

Indicadores de operación y mantenimiento, KPIs, en sistemas férreos de Colombia

POR: JAIRO ALBERTO ESPEJO MOLANO*

En los últimos años, el Estado colombiano ha resuelto promover la intermodalidad como estrategia de competitividad para disminuir los costos de transporte; reducir la contaminación ambiental; la congestión vehicular y la siniestralidad vial, y también está orientando la gestión en la disminución de los tiempos de desplazamiento y costos logísticos. Para ello, ha planeado y generado documentos como “El Plan Maestro de Transporte Intermodal”, PMTI, PMTII de los años de 2015 y 2016 respectivamente, el “Plan Maestro ferroviario” en el 2019, PMF2019, documento que se considera como una semilla para establecer la agenda para la reactivación y consolidación de la operación ferroviaria en Colombia.

En noviembre del año 2022, el Gobierno Nacional actual presentó un documento denominado *Reactivación ferroviaria de Colombia- visión 2050*, realizado por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y United Kingdom Sustainable Infrastructure Program (UK SIP), donde se destacan cinco proyectos férreos de carga: estudios de pre – inversión del Ferrocarril de Antioquia; Tren del Pacífico; Corredor central y Bogotá Belencito, y hace un mes se adjudicó la Concesión la Dorada - Chiriguaná. Estos proyectos cuentan una inversión estimada en Capex de \$28.8 billones y una longitud de 1.851 kms.

En el documento mencionado, también se incluye un trazado conceptual con una visión al año 2050,

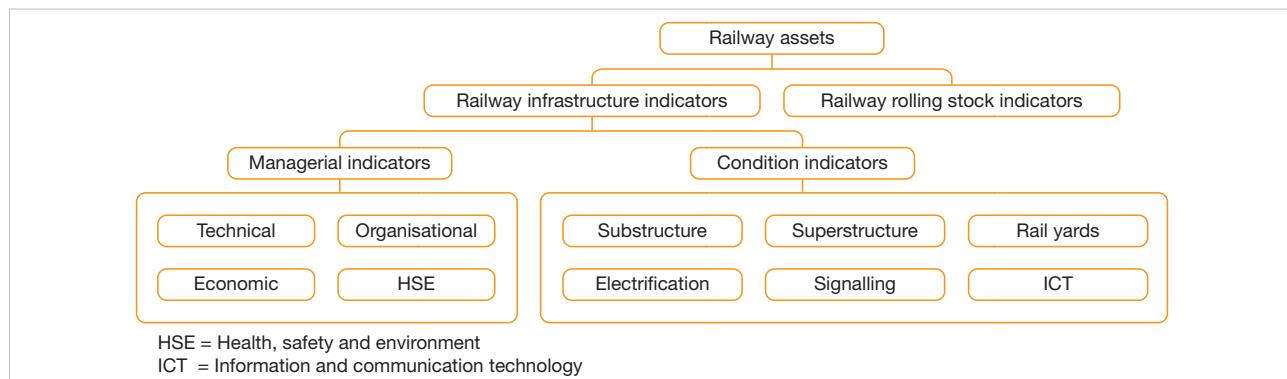
que cuenta con 14 proyectos de carga, una longitud de cerca de 4.900 kms y una inversión estimada de Capex de \$196 billones. De otro lado, se adelantan proyectos de pasajeros en Bogotá, Medellín, Cali, Cundinamarca, Antioquia, Valle y Región del Caribe, con inversiones del orden de \$41billones.



Este tipo de proyectos son complejos desde el punto de vista de su inversión, concepción, maduración, estructuración, planeación, licitación, adjudicación y en su desarrollo en las disciplinas: gerenciales, técnico, social, ambiental, predial, presupuesto, cronograma, financiamiento, riesgos y contractual.

Por tanto, se comprende que es necesario conocer su eficiencia y desempeño, a través de un análisis permanente, y allí resulta útil la construcción e incorporación de indicadores de desempeño KPIs

Figura 1. Mapa KPIs, Tomado del documento “Performance indicators of railway infrastructure”



(por sus siglas en inglés) para monitorear, por ejemplo, la eficiencia del sector, aspectos gerenciales, técnicos, económicos, de seguridad ferroviaria, resiliencia y medio ambiente, entre otros, como componentes de un sistema de gestión de activos y el vínculo armónico que debe existir entre las fases de diseño y construcción, con las fases de operación y mantenimiento, por lo que es saludable medir y compararse con otros sistemas ferreos y detectar oportunidades de mejora.

Contexto internacional

El ecosistema ferroviario mundial ha adoptado buenas prácticas en el uso de Indicadores Clave de Desempeño (KPI). En el documento *Performance Indicators of Railway Infrastructure*, elaborado por los profesores Cristo Stenström, Parida Aditya y Diego Galar de la Universidad de Luleå (Suecia), se destaca que en ese país y en Europa en general, el tráfico ferroviario ha ido en aumento. Esto se debe, en parte, a la migración del transporte de carga y pasajeros desde las carreteras hacia el ferrocarril, impulsada por el creciente uso de energías limpias en este modo de transporte.

Los autores consideran que este aumento de capacidad ferroviaria, requiere de importantes inversiones y que para la administración de estos activos, en relación con los resultados de operación y mantenimiento, se deben medir y monitorear. Así mismo destacan que, para ayudar a los administradores en la toma de decisiones, es necesario contar con indicadores de desempeño que han sido armonizados con indicadores de estándares europeos.

Las directrices para la gestión de activos ferreos se pueden encontrar en un trabajo de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC), como un procedimiento basado en normas y manuales, como lo son la norma de gestión de activos Publicly Available Specification 55 (PAS 55) de la Gran Bretaña; el Manual Internacional de Gestión de Infraestructuras (IIMM) del grupo directivo de la gestión de activos de Nueva Zelanda y el manual de la gestión de activos de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) en EEUU 2007.

El documento también ofrece información sobre la batería de indicadores que se recomienda, deben implementar los operadores a los activos ferreos, tanto para la infraestructura, como para el material rodante (ver figura 1). Para lo cual, los indicadores están conformados en dos grupos: gerenciales y técnicos o de condición, en su mayoría estrechamente relacionados con los conceptos RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*), tomando como base investigaciones, proyectos y especialmente en las fase de operación y mantenimiento, fallos y retrasos que se presentan en los sistemas ferreos.

Del lado de Latinoamérica, la Agencia Reguladora de Transporte Ferroviario (ARTF) de México elabora, registra y publica las estadísticas de los indicadores ferroviarios, basados en investigaciones sobre la literatura técnica y científica frente a los estándares internacionales que se desarrollan en la actualidad y las clasifica en tres grupos principales: técnicos; económicos y de seguridad y finalmente salud y medio ambiente, que incluyen 34 indicadores de desempeño (ver figura 2).

Figura 2.



Los subíndicadores: fiabilidad, mantenibilidad y capacidad, tienen por objetivo contar con la información técnica que permite valorar la capacidad del servicio presentado y su rendimiento, se apalancan además en dos ítems de la metodología RAM: la fiabilidad y la mantenibilidad y el último, sobre la capacidad para medir el balanceo oferta vs demanda, con el fin de optimizar el uso de la red ferrea.

En cuanto a los indicadores económicos señalados en verde, estos están orientados a contar con aquella información que permite medir la eficiencia del sistema ferreo en México. Para los indicadores del grupo de salud, seguridad y ambiente, el objetivo es contar con información que permita prevenir y controlar los

riesgos asociados con la seguridad operativa del sistema; salud de los trabajadores y valorar el impacto ambiental que produce la industria. Finalmente, se destaca de estas estadísticas, una comparación de varios años entre algunos indicadores de rendimiento de las redes férreas de México, Canadá y EEUU.

Contexto nacional

Un trabajo realizado en el año 2015 por los investigadores Martín Arango, Carlos Díaz, Javier Arias y Henry Lamos, tomó como base la revisión de los KPIs en el sistema de corredores logísticos de Colombia. En él desarrollaron una metodología para la construcción de KPIs para el sistema férreo nacional, ver *tabla 1*.

El grupo investigador propuso cinco grupos principales de indicadores concebidos para transporte de carga, e incluyen quince KPIs. El documento destaca que este es un primer esfuerzo y contribución para medir el desempeño del sistema férreo de Colombia.

El Metro de Medellín en el año de 1995 inauguró el servicio comercial de la línea A, en 1996 la Línea B; en 2015 comenzó operaciones el tranvía; entre el 2004 y el 2019 se realizó la expansión de transporte masivo a cargo del Metro de Medellín; entre el 2004 y el 2021, entraron en operación las líneas K, J, L, H, M Y P del metro cable, los anteriores sistemas los gestiona, opera y mantiene de manera directa.

Tabla 1. Elaboración propia a partir de Indicadores claves de desempeño para el sistema ferroviario. El caso colombiano.

KPI				
Eficiencia	Calidad del Servicio	Infraestructura	Aspectos Sociales	Sostenibilidad Ambiental
Costo absoluto	Tiempo de transporte	Congestión	Densidad de población	Gases de Efecto Invernadero (GEI)
Costo relativo	Aplicaciones de TIC	Cuellos de botella	Uso del terreno el corredor	
	Frecuencia del servicio	Centros de distribución/almacenamiento	Seguridad	
	Seguridad de la carga	Puntos de cambio intermodal		
	Seguridad del corredor			

Desde el año de 2017 a la fecha, han implementado un modelo de gestión de mantenimiento (MGM), que se conoce como el ciclo PHVA (Planificar – Hacer – Verificar – Actuar), que consiste en un modelo de mejora continua para ir de manera paulatina resolviendo problemas e implementando cambios.

En la actualidad cuentan con 12 grupos que incluyen 30 indicadores de desempeño, donde se destacan: tiempos de paro por mantenimientos no programados; análisis de fallas; calidad de servicio al cliente; administración de intervenciones; planes de mantenimiento; costo del inventario; impacto del mantenimiento en el costo de operación; gestión del medio ambiente; tiempos de reparación de los vehículos, etc. No hay datos publicados de manera oficial que permitan saber la eficiencia del sistema que administra el Metro de Medellín.

La concesión férrea de carga Chiriguaná – Santa Marta, comenzó su operación en el año 2000 con una duración de 30 años. En dicho contrato, no hay exigencias contractuales de indicadores de desempeño, sin embargo Ferrocarriles del Norte de Colombia (Fenoco), es quien realiza las gestiones de operación y de infraestructura férrea con la integración de Sistema de Control de Tráfico Centralizado (ITCS) y la incorporación del control de trenes con el sistema Tetra (Trans European Trunked Radio, por sus siglas en inglés), que es un estándar de comunicación definido por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI), que busca el mejoramiento de seguridad, con la implantación de dos basculas dinámicas que permiten capturar información on – time de los vehículos ferreos sobrecargados, desbalanceados, ruedas aplazadas y la detección de ejes y ruedas calientes, así como también la incorporación de un sistema de comunicaciones, que le permite contar con información actualizada y además planificar los mantenimientos preventivos y rutinarios.

Con más de 22 años y con la experiencia de los contratos de concesión de las generaciones de 1^a, 2^a, 3^a y 4^a, impulsada por la ANI e implementadas en los modos aéreo y carretero, en lo que hace referencia a la

operación, mantenimiento y reversión, tanto la ANI, como la Empresa Metro de Bogotá (EMB) y la gobernación de Cundinamarca han incluido en dichos contratos el cumplimiento de indicadores de desempeño.

La concesión de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), incluye el cumplimiento contractual por parte del concesionario de unos indicadores de operación y mantenimiento. En dicho contrato, se establece una metodología trimestral para su valoración. En el Apéndice técnico No 11, se incluyen los indicadores de la primera línea del metro de Bogotá, que deben gestionarse y medirse durante la fase de operación y mantenimiento.

La metodología consiste en una calificación sobre 100 puntos, distribuidos en cuatro componentes: operación con 54/100; mantenimiento con 34/100; mantenimiento de estaciones de Transmilenio con 6/100 y mantenimiento de estructuras no ferroviarias con 6/100. De los 13 indicadores, el mayor puntaje corresponde a la disponibilidad técnica del sistema integral con 34/100 puntos. El proyecto ha definido 9 subsistemas que se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 2. Sub sistemas de PLMB.

OBJETIVOS DE DISPONIBILIDAD	
Subsistema	Disponibilidad mínima (%)
Subsistema Vías Férreas	99,991%
Subsistema de Alimentación de Energía	99,997%
Sistema de Control y Supervisión (SCS)	99,994%
Subsistema de Señalización/Control de Trenes	99,997%
Subsistema Puertas de Andén o Plataforma	99,509%
Subsistema de Telecomunicaciones	99,998%
Subsistema de Radiocomunicaciones	99,994%
Subsistema de Material Rodante	99,612%
Sistema de Peaje/Control de Acceso	99,887%

Fuente: tomado AT 11 PLMB

Son indicadores muy exigentes y coherentes con la práctica internacional, ya que se están enfocados a brindar un excelente y seguro servicio público. ¿Por qué tan exigentes? una respuesta correcta: porque es un servicio público de pasajeros, no de transporte de carga, ¿que sabemos en Colombia de esto?



Se aprecia que la mayor exigencia es la del subsistema de telecomunicaciones, porque el sistema funcionara sin conductor, es automático, entonces debe existir la máxima confiabilidad y seguridad de comunicaciones entre el centro de control operativo y los vehículos férreos en movimiento. Así mismo, se destacan los indicadores de alimentación de energía y señalización y control de trenes, todos ellos incluidos en el KPI de disponibilidad técnica del sistema.

En el caso del tren de cercanías de pasajeros, adjudicado por la Gobernación de Cundinamarca al concesionario Regiotram, existe un apéndice técnico referente a la operación y el mantenimiento, donde se muestran dos grupos de indicadores de desempeño, ambos contractuales: la disponibilidad del material rodante; tareas de mantenimiento; reclamación de los usuarios y limpieza de trenes, con valores objetivo del 98%, disponibilidad del sistema férreo con un valor objetivo del 96%.

El grupo de disponibilidad de material rodante, cuenta con tres indicadores y el grupo de disponibilidad del sistema con catorce KPIs. Se desconocen los criterios por medio del cual se fijaron estos criterios, junto con su respectiva ponderación y valor objetivo.

Para La Concesión Férrea de carga la Dorada – Chiriguaná, con una longitud de 526 kms y de reciente adjudicación por parte de la ANI por 10 años, en el AT 4 “*indicadores de disponibilidad, seguridad y calidad del servicio*”, se establece una batería de 48 indicadores, señalando la frecuencia de medición y los tiempos máximos de corrección.

Se destacan disponibilidad del material rodante; cumplimiento de itinerarios; plan de mantenimiento; disponibilidad de comunicaciones entre el operador de vía férrea y el material rodante; ruido y vibraciones férreas. El no cumplimiento de estos, tiene penalidades y descuentos económicos. Muy importante esta primera experiencia en transporte de carga.

Algunas conclusiones y recomendaciones

Dada la magnitud de la inversiones en los proyectos mencionados, es estratégico y útil, gestionar la optimización de los costos de inversión Capex + Opex de la infraestructura y del material rodante férreo, es uno de los objetivos clave de la gestión de activos, por lo que surgen indicadores de desempeño, otras industrias lo hacen, los ferrocarriles también.

Colombia tiene interés en rescatar su sistema férreo por lo que debe medir su desempeño integral: eficiencia del sector y todo el ciclo de vida del activo desde la Planeación, hasta la evolución ex - post, una buena herramienta son los indicadores de desempeño.

El ecosistema férreo mundial ha venido estudiando e incorporando indicadores de desempeño (KPIs), que vale la pena analizar su uso en Colombia, para los proyectos en desarrollo y los que están en fases de planeación; estudios de pre inversión; estructuración; diseños; construcción y operación y mantenimiento.

Colombia ha realizado esfuerzos individuales, el trabajo realizado en 2015 no pasó de ser una buena intención. Por un lado Bogotá, Medellín y Cundinamarca establecieron sus KPIs y por otro lado, el Estado, a través de la ANI, realizo los suyos y se entiende que

unos son de pasajeros y otros de carga, por lo que el enfoque es distinto, pero ambos deben asegurar el cumplimiento RAMS.

La inversión que debe hacer el Estado para los proyectos de pasajeros y carga mencionados es este documento, es de cerca de \$70 billones, esfuerzo financiero que debe hacer el país, las regiones y las ciudades. Por lo que no es suficiente invertir, es necesario hacerlo bien y para ello, se considera que desde la planeación, los estudios y diseños, se deben contar con las mejores prácticas de Gestión de activos, con la incorporación del concepto de Ingeniería de la Confiabilidad, con la implementación y desarrollo de metodologías tipo RAMS (*Reliability, Availability, Maintianability and Security*) y sus correspondientes indicadores de desempeño.

En los modelos de concesión de la PLMB y La Dorada – Chiriguána, en las fases de operación y mantenimiento, se incluyen indicadores contractuales que valoran la eficiencia del sistema férreo, y motivan a que los operadores y mantenedores cuenten con las mejores herramientas de gestión. Estos KPIs incluyen umbrales de aceptación o rechazo, caso último, penalidades en dinero.

La PLMB cuenta con un tablero contractual de 13 indicadores, 10 para la parte operacional y tres para la de mantenimiento. El Regiotram de occidente cuenta con un batería de 17 para la disponibilidad del sistema y del material rodante y para el caso de la Concesión la Dorada, con 48 enfocados a la calidad del servicio, el mantenimiento, la disponibilidad de la flota y la seguridad férrea. Deben ser valorados por una supervisión de manera periódica y tienen atado la liberación de los pagos o las penalidades o descuentos monetarios.

Los únicos proyectos estatales en operación en Colombia son: Metro de Medellín y Concesión férrea

de Fenoco, que llevan más de 25 años en operación y mantenimiento. No se conoce una evaluación ex – post de sus indicadores de desempeño, por lo que sería interesante hacerlo con el concurso del Estado y la academia.

“ La concesión de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), incluye el cumplimiento contractual por parte del concesionario de unos indicadores de operación y mantenimiento, allí se establece una metodología trimestral para su valoración. ”

Se invita a lo que los esfuerzos individuales se centralicen en mecanismos de articulación institucional: Estado + academia + Industria, que estudie las experiencias internacionales y locales y proponga una batería práctica de KPIs. No es la cantidad sino la calidad de ellos, para que sirven, su objetivo, su monitoreo, frecuencias, etc, que permitan proponer el umbral aceptable de desempeño. Creo que sería un buen aporte para el sistema férreo nacional de transporte de pasajeros y de carga. Es un tema estructural que debe estudiar la academia y las entidades viales.

Los indicadores de desempeño propuestos para los proyectos en Colombia, tanto en operación como en mantenimiento son muy variables, no existe una normalización, debería estudiarse. Se entiende que han sido propuestos por diferentes equipos de estructuradores en sus componentes técnicas y jurídicas y obedecen por supuesto, a la experiencia internacional. ▲

* **Jairo Alberto Espejo Molano.** Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia; Maestría en Infraestructura vial de la Universidad de los Andes; Máster en diseño, construcción, operación y mantenimiento de Ferrocarriles urbanos de la Escuela Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción (EADIC) y Director de la Comisión de Infraestructura de Transporte de ACIEM.