de activos estandarizada por la ISO 55000, organiza la influencia de los activos identificados en categorías como son: La naturaleza del propósito de la organización; su contexto operacional; las restricciones financieras y requisitos estandarizados para con la necesidades y perspectivas de los implicados.

Otros de los aspectos mencionados por la norma, son los factores que impactan los procesos, los cuales influyen deben ser considerados para su impacto positivo del continuo mejoramiento, para así desarrollar un control y capacidad para gestionar, activos físicos, servicios



## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

*Nota:* Elementos clave de un sistema de gestión de activos. Fuente: (ISO 55000, 2014).

Es así, como el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (DESA-ONU), de la cual Colombia hace parte desde el 5 de noviembre de 1945, quien se encarga de estudiar y analizar la interfaz entre las políticas mundiales en los ámbitos económicos, sociales, ambientales y medidas administrativas, que derivada de la necesidad de dar lineamientos claros a los diferentes estados, publica para el año 2021, el Manual de Activos de Infraestructura para el Desarrollo sostenible, Manual para los gobiernos locales y Nacionales, con el objetivo de orientar sobre la administración de los activos comunes o de uso público o reconocidos como estratégicos para servicios básicos, de los que dependen la totalidad de la población, centrándose en la eficacia de la gestión de activos como en la criticidad para la confiabilidad, seguridad y cubrimiento de servicios, anticipándose a las perturbaciones relacionadas con el cambio climático y factores externos que influyen en la estabilidad en la prestación de servicios.

En esta misma línea, la Organización de Naciones Unidas, en el 2015 integrada por 193 países, aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, como instrumentos implementación de políticas de desarrollo orientado al bienestar de las personas y el planeta, ajustando los objetivos planteados en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), estableciendo 17 objetivos.

De ahí que la importancia de la gestión de activos estratégicos radique en las infraestructuras de servicios de transporte como eje transversal, los cuales deben ser gestionados de la mejor manera optimizando los recursos limitados y obteniendo los mejores resultados ante los desafíos que solicitan las infraestructuras en cada uno de los ejes centrales. United Nations, (2021).

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Figura 5. Lista de Objetivos de Desarrollo Sostenible – ONU.



Fuente: ONU, 2024. Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Es así, como los activos de interés público, que por su importancia se reconocen como estratégicos, especialmente las infraestructuras de transporte son activos de carácter especial y esencial, con el fin garantizar prestación de servicios, por tanto, la gestión de estos se puede considerar en varios niveles desde su planeación hasta su puesta en servicio y ciclo de vida determinado para el activo. Una de las clasificaciones que se puede considerar en esta gestión es la propuesta en el Manual para Gobiernos Locales y Nacionales en la Gestión de activos de la Infraestructura, por United Nations, (2021), caracterizando la tipología de activos en tres niveles, estratégicos, táctico y operativo, en rangos de funcionalidad de dos años para activos de primera necesidad, activos de nivel medio en la prestación de un servicio de ámbito público o privado que pueden ser planificado en un horizonte entre dos y cinco años y el tercer grupo los activos estratégicos o proyectos nación o de fines estatales de planeación prospectiva superior a los cinco años y de largo plazo como son hasta los 25 años.

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Figura 6. Categorías de Planeación de Activos



Fuente: United Nations, (2021).

En la determinación de la gestión de activos, la pregunta clave es cómo y cuáles son considerados activos gestionales en la infraestructura y como caracterizar o estandarizar los activos, cuando no se parte de información de calidad. Igualmente el reto de contabilizar cantidades y tipologías reconocidas pero no cuantificadas, son retos a los que se enfrentan actores públicos en su misionalidad y actores privados en cumplimiento de metas y objetivos a los pueden rebasar el plazo o meta determinada, derivando en actividades no asertivas para con la gestión de activos a su cargo, dado que toda acción de inversión en activos de infraestructura necesariamente pasa por conocer el detalle del activo, con información básica y muy detallada la cual siempre debe estar actualizada para evitar suposiciones y permitir una toma de decisiones asertiva. Por lo anterior, se hace imprescindible contar con el análisis de clasificación de identificación propuesta D.J. Vanier, (2000), sobre las cuales el análisis debe tener aspectos en seis puntos, uno el de identificar puntualmente el activo, el segundo es partir del valor cuantitativo del activo, un detalle de las condiciones funcionales del activo, un cuarto aspecto de

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

la operatividad del activo, seguido del programa del mantenimiento y sexto el variable del valor de puesta en servicio.

**Figura 7. Pasos para la identificación y valoración de un Activo**

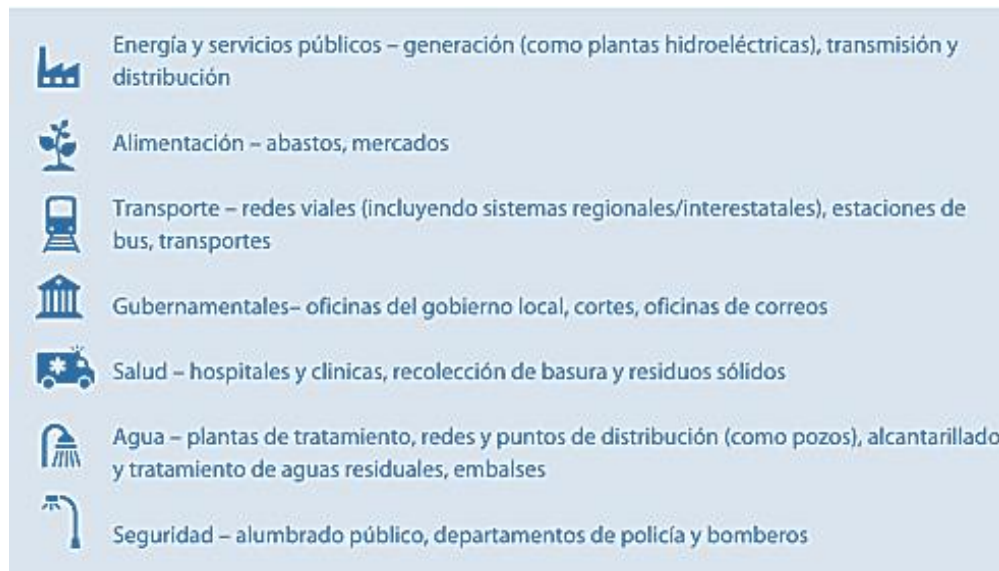


Fuente: D.J. Vanier, (2000),

Entre los activos prioritarios de acuerdo con el Manual de Gestión de Activos de Naciones Unidas, los activos prioritarios son los catalogados como esenciales por cada una de las sociedades y son aquellos que tienen un alto valor en la vida diaria de sus habitantes reflejado en el alto valor del servicio, motivo por el cual los recursos destinados por los gestores públicos o privados representa un gran porcentaje, incluso estos activos no siempre son compensados con el valor final pagado por los usuarios, por tanto es un valor asumido por la gestión pública de beneficios comunes de participación pública,

**Figura 8. Nivel de activos por su importancia**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



Fuente: United Nations, (2021).

Igualmente, Colombia hace parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, desde el 28 de abril de 2020, como miembro número 37, de forma que el compromiso de esta organización vinculante para los miembros consiste en trabajar para fortalecer la prosperidad, igualdad, y diseñar políticas que se alineen con su objetivo, a partir de prácticas exitosas para afrontar retos comunes a partir de estándares globales en la gestión de intereses comunes para los países miembros, siendo uno de los pilares sobre gobernanza de infraestructuras para la competitividad y desarrollo social. De los cuales, la (OCDE,2020) reporta indicadores relacionados con la gestión de activos de la infraestructura los siguientes:

- Mantenimiento de infraestructura:
- Inversión en infraestructura
- Flete de transporte
- Transporte de contenedores
- Accidentes de carretera
- Emisiones de aire y GEI



## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Para la figura de gestión de activos por entidades registrados en el año 2016, se observa que en Colombia se reporta el estado general de infraestructura, no obstante, a pesar de que se recolecta parte de la información base para la implementación de gestión de activos viales, no se presenta el plan de gestión de activos para carreteras.

**Figura 10. Reporte de estado de gestión de activos en Latinoamérica en 2016.**

País	Estrategia de gestión de activos			Indicadores de desempeño			Plan de gestión de activos			¿Considera riesgo?
	¿Existe?	Establecida	Actualizada	Definidos	Disponibles en la web	Metas	¿Existe?	Establecido	Actualizado	
Argentina	Sí	2016		Sí	Sí	Sí	Sí	2016	Anual	Sí
Bolivia	Sí	2015	5 años	Sí	Sí					
Chile	Sí <sup>a</sup>			Sí	Sí	Sí	Sí <sup>b</sup>			
Colombia	Sí	2015	Anual	Sí	Sí	Sí	Sí		Anual	Sí
Costa Rica										
Ecuador	Sí	2012	Variable	Sí						
El Salvador										
México	Sí	2013	6 años	Sí	Sí	Sí	Sí <sup>c</sup>	2013	6 años	Sí
Panamá	Sí	2014		Sí	Sí		Sí		5 años	Sí
Paraguay	Sí	2006	5 años	Sí		Sí	Sí	2012	5 años	Sí
Perú				Sí	Sí	Sí				
R. Dominicana										

<sup>a</sup> Existe pero no está formalmente documentada.

<sup>b</sup> Existe pero no está formalmente documentada.

<sup>c</sup> Para mantenimiento.

*Nota:* Reporte periódico de datos que pueden ser representativos en la gestión de activos viales.

Fuente: W. Flintsch, (2019).

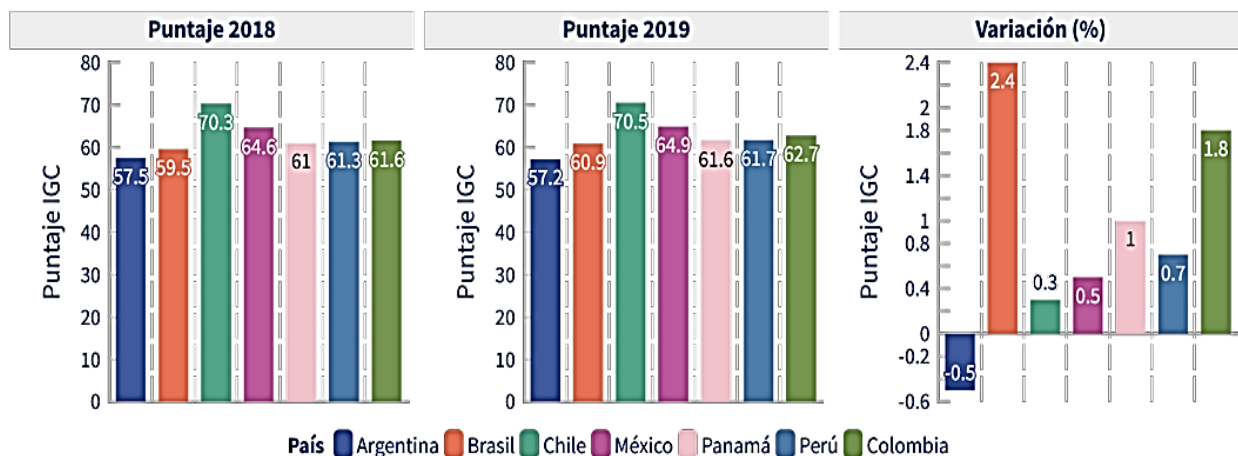
### Gestión de activos en el sector ferroviario en Colombia

La importancia que tienen los corredores viales para el transporte de mercancías como de personas está directamente relacionado con la capacidades de transporte y competitividad de

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

cada país y en la medida que estos mantienen estos activos públicos en óptimas condiciones, que aseguran la confiabilidad en el uso de las infraestructuras y los servicios, por cuanto el índice global de competitividad el cual mide 12 aspectos que influyen en la confianza en la gestión general de asuntos país, en el cual la infraestructura es uno de los pilares transversales para el resultado final.

**Figura 11. Índice de Competitividad Global (IGC).**

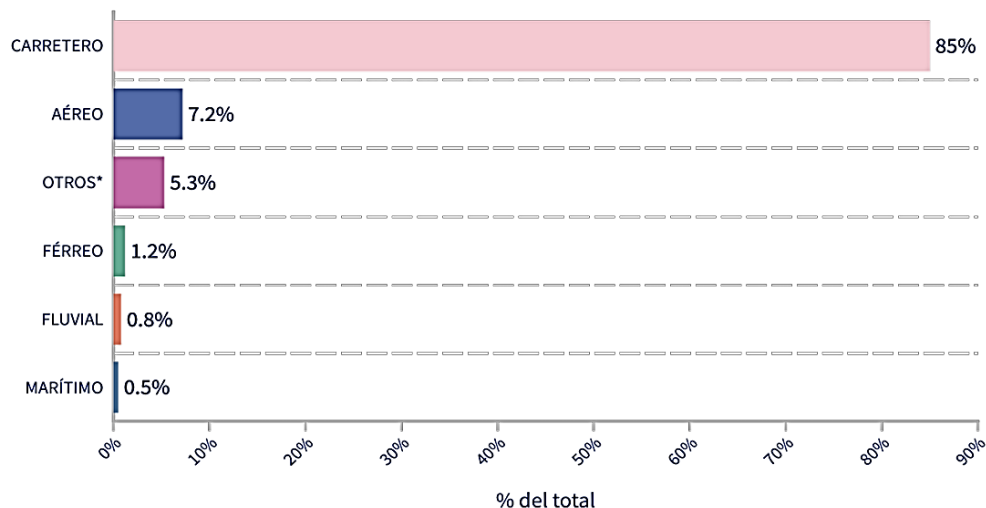


*Nota:* Transporte en Cifras, datos de la competitividad de Colombia respecto a la región, según su infraestructura y condiciones de transporte. Fuente: Ministerio de Transporte, (2021).

Identificado el índice de competitividad es necesario, revisar la inversión del pilar de infraestructura y la priorización de inversión para el mismo periodo el cual dentro de la misma referencia se encuentra discriminando por modos, resaltando que del total de inversión programada para el vigencia del año 2021, Colombia destina el 1.2% del valor de total de recursos para proyectos de infraestructura de transporte, frente al modo carretero que registra una inversión del 85% del total de recursos, como se observa en la Figura 12. Asignación presupuestal por modo vigencia 2021.:

**Figura 12. Asignación presupuestal por modo vigencia 2021**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



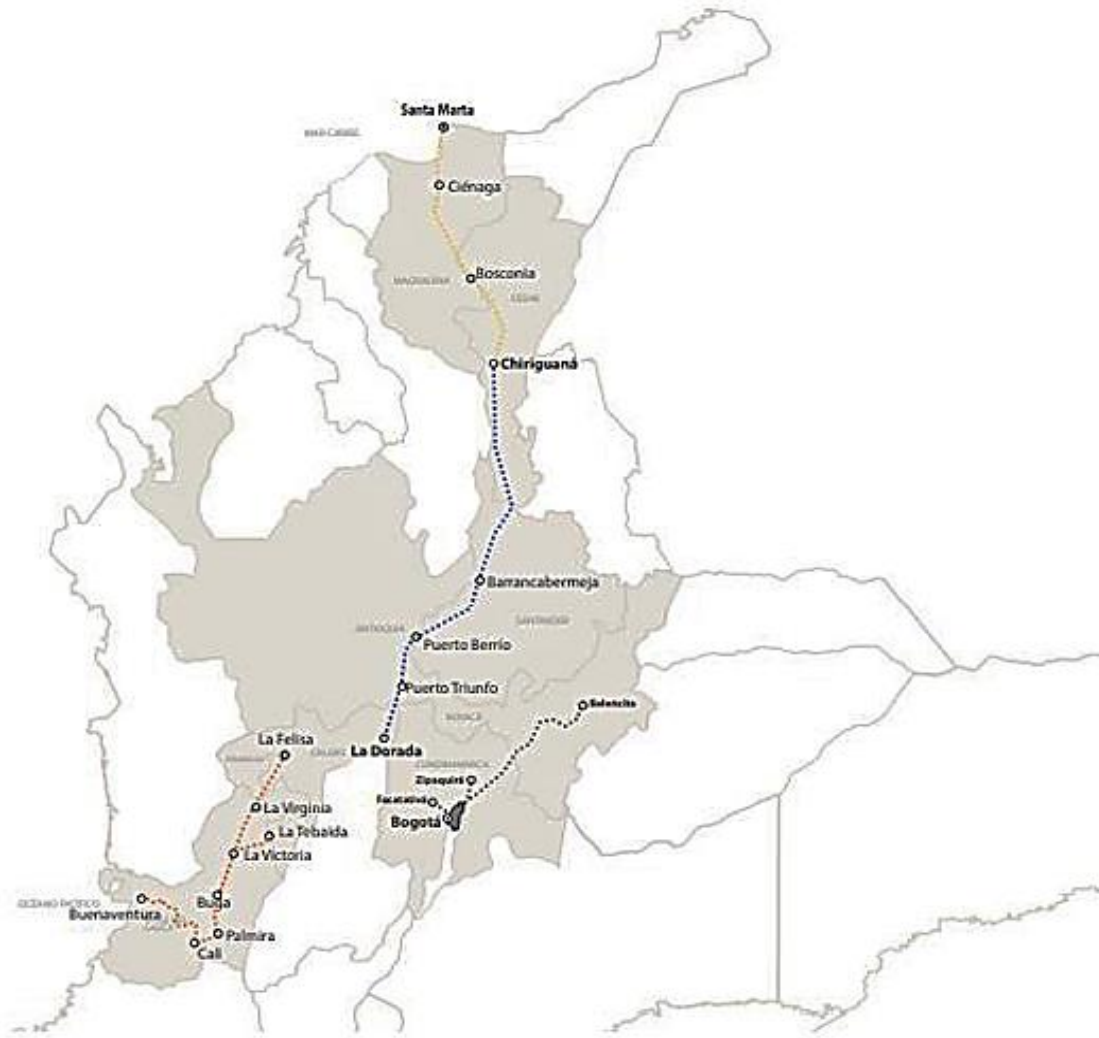
*Nota:* Transporte en Cifras, destinación de recursos para el año 2021, con la asignación del 1.2% del modo ferroviario. Fuente: Ministerio de Transporte, (2021).

La red ferroviaria en Colombia tiene su origen en la construcción de infraestructura de inicios de siglo XX, en las décadas en que los países europeos desarrollaron la innovación y paso del vapor al diésel y la electrificación, modernización que afectó la falta de previsión y planeación sobre las políticas públicas para con el sistema ferroviario colombiano, en razón a lo anterior, la infraestructura de la figura 13. **Concesiones de la Red Ferroviaria, no distan** de la situación expuesta en relación con la inversión que tiene el modo del 1.2%; ya que, de los 3528 kilómetros de corredores ferroviario de única vía, se mantiene en especificaciones de construcción del siglo pasado, como es el ancho de vía yárdica, estaciones, estructuras, sistemas de señalización y comunicaciones. De manera que, de los 3528 kilómetros de corredores, para el año 2022, 200 kilómetros de red tienen una operación concesionada de explotación minera que representa el 98% de la carga transportada por ferrocarril en infraestructura ferroviaria pública, para los otros 1100 kilómetros parcialmente operativos no se realizan operaciones significativas con respecto al mercado del transporte de carga, mercancías y pasajeros comparables con otro sistema ferroviario. Adicional, las dos concesiones implementadas por el Instituto Nacional de

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Concesiones - INCO y hoy ANI, para el año 1998, correspondiente a la Red Ferroviaria del Pacífico de 498 kilómetros, se encuentra inoperable, motivo por el cual se hace imprescindible contar con un diagnóstico de la gestión de activos y su implementación para con la infraestructura existente.

**Figura 13. Concesiones de la Red Ferroviaria - Colombia**



*Nota:* Transporte en Cifras, Identificación de Concesiones ferroviarias en el territorio colombiano. Fuente: Ministerio de Transporte, (2021).

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

### **X. Marco Histórico**

Los ferrocarriles en Colombia iniciaron mediante concesiones otorgadas para la construcción y explotación de ferrocarriles, mayormente contratadas con empresas extranjeras, que, de acuerdo con lo expuesto por Escobar, 2022, *“no había otra forma de hacer obras (...) y solo era posible mediante entrega de beneficios a los inversionistas”*. Estas empresas, , desarrollaron corredores ferroviarios regionales bajo la supervisión de los departamentos de Hacienda y Fomento. En 1905, con la creación del Ministerio de Obras Públicas mediante el Decreto 7 de 1905, se centralizó la gobernanza de las infraestructuras estratégicas. Posteriormente, el Decreto 1695 de 1931 reglamentó la Ley 29 de 1931, que trataba sobre la adquisición pública de ferrocarriles, reorganizando los ferrocarriles nacionales y creando el Consejo Administrativo, responsable de su gestión hasta 1954.

A partir de 1954 y hasta 1989, la administración de los ferrocarriles en Colombia estuvo a cargo de la Empresa Ferrocarriles Nacionales de Colombia, que finalmente fue liquidada. En 1989, se creó la Empresa de Vías Férreas - Ferrovías, con el objetivo principal de mantener, mejorar, rehabilitar, extender, modernizar, explotar, dirigir y administrar la red férrea nacional. Ferrovías también regulaba y controlaba la operación del sistema ferroviario nacional. El Decreto 1915 de 1995 facultó a Ferrovías para adjudicar concesiones mediante procesos licitatorios, con el objetivo de promover la participación del sector privado en proyectos de infraestructura ferroviaria.

El Ministerio de Transporte, en respuesta a la política pública de estructuración de concesiones, creó la Dirección General de Transporte Ferroviario para regular el servicio de transporte público ferroviario. Mediante el Decreto 3110 de 1997, se reglamentó la habilitación y

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

el permiso para el servicio público de transporte ferroviario, estableciendo que el Ministerio de Transporte sería el organismo rector y Ferrovías el ejecutor de estas materias.

En 1989, se creó la Sociedad Colombiana de Transporte Ferroviario (STF S.A.), vinculada al Ministerio de Obras Públicas y Transporte, con el objetivo de prestar servicios de transporte público ferroviario con criterios comerciales. Esta entidad fue liquidada en el año 2000.

La política del Estado en infraestructura ferroviaria y la participación privada llevaron a que Ferrovías gestionara los contratos de concesión de la red ferroviaria en 1998, específicamente en las redes del Pacífico y del Atlántico. El Ministerio de Transporte, mediante el Decreto 101 de 2000, asignó la ejecución del transporte ferroviario en Colombia a la Dirección General de Transporte Férreo y Masivo.

Con la liquidación de Ferrovías en 2003, la propiedad de los ferrocarriles fue transferida al Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y se creó el Instituto Nacional de Concesiones (INCO) mediante el Decreto 1800 de 2003. El INCO fue facultado para planear, estructurar, contratar, ejecutar y administrar los proyectos de infraestructura de transporte con participación de capital privado. Debido a las necesidades de infraestructura, el INCO modificó el contrato de concesión del Atlántico, dejando el tramo Chiriguaná-Santa Marta como distrito carbonífero, y asignando recursos anuales para el mantenimiento y conservación de otros tramos y nuevos proyectos.

Los contratos de concesión establecen la obligación de operar y administrar la infraestructura para garantizar la prestación del servicio público de transporte ferroviario, asegurando el acceso libre y la permanencia según las demandas del mercado. La Cláusula 55 del contrato establece que el concesionario debe permitir la circulación libre de trenes para el servicio ferroviario de pasajeros.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Tras la desafectación de la red ferroviaria del Atlántico aprobada por el INCO, ahora la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), los tramos Bogotá-Nobsa y La Dorada-Chiriguaná quedaron en mantenimiento y operación. La ANI celebra contratos de licitación pública para la administración, vigilancia, control de tráfico, operación y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria, permitiendo que terceros operadores presten el servicio de transporte público ferroviario.

Las funciones de la ANI, según el Decreto 4165 de 2011, incluyen la administración y operación temporal de la infraestructura hasta que sea concesionada o entregada al INVIAS. El Decreto 1800 de 2003, bajo la autoridad del entonces INCO, establece el procedimiento para permisos de ocupación y uso temporal de la infraestructura ferroviaria. La Resolución 716 de 2015 de la ANI regula el trámite para otorgar permisos de uso, ocupación e intervención temporal de la infraestructura vial y ferroviaria a cargo de la entidad.

### **Marco jurídico en Colombia**

El transporte ferroviario en Colombia se desarrolla en el siglo XIX, como opción al mejoramiento y atención de las necesidades de transporte en las diferentes regiones de Colombia, sin embargo, la primera política general que regula el funcionamiento de los ferrocarriles y la prestación del servicio público data de 1920 con la Ley 76 del 15 de noviembre de 2015; “Sobre Policía de Ferrocarriles”, de manera que, ante al desarrollo de este sistema de transporte y las cambiantes necesidades de movilidad interna y en aras de buscar conectar los corredores existes el Estado Colombiano mediante la Ley 29 de 1931, otorga las funciones al Consejo Administrativo de los Ferrocarriles Nacionales, para la construcción, operación y organización, que en consecuencia desarrolla los manuales reglamentarios sobre la materia. Para el año 1954, con los desafíos para lograr tener una red ferroviaria conectada es sancionado el Decreto 3129 de

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

1954, para la creación de la Empresa de Ferrocarriles Nacionales de Colombia, que se encargaría de regular del sistema de transporte, creando la institucionalidad y las normas necesarias para la prestación del servicio público de transporte.

Ante los avances en la calidad de prestación de los servicios de transporte, el sistema ferroviario fue reorganizado mediante la ley 21 de 1988, y el posterior Decreto 1686 de 1989, ocasionando la distribución de funciones, sin una articulación clara para la prestación del servicio de transporte, como consecuencia Ley 336 del 20 de diciembre de 1996 “Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Transporte” y lo eleva a transporte público esencial, sin embargo esta ley no previó las necesidades de modernización del sistema ferroviario para la prestación del servicio de transporte de pasajeros y mercancías. Por tanto, mediante el Decreto 3110 del 30 de diciembre de 1997; “por el cual se reglamenta la habilitación y prestación del servicio público de transporte ferroviario”. Dejando una escasa normativa defina sobre el transporte ferroviario. Es así, como la normativa para la reglamentación del sistema de transporte ferroviario en Colombia, presenta un estado desarticulado entre los servicios y las infraestructuras, evidenciado en la reglamentación, la cual no responde a las necesidades de movilidad ante un servicio esencial, estratégico y de alta capacidad como es el transporte público ferroviario.

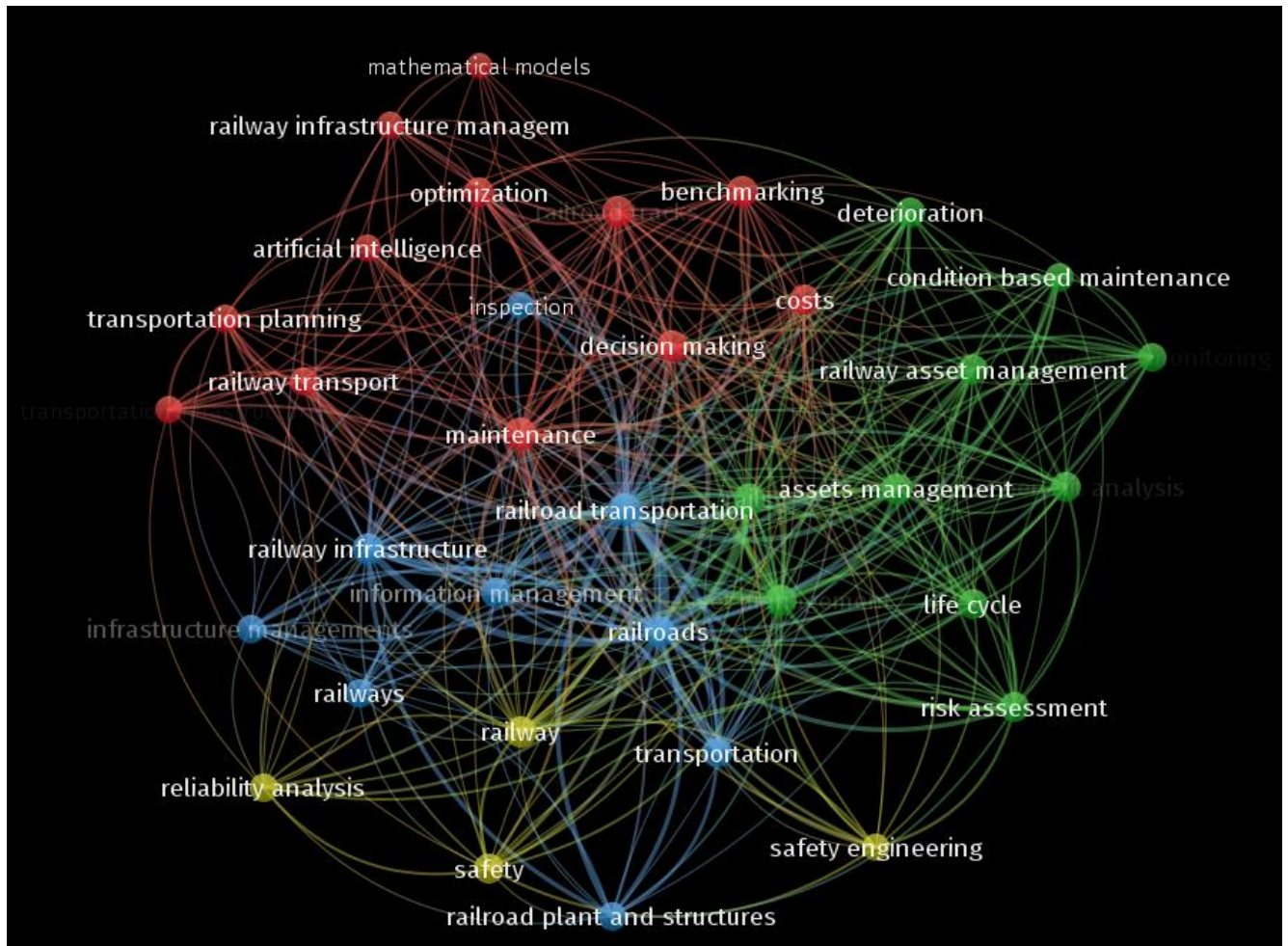
### **XI. Estado del arte**

En el desarrollo de esta investigación se analizó por medio de la herramienta VOSviewer los artículos identificados mediante la revisión de publicaciones específicamente en la gestión de activos de la infraestructura como ferroviarios, permitiendo identificar el contexto particular y relación en las investigaciones, elaborando así el diagrama generado por VOSviewer, el cual ofrece

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

una visualización clara de los clúster temáticos más relevantes como son los patrones y relaciones entre diversos conceptos clave relacionados para la definición de la gestión de activos ferroviarios.

**Figura 14. Identificación de relación de investigaciones en gestión de activos**



*Nota:* Elaboración Propia.

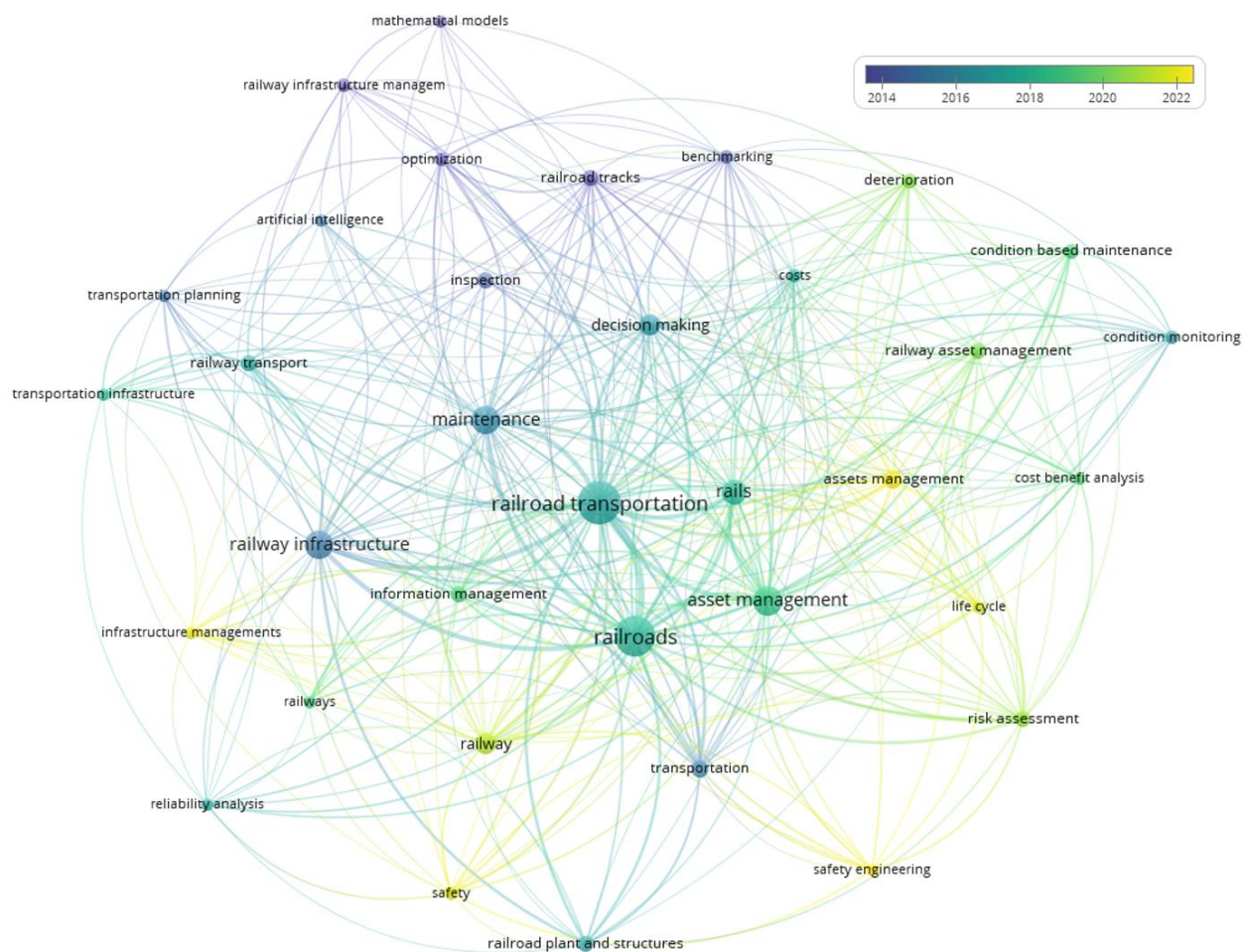
Del análisis de identificación de relación de investigaciones sobre la gestión de activos, la cual es representada como la red neuronal circular compacta no distante, con la sectorización en cuatro clúster, y su estrecha relación para con la gestión de la infraestructura, que para el clúster rojo corresponde a la infraestructura de transporte, optimización y planeación del mantenimiento, por otra partes está en clúster en color azul, del cual resalta la relación con el mantenimiento, del servicio de transporte con la gestión de la información, clúster estrechamente racionado con el

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

clúster de color amarillo que corresponde a la seguridad del sistema y como complemento relacionada en clúster verde de la gestión y medición de los activos.

Para la revisión del estado del arte de esta investigación, se establece un marco de tiempo de catorce años, desde el 2010 a 2024, de forma que en la figura de marco de tiempo los artículos en color azul corresponderán a los publicados a partir de año 2010 y gradualmente en color amarillo los más recientes, de forma que se puede observar que de los ochenta y ocho artículos revisados se presenta uniformidad desde la publicación de la ISO:55000 en el año 2014 hasta su actualización julio de 2024.

**Figura 15. Marco tiempos establecido para la revisión de artículos**



Fuente: Elaboración Propia

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

De lo anterior, se evidencia, la importancia de identificar y caracterizar los atributos que componen los ferrocarriles y sus infraestructuras, que para algunos casos como es del Colombia, corresponde a una red infraestructuras asociadas a activos patrimoniales, sobre los cuales se deben analizar los posibles usos, comparando y contrastando las potencialidades en la gestión de la sostenibilidad aplicando la digitalización, de forma que estos sistemas sean propensos generar valor por operación, seguridad, gobernanza en la gestión estratégica de servicios como el de transporte, evitando los riesgos en activos desaprovechados y pérdida de ingresos a un sistema altamente estratégico como lo es el transporte y en especial el ferrocarril.

La gestión de activos en términos generales, tiene como objetivo la comprensión del desempeño e identificación de necesidades sobre los activos los cuales pueden variar en la aplicación metodológica para activos financiero, físicos tangibles o intangibles que tienen un valor determinado para cada organización, que de manera holística es aplicada en términos de ciclo de vida, durabilidad, mantenibilidad, entre otros, los cuales son gestionados mediante la medición del riesgo para el cumplimiento de objetivos estratégicos maximizando el valor del activo. ISO 55000, (2024).

Khaled El-Akruti, (2013), analiza el concepto moderno de la aplicación del sistema de gestión de activos, Asset Management (AM), el cual se enfoca en el ciclo de vida de los activos de ingeniería, reconociendo que existe una conexión clara con la estrategia organizacional, la cual ha sido poco estudiada en la literatura, y es relevante en el papel en la estrategia competitiva en la planificación y control, actividades efectivas en AM y el desarrollo estratégico, aportando valor a los activos.

Corker Knott, (2021), analiza la gestión de activos geotécnicos frente al riesgo del cambio climático, actividad que es posible a la gestión de activos la cual se ha generalizado en el sector

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

de la infraestructura vial, cambian la forma en cómo se mantienen los activos, evolucionando la medida, calidad de los datos, identificación de necesidades, planeación y análisis a largo plazo de una red. Para esto desarrolla una propuesta de herramienta para la investigación de riesgos bajo en cambio climático, asociado al activo geotécnico, permitiendo establecer acciones de predictivas y de planificación a futuro sobre la mantenibilidad y seguimiento para la mitigación del cambio climático.

Surowiec, Agata (2011), en su investigación del cambio estratégico en la red ferroviaria del Reino Unido, a través de la reorganización y proyectos importantes, resalta el esfuerzo de las oficina de regulación ferroviaria en proporcionar estadísticas para medir la eficiencia en los diferentes servicios ferroviarios, los cuales varían según el cambio de sector público a privado y la gestión de los servicios y activos ferroviarios, lo cual representan un impacto sobre el valor de los activos y en las estrategias para gestionarlos.

Park, Mun Gyu (2014). En la investigación de integración de la gestión RAMS (Reliability, Availability, Maintainability & Safety) para con la fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM) y seguridad, analiza mediante un caso la evaluación de riesgos sobre los activos ferroviarios, como es el material rodante, mediante el tratamiento de datos propios de la industria ferroviaria, aplicando el método de evaluación RAMS, enfocado a aplicaciones de sistemas ferroviarios, identificando las necesidades y soluciones óptimas para los problemas y desafíos de la gestión de activos por medio de la metodología RAMS para material rodante.

Para la gestión de activos físicos, Nikitinas, Vilius & Dailydka, Stasys. (2016), analiza el impacto de implementación de estándares comunes de la Unión Europea en Lituania, que de acuerdo con la legislación europea están fomentan la competitividad de sistema ferroviario y los servicios, para lo cual se revisa el modelo de gestión ferroviaria y la importancia de en

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

comprender y analizar cuidadosamente la base el planteamiento de gestión sobre los ferrocarriles alemanes, en el marco de ventajas y desventajas, concluyen que el modelo europeo pretende gestionar la infraestructura separado de los servicios de transporte, que para el caso alemán se gestiona la infraestructura en una estructurada integralmente vertical respondiendo a una política institucional y la gestión del servicio mediante empresas de único grupo con el único fin la prestación del servicio (holding). De forma que la estructura de Holding permite a las empresas estar en la gestión de la infraestructura y gestión del transporte y servicios, alcanzando la sinergia para el uso eficaz de recursos, implementar las políticas de servicio adecuadas y una única gestión para el ahorro de costes y evitar la duplicidad de funciones usuales en sectores con muchos actores.

Un ejemplo en el análisis de activos ferroviarios, se visible cuando no se identifican correctamente los activos del ferrocarril, generando valores infra dimensionados, que no responden al valor específico estratégico en la materia ferroviaria, por ende la gestión de activos no solo consisten solo en el proceso de inventarios y clasificación común por dimensiones, en la siguiente figura, se ilustra omisiones comunes en gestores de infraestructura u operadores no especializados al realizar una identificación de beneficios diferentes a la de gestionar activos para servicios ferroviarios:

**Figura 16. Clasificación general sin el valor de gestión de activos ferroviarios.**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



Fuente: Coombes, Robin., 2021.

Por lo anterior, los beneficios deben pasar por una categorización e identificación del valor generado por activo, que conlleva a una descripción sustancial del activo para su correcta valoración en un sistema sensible que requiere de estándares específicos para la correcta gestión de la infraestructura.

**Figura 17. Identificación del valor en la gestión de activos ferroviarios.**



Fuente: Coombes, Robin., 2021.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

En desarrollo del ferrocarril, enmarcado en la industria ferroviaria del transporte, ha gestado obras civiles monumentales, es así como las infraestructuras requeridas para la operación y movilización de trenes ha desarrollado una variedad de tipologías y clasificaciones de estructuras y obras civiles especiales de alta complejidad en los sistemas modernos de ferrocarriles.

Como consecuencia la infraestructura ferroviaria presenta cambios a lo largo de su vida útil, evidenciando los efectos de los procesos climáticos de degradación como de las actividades propias de la operación y mantenimiento como lo evidencia (Ferranti & Greenham, 2021) sobre los resultados de los planes de resiliencia climática y adaptación al cambio climático de Network Rail, en aplicación de los principios de la adaptación en la ISO14090 al Cambio Climático y la ISO 55 000 Gestión de activos..Estas dinámicas son percibidas en las infraestructuras clasificadas en: túneles, puentes, estaciones, plataformas, terraplenes y superestructuras. Este grupo de infraestructura hace parte del sistema dinámico fundamental que conforma la infraestructura ferroviaria.

Ahora bien, el uso de una infraestructura está directamente relacionado con la calidad que esta ofrece para con los servicios, es así como el uso del ferrocarril en la proporción modal entre el transporte ferroviario y por carretera es concebida con una estrategia en la concepción de nuevos proyectos, los cuáles buscan ser más limpios, menos contaminantes al igual que buscan a la menor afectación sobre el ambiente junto con sus ecosistemas. (Guo et al. 2020).

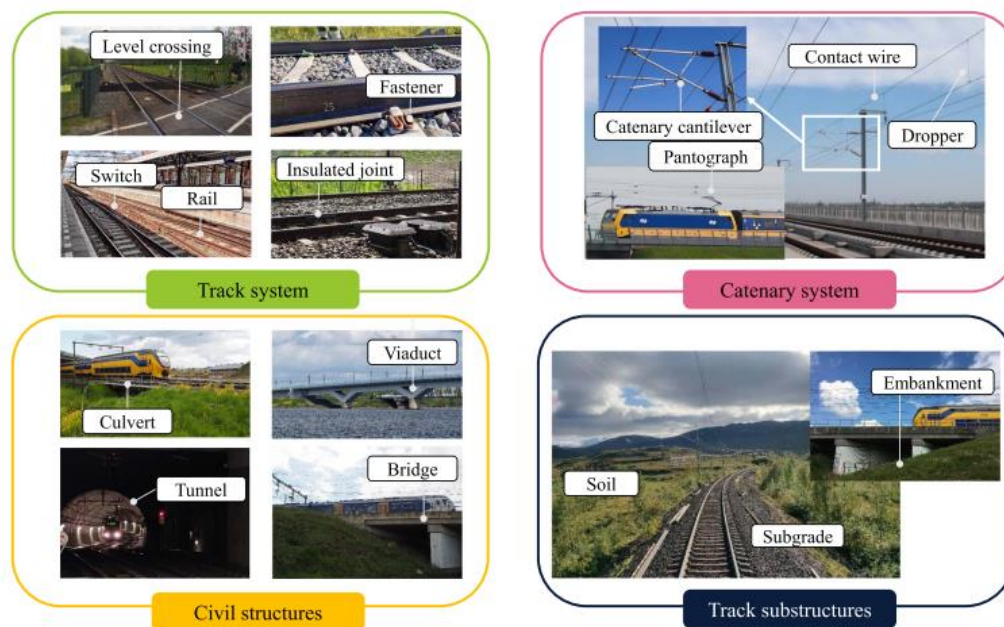
Es así, como principalmente cuando se analizan sistemas ferroviarios, las infraestructuras más relevantes suelen estar presididas por la clasificación anteriormente mencionado, sin embargo, dentro de este mismo rango de infraestructura se encuentran los elementos que la conforman como son el grupo de superestructura: rieles, traviesas, sistemas de fijación, balasto, interruptores, balizas, cambia vías, catenaria y postes de señalización, por parte el grupo de infraestructura civil,

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

encierra lo correspondiente a estructuras de gran dimensión o críticas, como son: túneles, puentes, viaductos y alcantarillas, estructuras de suelos para subestructuras (subrasante, suelo y terraplenes). De forma que la unión de estos grupos permite la operación segura, de calidad y de confiabilidad en el transporte como en la prestación de servicios, igualmente esta derivación de categorías permite la asignación de revisión de comportamiento para el seguimiento en la mitigación y prevención de riesgos asociados a los materiales y el comportamiento con la operación ferroviaria, relación que posteriormente es evaluada integralmente el tipo de operación según el tipo de transporte, subsistema que corresponde a los vehículos ferroviarios del material rodante. (Wassamon Phusakulkajorn, Zili Li. 2023).

En la **Figura 18**, se presentan de forma esquemática de los componentes clave involucrados en la infraestructura, caracterizadas por cuatro componentes: el sistema de vías (track system), sistema de catenaria (Catenary system), obras civil (Civil Structures) y Subestructuras de vía (Track Substructures).

**Figura 18. Grupos de clasificación de infraestructura ferroviaria.**



## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Fuente: Wassamon Phusakulkajorn, Zili Li. 2023.

Adicionalmente, cuando se analizan las infraestructuras, es necesario concebir la complejidad y desafíos en las que esta se enmarca, puesto que la adopción de diferentes metodologías pueden ser inconvenientes para conocer el estado de aprovechamiento, igualmente el desarrollo de nuevas tecnologías ha conllevado a evaluar soluciones modernas para la captura de datos y análisis detallados que pueden ser oportunos en las intervenciones y decisiones de inversión y planificación de sistemas o servicios.

La importancia de adoptar una u otra metodología recae en cuanta información es posible recolectar de forma eficiente y eficaz sin que esto se contrapongan al logro de la gestión oportuna de la infraestructura. De forma, que la capacidad de gestionar los desafíos y solución de problemas en las categorías de infraestructura corresponderá a la atención de particularidades identificadas en cada subsistema, lo que conlleva a la utilización de diferentes metodologías que persigan y se desarrollen en el objetivo en común sin interrumpir la transmisión en la recolección y gestión de datos. Por tanto, el éxito de aplicación de estas metodologías es medible en el ámbito de aplicación, diseño y desarrollo con la consecución de datos particulares que amplían el conocimiento sobre la infraestructura.

El desarrollo en la digitalización de las infraestructuras y el mejoramiento de la gestión a partir del conocimiento aportado por la gestión de datos, ha permitido el avance y modernización de servicios ferroviarios a nivel mundial, puesto que el desarrollo no solo ha conllevado a la expansión de la red y servicios, sino que, también ha maximizado los ingresos por explotación comercial, capacidad y reducción de costo asociados a la inversión para construcción de nuevas líneas ferroviarias, todo esto a partir de la gestión digital de datos de las infraestructuras y servicios, a la

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

par que ha permitido la interoperabilidad, intermodalidad, eficiencia energética y optimización de activos de los servicios.

De la investigación de Mostafa et al, 2021, se identifican las ventajas de la digitalización de la infraestructura mediante la utilización de herramientas de recolección de datos, gestionados por administradores de los activos quienes a su vez optimizar el ciclo de vida de la infraestructura, reducir los costos operativos, mejorando la confiabilidad del servicio. Igualmente, como resultado del tratamiento e interpretación de datos lleva a la racionalización de procesos y actividades con un flujo mayor de información en la toma de decisiones, como es el caso de la inspección de puentes, que a partir de los sensores permiten tener más información de calidad. No obstante, la normativa National Highway Institute – NHI, reglamenta la inspección visual en el NBIS (National Bridge Inspection Standards), abriendo una discusión sobre la gestión de activos a partir del seguimiento de datos de la infraestructura.

Igualmente la digitalización de la infraestructura, permitido gestionar los activos mediante el tratamiento gran flujo de datos, permitiendo así modelar virtualmente de los activos que en los sistemas ferroviarios que se pueden monitorear, analizar y optimizar su rendimiento en tiempo real, como se presenta en los resultados de la investigación de Corentin et al, 2023, sobre implementación de un gemelo digital como sistema de gestión inteligente de los activos de una infraestructura ferroviaria, encontrando que gemelos digitales permiten la configuración y diseño de una gestión inteligente de activos (IAM) , permitiendo abordar con soluciones requerimientos de los usuarios.

**Figura 19. Beneficios de la gestión de infraestructuras ferroviarias**

<b>Innovación Técnica</b>	<b>Carga</b>	<b>Pasajeros</b>
<b>Tren de Alta Velocidad</b>	Reduce la congestión de carga/pasajeros cuando se construyen nuevas vías de tren de alta velocidad (HSR).	Peso reducido, mejor aerodinámica: aumento de la velocidad de 200 a 350 km/h.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

<b>Tecnología de la Información</b>	La gestión de carga mejora enormemente. Los sistemas de costos permiten una mejor fijación de precios. Comunicación digital. Identificación automática de equipos (AEI).	Sistema de venta de billetes y reservas eficiente. Comunicaciones digitales. Permite la maximización de ingresos.
<b>Intermodal</b>	Los rieles participan plenamente en las tendencias de contenerización.	Mejores conexiones con el transporte aéreo y autobuses.
<b>Eficiencia Energética</b>	La intensidad energética de EE. UU. se redujo a la mitad. Tracción CA en locomotoras diésel.	Tracción CA, controles de estado sólido. La intensidad energética del Shinkansen se redujo a la mitad.
<b>Trenes Pesados/ Mejor Infraestructura</b>	Mayor carga por eje, trenes más largos, locomotoras más grandes, metalurgia ferroviaria. El costo operativo/tonne-km de EE. UU. se redujo en 59\$ de 1978 a 2007.	Rieles soldados continuos reducen el mantenimiento y la energía.
<b>Señalización</b>	Mayor densidad de tráfico y mejora de la seguridad, las tasas de accidentes se reducen en 2/3.	Mejora de la capacidad y seguridad, especialmente con tráfico mixto de carga y pasajeros.

Fuente: Sharma, S. K., & Kumar, A. (2014).

El problema general identificado en grandes organizaciones de gestión de infraestructura recae en imposibilidad de optimización ya se por adherencia en reglamentos rígidos incompatibles con la modernización en la gestión de datos, haciendo que el mantenimiento de las infraestructuras ferroviarias se vuelva demasiado complicado y exageradamente grande para ser tratado, de forma que en algunos casos la alta definición y demasiado detalle, hace que los programas no se ejecuten en los tiempos programados, provocando los retrasos de análisis integral de toda la red o información parcial de la misma. Lo anterior, conlleva a que se destinen mayores tiempos y un problema en la optimización a gran escala (Aboudolas et al. 2010).

Uno de los inconvenientes al tratar de gestionar una red de infraestructura como es la de la industria ferroviaria, puede tomar tiempo y gestar la aversión a la digitalización de procesos necesarios para centrar análisis y estandarizar criterios que especialmente en el sector ferroviario pueden estar asociados a criterio local, igualmente las barreras de la digitalización de los procesos manuales crean conceptos errados al tratar de implantar la digitalización de las infraestructuras ferroviarias, afectando los trabajos de programación rutinaria y periódica. Sin embargo, estas ideas preconcebidas se distancian rápidamente con los requerimientos y la confiabilidad exigida para la

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

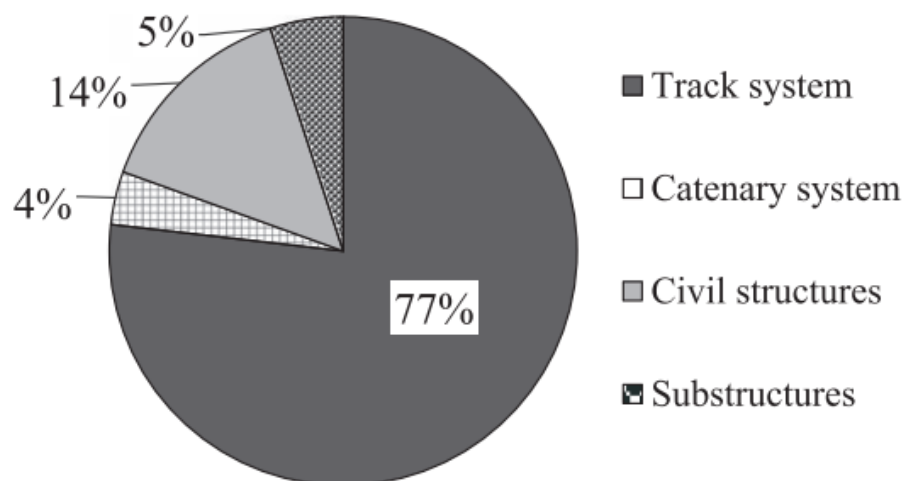
digitalización de las infraestructuras, su seguridad, confiabilidad, fiabilidad y ciberseguridad, puesto que los datos representan un activo tangible imprescindible para los operadores y prestadores de servicio.

Por otra parte, la implementación de gestión de activos basados en análisis de datos por inteligencia artificial, conlleva a la creación de nuevas capacidades dentro de las organizaciones, como de la técnica aplicada en la gestión de activos en la infraestructura, puesto que para el caso práctico, si bien se tienen estándares normativos internacionales, en materia de aplicación de normas, la gestión de infraestructuras carece de metodología propia, esto debido a la falta de estándares, metodología de trazabilidad e interpretabilidad en los resultados de metodologías complejas derivadas de la inteligencia artificial. Es decir que, los resultados son complejos y muchas veces difíciles de entender para los administradores y operadores, resultando en la no aplicación de la gestión digital de los activos, impidiendo así la explotación de un sistema de apoyo en la predicción, seguridad y confiabilidad.

Las redes ferroviarias en cualquier región demandan de una adecuada gestión de la infraestructura que garantice la seguridad y de una gestión de la operaciones confiable y eficiente, aumentando la capacidad de operaciones dentro de la red, asegurando unos costos mínimos en cada aspecto de la red. Es así que, a partir de la digitalización de la infraestructura y el desarrollo de aplicativos de análisis de datos, la inteligencia artificial ha desarrollado modelos analíticos, que permiten tener mayor número de variables de análisis y por ende mayor número de investigaciones al respecto, no obstante, la calidad de información repercute en la participación de análisis, obteniendo que las estructuras civiles y subestructuras contienen un 19% siendo éstas las estructuras críticas para la operación ferroviaria.

**Figura 20. Participación de IA en el sector ferroviario**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



Fuente: Wassamon Phusakulkajorn, Zili Li. 2023.

Para fomentar un desarrollo inteligente, eficiente y preciso en la inspección de puentes, el Instituto de Investigación de Puentes Ferroviarios de China, junto con universidades nacionales e internacionales, ha desarrollado una serie de equipos y tecnologías de detección avanzada. Utilizando robots inteligentes y vehículos aéreos no tripulados, han sustituido las inspecciones manuales tradicionales, permitiendo así acceder a las diversas partes complejas, ocultas y de gran altitud de los puentes. (JW Zhong et al., 2019).

Unmanned Aerial Vehicle- UAV equipado con diversos equipos para detección de puentes high-speed railway - HSR.

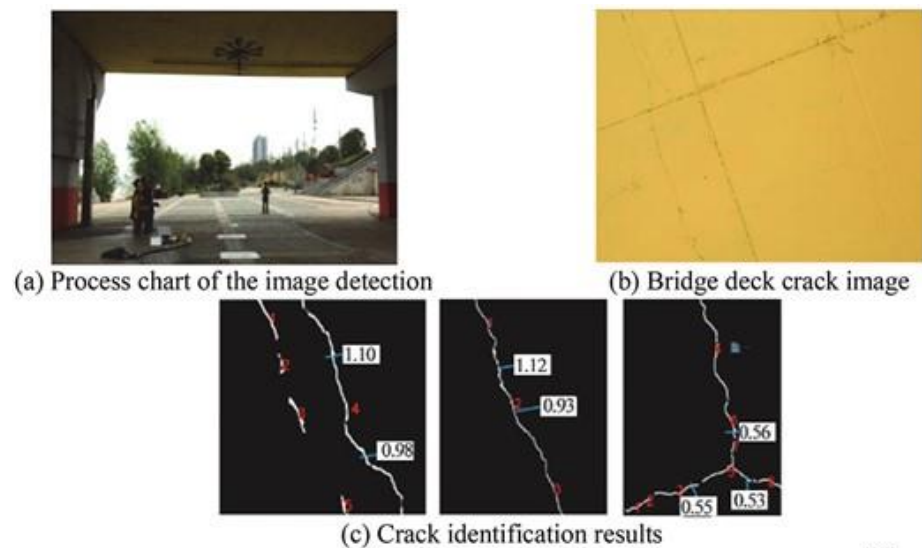
**Figura 21. Unmanned Aerial Vehicle- UAV**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



Yan Long, Zhang, 2022.

**Figura 22. Identificación del ancho de grietas de hormigón con imágenes adquiridas por vehículos aéreos no tripulados**



Fuente. (Zhong, 2019).

De acuerdo con los análisis expuestos, la etapa de operaciones y mantenimiento cuenta con la menor cantidad de estudios disponibles. Esta distribución evidencia los puntos críticos y a

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

fortalecer en la investigación, especialmente la de operaciones y mantenimiento, que podrían necesitar más atención para asegurar el buen desarrollo operativo como de beneficios a largo plazo de los proyectos de infraestructura de transporte. En general las metodologías y modelos de infraestructura ofrecen un importante valor de referencia para el desarrollo de grandes modelos especializados en el ámbito especializado de la infraestructura. (Yanliang Du, 2024)

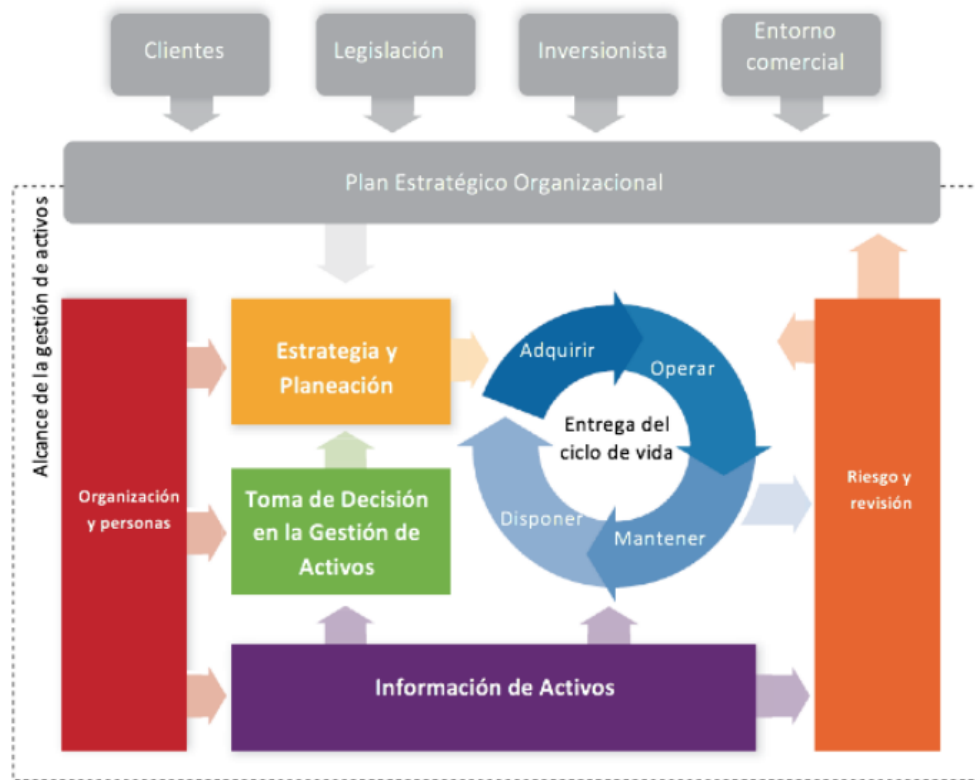
Ahora bien, la gestión de activos especializados en el sector ferroviario ha tenido una aplicación de mayor y menor impacto de acuerdo con las políticas públicas la cuales están estrechamente relacionadas con la propiedad de los activos es decir la infraestructura pública de transporte, para lo cual es necesario comprender las implicaciones sobre la posición del propietario de la infraestructura.

El Instituto de Gestión de Activos, Institute of Asset Management (IAM), en la publicación de Gestión de Activos: Una Anatomía, del estudio de la estructura o funcionamiento interno con el propósito de examinar y analizar sus partes, (2021), presentan la normativa 55001, sobre la gestión de activos, especifica con los que pueden ser captados y documentados de acuerdo con la ISO 55000, la relevancia en la aplicación de la gestión de activos, conocimientos y destrezas que la respaldan en la aplicación de instituciones en la administración para la gestión de activos.

En la propuesta del modelo de gestión de activos el IAM, considera que no existe un modelo único y estándar para caracterizar la gestión de activos, por tanto las organizaciones, empresas e instituciones de acuerdo con las necesidades y revisión de optimización de funcionamiento se encargan de implantar la gestión de activos bajo los principios de la organización, esto dado que la gestión de activos evoluciona y continuará evolucionando con la adaptación resiliente al cambio sostenible con el tiempo y circunstancias que surjan.

### **Figura 23. Modelo Conceptual de la gestión de activos IAM**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



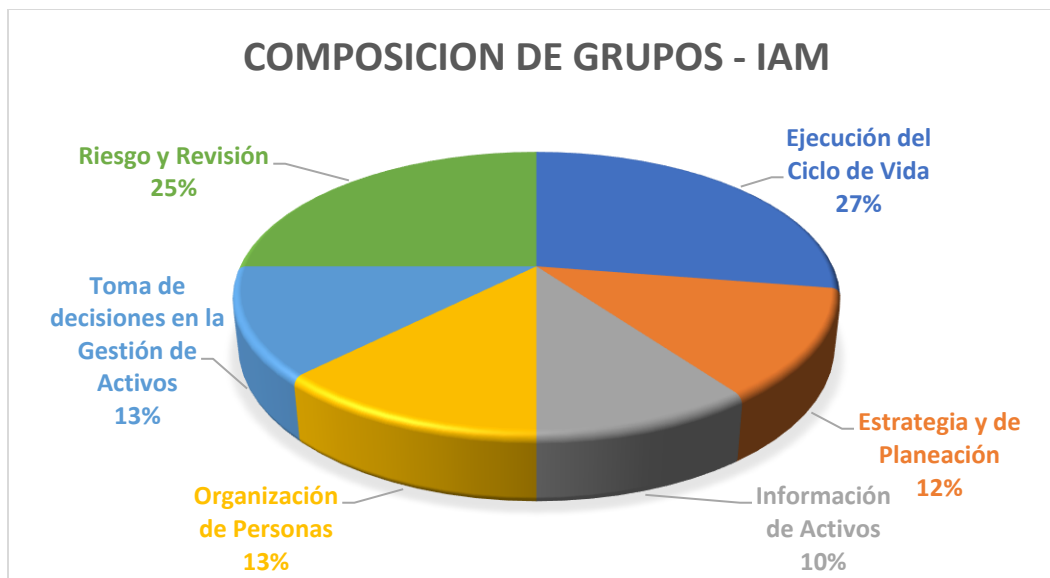
Fuente: IAM, 2021.

En el análisis de modelos de gestión de activos, el IAM, (2021), propone un modelo conceptual derivado del reconocimiento de las normas en los sistemas de gestión de activos, reconociendo e identificando los requisitos necesarios para su implementación, pero no explican cómo debe llevarse a cabo dicha gestión. Los temas están diseñados para respaldar el modelo conceptual y proporcionar una explicación más detallada de las actividades de gestión de activos.

De igual forma, la IAM (2021), presenta el modelo conceptual del IAM, descritos en el **anexo 1. Actividades marco para la gestión de activos – IAM**, para la gestión de activos que se compone de seis grupos principales, que abarcan un total de 39 temas relacionados con la gestión de activos.

**Figura 24. Composición de Grupos de actividades IAM**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



Fuente: Elaboración propia.

Para tomar como referencias los avances en implementación de planes para la gestión de activos ferroviarios, es necesario de hablar de políticas y normativas para con el mantenimiento de las infraestructuras, cómo la del Reino Unido, el cual tuvo su actualización en el año 2014, dirigida a la implementación de mantener la actualización y gestión periódica del estado de reporte de los servicios ferroviarios, adoptando las mejores prácticas en ferrocarriles en comparación con la Unión Europea, las cuales consisten en, áreas de competencia, planificación de las gestión, análisis de costos del ciclo de vida, mejoramiento de procesos en el reporte de información, así como la implementación de nuevos enfoques de la infraestructura para con el desarrollo sostenible, adaptación del clima, factores que permiten conocer y avanzar en el análisis predictivo, buscando la eliminar y prevenir tareas rutinarias del mantenimiento, creando una cultura de mantenimiento vital para los activos del sector ferroviario en la búsqueda de mayores beneficios y aprovechamiento de recursos, puesto que para el caso del Reino Unido la infraestructura es propiedad pública y la explotación corresponde a empresas o franquicias que se encargan de las actividades de servicios, no obstante la política de gestión de activos adoptada para el sector

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

ferroviario de Reino Unido, garantiza que las empresas desde su organización se alineen con el horizonte de planificación y vida de útil de las infraestructuras de servicios de transporte. (Network Rail, 2018).

En el Manual de Gestión de Activos Ferroviarios, de Stegmaier et. al. (2018), se presentan las fuentes de información necesaria para llegar al planteamiento inicial de gestión de activos en la industria ferroviaria, las cuales se caracterizan por fuentes de información primaria como es la recolección de datos mediante tomas directas que consisten en entrevistas, documentación de procesos, encuestas para los procesos que surten los activos físicos, y una segunda actividad de análisis de las fuentes secundarias como son los informes, reportes y documentos generados a partir de actividades establecidas para la gestión de los activos del servicio, como son los contratos, anexos, manuales, cartillas con los cuales se externalizan los servicios que por lo generan están medidos mediante indicadores de desempeño que reflejan la calidad esperada y el estado de activo real.

De igual forma, Stegmaier et. al. (2018), presenta la Gestión de Activos en la Industria Ferroviaria, como parte esencial de la industria ferroviaria, la cual por su naturaleza especializada requiere de especial tratamiento para con los procesos, de igual forma resalta la interés continuo y creciente de la industria ferroviaria en adoptar modelos de gestión de activos de forma holística en la optimización de procesos y mejoras en seguridad, calidad y eficiencia de los recursos, siempre alineada al modelo de prestación de servicio o negocio. Así mismo, concluye que para la gestión de activos, no existen un único modelo para el sector ferroviario, ya que las estrategias y ámbitos no suelen estar estandarizadas en la priorización de servicios, no obstante la gestión de activos en general y en el sector ferroviario, es posible analizarlos y compararlos mediante la adopción de estándares comunes como es la Norma ISO:5500X, que

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

establece la relación con las mejores prácticas en: objetivos, políticas, sistema de información, planificación, ejecución, procesos y servicios.

Famurewa, Stephen & Aditya, Parida & Kumar, Uday. (2015). El sistema de transporte ferroviario es complejo debido a su magnitud y extensión, por tanto, necesita un mantenimiento efectivo para garantizar un transporte seguro, económico y sostenible de pasajeros y mercancías. Igualmente señala, que la creciente demanda por mejorar la calidad del servicio y la capacidad demanda de un análisis propio para el mantenimiento adecuado en la búsqueda de optimizar continuamente el servicio de la infraestructura ferroviaria, proponiendo así una matriz de riesgos como método para identificar los cuellos de botella que limitan la capacidad operativa y la calidad. Además, propone un método de análisis de criticidad para elaborar una lista jerárquica de mejoras, abordando problemas de interrupciones del servicio y capacidad operativa reducida, según el análisis de estudio de la red ferroviaria sueca, clasificándola por zonas según su riesgo en los términos de pérdida de capacidad y puntualidad. De forma que elabora una lista de mejoras para el sistema de nivel básico, facilitando las decisiones de mantenimiento y promoviendo la mejora continua en a nivel operativo como en el estratégico. De forma que el análisis de mantenimiento esencial para la toma de decisiones sistemáticas y la mejora continua puede realizarse a un nivel más alto de contratación de la infraestructura ferroviaria utilizando indicadores cuantitativos que reflejen su credibilidad desde una perspectiva de mercado. en consecuencia, se la gestión de la infraestructura puede desarrollarse desde un análisis de criticidad de múltiples criterios para rutas y secciones de línea, combinando datos técnicos y operativos para identificar áreas críticas y optimizar la eficiencia del mantenimiento y por ende la gestión del activo.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

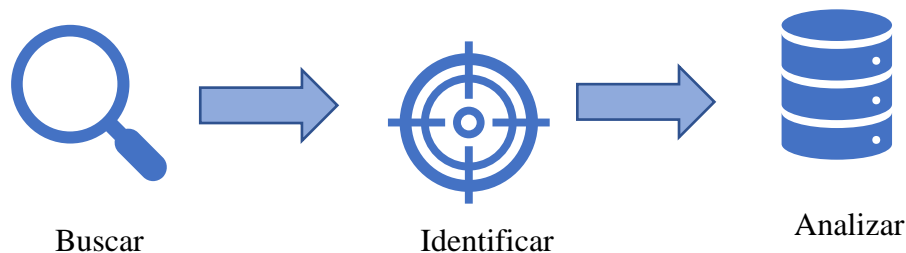
### **XII. Identificación del problema.**

¿Cuál es el estado y cómo se gestionan los activos ferroviarios de acuerdo con los estándares internacionales para la industria ferroviaria pública en Colombia?

### **XIII. Metodología**

Para el desarrollo de esta investigación se requiere efectuar la revisión de la información y documentación disponible, que para el caso colombiano es general sobre el estado del sector transporte a nivel nacional, así como el marco de regulación y normativas aplicables, lo cual conduce a reconocer e identificar los activos conexos y anexidades asociadas a la actividad transportadora ferroviaria en las modalidades que existan.

**Figura 25. Actividades del Objetivo 1**

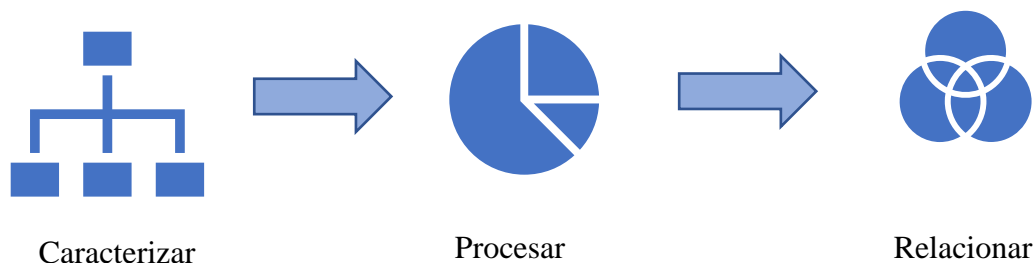


Fuente: Elaboración Propia.

Una vez es identificada información base de la situación actual asociada a la prestación deservicio de transporte y los activos asociados a este, se validará mediante análisis comparativos de procesos y estándares adoptados internacionalmente. Como paso siguiente y que corresponderá al tercer objetivo, que consiste en la configuración teórica de indicadores característicos para establecer correlaciones sobre los activos identificados, proceso que llevará a la propuesta de indicadores con base en el marco referencia y su aplicación de la industria ferroviaria.

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

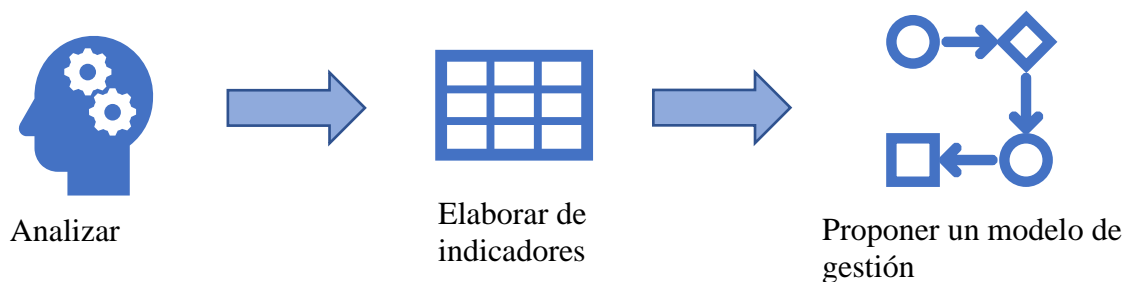
Figura 26. Actividades del Objetivo 2



Fuente: Elaboración Propia.

Para finalizar, y como etapa final, se analizarán los resultados obtenidos de la caracterización y la metodología implementada de indicadores de gestión de activos para la gestión estratégica de valor del activo en la planeación del transporte, permitiendo obtener un modelo de gestión estratégica de activos ferroviarios.

Figura 27. Actividades del Objetivo 3



Fuente: Elaboración Propia.

### XIV. Resultados

En el desarrollo del primer objetivo se identificaron los activos ferroviarios, tanto públicos como privados, los cuales están a cargo dentro de la organización administrativa del Ministerio de Transporte, el cual a su vez y por medio de una entidad adscrita ejecuta la titularidad de los

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

activos ferroviarios, comprendidos por cada uno de los corredores del inventario vial, derivado de la entrega de titularidad de la empresa estatal de ferrocarriles.

Es así, como el Instituto Nacional de Vías – INVIAS, tiene la titularidad de todos los activos ferroviarios públicos, sin embargo, esta entidad no dispone de metodología para la gestión de activos ferroviarios.

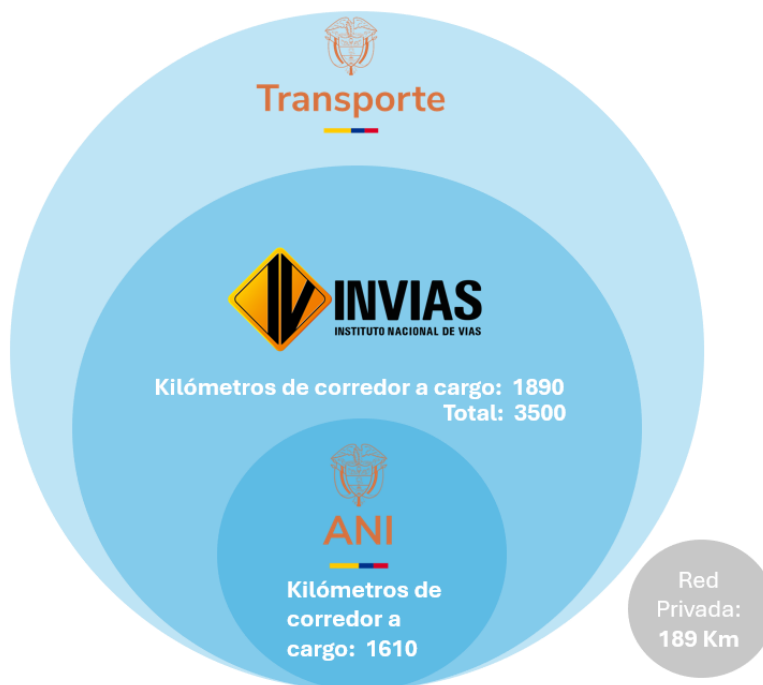
Por otra parte, dentro de las políticas estatales y la organización administrativa para la consecución de obras mediante de asociaciones publico privadas y de concesiones, inicialmente mediante el Instituto Nacional de Concesiones – INCO y posteriormente la Agencia Nacional de Infraestructura, como parte de las funciones y originarias de las concesiones ferroviarias de Empresa de Vías Férreas - Ferrovias, se desarrollaron los contratos de concesión por termino de treinta años, de los cuales uno se encuentra en ejecución con 200 kilómetros de corredor aproximadamente y 800 kilómetros se encuentran en contratos de mantenimiento.

Adicional, en Colombia se dispone de infraestructura privada la cual, es de titularidad de empresas las cuales derivan su actividad del transporte minero, las cuales no son objeto de presente estudio.

Por tanto, la identificación de activos ferroviarios y el reporte de información está a cargo del Ministerio de Transporte de Colombia a través del INVIAS, el cual mediante la titularidad de los corredores ferroviarios gestionada la información. Nos obstante se identifica que la ANI, al tener contratos de concesión y figuras de contrato de obra pública por administración, reporta datos sobre los activos, sin embargo, estos se limitan a la gestión contractual, distinta a la actividad de gestión de activos ferroviarios.

**Figura 28. Marco del universo de la información de activos ferroviarios en Colombia**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

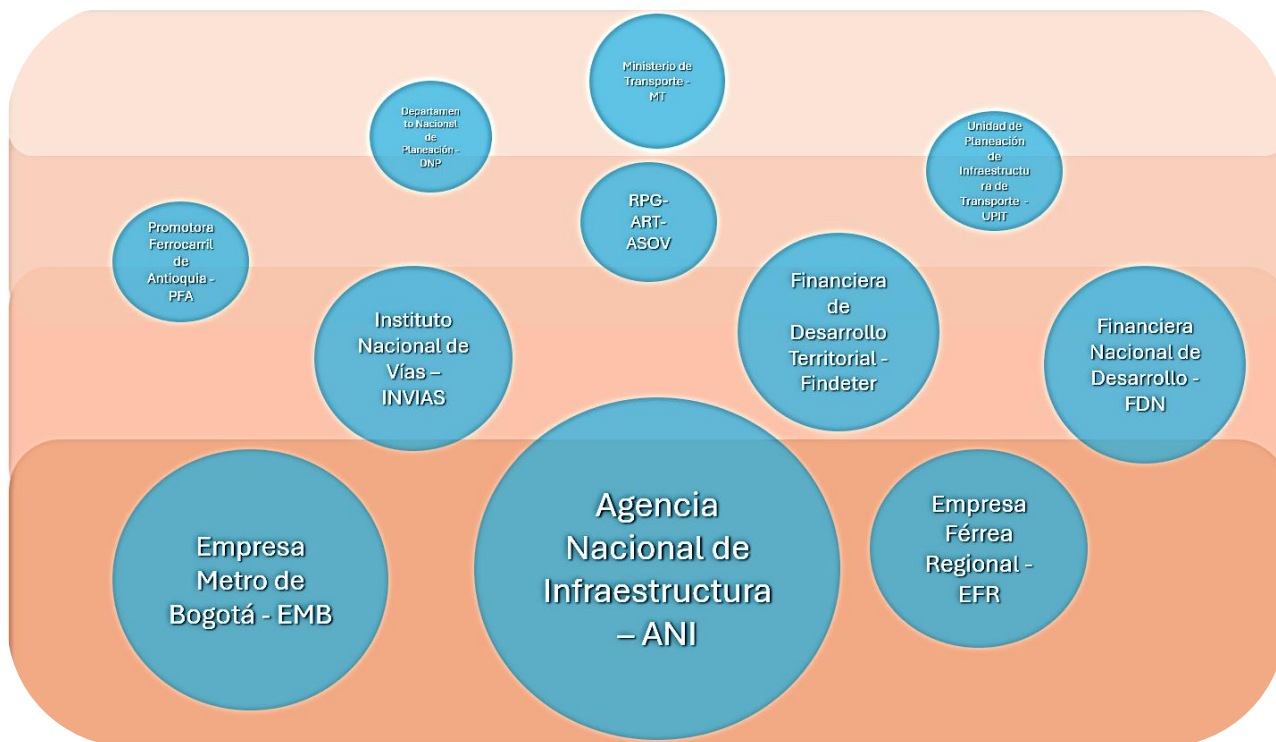


Fuente: Elaboración Propia.

De la información disponible en la plataforma del Sistema Electrónico para la Contratación Pública – SECOP, en Colombia se evidencia que, las entidades que se publicaron en algún proceso relacionado a la gestión de activos ferroviarios o actividades de: construcción, mantenimiento, operación y prestación del servicio de transporte, política e insumos para el sector ferroviario, las realizaron entidades públicas o de origen mixto, las cuales según el valor publicado se organizan por peso en el valor de la contratación y ejecución en los últimos 10 años, correspondiente con el análisis de publicación de norma ISO:55000 en el año 2014 e implementación por organizaciones, de lo anterior no se identifica las actividad específica en la adopción o implementación de procesos en la gestión de activos ferroviario. Igualmente, en la identificación de actores en la gestión de infraestructura se presenta en la figura 29. Sobre el peso que tiene cada entidad en valor de contrato adjudicados en infraestructura vial.

**Figura 29. Entidades mixtas o públicas en contratación de actividades ferroviarias**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

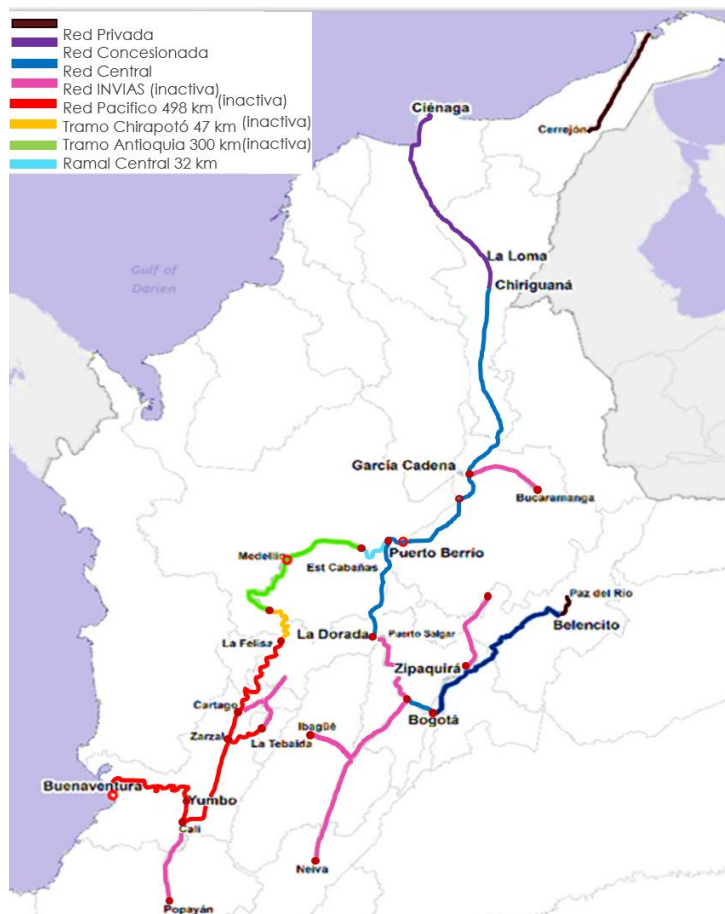


Fuente: Elaboración Propia.

En el desarrollo de la investigación, se determinará los procesos que permitirán proponer un modelo de gestión de activos identificados dentro de los activos conexos al servicio de transporte ferroviario por medio de la caracterización e implementación de indicadores, así mismo, en el desarrollo paralelo permitirá tener una base de información tratada en una estructuración jerarquizada que responderá a la atención de necesidad y optimización estratégica de la explotación de los bienes destinados para el servicio de transporte, finalizando con el resultado de la propuesta para gestionar el aprovechamiento de activos estratégicos de la red ferroviaria y la gestión pertinente de los diferentes activos asociados.

**Figura 30. Red Ferroviaria Colombiana con activos asociados**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



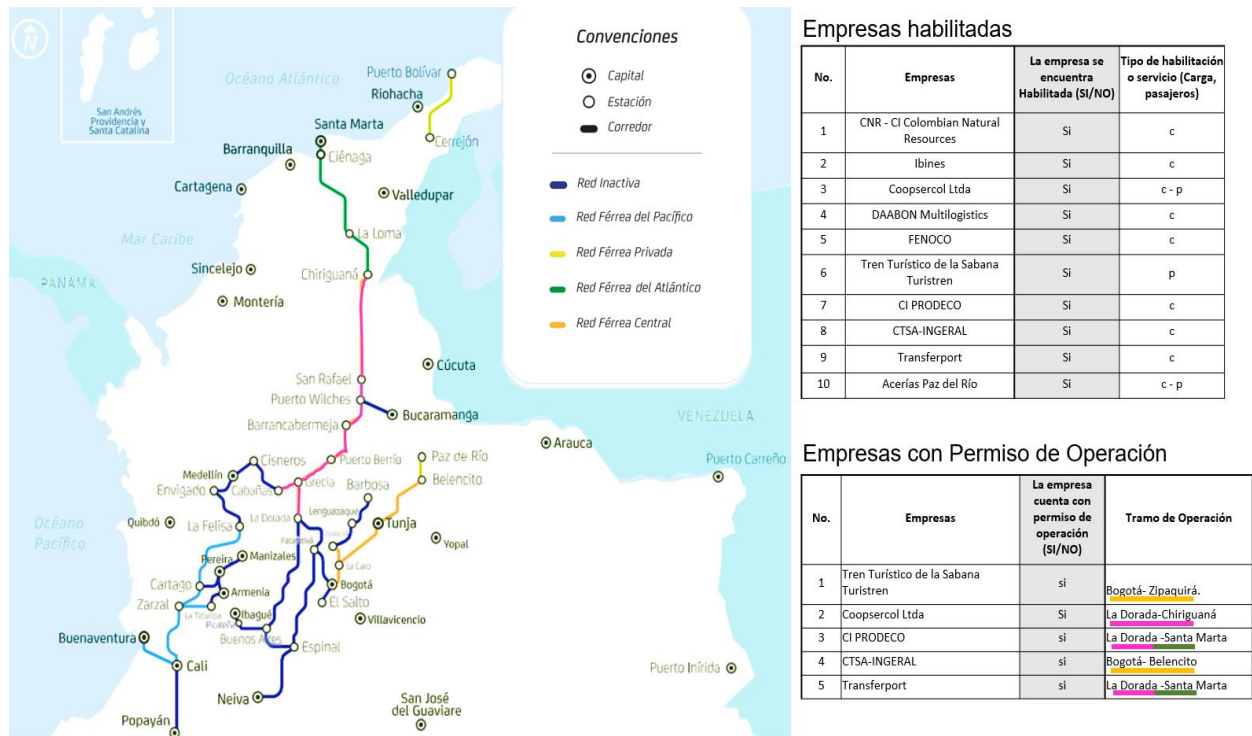
Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto a la identificación de servicios, de acuerdo con la normativa vigente en Colombia, la prestación del servicio ferroviario está regulado por las leyes 105 de 1993 y ley 336 de 1996, de forma que en Colombia la prestación del servicio de transporte deberá ser prestada por empresas debidamente habilitadas y obtención del permiso de operación, de acuerdo con el Decreto 3110 de 1996. De forma que las empresas habilitadas pueden prestar el servicio de transporte en la modalidad autorizada, en la red ferroviaria pública.

De la consulta de empresas habilitadas para la prestación de servicios ferroviarios públicos y el transporte privado en Colombia se dispone de universo finito, la cuales se de desagregan a continuación:

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

**Figura 31. Empresas Autorizadas para la prestación de servicios ferroviarios en Colombia**



Fuente: Elaboración Propia.

De las 10 empresas habilitadas en Colombia, 5 cuentan con autorización para la prestación del servicio de transporte público ferroviario, según lo establecido en el Decreto 1079 de 2015, Título 4. Transporte Ferroviario, título que establece los requisitos de los permisos de operación y habilitación:

### Requisitos de la Habilitación

- 1.1. Solicitud de habilitación con los datos de la empresa, modalidad, nombre y dirección
- 1.2. Pago de los derechos de habilitación empresa de transporte
- 1.3. Certificado de cámara de comercio
- 1.4. Copia del documento del representante legal
- 1.5. Certificado del personal vinculado a la empresa, según rol.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

- 1.6. Documento con el detalle de las sedes operativas e instalaciones y descripción del servicio.
- 1.7. Documento de certificación de capacidad o estados financieros
- 1.8. Documento con la descripción de la capacidad técnica de equipos y vinculación a la empresa
- 1.9. Documento con el programa de capacitación del personal técnico para el servicio
- 1.10. Documento de cumplimiento de condiciones de accesibilidad y comodidad para el servicio

### Requisitos del Permiso de operación

- 2.1. Solicitud del permiso de operación con los datos de la empresa, nombre y dirección
- 2.2. Certificado de cámara de comercio
- 2.3. Documento con el cumplimiento de equipos, en diseño y compatibilidad
- 2.4. Contrato de concesión, administración o uso de vía (terceros interesados)
- 2.5. Documento con el cumplimiento de seguridad
- 2.6. Documento con el programa de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos
- 2.7. Presentación de las fichas técnicas de mantenimiento de equipos
- 2.8. Documento de cumplimiento de normas internacionales para el transporte de mercancías
- 2.9. Certificación de cumplimiento de especificaciones técnico-mecánicas
- 2.10 Documentos del personal técnico y licencia de tripulantes
- 2.11 Póliza RCC, muerte, incapacidad total, temporal y gastos médicos de hospitalización
- 2.12 Póliza RCE, muerte, incapacidad total, temporal y gastos médicos de hospitalización
- 2.13 Póliza de CTM, daño o pérdida de mercancías.
- 2.14 Documento y certificación del sistema idóneo de información

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

- 2.15. Para el tercer año certificación ISO 9000 e ISO 14000
- 2.16. Documento y certificación del centro de control de tráfico para intercambio de información
- 2.17. Documento y certificación de conexión a los sistemas informativos
- 2.18. Documento de estimación de tarifas en términos de calidad, competitividad y seguridad.
- 2.19. Para mercancías peligrosas, deben cumplir con las normas internacionales en materia RID
- 2.20. Documento con los detalles de los servicios a prestar.

De forma, que la gestión de activos ferroviarios no es identificada como un requisito adoptado en la regulación vigente para la prestación del servicio ferroviario en Colombia, así mismo se identifica que las empresas no requieren la certificación de ninguna normativa adoptada para la gestión de activos.

De acuerdo con lo anterior, en Colombia no se dispone de una reglamentación o marco normativa adoptado para la gestión de activos en infraestructuras ferroviarias, lo cual es confirmado según el registro de certificaciones del Organización Internacional de Normalización, ISO/TC251 del Technical Committee for Asset Management, según el reporte para el año 2023 y con el informe del Global Forum on Maintenance and Asset Management (GFMAM) para abril de 2024.

En la implementación de la gestión de activos, la Organización Internacional de Normalización, ISO, cuenta con una familia de normas asociadas a las especialidades de las organizaciones según la industria, de forma que 337 empresas conforman el universo certificado por procesos

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

ISO 55000 para el año 2023. Igualmente es de precisa que el subregistro no es tenido en cuenta por cuanto la ISO 55001 es del 2014 y actualizada en julio de 2024.

Entre las organizaciones que han adoptado y certificado los procesos de gestión de sus activos, se resaltan las actividades de servicios esenciales como es el servicio de agua potable, aguas residuales, electricidad, gas, infraestructura de viviendas, fábricas de bienes y servicios, explotaciones mineras, infraestructura pública, servicios de consultoría, conocimiento y el transporte junto con el mantenimiento de procesos industriales, puertos, aeropuertos y ferrocarriles.

**Tabla 1. Organizaciones registradas en ISO 55000**

Sector	Región	Cuenta de Sector
Agua y aguas residuales	ASIA	32
	EUROPA	17
	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	9
	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	4
	LAS AMERICAS	3
	<b>Total Agua y aguas residuales</b>	
Asociación de vivienda	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	1
	<b>Total Asociación de vivienda</b>	<b>1</b>
Electricidad y gas	EUROPA	4
<b>Total Electricidad y gas</b>		<b>4</b>
Electricidad, agua	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	2
<b>Total Electricidad, agua</b>		<b>2</b>
Eléctrico	EUROPA	28
	LAS AMERICAS	17
	ASIA	14
	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	7
	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	3
	<b>Total Eléctrico</b>	
Fabricación	ASIA	4
	EUROPA	3
	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	1
<b>Total Fabricación</b>		<b>8</b>
Gas	EUROPA	9

**Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico  
infraestructuras ferroviarias**

<b>Sector</b>	<b>Región</b>	<b>Cuenta de Sector</b>
	LAS AMERICAS	1
	ASIA	1
<b>Total Gas</b>		<b>11</b>
<b>Gas de petróleo</b>	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	3
	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	3
	LAS AMERICAS	1
	ASIA	1
	EUROPA	1
<b>Total Gas de petróleo</b>		<b>9</b>
<b>Gestión de las instalaciones</b>	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	19
	EUROPA	16
	LAS AMERICAS	4
	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	3
	ASIA	1
<b>Total Gestión de las instalaciones</b>		<b>43</b>
<b>Gestión de residuos</b>	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	1
<b>Total Gestión de residuos</b>		<b>1</b>
<b>Gobierno</b>	EUROPA	6
	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	1
	ASIA	1
<b>Total Gobierno</b>		<b>8</b>
<b>Infraestructura</b>	ASIA	11
	EUROPA	11
	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	4
	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	1
<b>Total Infraestructura</b>		<b>27</b>
<b>Ingeniería</b>	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	9
	ASIA	8
	EUROPA	5
<b>Total Ingeniería</b>		<b>22</b>
<b>Ingeniería y construcción</b>	EUROPA	3
<b>Total Ingeniería y construcción</b>		<b>3</b>
<b>Mantenimiento de procesos industriales</b>	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	1
<b>Total Mantenimiento de procesos industriales</b>		<b>1</b>
<b>Minería</b>	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	5
	LAS AMERICAS	4

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

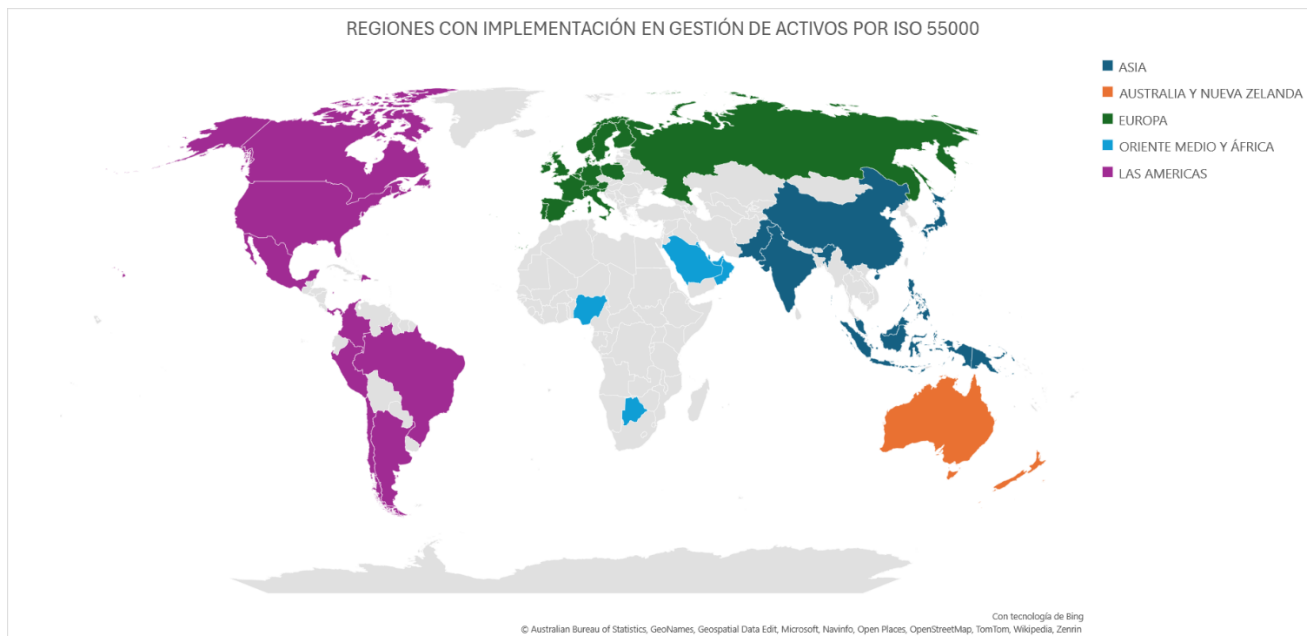
Sector	Región	Cuenta de Sector
	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	2
	EUROPA	1
<b>Total Minería</b>		<b>12</b>
<b>Petroquímico</b>	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	3
	ASIA	1
<b>Total Petroquímico</b>		<b>4</b>
<b>Proceso</b>	ASIA	1
<b>Total Proceso</b>		<b>1</b>
<b>Productos farmacéuticos</b>	EUROPA	1
<b>Total Productos farmacéuticos</b>		<b>1</b>
<b>Puertos y aeropuertos</b>	EUROPA	8
	ASIA	3
	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	2
	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	2
	LAS AMERICAS	1
<b>Total Puertos y aeropuertos</b>		<b>16</b>
<b>Servicios de salud</b>	LAS AMERICAS	2
	ASIA	1
<b>Total Servicios de salud</b>		<b>3</b>
<b>Transporte</b>	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	16
	EUROPA	6
	ASIA	3
	LAS AMERICAS	1
<b>Total Transporte</b>		<b>26</b>
<b>Total general</b>		<b>337</b>

*Nota:* Elaboración Propia

Es así como la adopción de la ISO 55000 está presente en los todos los continentes que cuentan con organizaciones que proveen servicios.

**Figura 32. Gestión de Activos a Nivel Global ISO 55000**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



Fuente: Elaboración Propia.

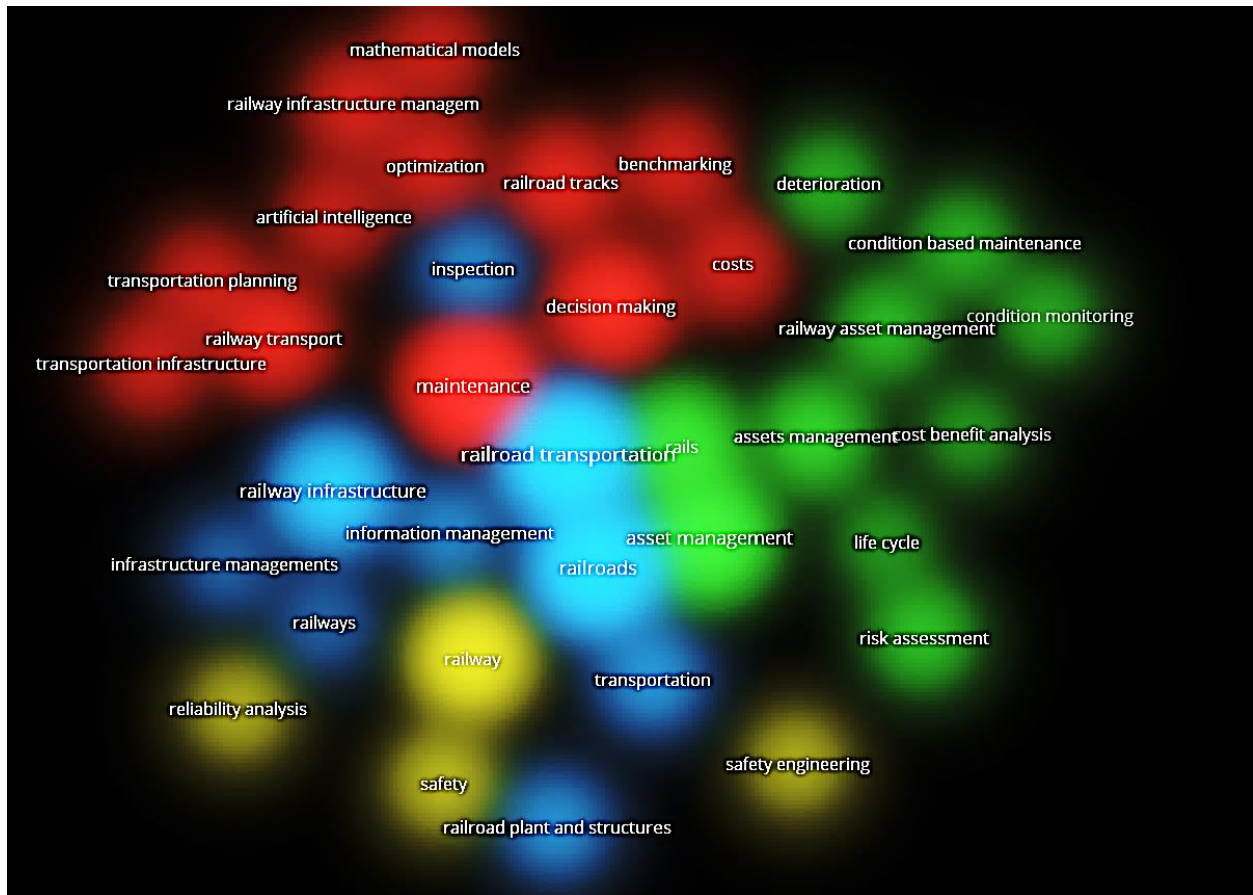
No obstante, la participación analizada por países y organizaciones y servicios especializados varía según la región del país, siendo los servicios públicos, empresas públicas e infraestructuras estratégicas las cuentan con la gestión de activos.

De acuerdo con el análisis de información de investigaciones la gestión de activos ferroviarios estas se centran en clúster de investigación por artículos publicados, estos se identifican: 1. Transporte ferroviario en color azul, 2. Gestión de la infraestructura ferroviaria en color rojo, 3. Gestión del mantenimiento en color verde y seguridad ferroviaria en color amarillo.

En correlación por algoritmo de aplicación de la gestión de activos en los ferrocarriles las investigaciones resaltan las palabras claves como: gestión de activos ferroviarios, seguridad, gestión de la infraestructura y planeación de servicio de transporte.

**Figura 33. Identificar de Clúster por investigaciones**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



Fuente: Elaboración Propia a partir de Vosviewer.

De acuerdo con la anterior, la correlación e interrelación para gestión de activos ferroviarios, está determinada bajo los clústeres identificados cómo más relevantes en la gestión de activos, por consiguiente, la relación con la adopción de empresas y servicios estratégicos para infraestructuras ferroviarias se caracteriza en organizaciones con actividades descritas en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Gestión de Activos por sector a nivel global certificados en ISO**

Sector	Cuenta de Sector
Eléctrico	69
Agua y aguas residuales	65
Gestión de las instalaciones	43
Infraestructura	27
Transporte	26

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Sector	Cuenta de Sector
Ingeniería	22
Puertos y aeropuertos	16
Minería	12
Gas	11
Gas de petróleo	9
Fabricación	8
Gobierno	8
Electricidad y gas	4
Petroquímico	4
Servicios de salud	3
Ingeniería y construcción	3
Electricidad, agua	2
Productos farmacéuticos	1
Gestión de residuos	1
Asociación de vivienda	1
Proceso	1
<b>Total general</b>	<b>337</b>

*Nota:* Elaboración Propia

La gestión de activos por organizaciones a nivel global tiene mayor acogida en los sectores de servicios eléctricos, agua, instalaciones, infraestructura y transporte seguido por los servicios de ingeniería, puertos y aeropuertos como fabricación y gobierno, son actividades asociadas a la infraestructura estratégica de servicios esenciales y de alto impacto como son los servicios ferroviarios. De las actividades descritas y de acuerdo con el marco de la investigación se establece las interrelaciones para con estas actividades, por tanto, la adopción de la normativa ISO para con el sector ferroviario pasa del universo de las 337 organizaciones certificadas en ISO 55000 a 153 organizaciones certificadas en gestión de la infraestructura, transporte, ingeniería y gobierno, según la especialización del servicio registrado ante ISO.

### **Tabla 3. Organizaciones relacionadas al sector ferroviario**

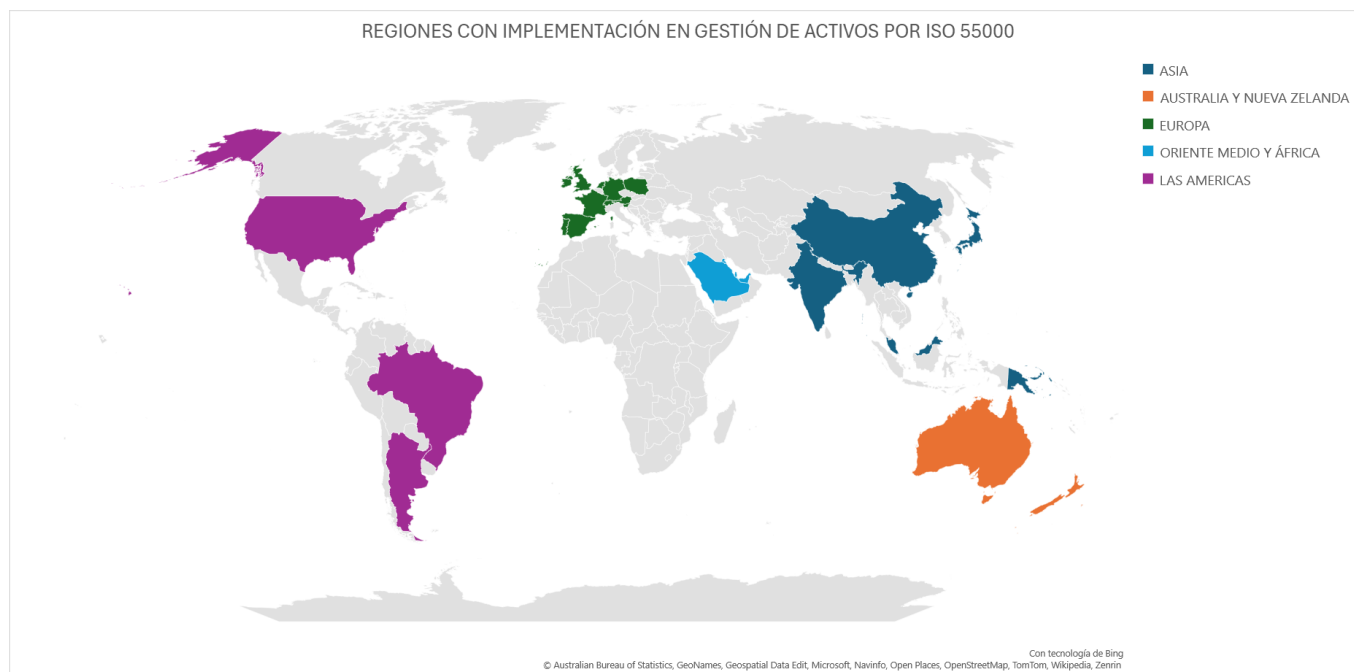
## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Sector / actividad	Cuenta de Región					Total general
	EUROPA	AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	ASIA	ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	LAS AMERICAS	
Gestión de las instalaciones	16	19	1	3	4	43
Infraestructura	11	4	11	1		27
Transporte	6	16	3		1	26
Ingeniería	5	9	8			22
Puertos y aeropuertos	8	2	3	2	1	16
Fabricación	3		4	1		8
Gobierno	6		1	1		8
Ingeniería y construcción	3					3
<b>Total general</b>	<b>58</b>	<b>50</b>	<b>31</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>153</b>

Fuente: Elaboración Propia

De las actividades relacionadas con la gestión de activos ferroviarios se tiene que la participación por región y país es más relevante a la calidad de los servicios y confiabilidad de estos, representados en la siguiente figura.

**Figura 34. Países con gestión de activos relacionados con la infraestructura**



Fuente: Elaboración Propia.

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

De la información reportada por las empresas a la Organización Internacional de Normalización – ISO y verificada con la información reportada en el informe de 2024 del Foro global para el mantenimiento y gestión de activos, Global Forum on Maintenance and Asset Management (GFMAM), las empresas u organizaciones e instituciones que cuentan con la ISO 55000 son 48, en la que se resalta la amplia adopción de la normativa para la gestión de la infraestructura y servicios de transporte, en países como Australia, Japón, Países Bajos, Reino Unido y Emiratos Árabes, ocupando los primeros cinco puestos en la lista de países con esta certificación.

**Figura 35. Países por número de certificación ISO 55000 en AM en Transporte**



*Nota:* Elaboración Propia

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Por otra parte, el facto de la ISO 55000 es adoptada en el resto de los países según la necesidad organizacional, en actividades como gestión de instalaciones, Ingeniería, Puertos y Aeropuertos, Gobierno y Transporte, de forma que el espectro de países aumenta al considerar la variedad de certificaciones en AM para la gestión de la infraestructura y servicios relacionados al transporte.

**Tabla 4. Países por certificación ISO:55000**

<b>Factor</b>	<b>País</b>	<b>Organizaciones</b>
Transporte	Australia	48
Transporte	Países Bajos	29
Infraestructura	Japón	20
Ingeniería	Reino Unido	14
Gestión de las instalaciones	Emiratos Árabes Unidos	5
Ingeniería	España	4
Gobierno	Portugal	4
Transporte	Estados Unidos	3
Puertos y aeropuertos	India	3
Gestión de las instalaciones	Argentina	2
Transporte	Hong Kong	2
Ingeniería	Nueva Zelanda	2
	República Popular	
Fabricación	China	2
Transporte	Singapur	2
Gobierno	Alemania	1
Fabricación	Arabia Saudita	1
Fabricación	Austria	1
Gestión de las instalaciones	Brasil	1
Puertos y aeropuertos	Catar	1
Gestión de las instalaciones	Eslovenia	1
Gestión de las instalaciones	Francia	1
Puertos y aeropuertos	Irlanda	1
Gestión de las instalaciones	Kuwait	1
Puertos y aeropuertos	Malasia	1
Ingeniería	Papúa Nueva Guinea	1

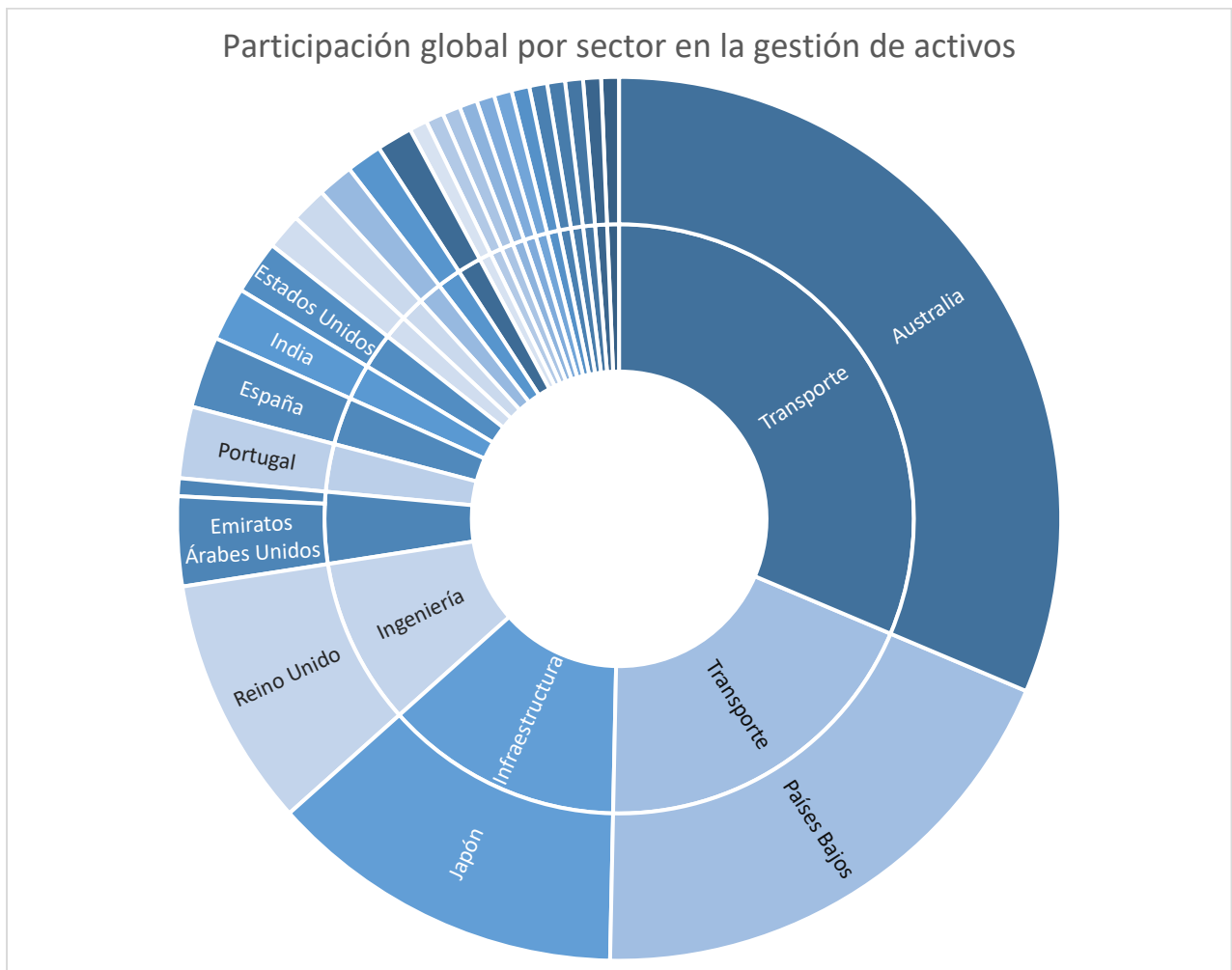
## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Factor	País	Organizaciones
Gestión de las instalaciones	Polonia	1
Puertos y aeropuertos	Suiza	1
	<b>Total</b>	<b>153</b>

Fuente: Elaboración Propia

En el análisis de participación, el transporte y la infraestructura representan una alta participación para las organizaciones que se certifican en la gestión de activos, representando más del sesenta por ciento entre la gestión de la infraestructura, el transporte y la ingeniería para servicios, en la siguiente figura se presentan la participación por sector y país de acuerdo con el reporte de la ISO.

**Figura 36. Participación de países por sectores en AM**



## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Fuente: Elaboración Propia

### **Propuesta del modelo de gestión estratégica de activos ferroviarios**

De acuerdo con el análisis expuesto, la gestión de activos ferroviarios, tanto físicos como intangibles, para la infraestructura como para los servicios, no tiene una estructura común adoptada, igualmente la adopción en Colombia no es generalizada por cuanto no se reportan empresas u organizaciones certificadas en la normativa ISO en el sector de la gestión de la infraestructura de servicios de transporte, es así como desde esta investigación se propone un modelo de gestión de activos estratégico, para la toma de decisiones por medio de indicadores cualitativos, para el sector ferroviario.

Para la propuesta de selección de activos gestionables en la industria ferroviaria, el Instituto de Gestión de Activos, Institute of Asset Management – IAM, presenta la anatomía de la gestión de activos, basado en el estudio de la estructura funcional de las organizaciones, de acuerdo con la primera publicación en el año 2011 y su posterior revisión en el año 2014, en la cual se especifica la documentación para la gestión de activos y la capacidad para la implementación para promover los activos físicos en la promoción de los servicios.

De forma que, la propuesta de modelo de gestión de activos para el sector ferroviario aplicado al caso colombiano, enfocado a la gestión de activos físicos que requieren de conocimiento técnico especializado por la forma en que se comportan, algunas de estas características:

- Los sistemas de activos son complejos ya sea por la frecuencia de reporte de datos, calidad y diversidad de reportes, intermitencia en el reporte y vacíos que proceden efecto domino para análisis de comportamiento de los activos.
- El sistema implementado para la gestión de activos debe ser un sistema que se actualiza con los cambios, debe ser dinámico y debe cambiar rápidamente.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

- Se deben conocer los activos, las características esenciales de operatividad, funcionalidad y vida útil, desde la concepción, planeación, construcción, puesta en servicio y mantenimiento, cumpliendo el ciclo de vida del activo, en el horizonte de corto, mediano y largo plazo, como es para infraestructuras estratégicas hasta los cien años.
- Los activos requieren de indicadores visuales y de conocimiento específico, por tanto, no deben ser monitoreados, analizados y diagnosticados.
- Los activos son técnicos, y su gestión demanda conocimiento especializado y detallado basado en la ciencia y la ingeniería.

**Figura 37. Jerarquía de un activo en la Gestión Integrada - AM**



Fuente: IAM, (2021).

Para la propuesta del modelo de la gestión de activos, se considera la inclusión recomendada por el IAM, en la inclusión de políticas, planes, procesos, prácticas y procedimientos para el reporte de la información que permiten la implementación de la gestión de activos, al igual que garantiza el seguimiento continuo, monitoreado y controlado en la visualización de los cambios

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

medibles y rastreables para el aseguramiento de los niveles adoptados por la organización en armonía con la demás normativa de estándares de calidad y seguridad, como es el caso del modelo conceptual recomendado por el IAM, el cual se presente en la siguiente figura, resaltando el proceso de identificación, creación, selección y concepción para la puesta en funcionamiento, por adquisición, construcción, elaboración, operación, servicio, mantenimiento, reposición, remplazo y gestión residual del activo.

**Figura 38. Modelos de Gestión de Activos del IAM**



Fuente: IAM, (2021).

Para propuesta para la implementación de la Gestión de Activos en la industria ferroviaria, enfocada en la infraestructura y servicios de transporte, presentada por el AIM en su informe, establece lineamientos para la individualización de activos. Estos lineamientos se basan en el análisis de la operatividad del ecosistema ferroviario, integrando infraestructura y servicios. Además, propone indicadores de impacto y niveles de análisis basados en normativa internacional de gestión de activos, permitiendo una evaluación precisa del desempeño y sostenibilidad del sector ferroviario.

**Tabla 5. Niveles de impacto en los activos en su aplicación**

Nivel de Impacto	Descripción
1 – Ningún Impacto	El impacto analizado no repercute directamente en la prestación del servicio en el largo plazo

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Nivel de Impacto	Descripción
2 – Disminución esporádica o mínima	El impacto analizado repercute en la prestación de servicios identificados por la organización en el mediano o largo plazo.
3 – Capacidad puede decaer	El impacto analizado repercute y percibido por externos a la organización y afecta el activo y la prestación del servicio en el mediano plazo.
4 – Capacidad se reduce notablemente	El impacto analizado repercute y evidente por la organización y externos afectando el servicio y activos en el corto plazo.
5 - Capacidad de gravemente comprometida	El impacto analizado repercute de forma cebera y compromete gravemente la percepción del activo y servicio inmediato.

Fuente: Elaboración Propia

Propiamente la gestión adecuada de los activos ferroviarios es fundamental para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad del sistema ferroviario de acuerdo con la Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad - RAMS (Reliability, Availability, Maintainability & Safety). Por tanto, cada categoría de activos tiene un impacto significativo en diferentes horizontes de tiempo, y su manejo eficaz es estratégico para asegurar la operatividad y competitividad del sector ferroviario a corto, mediano y largo plazo, requiriendo definir la importancia de las categorías de activos en la gestión ferroviaria, la cual se presentes a continuación.

**Tabla 6. Nivel de impacto en el sector ferroviario por gestión en el tiempo**

Nivel de impacto en el tiempo	0 a 5 años	5 a 15 años	15 a 50 años
Componente del sector ferroviario	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
<b>Infraestructura:</b> incluye las obras civiles como: vías industriales, puentes, viaductos, túneles y estaciones, playas e infraestructura de transporte.	Mejor mantenimiento reduce riesgos de accidentes y mejora la puntualidad y cumplimientos de servicios.	Optimiza los costos de operación y mantenimiento, evitando reparaciones mayores.	Prolonga la vida útil de la infraestructura, asegurando la sostenibilidad del sistema ferroviario.
<b>Superestructura:</b> Incluye los elementos como los rieles, traviesas, balasto, fijaciones y elementos de la superestructura.	Minimiza interrupciones y mejora la calidad del servicio.	Reduce el desgaste y evita la reposición temprana de componentes.	Aumenta la durabilidad de los componentes, disminuyendo la frecuencia de renovaciones

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Nivel de impacto en el tiempo	0 a 5 años	5 a 15 años	15 a 50 años
Componente del sector ferroviario	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
<b>Material Rodante:</b> Incluye locomotoras, vagones y otros vehículos y equipos, para cada uno de los servicios.	Mejora la disponibilidad y fiabilidad del servicio.	Optimiza los costos de mantenimiento y operación.	Asegura la actualización tecnológica y la adaptación a nuevas normativas y demandas.
<b>Sistemas de Comunicación, Señalización y Seguridad:</b> incluye sistemas que garantizan la seguridad y eficiencia en la gestión del tráfico ferroviario, permitiendo una operación coordinada y segura.	Reduce el riesgo de accidentes y mejora la gestión y cumplimiento de la planificación de operaciones.	Mejora la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta ante incidencias.	Facilita la implementación de tecnologías predictivas avanzadas y mejora la capacidad del sistema ferroviario.
<b>Servicios:</b> incluye los servicios del clúster del sector ferroviario en la gestión de los activos y creación de valor I+D+i	Mejora la experiencia del usuario y la calidad del servicio creando valor a maximizar	Aumenta el valor de los activos mediante la medición de la satisfacción y fidelidad de los usuarios con captura del valor	Agrega valor y contribuye a la sostenibilidad del sistema y la imagen corporativa de la ferroviaria y gestión del conocimiento

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el análisis de sensibilidad en el rango numérico de uno (1) a cinco (5), en la propuesta de la gestión de activos ferroviarios permite evaluar el riesgo asociado a cada tipo de activo e implementación de la gestión de manera sistemática y consistente. Este enfoque proporciona una herramienta que permite identificar la toma de decisiones estratégicas y priorización de intervenciones e implementaciones.

**Tabla 7. Nivel de riesgo para la gestión de activos ferroviarios**

Categoría	Infraestructura	Superestructura	Material Rodante	Sistemas de Comunicación, Señalización y Seguridad	Servicios
<b>Riesgo 1</b>	Infraestructura en condiciones óptimas. Mínimo riesgo de fallas requiere mantenimiento rutinario.	Superestructura en perfectas condiciones. Mínimo riesgo de fallas.	Material rodante en condiciones excelentes. Mínimo riesgo de fallas.	Sistemas en condiciones óptimas. Mínimo riesgo de fallas.	Servicios en condiciones óptimas. Mínimo riesgo de retrasos e incumplimientos
<b>Riesgo 2</b>	Pequeñas deficiencias detectadas. Requiere intervenciones menores para evitar deterioro.	Deficiencias leves que requieren mantenimiento regular.	Problemas menores que requieren mantenimiento periódico.	Problemas menores que requieren ajustes y mantenimiento.	Problemas menores que requieren ajustes y mantenimiento, incumplimiento previsible

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Categoría	Infraestructura	Superestructura	Material Rodante	Sistemas de Comunicación, Señalización y Seguridad	Servicios
<b>Riesgo 3</b>	Deficiencias moderadas. Necesita reparación para mantener la operatividad y seguridad.	Problemas moderados que necesitan reparaciones para evitar fallas futuras.	Deficiencias moderadas que necesitan reparaciones para asegurar la operatividad.	Deficiencias moderadas que necesitan reparación para asegurar la operatividad.	Deficiencias moderadas que necesitan reparación para asegurar la calidad del servicio e incumplimiento gestionable
<b>Riesgo 4</b>	Condiciones críticas que afectan la operación. Requiere intervención urgente.	Condiciones críticas que pueden causar interrupciones e intervenciones programadas.	Condiciones críticas que afectan la seguridad y requieren intervención inmediata.	Condiciones críticas que pueden afectar la seguridad y eficiencia operativa.	Condiciones críticas que afectan la experiencia del usuario y la eficiencia operativa, incumplimiento gestionable inminente
<b>Riesgo 5</b>	Infraestructura en estado muy crítico. Alto riesgo de fallas mayores necesita intervención inmediata.	Estado muy crítico, alto riesgo de fallas graves, requiere atención inmediata.	Estado muy crítico, alto riesgo de fallas mayores, necesita reemplazo o intervención imperiosa.	Estado muy crítico, alto riesgo de fallas mayores, requiere intervención inmediata.	estado muy crítico, alto riesgo de interrupciones significativas requiere intervención urgente. Incumplimiento

Fuente: Elaboración Propia

De los niveles descritos en las tablas No. 6 y 7, se construya el modelo por indicadores de acuerdo con la lista definida por el IAM, 2021 y presentada en el anexo 1, adicional se incluye un indicador para los activos intangibles para la Gestión del conocimiento y desarrollo saberes, de forma que el modelo propuesto se enfoca en el desempeño y el impacto para las cinco categorías a través de indicadores específicos de cumplimiento. Estos indicadores a su vez indicadores pueden ser medidos cuantitativa o cualitativamente en los cinco aspectos infraestructura, material rodante, sistemas de comunicación, y servicios. Lo anterior en función de la capacidad de implementación con el impacto que conlleva en el tiempo.

**Tabla 8. Propuesta de Modelo de Gestión de Activos Estratégicos Ferroviarios**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

No .	Nombre del Indicador	Categoría	Indicador para el sector ferroviario planteado	Nivel de impacto en los (activos)	Infraestructura	Superestructura	Material Rodante	Sistemas de Comunicación y señalización	Servicios	Impacto en el tiempo
1	Políticas de la gestión de activos	Estrategia y de Planeación	Adopción del Plan Estratégico para la Gestión de Activos (PEGA).	3 – Capacidad puede decaer	4	3	4	3	3	Mediano
2	Estrategias y objetivos de la gestión de activos	Estrategia y de Planeación	Plan de Adopción de la normativa ISO:55000 en cumplimiento del PEGA y ejecución del Sistema de Gestión de Activos SGA.	1 – Ningún Impacto	2	2	4	3	5	Corto
3	Análisis de la demanda	Estrategia y de Planeación	Sistema de Indicadores Claves de Rendimiento - SKPI.	4 – Capacidad se reduce notablemente	4	4	3	3	5	Mediano
4	Planeación estratégica	Estrategia y de Planeación	Identificación de Planes y Procesos para la Planeación Estrategia de los Activos a incluir en PEGA.	3 – Capacidad puede decaer	3	3	3	3	3	Mediano
5	Planeación de la gestión de activos	Estrategia y de Planeación	Identificación de actividades y responsables directos con asignaciones propias de los activos.	2 – Disminución esporádica o mínima	5	5	5	4	5	Corto
6	Toma de decisiones en inversiones de capital	Toma de decisiones en la Gestión de Activos	Sistema de procesos para la toma de decisiones y asignaciones en la priorización por resultados de SKPI y cumplimiento del PEGA.	3 – Capacidad puede decaer	4	3	5	4	3	Corto

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

No .	Nombre del Indicador	Categoría	Indicador para el sector ferroviario planteado	Nivel de impacto en los (activos)	Infraestructura	Superestructura	Material Rodante	Sistemas de Comunicación y señalización	Servicios	Impacto en el tiempo
7	Toma de decisiones en operaciones y mantenimiento	Toma de decisiones en la Gestión de Activos	Sistema de identificación, registro y seguimiento de requerimientos operacionales y mantenimiento en cumplimiento del PEGA	5 - Capacidad de gravemente comprometida	5	5	4	4	3	Corto
8	Realización del valor en el ciclo de vida	Toma de decisiones en la Gestión de Activos	Programa con el sistema organizacional para el registro de planes de adquisición, reposición y costeo y valoración de los activos.	4 – Capacidad se reduce notablemente	2	3	5	3	1	Mediano
9	Estrategia de recursos	Toma de decisiones en la Gestión de Activos	Sistema de identificación de capacidades por actividades, en cumplimiento del PEGA	2 – Disminución esporádica o mínima	3	3	4	3	5	Mediano
10	Estrategia de desconexiones e interrupciones	Toma de decisiones en la Gestión de Activos	Sistema de identificación y atención de eventos, creación, registro, seguimiento e intervención de interrupciones programadas.	3 – Capacidad puede decaer	3	4	4	5	5	Corto
11	Normas técnicas y legislación	Ejecución del Ciclo de Vida	Adopción, aplicación y desarrollo de normativas, estándares y practicas pertinentes para los activos	12 – Disminución esporádica o mínima	4	3	4	5	1	Corto
12	Creación y adquisición de activos	Ejecución del Ciclo de Vida	Creación y desarrollo de capacidades en la organización para los clústeres para el objetivo del servicio	4 – Capacidad se reduce notablemente	2	2	3	1	2	Largo

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

No .	Nombre del Indicador	Categoría	Indicador para el sector ferroviario planteado	Nivel de impacto en los (activos)	Infraestructura	Superestructura	Material Rodante	Sistemas de Comunicación y señalización	Servicios	Impacto en el tiempo
13	Ingeniería de sistemas	Ejecución del Ciclo de Vida	Programa de objetivos para la estandarización de desarrollo de valor de los activos y gestión de adquisiciones.	1 – Ningún Impacto	2	2	1	2	1	Mediano
14	Gestión de la configuración	Ejecución del Ciclo de Vida	Sistema de registro del valor de los datos para los activos y desarrollo de productos y diseños funcionales y operacionales en la vida del activo.	4 – Capacidad se reduce notablemente	3	3	2	2	2	Corto
15	Ejecución del mantenimiento	Ejecución del Ciclo de Vida	Programa con el sistema para la gestión del mantenimiento predictivo y correctivo especializado por el seguimiento del SKPI.	5 - Capacidad de gravemente comprometida	3	3	4	5	5	Corto
16	Ingeniería de confiabilidad	Ejecución del Ciclo de Vida	Sistema de asignación y seguimiento en el cumplimiento de estándares específicos para cada activo a lo largo del ciclo de vida.	3 – Capacidad puede decaer	3	3	4	3	2	Mediano
17	Operaciones de los activos	Ejecución del Ciclo de Vida	Aplicación de seguimiento a las actividades operativas en el SKPI adecuados a las actividades de la organización	4 – Capacidad se reduce notablemente	2	3	3	2	1	Largo
18	Gestión de recursos	Ejecución del Ciclo de Vida	Sistema de valor organizacional y del conocimiento especializado en la gestión de recursos.	2 – Disminución esporádica o mínima	2	3	4	1	1	Largo

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

No .	Nombre del Indicador	Categoría	Indicador para el sector ferroviario planteado	Nivel de impacto en los (activos)	Infraestructura	Superestructura	Material Rodante	Sistemas de Comunicación y señalización	Servicios	Impacto en el tiempo
19	Gestión de desconexiones e interrupciones	Ejecución del Ciclo de Vida	Sistema de red interconectado para el cumplimiento de la planificación objetiva y estratégica en fiabilidad de la gestión del activo	2 – Disminución esporádica o mínima	3	3	3	2	1	Mediano
20	Respuesta ante fallas e incidentes	Ejecución del Ciclo de Vida	Programa de previsión de fallas en revisión de procesos del seguimiento permanente del SKPI	5 - Capacidad de gravemente comprometida	3	4	5	5	4	Corto
21	Desmantelamiento y disposición de activos	Ejecución del Ciclo de Vida	Sistema de gestión de activos y programa de cumplimiento de ciclo de vida para la maximización del valor y descargo del activo	22 – Disminución esporádica o mínima	3	3	5	5	1	Mediano
22	Estrategia de información de activos	Información de Activos	Sistema de aplicación de herramientas para la definición, identificación, captura de la información, reporte, seguimiento, medición y valoración de intervención por SKPI	5 - Capacidad de gravemente comprometida	5	5	5	5	3	Corto
23	Normas de información de activos	Información de Activos	Aplicación de estandarización de normativas procedimentales para la gestión de datos del SKPI	4 – Capacidad se reduce notablemente	4	4	3	4	2	Mediano
24	Sistemas de información de activos	Información de Activos	Interrelación de sistemas de datos y gestión única en la medición para la priorización del activo	3 – Capacidad puede decaer	3	3	4	4	3	Mediano
25	Gestión de datos e información	Información de Activos	Programa de unificación de reporte de mediciones integrados a los procesos de la gestión de activos	4 – Capacidad se reduce notablemente	3	3	4	3	2	Corto

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

No .	Nombre del Indicador	Categoría	Indicador para el sector ferroviario planteado	Nivel de impacto en los (activos)	Infraestructura	Superestructura	Material Rodante	Sistemas de Comunicación y señalización	Servicios	Impacto en el tiempo
26	Gestión de la Adquisición y la Cadena de Suministro	Organización de Personas	Sistema de Gestión de la Seguridad en la recepción de datos por agentes terciarios en los clústeres de servicios	4 – Capacidad se reduce notablemente	3	3	3	2	1	Mediano
27	Liderazgo en la Gestión de Activos	Organización de Personas	Plan de Disposición del Futuro de Activos con la adopción del PEGA	5 - Capacidad de gravemente comprometida	2	2	4	3	3	Mediano
28	Estructura Organizacional	Organización de Personas	Programa de adquisición de capacidades para el cumplimiento de objetivos	4 – Capacidad se reduce notablemente	3	3	4	4	3	Mediano
29	Cultura Organizacional	Organización de Personas	Adopción del Plan de Cultura Organizacional acorde al Programa de Adquisición de Capacidades	3 – Capacidad puede decaer	3	3	3	3	2	Mediano
30	Gestión de Competencias	Organización de Personas	Programa de cumplimiento de capacidades y asignación de recursos de cumplimiento de actividades del Plan de Cultura Organizacional	5 - Capacidad de gravemente comprometida	4	4	4	3	1	Corto
31	Evaluación y Gestión del Riesgo	Riesgo y Revisión	Plan de Políticas de Gestión de Oportunidades y Riesgos	4 – Capacidad se reduce notablemente	2	2	3	2	2	Largo
32	Planes de Contingencias y Análisis de Resiliencia	Riesgo y Revisión	Programa de Acción Oportuna e Implementación de Capacidad Sostenible	3 – Capacidad puede decaer	3	3	4	4	4	Corto
33	Desarrollo Sostenible	Riesgo y Revisión	Programa de Adaptación y Gestión de la Cultura Organizacional	4 – Capacidad se reduce notablemente	3	3	4	3	2	Mediano
34	Gestión del Cambio	Riesgo y Revisión	Sistema de gestión del Conocimiento y Adaptación al Cambio - SICAC	1 – Ningún Impacto	2	2	3	2	1	Largo

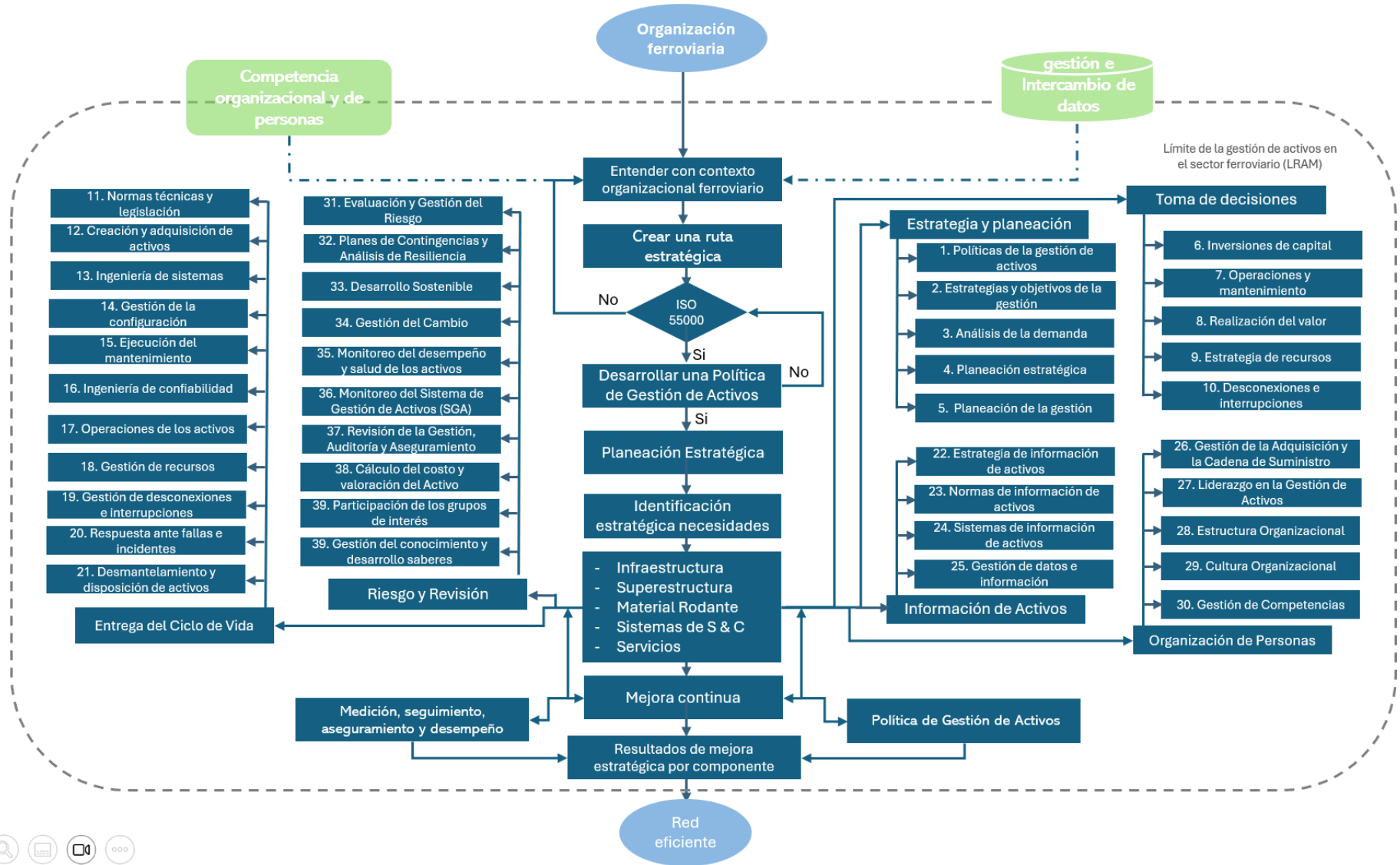
## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

No .	Nombre del Indicador	Categoría	Indicador para el sector ferroviario planteado	Nivel de impacto en los (activos)	Infraestructura	Superestructura	Material Rodante	Sistemas de Comunicación y señalización	Servicios	Impacto en el tiempo
35	Monitoreo del desempeño y salud de los activos	Riesgo y Revisión	Plan seguimiento y revisión del SKPI	4 – Capacidad se reduce notablemente	3	4	4	3	2	Corto
36	Monitoreo del Sistema de Gestión de Activos (SGA)	Riesgo y Revisión	Programa de seguimiento y cumplimiento del SGA	1 – Ningún Impacto	3	3	4	3	4	Corto
37	Revisión de la Gestión, Auditoría y Aseguramiento	Riesgo y Revisión	Programa de Implementación de mejoras del Sistema de medición de integrada del SKPI	3 – Capacidad puede decaer	3	4	5	5	3	Corto
38	Cálculo del costo y valoración del Activo	Riesgo y Revisión	Sistema de valoración y seguimiento de los activos y estandarización de cuantificación de datos para la valoración del activo	3 – Capacidad puede decaer	3	3	4	3	1	Corto
39	Participación de los grupos de interés	Riesgo y Revisión	Sistema de gestión de Grupos de Interés e Interacción asertiva	2 – Disminución esporádica o mínima	2	2	4	2	4	Largo
40	Gestión del conocimiento y desarrollo saberes	Riesgo y Revisión	Programa de gestión y valoración de desarrollos de conocimientos intangibles del Plan de Cultura Organizacional - PCO	1 – Ningún impacto	2	2	2	2	1	Largo

Fuente: Elaboración Propia

# Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

Figura 39. Propuesta de Modelo de Gestión de Activos Estratégicos Ferroviarios



Fuente: Elaboración Propia

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

A partir del análisis del planteamiento del modelo para la gestión de activos para el sector ferroviario enfocado en los activos físicos y la incorporación del indicador 40 para activos intangibles, son determinantes en la gestión de la infraestructura y servicios de transporte, igualmente se evidencia la complejidad para con la implementación en la caracterización de los activos y el impacto sobre la aplicación en la gestión de los servicios:

**Tabla 9. Sensibilidad por riesgo del componente ferroviario analizado**

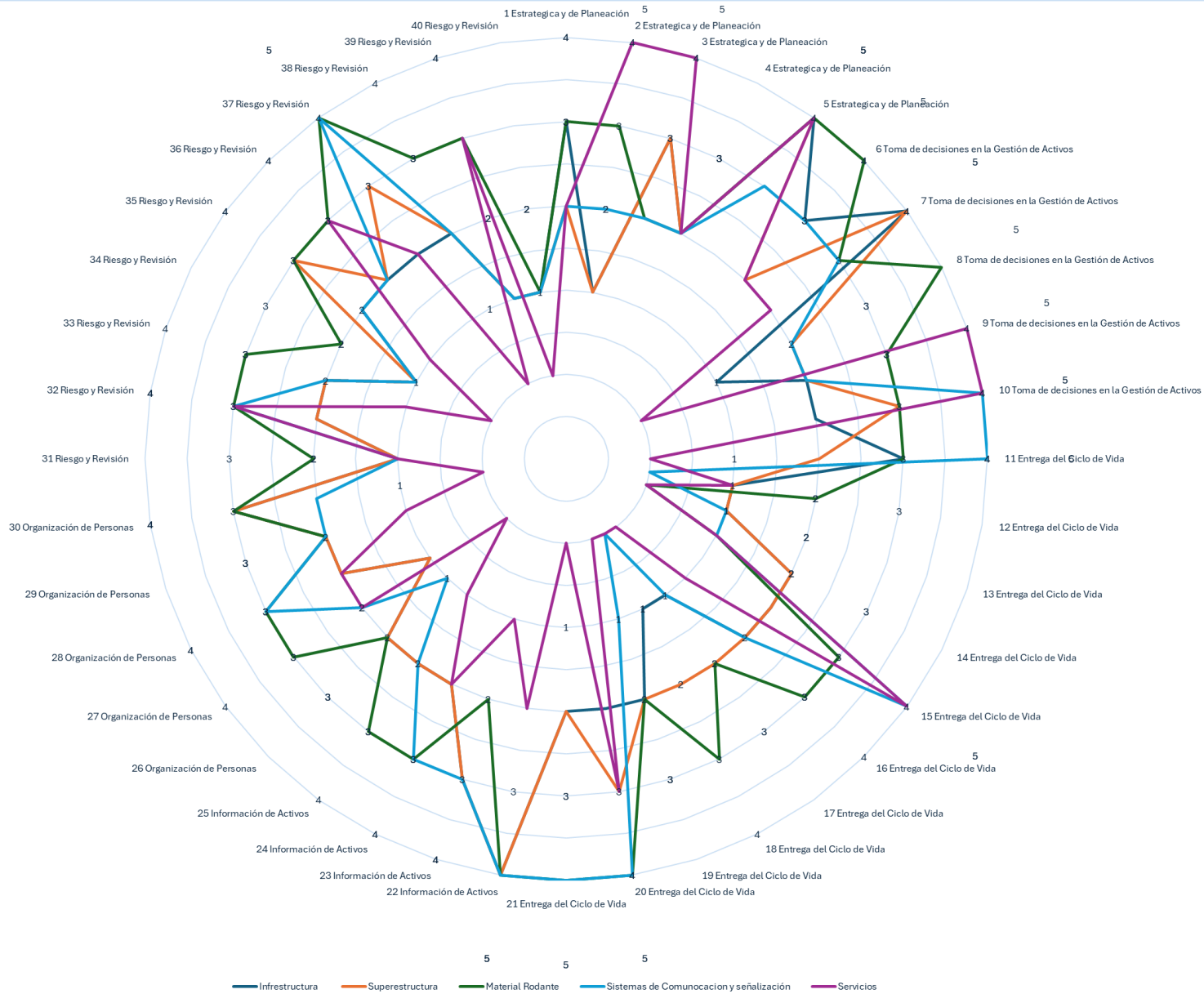
Categoría	Suma de Servicios	Suma de Sistemas de Comunicación y señalización	Suma de Material Rodante	Suma de Superestructura	Suma de Infraestructura
Riesgo y Revisión Estrategia y de Planeación	24	29	37	28	26
Entrega del Ciclo de Vida	21	16	19	17	18
Toma de decisiones en la Gestión de Activos	21	33	38	32	30
Organización de Personas	17	19	22	18	17
Información de Activos	10	15	18	15	15
Activos	10	16	16	15	15
<b>Total general</b>	<b>103</b>	<b>128</b>	<b>150</b>	<b>125</b>	<b>121</b>

Fuente: Elaboración Propia

La aplicación de una matriz de riesgos en el mantenimiento de infraestructuras ferroviarias es una herramienta eficaz para identificar y priorizar los cuellos de botella que limitan la capacidad operativa y la calidad del servicio. Esta matriz evalúa diversas áreas de la infraestructura en función de su probabilidad de fallo y el impacto de dichos fallos en el sistema. Al clasificar las zonas en categorías de riesgo, se facilita la toma de decisiones informadas sobre las prioridades de mantenimiento, permitiendo una gestión más estratégica y eficiente de los recursos, y contribuyendo a la mejora continua del rendimiento del sistema ferroviario.

**Figura 40. Análisis por programa y riesgo en la aplicación de gestión de activos**

# Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



Fuente: Elaboración Propia

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

De los componentes analizados, para la gestión de activos ferroviarios, la suma de riesgos para los componentes de: Infraestructura, Superestructura, Material Rodante, Sistemas de Señalización, comunicaciones y Seguridad y Servicios, los riesgos de mayor impacto en riesgos son atribuibles a la Riesgo y revisión de los activos para el componente de Material rodante, seguido de los sistemas de comunicación, señalización y seguridad.

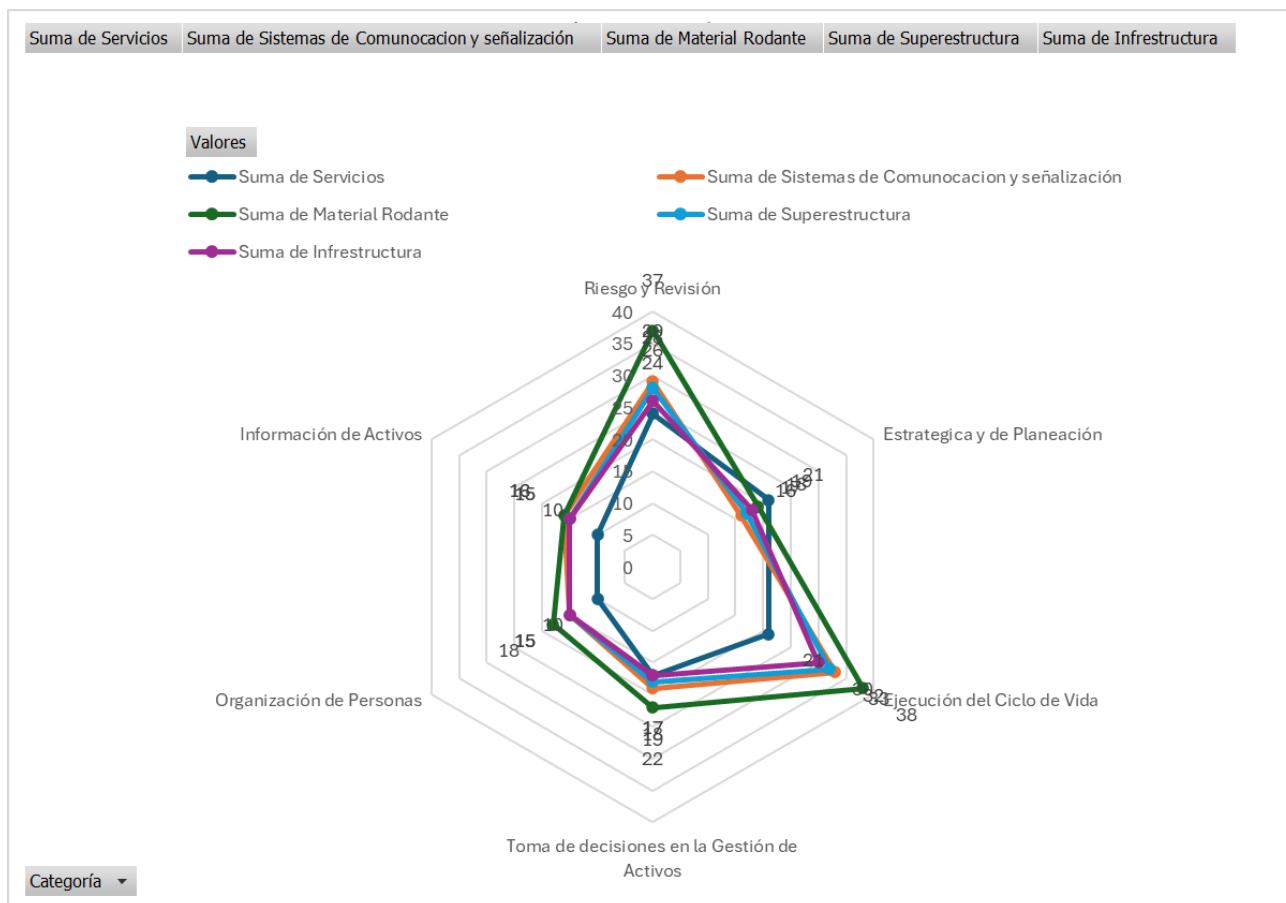
Para el segundo riesgo que mayor se presente en la gestión de activos ferroviarios, este corresponde aspecto de la ejecución del ciclo de vida de los activos, siendo el componente de material rodante el riesgo que mayor representa y deber ser tenido en cuenta en la implementación de Plan Estratégico de Gestión de Activos, seguido de Sistema de Comunicaciones, Señalización y seguridad, los cuales deberían ser priorizados implementación de la gestión estratégica del activo.

El tercer riesgo está el aspecto de toma de decisiones en la gestión de la infraestructura y gestión de los activos en general, de forma que el componente del material rodante representa mayores riesgos en el caso de no implementarse la gestión de activos que se corresponden con el componente de infraestructura y superestructura.

Respecto a los componentes, los aspectos de información del activo de la organización de personas no tienen un impacto en el corto plazo, no obstante, estos recobran importancia en la gestión del riesgo y estrategia de planeación, de forma que, no pueden ser obviados, por cuanto en la toma de decisiones, el posicionamiento de los componentes tiende a estar en el mismo nivel, de no tenerse en cuenta el activo representan un riesgo alto en el largo plazo para el sector.

**Figura 41. Variación del riesgo en AM por componente ferroviario analizado**

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias



Fuente: Elaboración Propia

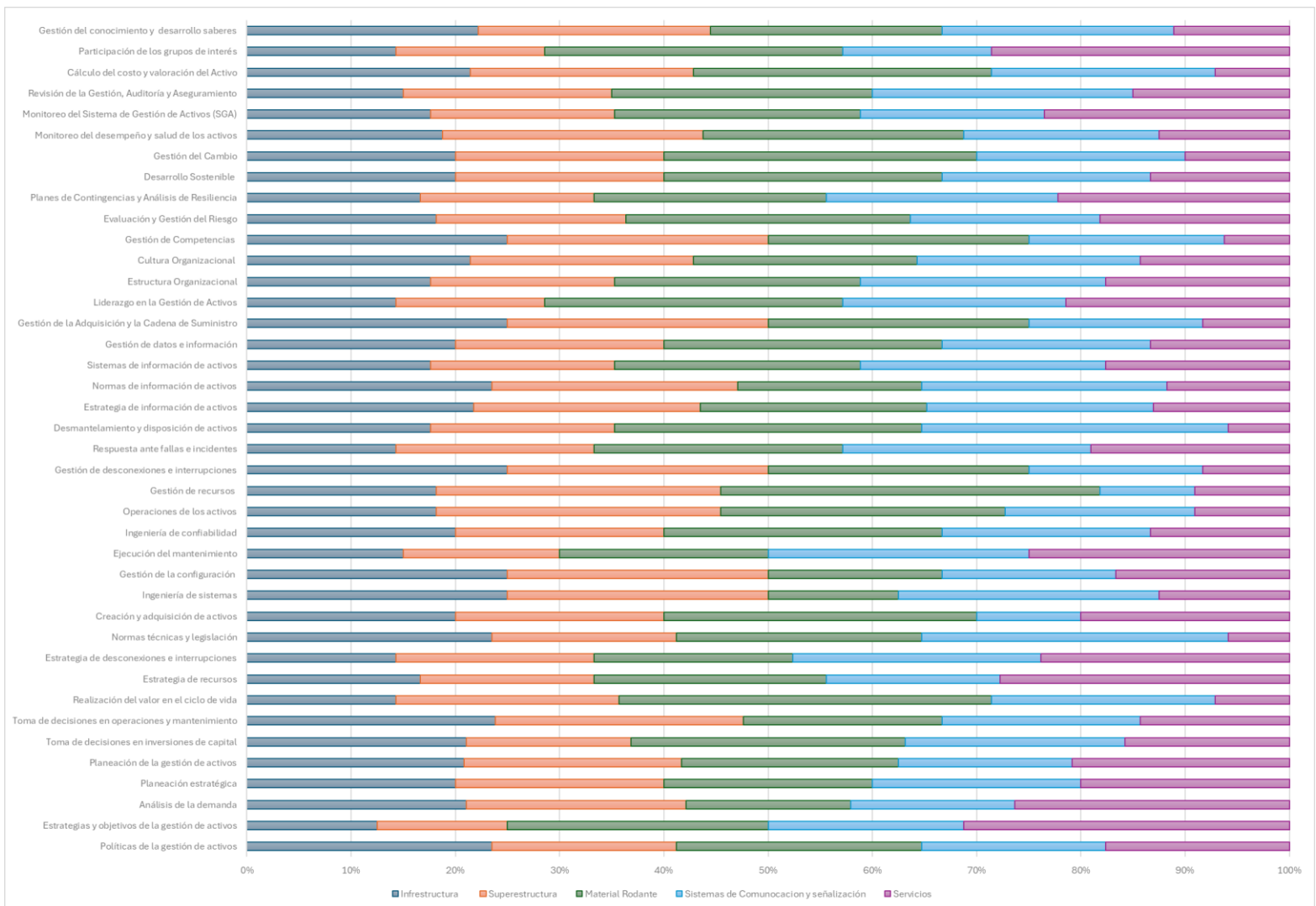
Del análisis de criticidad en la gestión de activos ferroviarios se observa que las diferentes actividades y componentes del sistema ferroviario, tienen el mayor impacto los relacionados con actividades de operación y la seguridad del sistema, siendo estas prioritarias en el plan de acción y política de gestión de activos de la infraestructura a ser atendidos.

actividades como la evaluación y gestión del riesgo y la ingeniería de fiabilidad muestran altos niveles de riesgo en múltiples componentes, indicando que estos son aspectos esenciales para mantener la seguridad y eficiencia del sistema ferroviario. La "Gestión de desconexiones e interrupciones" también presenta un alto riesgo en la categoría de servicios, resaltando la importancia de mantener la continuidad operativa.

## Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias

La identificación y priorización de estas áreas críticas a través del análisis de la matriz de riesgos permite conocer el estado de infraestructura ferroviaria con datos estandarizados para la toma de decisiones oportunas sobre dónde enfocar los recursos y actividades de mantenimiento, contribuyendo así a la mejora continua del sistema ferroviario tanto a nivel operativo como estratégico.

**Figura 42. Actividades de la AM por nivel de riesgo asociado al sector ferroviario**



Fuente: Elaboración Propia

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

De las actividades sugeridas por la IAM, para la adopción de gestión de activos y propuesta para la gestionar las infraestructuras estratégicas ferroviarias, se observa la uniformidad de los componente del clúster ferroviario para con la gestión del servicios, de forma que los activos de infra y superestructura son dependientes de la gestión de material rodante y señalización, comunicaciones y seguridad correspondiendo al componente de servicios la finalidad de la gestión de los primeros cuatro componentes.

### **XV. Conclusiones**

El trabajo presentado en esta tesis identificó la no adopción de gestión de activos ferroviarios en la red ferroviaria de Colombia, de forma no se cuentan con instrumentos oficiales normativos o empresas que estén certificadas en ISO 55000 en gestión de activos en el sector de servicios ferroviarios.

Mediante la identificación la organizaciones y metodologías en gestión de activos del IAM y el GFMAM, se caracterizaron los indicadores por nivel de impacto en la aplicación en cinco componentes de la industria ferroviaria y nivel de impacto en la no adopción, resultando un modelo estratégico para la toma de decisiones en gestión de activos ferroviarios.

La propuesta del modelo de gestión de activos presentada para la industria ferroviaria en Colombia fomenta nuevo conocimiento al desarrollar una propuesta de modelo de aplicación que presenta las bondades a partir de los riesgos en la implementación en el sector ferroviario.

Como resultado de la caracterización y el análisis de indicadores para el sector ferroviario, se presenta el modelo de Gestión de Activos Estratégicos Ferroviarios tanto para activos tangibles e intangibles mediante la adopción de 40 indicadores.

Así mismo, se ha demostrado con esta investigación la necesidad de continuar la investigación y aportes en nuevos conocimientos en la gestión de los activos asociados a las

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

infraestructuras ferroviarias, esperando inspirar a aquellos que están buscando un mayor desarrollo en la gestión de activos estratégicos en industria ferroviaria, al igual que es de utilidad para fuentes futuras y líneas de investigación.

La implementación de un modelo de gestión de activos es necesaria para las infraestructuras, puesto que el desarrollo e implementación se corresponden, al estar correlacionadas dentro de la planeación y la eficiencia de los costos de mantenimiento y servicios, resultado de la evaluación de indicadores por riesgo e impacto en el tiempo para el sector ferroviario.

La gestión de activos ferroviarios permite desarrollar y planear con datos el sistema ferroviario, al igual que permite conocer las necesidades integrales de las infraestructuras y los servicios, teniendo como base el estado de la red y las falencias desde todos los aspectos organizacionales, resultando en la planeación estratégica y reconocimiento para la maximización y creación de valor de los activos.

### **XVI. Referencias**

Corker-Knott, Alexandra L (2021). *Geotechnical asset management for climate change risk*. University of Birmingham. Ph.D.

Corentin Stalder, Guillaume Ducellier, Myriam Lewkowicz, The implementation of a digital twin as an intelligent asset management system of a railway infrastructure: application to the work scheduling process at SNCF Réseau, *Transportation Research Procedia*. Volume 72, 2023.

D.J. Vanier, “Asset management 101: a primer”, *Innovations in Urban Infrastructure Seminar of the APWA International Public Works Congress* [“Gestión de activos 101: un manual”, Seminario de APWA Innovaciones en infraestructura urbana, Congreso internacional de obras públicas] (Louisville, Kentucky, National Research Council Canada, 2000), p. 4; Iconos: Icon 1:

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Infrastructure by Adrien Coquet from the Noun Project, descargado de <https://thenounproject.com/icon/2496483/>.

Escobar Oswaldo, 2022. Los rieles de una ilusión. Historia del Ferrocarril del Norte (1870 – 1950), Primera edición. Bogota. Editorial Pontificia Universidad Javeriana, pag. 36.

Famurewa, Stephen & Aditya, Parida & Kumar, Uday. (2015). Application of maintenance performance measurement for continuous improvement in railway infrastructure management. 18. 49-58.

Ferranti, Emma & Greenham, Sarah & Dora, John & Pyatt, Nicholas & Quinn, Andrew & Reeder, Tim. (2021). Review of Network Rail's Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plans.

Stegmaier, Viveros, Villalón, Gonzales, Gómez, Kristjanpoller (2018). Gestión de Activos en el Sector Ferroviario, Manual de Aplicaciones, Indicadores, Marco Estratégico basado en la Norma ISO:5000. Fundación Confemental.

Nikitinas, Vilius & Dailydka, Stasys. (2016). The Models of Management of Railway Companies in the European Union: Holding, the German Experience. Procedia Engineering. 134. 80-88. 10.1016/j.proeng.2016.01.042.

Surowiec, Agata (2011). *Strategic change in the UK railway network through reorganization and major projects*. University of Birmingham. M.Phil.

ISO 55000 (2014). Gestión de activos — Aspectos generales, principios y terminología.

ISO 55001 (2014), Gestión de activos — Sistemas de gestión — Requisitos.

ISO 55002 (2014), Gestión de activos — Gestión de Sistemas — Directrices para la aplicación de la norma ISO 55001.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Park, Mun Gyu (2014). *RAMS management of railway systems*. University of Birmingham.

Ph.D.

Garzón Uribe, Y. C., & Benavides Quintero, H. D. (2019). Diagnóstico del estado actual de la vía férrea y estaciones en el tramo de Espinal a Ibagué, para rehabilitación y posible operación de trenes de carga y pasajeros.

Hay, William W. *Railroad Engineering*, John Wiley & Sons, Inc, 1982.

Ministerio de Transporte, (2021). *Transporte en Cifras. Anuario Nacional de Transporte*, Colombia.

IAM, (2021). *Gestión de activos: una anatomía*. The Institute of Asset Management, Versión 3 diciembre 2015.

IAM, (2024). *Asset management: an anatomy*. The Institute of Asset Management, Versión 4, july, 2024.

NetworkRail, (2018). *Asset Management Policy*. <https://www.networkrail.co.uk/wp-content/uploads/2019/10/Asset-Management-Policy-2018.pdf>.

Prescott, D., & Andrews, J. (2015). Investigating railway track asset management using a Markov analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 229(4), 402-416.

Mostafa, Sherif & Desha, Cheryl & Caldera, Savindi & Mohamed, Sherif & Fitness, Mark. (2021). *Exploring the Role of Digital Infrastructure Asset Management Tools for Resilient Linear Infrastructure Outcomes in Cities and Towns: A Systematic Literature Review*. Sustainability.

W. Flintsch, (2019). *Estado de la Gestión de Activos Viales en America Latina y el Caribe*, Banco Internacional de Desarrollo, Monografía; 741.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Andrews, J., Prescott, D. y De Rozières, F. (2014). Un modelo estocástico para la gestión de activos de vías férreas. *Ingeniería de confiabilidad y seguridad del sistema*, 130 , 76-84.

Chattopadhyay, G. (2016, diciembre). Problemas y desafíos de equilibrar el costo, el rendimiento y el riesgo en la gestión de activos ferroviarios de transporte pesado. En la Conferencia Internacional IEEE de 2016 sobre Ingeniería Industrial y Gestión de Ingeniería (IEEM) (págs. 521-525). IEEE.

Le, B. y Andrews, J. (2013). Modelado de gestión de activos de puentes ferroviarios. *Procedimientos de la Institución de Ingenieros Mecánicos, Parte F: Diario de Ferrocarril y Tránsito Rápido*, 227 (6), 644-656.

Khaled El-Akruti, Richard Dwight, Tieling Zhang, The strategic role of Engineering Asset Management, *International Journal of Production Economics*, Volume 146, Issue 2013, Pages 227-239.

Kumari, J., Karim, R., Thaduri, A., & Castano, M. (2022). Augmented asset management in railways—Issues and challenges in rolling stock. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 236(7), 850-862.

ANDREWS, John. A modelling approach to railway track asset management. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2013, vol. 227, no 1, p. 56-73.

McMahon, P., Zhang, T., & Dwight, R. (2020). Requirements for big data adoption for railway asset management. *IEEE Access*, 8, 15543-15564.

Power, C., Mian, J., Spink, T., Abbott, S., & Edwards, M. (2016). Development of an evidence-based geotechnical asset management policy for network rail, Great Britain. *Procedia Engineering*, 143, 726-733.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Gorman, M. F., & Harrod, S. (2010). Operations research approaches to asset management in freight rail. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*.

McMahon, P., Zhang, T., & Dwight, R. A. (2020). Approaches to dealing with missing data in railway asset management. *IEEE Access*, 8, 48177-48194.

Sinyagov, S., Kupriyanovsky, V., Sukonnikov, G., Bulancho, S., Namiot, D., & Kupriyanovsky, J. (2016). Digital Railroad-create digital assets. Based on materials from Network Rail (UK) project asset management system modernization. *International Journal of Open Information Technologies*, 4(10), 43-54.

Sarkar, D., Patel, H., & Dave, B. (2022). Development of integrated cloud-based Internet of Things (IoT) platform for asset management of elevated metro rail projects. *International Journal of Construction Management*, 22(10), 1993-2002.

Yianni, P. C., Rama, D., Neves, L. C., Andrews, J. D., & Castlo, D. (2017). A Petri-Net-based modelling approach to railway bridge asset management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 13(2), 287-297.

Guler, H., & Jovanovic, S. (2004, October). The application of modern GIS technology in the development of railway asset management systems. In *2004 IEEE international conference on systems, man and cybernetics (IEEE Cat. No. 04CH37583)* (Vol. 5, pp. 4153-4158). IEEE.

Rama, D., & Andrews, J. D. (2016). Railway infrastructure asset management: the whole-system life cost analysis. *IET Intelligent Transport Systems*, 10(1), 58-64.

Litherland, J., Calvert, G., Andrews, J., Modhara, S., & Kirwan, A. (2021). An alternative approach to railway asset management value analysis: framework development. *Infrastructure Asset Management*, 8(2), 75-84.

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

Jovanovic, S. (2005, July). Modern railway infrastructure asset management. In *Proceedings of the 24th Southern African Transport Conference (SATC 2005)* (Vol. 11, p. 13).

Kilsby, P., Remenyte-Prescott, R., & Andrews, J. (2017). A modelling approach for railway overhead line equipment asset management. *Reliability Engineering & System Safety*, 168, 326-337.

Lovett, Alexander & Dick, Tyler & Ruppert, Conrad & Saat, Rapik & Barkan, Christopher. (2013). Development of an Integrated Model for the Evaluation and Planning of Railroad Track Maintenance. 2013 Joint Rail Conference, JRC 2013. 10.1115/JRC2013-2407.

Kohli, S. (2016, June). Developing cyber security asset management framework for UK rail. In *2016 International Conference On Cyber Situational Awareness, Data Analytics And Assessment (CyberSA)* (pp. 1-6). IEEE.

Kohli, S. (2016, June). Developing cyber security asset management framework for UK rail. In *2016 International Conference On Cyber Situational Awareness, Data Analytics And Assessment (CyberSA)* (pp. 1-6). IEEE.

Landgraf, M. (2018). Smart data for sustainable Railway Asset Management. *Railway track: assessment aggregation asset management*. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz (Monographic series TU Graz. Railway research).

OECD (2017), Brechas y estándares de gobernanza de la infraestructura pública en Chile: Análisis de Gobernanza de Infraestructura, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264286948-es>.

Fuente: ONU, 2024. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/takeaction/>

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

DNP (2024), Estados que conforman la OCDE, OCDE en cifras.

<https://www.dnp.gov.co/LaEntidad/subdireccion-general-prospectiva-desarrollo-nacional/ocde-colombia/Paginas/sobre-la-ocde.aspx>

Sharma, S. K., & Kumar, A. (2014). A comparative study of Indian and world wide railways. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 1.

Network Rail (2018). Asset Management Policy. <https://www.networkrail.co.uk/running-the-railway/looking-after-the-railway/asset-management/>

Yan Long, Wei Guo, Na Yang, Cheng Dong, Ming Liu, Yujun Cai, Zhuanzhuan Zhang, Research progress of intelligent operation and maintenance of high-speed railway bridges, Intelligent Transportation Infrastructure, Volume 1, 2022, liac015, <https://doi.org/10.1093/iti/liac015>

Jiang, L. L., Liu, G. L., Wang, Y. J. et al. (2019) ‘Research on high-speed rail intelligent security technology based on multi-source information fusion’, China Railway, 11: 24–31.

United Nations, Managing Infrastructure Assets for Sustainable Development: A handbook for local and national governments (New York, United Nations, 2021), disponible en <https://www.un.org/development/desa/financing/document/un-handbook-infrastructure-asset-management>

Zhong, X. G., Peng, X. and Shen, M. Y. (2019) ‘Study on the feasibility of identifying concrete crack width with images acquired by unmanned aerial vehicles’, China Civil Engineering Journal, 52: 52–61 (in Chinese).

Wassamon Phusakulkajorn, Alfredo Núñez, Hongrui Wang, Ali Jamshidi, Arjen Zoeteman, Burchard Ripke, Rolf Dollevoet, Bart De Schutter, Zili Li, Artificial intelligence in railway

## **Análisis de la gestión de activos operacionales para el aprovechamiento estratégico infraestructuras ferroviarias**

infrastructure: current research, challenges, and future opportunities, *Intelligent Transportation Infrastructure*, Volume 2, 2023, liad016. <https://doi.org/10.1093/iti/liad016>

Guo, X. et al., (2020) ‘Does High-Speed Railway Reduce Air Pollution along Highways? – Evidence from China’, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 89: 102607.

Aboudolas, K. et al., (2010) ‘A Rolling-Horizon Quadratic Programming Approach to the Signal Control Problem in Large-Scale Congested Urban Road Networks’, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18: 680–94

Coombes, Robin., 2021. The sustainability of heritage railways, Birmingham Centre for Railway Research and Education. University of Birmingham.

<https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/4345/9/Hoffrichter13PhD1.pdf>

Yanliang Du, Modelos de gran tamaño en infraestructura de transporte: una perspectiva, *Infraestructura de transporte inteligente*, 2024, liae007, <https://doi.org/10.1093/iti/liae007>

Vivien Foster, Nisan Gorgulu, Stéphane Straub, Maria Vagliasindi, 2023. The Impact of Infrastructure on Development Outcomes: A Qualitative Review of Four Decades of Literature, Infrastructure Chief Economist Office, World Bank Group. Paper 10343

### **XVII. Anexos**

- Marco para la gestión de activos – IAM