



Trenes de carga inteligentes en América Latina

Daniel Álvarez



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

 www.cepal.org/es/publications

 www.cepal.org/apps

Documentos de Proyectos

Trenes de carga inteligentes en América Latina

Daniel Álvarez



Este documento fue preparado por Daniel Álvarez, Consultor de la Unidad de Servicios de Infraestructura, División de Comercio Internacional e Integración de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del proyecto "Conectividad, transporte y comercio en la era de la pandemia", en el que participan la Comisión Económica para África (CEPA), la CEPAL, la Comisión Económica para Europa (CEPE), la Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (CESPAP), la Comisión Económica y Social para Asia Occidental (CESPAO) y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), con el apoyo de la Cuenta de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2022/13
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2022
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.21-00723

Esta publicación debe citarse como: D. Álvarez, "Trenes de carga inteligentes en América Latina", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2022/13), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción	9
I. Cargas ferroviarias “inteligentes”	11
A. Fundamentación	11
B. Tendencias en tecnologías de datos aplicados al transporte	12
C. Definiciones desde la tecnología y la logística	14
1. Aspectos tecnológicos	14
2. Aspectos vinculados a la Logística	17
D. Uso de sensores y conexiones M2M	19
1. Comunicaciones en entornos ferroviarios	19
2. Conexiones M2M	25
E. Recopilación y análisis de los datos	26
1. Mantenimiento predictivo	26
2. Monitorización avanzada de problemas	27
3. Sistemas de videovigilancia	27
4. Sistemas de información de mercancías	27
5. Certeza de seguridad y sistemas de señalización	27
6. Sistemas autónomos	27
7. Eficiencia energética	28
F. Ejemplos en el mundo desarrollado	28
G. El COVID-19 y su afectación al tráfico de cargas	30
II. La infraestructura ferroviaria en América Latina	33
A. Desarrollo histórico del ferrocarril en la región	33
B. Privatizaciones e incorporación de tecnología	35
C. La interconexión entre países: limitaciones y desafíos	36

III. Ferrocarril y logística en México	39
A. Principales cargas.....	41
B. Incorporaciones tecnológicas	43
C. Proyecciones.....	44
1. Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec.	44
2. Libramientos ferroviarios.....	44
D. Marco regulatorio.....	45
IV. Ferrocarril y logística en Panamá	47
A. Principales cargas.....	48
B. Incorporaciones tecnológicas	49
1. Sistemas.....	49
2. Equipos de mantenimiento de vía.....	49
3. Vagones de transporte de carga	50
4. Manipulación de carga en terminales.....	50
C. Proyecciones.....	50
D. Marco regulatorio.....	50
1. Concesión de la red.....	50
2. Corredor Aduanero.....	50
V. Ferrocarril y logística en Brasil	51
A. Principales cargas.....	51
B. Incorporaciones Tecnológicas	53
1. ALL - América Latina Logística	53
2. MRS Logística.....	54
3. VALE	54
C. Proyecciones.....	54
1. Construcción	54
2. Adecuación.....	55
D. Marco Regulatorio.....	56
1. Identificación de actores relevantes.....	57
2. Intento fallido - Open Access (2012)	58
VI. Ferrocarril y logística en Argentina	61
A. Principales cargas.....	64
B. Incorporaciones tecnológicas	65
C. Proyecciones.....	66
1. Actualización del tendido de vía en todos los ramales.....	66
2. Relanzamiento del Belgrano Cargas.	66
3. Plan Circunvalar Rosario	66
4. Corredor bioceánico central.....	67
D. Marco regulatorio.....	67
VII. Recomendaciones para una mayor integración tecnológica: hacia un servicio "smart"	69
A. Consideraciones técnicas	69
B. Consideraciones tecnológicas	71
1. Entornos interconectados.....	71
2. Datos compartidos	71
3. Velocidad relativa de innovación	71
4. Acceso a la demanda de tráficos internacionales	72
5. Igualdad de condiciones	72

6.	Acceso de nuevos actores	72
7.	Competencia que conduce a la innovación	72
8.	Esquemas de financiamiento	72
C.	Desafíos Institucionales.....	72
1.	Orientación al Supply Chain (SCO)	72
2.	Información ideal para la cooperación	73
3.	Modelo de cooperación ideal - cooperación estratégica	73
D.	Sugerencias de políticas públicas	74
E.	Posible incidencia de lo "smart" en la recuperación de los tráficos tras la pandemia	75
Bibliografía		77
Cuadros		
Cuadro 1	Variación interanual tránsito buques Canal de Panamá	49
Cuadro 2	Extensión tramos de red a construir.....	54
Cuadro 3	Intervenciones de adecuación en redes ferroviarias existentes	55
Gráficos		
Gráfico 1	Pérdidas en Millones de dólares transporte mercancías	30
Gráfico 2	Pérdidas millones de dólares transporte mercancías por región	30
Gráfico 3	Porcentaje ingresos por fletes perdidos por semestre y región	31
Gráfico 4	Extensión de la red en Km por empresa concesionaria de la red primaria concesionada – Año 2019 México	40
Gráfico 5	Millones de toneladas acumuladas por rubro serie 2009-19 – México	41
Gráfico 6	Participación carga por rubro serie 2009-19 - México.....	42
Gráfico 7	Millones de toneladas anuales por rubro serie 2009-19 – México	42
Gráfico 8	Contenedores transportados por Panamá Canal Railway Company 2011-15.....	48
Gráfico 9	Tránsito de buques anual por el Canal de Panamá	48
Gráfico 10	Millones de toneladas acumuladas por rubro serie 2013-17	51
Gráfico 11	Participación porcentual de cargas acumuladas por rubro serie 2013-17	52
Gráfico 12	Evolución millones de toneladas anuales por rubro serie 2013-17.....	52
Gráfico 13	Millones toneladas por empresa - año	53
Gráfico 14	Millones toneladas por empresa - año - Argentina	63
Gráfico 15	Participación en Millones de Toneladas acumulados 2015-19 por rubro en los flujos de carga ferroviaria - Argentina.....	64
Gráfico 16	Participación [%] por rubro en los flujos de carga ferroviaria - Argentina	64
Diagramas		
Diagrama 1	Estructura de comunicación – Principales conexiones.....	15
Diagrama 2	Esquema tradicional – Supply Chain	18
Diagrama 3	Nuevo modelo – "Supply Chain 4.0"	18
Diagrama 4	Interacción de objetivos e indicadores clave – Sector ferroviario	19
Diagrama 5	Arquitectura Redes GSM-R	20
Diagrama 6	Arquitectura LTE	22
Diagrama 7	Arquitectura VoLTE.....	23
Diagrama 8	Evolución desarrollo e implementación 5G	24
Diagrama 9	Arquitectura red 5G	25
Diagrama 10	Concepto celda fantasma – MIMO.....	25

Diagrama 11	Resumen etapas historia del ferrocarril en la región.....	35
Diagrama 12	Línea temporal síntesis sobre modificaciones regulatorias y planes - Brasil	57
Diagrama 13	Esquema sobre modelo Open Access Fallido (2012)	59
Diagrama 14	Beneficios y requisitos Modelo de Cooperación Estratégica Orientado al Supply Chain	74

Mapas

Mapa 1	Red ferroviaria PCRC - Panamá	47
Mapa 2	Intervenciones de construcción de redes nuevas.....	55
Mapa 3	Intervenciones de adecuación de redes ferroviarias existentes	56

Resumen

El presente documento analiza la situación de los trenes inteligentes de cargas en América Latina. Para lograr este propósito, se desarrolla una revisión de las principales tecnologías que permiten considerar al sistema ferroviario como un sistema de trenes adaptados a las tecnologías de la información y comunicaciones. Debido al gran avance en numerosas soluciones durante los últimos años, estas alternativas tecnológicas revisten una importancia relevante en la región y en particular para el sector del transporte ferroviario de cargas. La adecuada planificación y priorización de las tecnologías digitales aplicadas al sistema ferroviario permitirán capturar beneficios significativos, el logro de estos objetivos se vincula en forma directa con un espacio regional más cohesionado y competitivo.

El trabajo explica la situación de la región en su conjunto, con un apartado específico sobre la interconexión entre países, describe aspectos clave para comprender la situación de los sistemas ferroviarios de México, Panamá, Brasil y Argentina como sus principales tipos de cargas, incorporaciones tecnológicas realizadas, proyectos a desarrollar y aborda aspectos regulatorios en los distintos los países considerados.

Por último, se detallan recomendaciones en relación con las tendencias observadas en los operadores y organizaciones vinculadas al sector, de carácter tecnológico, institucional y de políticas públicas.

Introducción

El presente trabajo revisa un **conjunto de tecnologías aplicadas al sector del transporte, inspecciona ciertas tendencias al respecto y en particular focaliza sobre el objeto de estudio, el cual refiere al Sistema Ferroviario Inteligente de cargas de América Latina.**

Para entender la **situación de la región respecto a los “Trenes Inteligentes de Cargas”** también se plantea la perspectiva futura de este tipo de aplicaciones al sector ferroviario, y se examina un conjunto de países seleccionados, describiendo sus **principales cargas**, analizando sus **marcos regulatorios** y algunas **implementaciones realizadas** en cada uno de ellos.

Finalmente, se establecen un conjunto de **recomendaciones de cara a lograr un sistema ferroviario de cargas “Smart” con un mayor nivel de integración**, para lo cual **se estudian aspectos técnicos, tecnológicos y e institucionales**, entre otros.

Dotar de eficiencia a un sistema ferroviario, mediante la implementación de **soluciones tecnológicas complementadas de una forma adecuada**, podría aportar múltiples beneficios a la región. Las tecnologías que han ido surgiendo en el último tiempo **permiten lograr sistemas de transporte más robustos debido a que facilitan la adquisición de datos, su análisis y la elaboración de información que permite la toma de decisiones de manera anticipada.**

La **facilidad para adquirir información clave**, representa un **mayor nivel de previsión y predicción sobre el sistema**, por lo tanto, permite la **reducción de costos totales y una mejora en los beneficios para las partes interesadas**, como por ejemplo incremento de frecuencias, mejoras en cuanto a coordinación de cargas, entre otros.

En la región **se pueden observar distintos niveles de implementación del tipo de soluciones consideradas “inteligentes”**. Si bien el grado de cobertura de este tipo de soluciones, **en general no es amplio, se detectan ciertos casos que son relevantes** para comprender cómo se han logrado ciertas soluciones en sus contextos particulares y a partir de dicha reflexión se podría pensar en cómo replicar dichas medidas en otros países o áreas de la región.

Es fundamental pensar que los diferentes estados deberán lograr en los próximos años una **mayor integración para alcanzar un desarrollo conjunto**, y es evidente que dicha tarea podría ser potenciada mediante la **reducción de fricciones aportada por un sistema ferroviario eficiente**. Para lograr dicho sistema, primero hay que conocer el **panorama actual**, comprender las **ventajas y desafíos de cada solución** y entender cuáles son las **consideraciones que habría que tener en cuenta para lograr el objetivo a plantear**, es decir, **la situación deseada**.

I. Cargas ferroviarias “inteligentes”

A. Fundamentación

Un sistema ferroviario eficiente e integrado es una posible respuesta a la creciente demanda de transporte de cargas, enfrentando los desafíos que presentan las limitaciones técnicas, logísticas y ambientales, facilitando el crecimiento sostenible de los países de América Latina. Alcanzar estas expectativas, implica que los ferrocarriles deben mejorar en términos de capacidad, velocidad promedio, puntualidad, seguridad y uso optimizado de los recursos. La investigación en tecnología ferroviaria inteligente tiene por delante el desafío de proporcionar nuevas soluciones, respondiendo a las necesidades presentes y futuras del sistema.

Durante los últimos años, se ha promovido un cambio modal de la carretera al ferrocarril. El objetivo es aumentar la participación de la demanda de transporte ferroviario para la movilidad de personas y mercancías, reducir la congestión del tráfico carretero, hacer un uso eficiente de los recursos energéticos y abordar los principales desafíos del cambio climático. Para alcanzar estas metas se necesitan importantes contribuciones en la gestión óptima de los activos ferroviarios, evolucionando hacia una operación predictiva más automatizada donde se monitorean los activos y operaciones del sistema ferroviario. Esto incluye todos los indicadores importantes, como los impactos económicos, sociales y de seguridad, teniendo en cuenta la perspectiva tanto del administrador de las infraestructuras ferroviarias como la de los usuarios.

Los sistemas ferroviarios inteligentes están relacionados con el uso intensivo de sistemas de información y comunicación, en forma simultánea con la integración de los elementos del sistema ferroviario en redes y la generación de un volumen creciente de datos integrados a estos sistemas. En el sistema ferroviario es cada vez más frecuente, en función de la incorporación de tecnología por parte de los operadores, que los procesos de resolución de problemas sean trasladados de procedimientos realizados por personas a los sistemas informáticos y automatizados para alcanzar mejoras en la eficiencia de las operaciones.

Como se demostró en diferentes proyectos, la industria ferroviaria desarrollo capacidades en las áreas de monitoreo y recopilación de información con un gran número de parámetros que son monitoreados y registrados en forma automática y remota. El aumento en el ancho de banda de las telecomunicaciones y la ubicuidad combinadas, además de la reducción de los costos allanan el camino para los sistemas que transfieren rutinariamente la información registrada desde los activos monitoreados a los repositorios de información. El resultado de este proceso es la existencia de un número creciente de repositorios con diferentes características y capacidad de almacenamiento de información, a los que se puede acceder con herramientas específicas y diferentes funciones analíticas. A medida que las necesidades o las nuevas tecnologías se hacen evidentes, se crean nuevos repositorios e instrumentos para automatizar funciones adicionales de monitoreo y análisis.

Los sistemas inteligentes son sistemas altamente automatizados, el progreso de la digitalización puede explicarse por fenómenos globales como M2M o IoT, como resultado de estos cambios tecnológicos globales, los sistemas automatizados podrán ofrecer una funcionalidad extendida y un mayor nivel de automatización; como resultado, la autonomía de estos sistemas también puede incrementarse. El monitoreo y el análisis pueden proporcionar información para reducir costos en diferentes áreas del sistema ferroviario: dos ejemplos visibles son, el mantenimiento y la operación. Los costos de mantenimiento se reducen mediante la automatización de las actividades de inspección y también al aumentar el período entre tareas de mantenimiento. Los costos de operación se reducen mediante la detección temprana de fallas antes de afectar la operación y permite contar con una mejor información sobre el estado de los activos. Habilitar estas funciones requiere una mayor inteligencia en las diferentes áreas del sistema ferroviario; material rodante, infraestructura fija, señalamiento, operaciones y gestión del tráfico, mediante sensores adicionales, mejor conectividad y nuevas herramientas de almacenamiento y análisis de la información recolectada.

Existe una demanda creciente en la implementación de diversos desarrollos ferroviarios, sobre la base de los últimos resultados científicos en el campo de la automatización y la inteligencia artificial. Los sistemas de transporte inteligentes deberán proporcionar soluciones integrales para todos los modos de transporte. La infraestructura de transporte (incluidos sus vehículos) puede considerarse estratégica desde el punto de vista del desarrollo de los países; por lo tanto, su optimización es de primordial importancia. La inteligencia artificial y los sistemas inteligentes están transformando las actividades productivas, estos sistemas deberán incrementar sus aplicaciones en la industria del transporte de cargas ferroviarias en función de la complejidad cada vez mayor de estas redes de infraestructura. Las operaciones basadas en redes de datos y comunicaciones también tendrán un papel cada vez más importante en los sistemas ferroviarios. Una gran cantidad de datos generados por la operación basada en las redes ferroviarias de cargas se transformarán automáticamente en información, lo cual dará paso a las formas básicas de operación automática en el sistema ferroviario. El uso de masivo de inteligencia artificial en el futuro conducirá a una mayor eficiencia, sustentabilidad y seguridad del transporte ferroviario de cargas.

B. Tendencias en tecnologías de datos aplicados al transporte

El sector del transporte requiere para su planificación y operación la recopilación y análisis de grandes volúmenes de datos. Durante los últimos años debido a la posibilidad de digitalizar información y recolectar nuevos datos a través de sensores, teléfonos inteligentes y datos geoespaciales, entre otros, derivo en la acumulación masiva y diversa de datos provocando en forma ineludible que el transporte incorpore procesos de innovación tecnológica relacionada con el Big Data y las redes de Internet de las Cosas (IoT), donde se interconectan diferentes objetos a través de redes informáticas.

La disponibilidad de estos conjuntos de datos y la posibilidad de procesarlos a gran velocidad, además de nuevas técnicas analíticas desarrolladas en relación con la Ciencia de Datos y la Inteligencia

Artificial, facilitan la producción de conocimientos relevantes tanto para la formulación de políticas públicas, como en la optimización de las operaciones y la calidad de los servicios ofrecidos a los usuarios del transporte. Así, por ejemplo, el Deep Learning y Machine Learning, en el campo de la Inteligencia Artificial alcanzan avances inéditos, tanto para el desarrollo y operación de la infraestructura, como para la operación de los diferentes modos de transporte.

A través de la combinación de nuevas técnicas, en el análisis y operación del transporte, es posible convertir en conocimiento los grandes flujos de datos, por ejemplo, a través de la simulación del tráfico a gran escala permitiendo que los sistemas de transporte puedan ser más eficientes e inteligentes. Los desarrollos tecnológicos futuros se centran en las formas de proporcionar un transporte, más seguro, limpio y eficiente (mayor rendimiento y menores costos). Entre otros, los temas clave se centran en: el diseño de nuevas infraestructuras de transporte inteligente, la seguridad mejorada y la optimización en los procesos de logística inteligente tendiente a la reducción de costos y emisiones.

Gran parte de los datos utilizados como insumos contienen un componente geoespacial, así como una dimensión temporal que facilita la comprensión más detallada de los procesos de transporte, por ejemplo; dónde están las cargas, cuáles son sus orígenes y destinos, en qué condiciones y, en algunos casos, cómo y con qué propósito se movilizan. Un volumen considerable de los datos necesarios para estas inferencias se recopila en formas diferentes a las tradicionales, a partir de una amplia diversidad de plataformas de detección y en diversos formatos, con ventajas reconocidas sobre los métodos tradicionales, tales como: escala (cobertura de redes de transporte completas, por ejemplo, por carretera y ferrocarril), generación y frecuencia en la producción de datos (24 horas al día durante los 365 días del año, con recopilación en tiempo real y automática). Los datos son recopilados, almacenados y explotados por un conjunto diverso de actores que se extienden mucho más allá del campo del transporte y en particular por el sector privado. La mayor parte de los referidos desarrollos, permiten la producción de servicios basados en la ubicación (LBS, Location Based Services).

La producción de información está evolucionando rápidamente, de datos analógicos registrados por la infraestructura, muchas veces en forma mecánica o electromecánica, a los datos digitales generados por sensores, en gran medida a través de la proliferación de dispositivos móviles, como dispositivos inteligentes, unidades a bordo (gestión de flotas) y dispositivos de navegación portátiles. Estos dispositivos y técnicas de suministro de datos contrastan en gran medida con los métodos de recolección de datos clásicos, como los datos obtenidos por métodos relacionados con dispositivos estáticos para el registro de datos, como circulación de vehículos o trenes.

En la medida que el sector privado recopila continuamente millones de datos georeferenciados como parte de sus modelos de negocio, o como un subproducto de los servicios que brindan basados en la ubicación, el volumen de datos relevantes para el transporte aumenta. Entre los principales desafíos del sector se plantea encontrar el sentido a estos nuevos conjuntos de datos, de forma tal que puedan ser utilizados en la toma de decisiones relacionadas con la operación del transporte y el diseño de políticas públicas. La optimización en el uso de la información generaría mayores eficiencias en el transporte y la logística.

La evidencia demuestra que los propios conjuntos de datos involucran un significado mayor que la mera acumulación de información, aumentan de tamaño en forma permanente y son digitalizados por diferentes sistemas en modo automático. Considerando esta dinámica desde la perspectiva de la gestión de los sistemas de transporte, es posible afirmar que existen tres aspectos relevantes para tener en cuenta:

- i) Identificar que es realmente necesario considerar desde la perspectiva del análisis de los datos en el contexto del transporte.
- ii) Determinar las prioridades acerca de la creciente vinculación entre la gestión del transporte y el análisis de datos.

- iii) Determinar e identificar temas relevantes con sus posibles métodos de aplicación, mediante la incorporación de técnicas instrumentales aplicadas al transporte ferroviario de cargas.

El sentido y alcance de la fundamentación referida al análisis de datos aplicado a la gestión del transporte ferroviario de cargas desde un concepto amplio y diverso en cuanto a fuentes y métodos deberá abordarse desde la diversidad de criterios, como por ejemplo: las diferencias con las fuentes de datos tradicionales del transporte; cual es el significado de esas diferencias en cuanto a la información que pueden proporcionar; cómo las diferencias de información generan impactos concurrentes en las técnicas analíticas para su procesamiento (desde la perspectiva metodológica del tratamiento de datos convencionales y el diseño de modelos predictivos) y cuáles son las implicancias de estas dicotomías (análisis de datos no convencionales y convencionales) en la gestión eficiente del transporte.

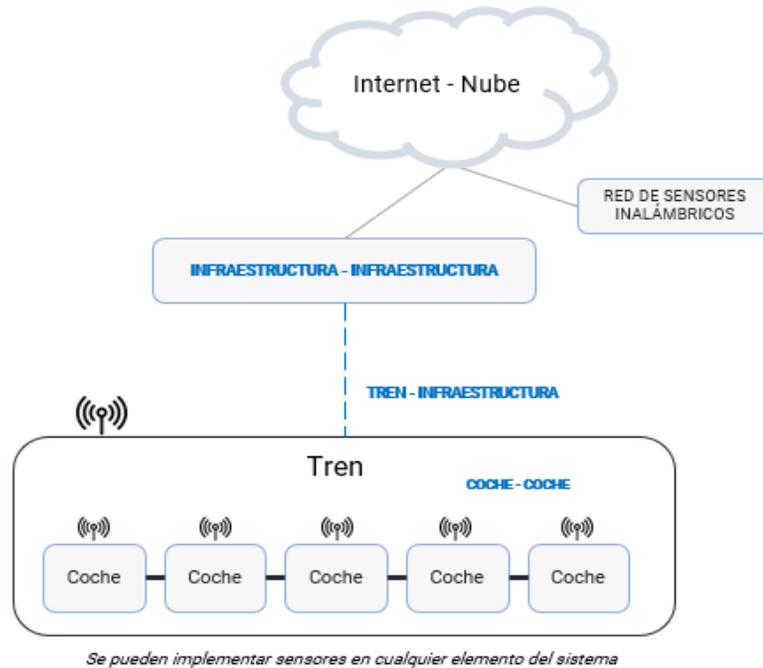
C. Definiciones desde la tecnología y la logística

Como punto de partida, para comprender los aspectos vinculados a los sistemas de transporte de cargas ferroviarias inteligentes, se considera relevante realizar un abordaje sobre ciertos conceptos relacionados con la tecnología y cuestiones vinculadas al conocimiento de la logística y la gestión de las cadenas de suministro.

1. Aspectos tecnológicos

Desde el punto de vista tecnológico, gran parte de las mejoras alcanzables en las operaciones de cargas inteligentes se basa en la gestión inteligente de los datos y la recolección y análisis de datos aplicados a la gestión y operaciones de los sistemas de cargas ferroviarias; que requiere una estructura física compuesta por sensores y antenas, entre otros elementos, como así también ciertos estándares para el tratamiento de la información, la cual presenta diferentes formatos y diversas estructuras de las bases de datos aplicadas a estos procesos. Si bien en los siguientes párrafos se explican en detalle cada una de las principales tecnologías que actualmente se encuentran vigentes, a continuación, se exponen los esquemas genéricos de conexión y vinculación en las redes de datos desde una perspectiva conceptual, con la finalidad de explicar las interfases de diálogo entre los diferentes componentes de la infraestructura y equipos del sistema ferroviario con sus características.

Diagrama 1
Estructura de comunicación – Principales conexiones



Fuente: Elaboración propia en base a Sensors (2017).

- i) **Tren – Infraestructura:** Corresponde a un flujo bidireccional donde existe un alto intercambio de datos y una baja latencia (latencia: retardo temporal). Este tipo de comunicaciones requiere de dos tipos de enlaces a través del Access Point (AP) – Punto de acceso:
 - Transceptores – Localizados en el tren
 - Transceptores – Localizados en la infraestructura fija
- ii) **Infraestructura – Infraestructura:** Se refiere a la conexión que ocurre entre las infraestructuras. Las mismas se conectan en tiempo real y requieren elevados flujos bidireccionales de intercambio de datos y baja latencia. Se generan intercambios entre trenes, estaciones, y a lo largo de las vías.
- iii) **Coche – coche:** Pueden utilizarse conexiones inalámbricas o por fibra óptica. Sin embargo, las últimas pueden ser costosas en caso de cambios de configuración. Los AP se reconfiguran en cada coche de manera que cada uno actúa como estación cliente del AP del coche previo y a su vez como AP de todas las estaciones con respecto a dicho coche.

Un concepto significativo que posee vigencia en el ámbito de los trenes de carga inteligentes es el de “Internet of Smart Trains”. Este concepto considera que en función del desarrollo de Internet Industrial de las cosas (IIoT) se podrá lograr un impacto directo en el transporte ferroviario, con aplicaciones como: conducción autónoma y mejoras significativas en la gestión de las cargas. A su vez, los futuros escenarios podrán generar sucesivos beneficios para los operadores ferroviarios, se detallan algunos procesos:

- i) **Estandarización en la información utilizada:** Permite mantener una estructura de datos y lograr un intercambio eficiente entre todas las partes. También representa una mejora para

la creación de soluciones sustentables en el tiempo, siempre que se basen en un estándar el posible riesgo de obsolescencia es menor.

- ii) **Apertura de datos:** Promueve el análisis, la mejora y evaluación del sistema por parte de todos los involucrados.
- iii) **Escalabilidad de soluciones:** Debido a los dos factores precedentes, también es posible considerar este factor ya que se pueden alcanzar soluciones que se basen en un ambiente de información estandarizada, donde puedan participar varios involucrados y, de forma escalar, se podrían ir obteniendo respuestas superadoras sobre productos concretos, puestos en evaluación sobre situaciones prototipo / reales.

Las tres condiciones definidas permiten que los operadores ferroviarios y el resto de los actores involucrados en el sector, puedan intervenir mediante la propuesta, implementación y evaluación de soluciones innovadoras en base al uso de Big Data situación que posibilita un escenario de información masiva y monitoreo de cada uno de los elementos del sistema ferroviario. Debido a las referidas condiciones, es esperable lograr una mejora sustancial en la oferta de servicios producidos por este modo de transporte en el segmento de cargas.

Analizando las causas que permiten el desarrollo de este nuevo paradigma, se puede observar que corresponden a los avances alcanzados en determinados componentes del sistema ferroviario. Los mismos son los que se indican a continuación, basados en conceptos formulados por Sensors, 2017.

- i) **Redes de telecomunicación**
 - Redes de telecomunicaciones dedicadas a aplicaciones de IIoT.
 - Comunicaciones de banda ancha de bajo costo y alta velocidad.
 - Vinculación compañías ferroviarias – operadores de telefonía móvil, para el tendido de redes de fibra óptica a lo largo de los trazados de vías: conexión móvil continua.
 - Tecnología Máquina – Máquina (M2M) potencia y eficiencia mediante la incorporación de sensores embebidos en diferentes sistemas y objetos para automatizar tareas y derivar información en tiempo real para su análisis.
- ii) **Sensores para la recolección de datos**
 - Sensores de menor tamaño, costos reducidos y con menor consumo de energía.
 - En algunos casos se pueden lograr vidas útiles de baterías de hasta 5 años – factor relevante por la dificultad en el suministro de energía eléctrica.
- iii) **Servicios basados en la nube**
 - Cada vez con mayor penetración y accesibilidad por compatibilidad de sistemas.
 - Potenciados por una mayor conectividad y la incorporación de dispositivos inteligentes.
 - Permiten el almacenamiento de datos y proporcionan la posibilidad de cálculo requerida para los análisis de Big Data.
- iv) **Big data y sistemas ciber físicos**
 - Permiten la comunicación entre los distintos modos de transporte.
 - También facilitan la comunicación del transporte en entornos de integración completa.

2. Aspectos vinculados a la Logística

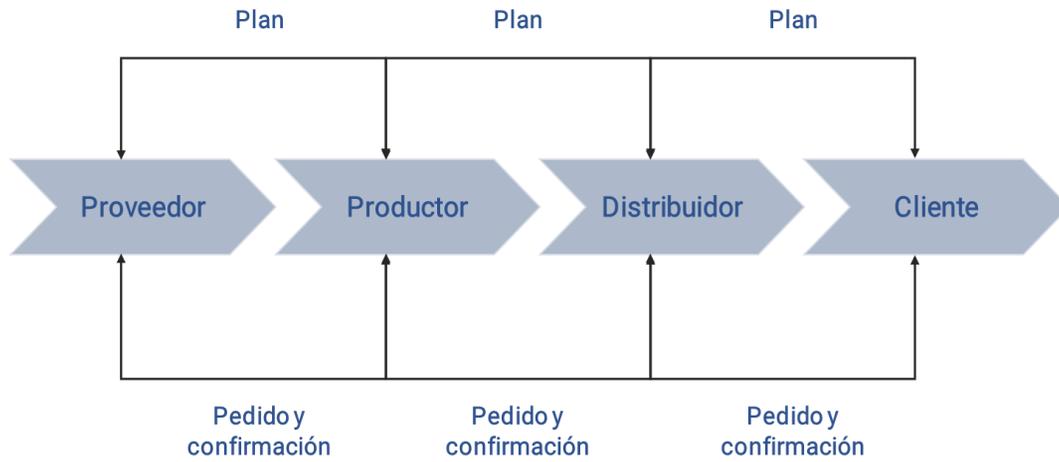
La logística es una disciplina que forma parte de la gestión de las cadenas de suministro (“Supply Chain”) y comprende una amplia variedad de actividades, entre las cuales pueden identificarse las siguientes:

- i) **Planificación y control de la producción:** Si bien no siempre forma parte de las actividades de los departamentos de logística en las estructuras de las empresas, corresponden a las actividades que forman parte de la disciplina.
- ii) **Planificación y gestión del abastecimiento:** Estratificación de niveles de abastecimiento por proveedor, definición de presentación de los diferentes productos, determinación de volúmenes de abastecimiento según necesidades de producción – venta.
- iii) **Planificación y gestión de la distribución:** Determinación y gestión del mix de distribución, contratación de transportistas terciarizados, cumplimiento de tiempos de entrega. Control del nivel de servicio.
- iv) **Diseño de red logística:** Determinación de estrategia y red de distribución y abastecimiento (proveedores, centros de distribución, terceros distribuidores, plantas de producción).
- v) **Gestión y planificación de transportes:** Contratación de servicios de transporte, asignación modal, diversificación de viajes entre diferentes operadores.
- vi) **Planificación y gestión del almacenamiento:** Definición de formatos de almacenamiento, ubicación de almacenes, control de costos de almacenamiento, proyección de necesidades futuras.
- vii) **Gestión de stocks:** Políticas de stock, determinación y monitoreo de puntos de reposición, definición de la metodología de gestión.
- viii) **Gestión de inventarios:** Determinación de metodologías de conteo, trazabilidad y confiabilidad de inventarios.

El concepto de *Supply Chain*, posee un alcance mayor ya que además de las actividades de la logística, involucra cuestiones más blandas y estratégicas. Puede abarcar desde temas referidos a la satisfacción del cliente final, hasta cuestiones vinculadas a la negociación con proveedores desde la una visión estratégica, el desarrollo de nuevos productos y la recolección y análisis de información en forma inteligente según la estrategia de negocio adoptada.

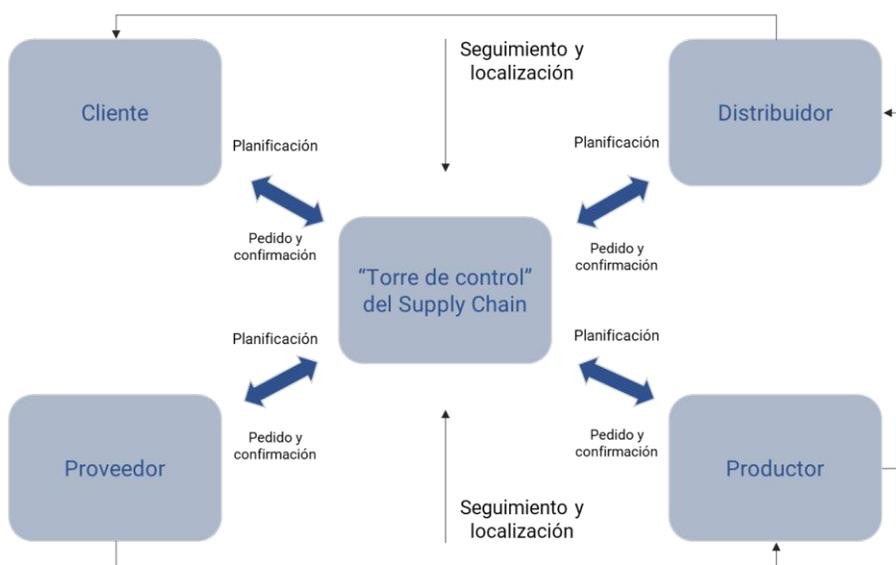
Según Banco Mundial, 2019 las tecnologías digitales están transformando la gestión de las cadenas de suministro debido a que se está experimentando una transformación de un modelo lineal en el cual se existían flujos de interacción en un único sentido (proveedor, productor, distribuidor, cliente) hacia un modelo de múltiples interrelaciones, con mayor integración, donde los flujos de información circulan en variadas direcciones. Este concepto es definido como *Supply Chain 4.0*.

Diagrama 2
Esquema tradicional – Supply Chain



Fuente: Elaboración propia en base a Banco Mundial (2019).

Diagrama 3
Nuevo modelo – "Supply Chain 4.0"

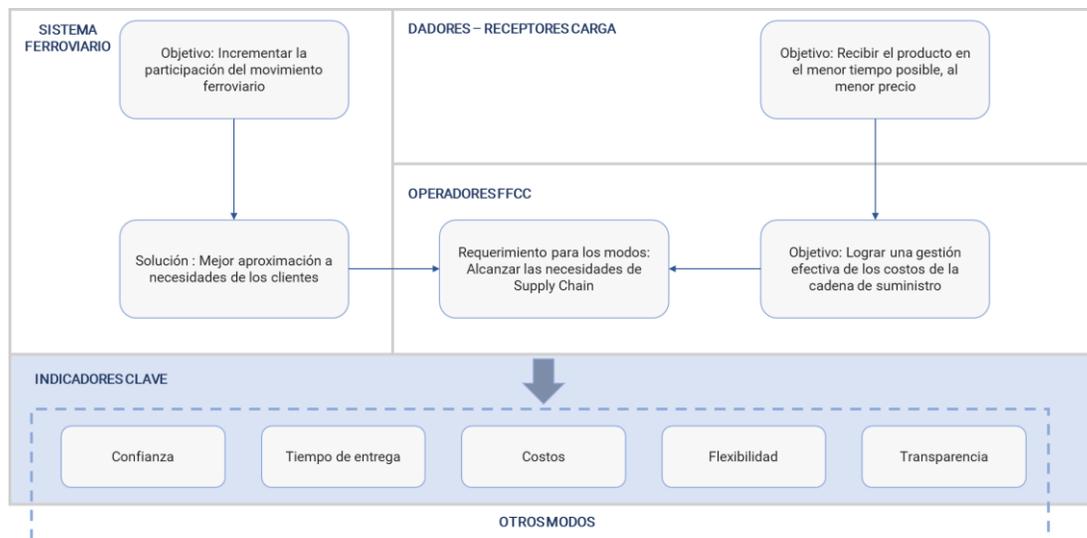


Fuente: Elaboración propia en base a Banco Mundial (2019).

Respecto a esta tendencia, se plantea un escenario de relativa incertidumbre, ya que es posible considerar que el modelo en cuestión podría generar una mayor coordinación entre los actores, mejores oportunidades de crecimiento o quizás podría ocurrir que determinados países queden excluidos de las cadenas globales de valor. Los escenarios son cambiantes y por el momento inciertos, algunos análisis indican un acortamiento de las cadenas y posibles relocalizaciones de las zonas de producción.

Tomando como base los conceptos mencionados, es posible plantear un esquema particular para el sector ferroviario en base a TRA, 2018. En el mismo se observan los objetivos según el actor en cuestión y los indicadores clave que miden el desempeño y su relación con otros modos de transporte.

Diagrama 4
Interacción de objetivos e indicadores clave – Sector ferroviario



Fuente: Elaboración propia en base a TRA (2018).

D. Uso de sensores y conexiones M2M

En esta sección, en primer término, se explican las principales tecnologías aplicadas a las comunicaciones en entornos ferroviarios. Para cada una se detallan aspectos técnicos, características clave de su funcionamiento y se propone una noción sobre sus correspondientes arquitecturas. En segundo lugar, se plantea un panorama general sobre el concepto de conexiones máquina – máquina (M2M), y sus potencialidades.

1. Comunicaciones en entornos ferroviarios

Tomando como referencia a Gallego Menéndez, L. (2018) se explicarán a continuación las siguientes tecnologías:

- Global System for Mobile Communications – Railways (GSM – R)
- Terrestrial Trunked Radio (TETRA)
- Long Term Evolution (LTE)
- Voz Long Term Evolution (VoLTE)
- 5G

a) Redes GSM – R

Este tipo de redes representan el estándar de comunicación ferroviaria más extendido en el mundo, motivo por el cual poseen como gran ventaja su universalidad y alto grado de estandarización.

A nivel técnico, su principal fortaleza son las comunicaciones por voz. Se basan en el estándar GSM (Sistema Global de Comunicaciones Móviles) público y funcionan principalmente en la banda de 900 MHz – también pueden funcionar en bandas 850 MHz y 1800 MHz-.

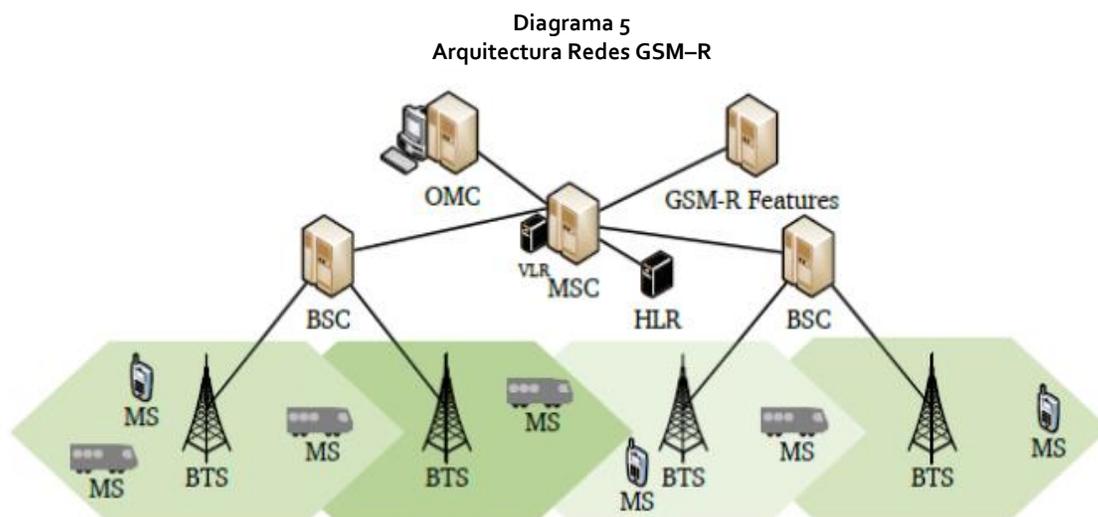
Si bien el alcance de esta opción es global y ofrece buenas ventajas, está comenzando su etapa de obsolescencia debido fundamentalmente a características funcionales relacionadas con la transmisión de datos según Gallego Menéndez, L. (2018):

- No representa un buen soporte para aplicaciones en tiempo real.
- Se presentan interferencias en zonas de alto tráfico.
- Producen Interferencias con otro tipo de redes públicas.

En cuanto a la arquitectura de la red, la misma comprende los elementos indicados a continuación:

- Estaciones móviles (MS):** Terminales de usuario con conexión inalámbrica a la red.
- Subsistema de estaciones base (BSS):** Sus componentes son la estación base de control (BSC) y un conjunto de estaciones base transmisoras (BTS). Permiten la comunicación con las estaciones móviles.
- Subsistema de conmutación y de red (NSS):** Consiste en el núcleo de la red, que se compone por nodos del centro de conmutación móvil (MSC), el registro de localización doméstico (HLR) y el registro de localización de visitantes (VLR). El MSC tiene como función administrar las estaciones móviles, gestionando las llamadas y la movilidad.

Se presenta un esquema conceptual sobre la arquitectura previamente explicada.



b) Tetra

Si bien esta tecnología fue rechazada para el uso de los trenes europeos en sus comienzos, logró consolidarse como la tecnología de los ferrocarriles en Kazajistán y Taiwán¹. Sus ventajas sobre GSM-R se deben al menor costo, mayor capacidad y mayor rango de las celdas. De todos modos, no representa ventajas sustanciales en relación con otras tecnologías de estándares técnicos similares. Este sistema opera en la banda de frecuencias de 400 MHz.

Respecto a sus usos, permite comunicaciones directas en situaciones donde la cobertura de las redes es baja o nula, como por ejemplo en entornos subterráneos. También se utiliza para la autenticación de terminales a través de la infraestructura, para el canal de control mediante mensajes de estado y servicios de datos cortos, y para la protección contra escuchas secretas, cifrado de la interferencia del aire y cifrado punto a punto.

A pesar de poder identificar ciertas ventajas en esta tecnología, está quedando obsoleta como el GSM-R: Se sigue utilizando por su alto grado de seguridad y eficiencia en escenarios complejos.

c) LTE

Su funcionamiento se basa en el protocolo de internet (IP) y permiten realizar comunicaciones de voz y datos mediante la conmutación de paquetes. Las redes de acceso son conexiones de estaciones base, llamadas eNBs ("Nodos B evolucionados"), que se encuentran interconectadas entre sí y con el núcleo de la red.

Entre sus ventajas, LTE permite la diferenciación de tráfico, protección y priorización sobre las redes radio y troncales. También incluye mecanismos estandarizados para funcionar con otras tecnologías: permite cambios rápidos de una red a otra.

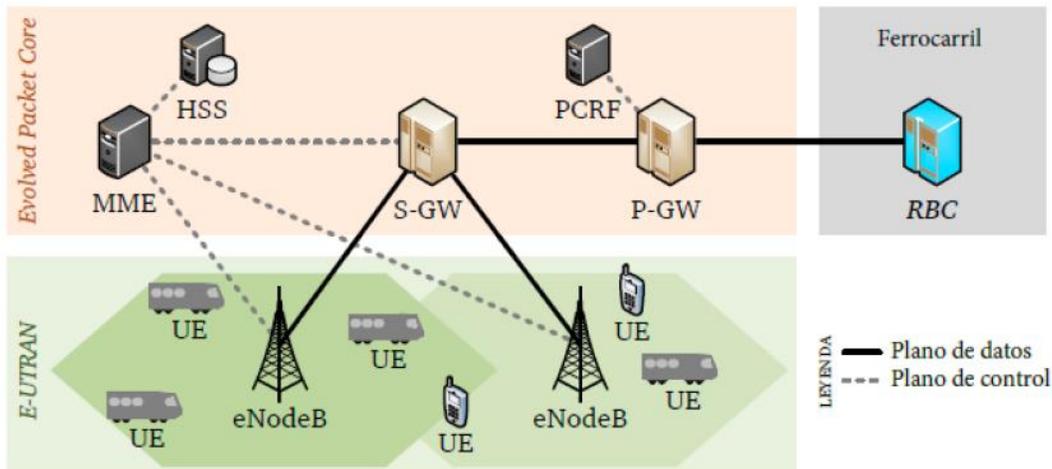
"LTE es la última familia de estándares de comunicaciones móviles, por lo tanto, existe un menor riesgo en cuanto a su obsolescencia en relación con estándares anteriores".

Respecto a su arquitectura, el acceso radio se denomina E-UTRAN ("Red de Acceso Radio Terrestre Universal Evolucionada") los componentes del sistema consisten en Equipos de Usuario (UEs) que son dispositivos de radio y los eNodeBs, que corresponden a las estaciones base. Por otro lado, la red troncal denominada EPC consta de los siguientes nodos lógicos:

- i) **Pasarela de servicio (S-GW):** Interconexión de la pasarela de las redes de paquetes de datos (P-GW) con el eNodeB.
- ii) **Pasarela de las redes de paquetes de datos (P-GW):** Nodo frontera entre red LTE y redes exteriores. Interfaz del Centro de Bloque por Radio de los trenes (RBC) donde se recibe y transmite información de posicionamiento.
- iii) **Entidad de gestión de movilidad (MME):** Señalización entre eNodeB y núcleo de la red. Autenticación, administración del servicio portador, gestión de movilidad, e interconexión con otras redes radio.
- iv) **Servidor del suscriptor doméstico (HSS):** Base de datos de usuarios.
- v) **Función de política y reglas de cargas (PCRF):** Políticas y reglas de la calidad del servicio.

¹ También utilizada en un sector de la red ferroviaria del Área Metropolitana de Buenos Aires, Línea General Sarmiento.

Diagrama 6
Arquitectura LTE



Fuente: Gallego Menéndez L., 2018. Nota. Licencia Creative Commons.

Esta tecnología presenta ciertos desafíos, entre los que se destacan los siguientes:

i) **Proporción de servicios de voz**

- Cuando se produce una llamada se debe apagar la radio LTE y traspasar todos los servicios a una de las otras redes implantadas.
- Implica tiempos de procesamiento de llamadas largos y discontinuidad de las comunicaciones de datos durante la llamada.
- Solución: Voz LTE (VoLTE) que se basa en Subsistemas Multimedia IP (IMS) y transmite voz por IP:
- Se basa en estándares abiertos bien definidos.
- Ofrece interoperabilidad con generaciones previas de conmutación de servicios.

ii) **Traspaso**

- Requiere mecanismos de traspaso que eviten la pérdida de paquetes de datos en los tiempos de re-asociación.
- Como soluciones existen: i) Traspaso Suave: continuo, en paralelo por dos canales para evitar interrupción ii) Traspaso Duro: Optimiza el mecanismo de traspaso, es brusco pero eficiente por minimizar tiempo de traspaso.

iii) **Calidad de mecanismos de servicios y control de accesos en las redes**

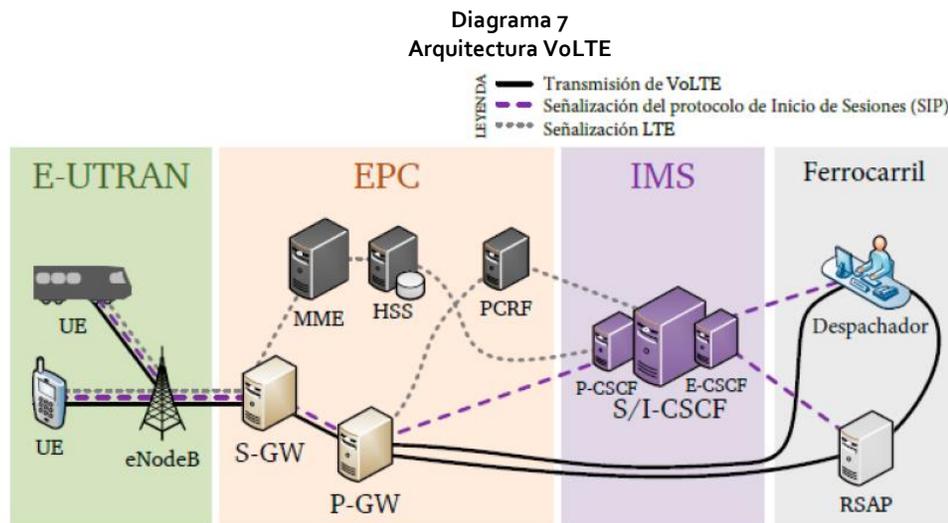
- Asegurar el envío de paquetes de voz y datos junto con requisitos de retardos, de tasa de errores, tiempo de interrupción de traspaso, de establecimiento de llamada y de velocidad.
- Solución: Mecanismos preparados para planificación en tiempo real que aseguran estándares según prioridades de los usuarios.

iv) **Funcionamiento en entornos de alta velocidad**

- Existencia de interferencias debidas al efecto Doppler².
- Solución: Se puede minimizar mediante técnicas Múltiples entradas – Múltiples salidas (MIMO) o métodos de cancelación basados en una estimación mejorada del canal.

d) Voz LTE

Su arquitectura se compone de tres partes principales: E-UTRAN, EPC e IMS. El componente que hace a esta tecnología distintiva respecto a LTE, es el Subsistema Multimedia IP (IMS), cuya función es la de gestionar las llamadas, permitiendo la transmisión de voz por IP.



Fuente: Gallego Menéndez L., 2018. Nota. Licencia Creative Commons.

e) 5G

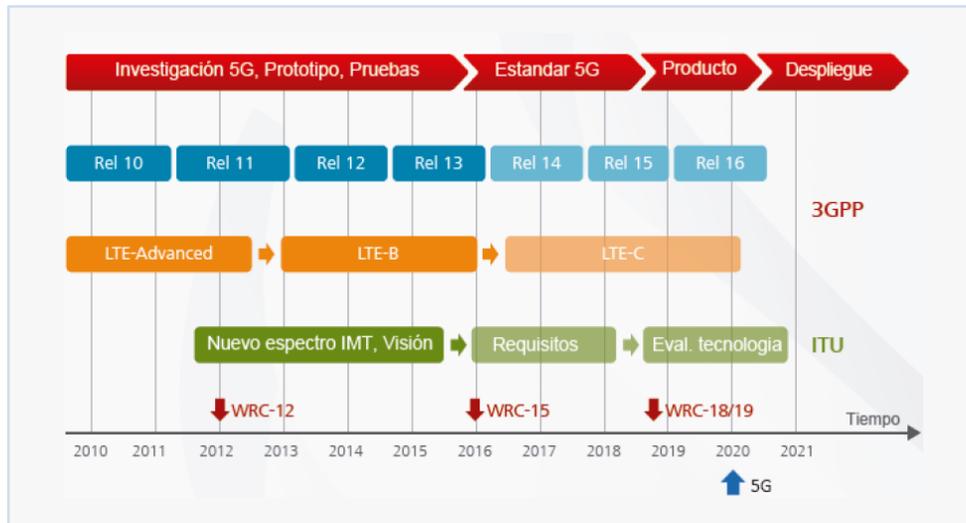
Esta tecnología funciona en distintas bandas de frecuencias: Alta, media, baja. Entre sus ventajas se puede destacar que presenta buena performance en entornos de altas velocidades ~500 Km/H, cuenta con gran potencialidad en conexiones masivas de usuarios (1 M en comienzo – 100 B cuando esté afianzada) y por ende permite el intercambio masivo de datos, lo cual es un requisito de las aplicaciones en entornos de trenes inteligentes.

Permite ofrecer servicios de voz y datos mediante conmutación de paquetes y posee un núcleo basado en la red lo cual le permite alcanzar mayor flexibilidad de servicios y funciones, cuenta con la fortaleza de mejorar la coordinación entre estaciones.

Para comprender la evolución del desarrollo e implementación de esta tecnología se puede observar la siguiente figura, en la misma es posible apreciar que el año de lanzamiento comercial sería el 2020 pero en algunos países dicho hito fue alcanzado en el año 2019.

² Efecto físico que se produce cuando el emisor de ondas y el respectivo receptor verifican un movimiento relativo entre sí, produciendo una modificación en la frecuencia percibida por el centro receptor.

Diagrama 8
Evolución desarrollo e implementación 5G

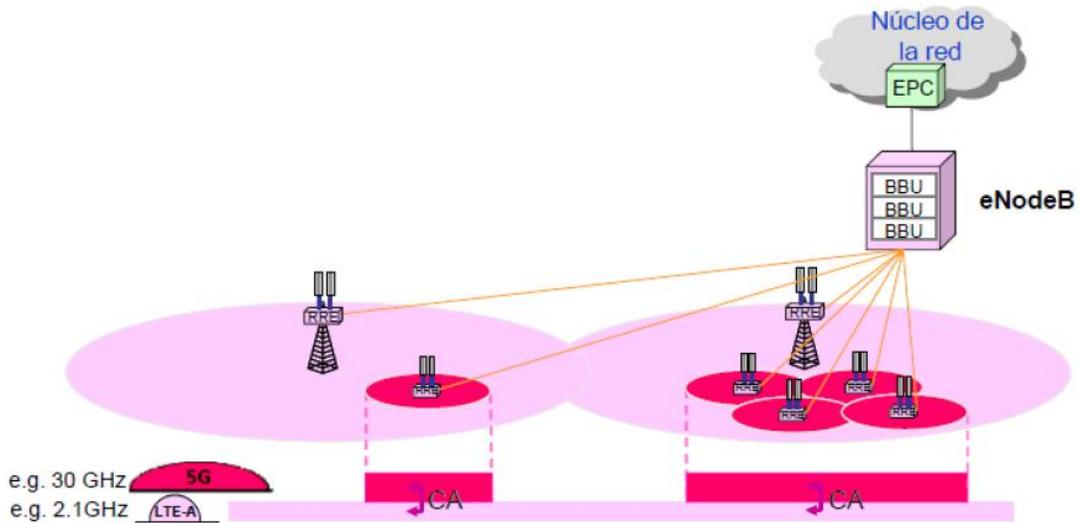


Fuente: Gallego Menéndez L., 2018. Nota. Licencia Creative Commons.

Para realizar la integración de frecuencias bajas y altas se utiliza el concepto de *celda fantasma* lo cual implica que se utilizan celdas pequeñas, casi imperceptibles para el usuario (por eso la denominación "*celdas fantasma*"), para densificar la red con nodos de baja potencia y de este modo, poder abarcar zonas de alto tráfico. Su arquitectura contempla una *Red de Acceso Radio Centralizada Avanzada* (C-RAN), la cual consiste en varias ramas de equipamiento de radio remoto que utilizan agregación de celdas pequeñas–grandes.

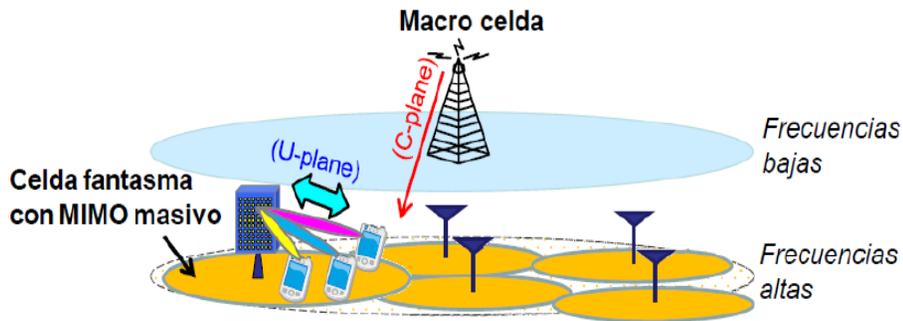
A su vez, el concepto de Celdas Fantasma separa el plano de control y el de usuario entre macroceldas y celdas pequeñas que utilizan bandas de frecuencia diferentes. De este modo es posible lograr un servicio robusto incluso en ambientes de alta velocidad. El concepto fundamental es que la tecnología de comunicación 5G coexista con sistemas previos como GSM y LTE.

Diagrama 9
Arquitectura red 5G



Fuente: Gallego Menéndez L., 2018. Nota: Licencia Creative Commons.

Diagrama 10
Concepto celda fantasma – MIMO



Fuente: Gallego Menéndez L., 2018. Nota: Licencia Creative Commons.

2. Conexiones M2M

Las conexiones máquina – máquina (M2M) son un elemento central en los ambientes de alta conectividad tales como los que se esperan con la implementación masiva de soluciones de *Internet Industrial de las cosas* (IIoT) donde el sector del transporte se identifica como uno de los ámbitos con mayor potencial en cuanto a la aplicación de este tipo de conexiones.

Las conexiones M2M consisten en tecnologías que permiten captar y analizar datos sin intervención humana o con una mínima configuración inicial. Entre sus ventajas se destacan la potencialidad para realizar actividades repetitivas y la elevada precisión con que pueden realizar estimaciones y mediciones de tiempos.

Las soluciones M2M presentan una inmediata asociación con la terminología “*Big Data*” ya que según Antón–Haro y Dohler, 2015 cuentan con las siguientes características distintivas:

- i) **Respuesta instantánea (en tiempo real):** Permiten ofrecer respuestas en entornos de datos masivos de forma instantánea. Utilizan información histórica, pero realizan análisis sobre datos de corto plazo e incluso en tiempo real. De esta forma se logra optimizar la respuesta y actuar de forma inmediata.
- ii) **Escalabilidad:** Cualquier involucrado en el sistema puede lograr adaptaciones y escalar las soluciones existentes, sin afectar desarrollos previos.
- iii) **Soluciones ubicuas / universales:** Esta característica es clave para un correcto desempeño de una implementación de tecnología M2M. Es fundamental que se logre un uso masivo para lograr masa crítica.
- iv) **Fiabilidad:** Es imprescindible que cualquier solución M2M cumpla con esta característica, sobre todo en lo que refiere a los entornos ferroviarios, debido a la complejidad que en ellos existe y los riesgos asociados (volúmenes transportados, tipos de carga, velocidades).
- v) **Tratamiento de datos heterogéneos:** La diversidad en los orígenes de datos es un aspecto que debe ser considerado como estratégico y es necesario que cualquier implementación M2M pueda resolver diversas fuentes de distintas características, para producir información acorde a los requerimientos en la toma de decisiones.

E. Recopilación y análisis de los datos

A partir de la implementación y mejora de los sistemas de comunicación y, la dotación de tecnología cada vez más avanzada, sobre todo en el entorno ferroviario, es esperable alcanzar una mejora sustancial en cuanto a la comunicación, la capacidad de respuesta y la gestión del sistema en su conjunto.

Aplicando el tratamiento adecuado de los datos y generando información para cada una de las partes interesadas es posible resolver problemas significativos de una forma cada vez más inteligente: desarrollando soluciones eficientes con un alto grado de conocimiento y consecuentemente con mayor valor agregado.

En cuanto a las comunicaciones del futuro, es necesario considerar la tecnología 5G como un estándar a implementar debido a la gran potencia que contempla y a las necesidades cada vez más demandantes del ferrocarril. Este tipo de tecnología se considera adecuada para generar un sustento adecuado en aplicaciones masivas con altos niveles de monitorización, control y respuesta en tiempo real.

Respecto a las posibles aplicaciones consideradas en el ecosistema de trenes de carga inteligentes, se encuentran las siguientes:

1. Mantenimiento predictivo

Permite una mejora sustancial en decisiones de mantenimiento gracias a la recolección e identificación de las siguientes variables, entre otras: localización exacta, velocidad, peso, datos de vibración y generación de estadística temporal.

Facilita la toma de decisiones instantáneas, mediante el uso de algoritmos que permiten predecir eventos críticos y actuar al respecto. También es posible establecer planes de mantenimiento más inteligentes, debido al alto grado de monitorización y consecuente conocimiento del comportamiento del sistema en su totalidad.

Como resultado es posible obtener reducciones sustanciales en costos, mejora de la disponibilidad de equipos (disminución de inactividad no planificada), ampliación de los plazos de mantenimiento debido a una mayor comprensión del riesgo existente en cada componente en cada

momento, aumento de eficiencia en la utilización de los activos, reducción de costos de mantenimiento, y simplificación de procesos.

2. Monitorización avanzada de problemas

Es posible utilizar sensores en el monitoreo de los elementos críticos del tren, para conocer el comportamiento de los mismos y de este modo facilitar la toma de decisiones necesarias. Posibilita establecer niveles de alerta para los diferentes comportamientos y en base a su evolución se accionan en base a las contingencias detectadas. Entre los elementos que es posible monitorear mediante la aplicación de estas prácticas se encuentran los sistemas de frenos y equipos de emergencia, entre otros.

3. Sistemas de videovigilancia

Mediante capturas audiovisuales de alta resolución, pueden monitorearse los distintos componentes físicos del sistema ferroviario, a través de circuitos CCTV inteligentes que poseen la capacidad de emitir alertas y comunicaciones frente a la identificación de situaciones anormales.

4. Sistemas de información de mercancías

Su utilidad se basa en que generan una gestión operativa más eficiente de la capacidad y del procesamiento de las cargas, desde la reserva hasta la planificación del uso de los trenes. También permiten basar las decisiones en datos mensurables con un alto grado de precisión y realizar análisis de optimización. Facilitan información clave en tiempo real y permiten el monitoreo constante con el uso de sensores.

5. Certeza de seguridad y sistemas de señalización

La mejora de la seguridad comprende una de las aplicaciones más importantes de IIoT. Mediante su uso se logra evitar colisiones a través de controles de proximidad gracias a la implementación de sistemas GPS. También permiten optimizar las velocidades de los diferentes trenes y es posible establecer comunicaciones entre sistemas de señalamiento y los trenes para detenerlos de forma completa, en caso de detectar un umbral crítico o una situación atípica.

Entre los sistemas que permiten lograr grandes avances a partir de la implementación de este tipo de soluciones se encuentran:

- i) Señalización: Ajuste de velocidad y frenado.
- ii) Control de pasos a nivel: Implementación de cámaras de control y sensores.
- iii) Sistemas de enclavamiento: Se alcanzan altos niveles de automatización para evitar colisiones, integrando datos de los sistemas de señalamiento y enviando instrucciones a los sistemas de enclavamiento.
- iv) Sistemas de despacho: Además de incorporar diferentes tipos de datos, es posible integrar la información y alcanzar mejoras en la comunicación (llamadas grupales, troncalización de voz, mensajes multimedia, entre otros) que permiten un control más eficiente de los despachos. También es posible utilizar videos en el caso de los sistemas autónomos para un monitoreo preciso.

6. Sistemas autónomos

Los sistemas de conducción autónomos pueden ser semiautomáticos, requieren operaciones de señalización y frenado. También existen de tipo automáticos que se basan en técnicas de inteligencia artificial.

7. Eficiencia energética

Se podrían considerar cuatro niveles de eficiencia energética en el ámbito de los trenes inteligentes: i) conducción eficiente, ii) coordinación y reprogramación de múltiples trenes en tiempo real, iii) optimización de horarios que logren eficiencia energética y la iv) planificación de ahorro energético. Es decir, se pueden lograr mejoras desde las cuestiones puramente operativas hasta el análisis íntegro del sistema, planificando los mejores horarios, optimizando velocidades y trayectorias.

F. Ejemplos en el mundo desarrollado

A partir del abordaje realizado hasta el momento, en este apartado se presentan un conjunto de experiencias en el mundo desarrollado. La finalidad es indagar sobre algunos desarrollos considerados como casos de innovadores con resultados óptimos, en diferentes partes del mundo y detectar procesos de buenas prácticas sugeridos para Latinoamérica.

Un buen ejemplo institucional en cuanto a la innovación, investigación y promoción de las tecnologías aplicadas al desarrollo de trenes inteligentes es el de Shift2Rail que corresponde a una Joint Venture de la Unión Europea. Esta organización ofrece la posibilidad a la industria, universidades, centros de investigación, empresas medianas y pequeñas y gobiernos de trabajar en conjunto para producir un cambio modal basado en una mejora de performance del sistema ferroviario europeo. El historial de proyectos llevados a cabo y en implementación, considera una cartera de 84 proyectos diferentes que contemplan todas las tendencias de innovación posibles del sector en cuestión.

Sus proyectos tienen como prioridad la generación de demostraciones para visualizar y probar de manera concreta las transformaciones que son capaces de provocar las diferentes innovaciones en la práctica. Las demostraciones también permiten una cuantificación más adecuada del impacto de cada nueva tecnología (ya sea sola o combinada con otras innovaciones).

Según información provista por Shift2Rail, 2020, algunos ejemplos de los proyectos que se identifican dentro de su cartera son los siguientes:

- i) **X2RAIL-1:** Su objetivo se centra en la investigación y desarrollo de 6 tecnologías clave para el fomento de innovaciones y desarrollos en el ámbito de los sistemas de automatización y señalización ferroviaria para lograr la implementación de sistemas de gestión de tráfico y de apoyo a la toma de decisiones. La inversión asignada es de 41,2 M€ y su período de desarrollo es de septiembre de 2016 hasta fines de diciembre de 2020. Entre las mejoras específicas investigadas en este proyecto se encuentran las siguientes:
 - Sistemas de comunicación: Lograr una mejora de los sistemas actuales mediante la adaptación de sistemas de comunicación por radio.
 - Operación automática: Incrementar la capacidad, implementando sistemas de operación automática (ATO) y sistemas de bloques móviles.
 - Sistemas de señalización: Innovar en los sistemas de señalización mediante la implementación de sistemas descentralizados y más económicos
 - Puntualidad y eficiencia energética: Se busca optimizar la puntualidad y la eficiencia energética mediante el uso de sistemas de operación automática (ATO).
 - Desarrollo de arquitecturas para nuevos sistemas de pruebas de laboratorio y simulaciones para sistemas de control, comando y comunicación con el fin de reducir costos.
 - Mejorar la seguridad de los sistemas de señalización y control mediante el desarrollo de sistemas de ciberseguridad.

- ii) **X2RAIL-4:** Investigación sobre mejoras en señalización, automatización y supervisión ferroviaria. Permitirá complementar la estrategia de la organización ya que entre los objetivos de largo plazo se busca el control de tráfico inteligente, flexible y en tiempo real. El monto de inversión del proyecto es de 41,1 M€ y el período del mismo abarca desde diciembre de 2019 hasta fines de febrero de 2023. Entre las mejoras específicas buscadas se encuentran:
- Desarrollo y prueba de conducción automática, con búsqueda de mejoras en capacidades, disminución de costos de operación y ahorros energéticos.
 - Preparación de un prototipo innovador para lograr una localización y comunicación integral entre la cola del tren y la cabina.
 - Diseño y desarrollo de estructura de comunicación estandarizada para aplicaciones de gestión de horarios y el control de tráfico.
- iii) **ARCC:** Automated Rail Cargo Consortium es un proyecto que pretende iniciar investigaciones para automatizar tareas del transporte ferroviario de cargas con el objetivo de reducir costos, e impulsar niveles de calidad y eficiencia. Su presupuesto es de 3,6 M€, comenzó en septiembre de 2016 y finalizará en abril de 2021. A continuación, se detallan los avances específicos esperables:
- Desarrollar mejoras en el uso de trenes automatizados.
 - Desarrollo de sistemas de soporte automatizados, ejemplo: terminales de transbordo.
 - Mejora de la red ferroviaria mediante una planificación avanzada de horarios.
- iv) **DYNAFREIGHT:** Este proyecto contemplo dos áreas de investigación, la primera correspondió al desarrollo de prototipos con diseños orientados a la disminución del desgaste de los distintos elementos del material rodante, y en segundo lugar se investigaron aspectos relacionados con el objetivo de implementar planes vinculados a la operación de trenes de carga de gran longitud en forma regular. Como objetivos específicos se buscaba reducir costos, desgaste, incrementar capacidad y mejorar la performance de tracción y velocidad. El proyecto consideró una inversión de 1 M€ y su período de desarrollo fue desde noviembre del 2016 hasta junio 2018.
- v) **IN2SMART:** Consistió en un proyecto que buscaba ampliar los conocimientos en cuanto a la gestión de activos ferroviarios. Dentro de los objetivos particulares se pretendió i) Implementar sistemas de medición y seguimiento para recopilar datos heterogéneos referidos al estado de los activos ferroviarios, ii) establecer procedimientos de gestión, recolección y análisis de datos relacionados con el mantenimiento y desarrollar herramientas de detección de anomalías para predecir deterioros de piezas críticas y iii) definir procedimientos y estrategias para facilitar la toma de decisiones en un marco basado en la combinación de modelos tradicionales y modelos de degradación basados en datos, para anticiparse a los escenarios futuros basados en herramientas de soporte de decisión. Su presupuesto fue de 16,4 M€ y el período del proyecto abarcó desde septiembre 2016 hasta octubre 2020. Actualmente se encuentra en desarrollo la continuación de este proyecto, IN2SMART2, su presupuesto es de 23 M€ y el período estipulado es desde diciembre 2019 hasta noviembre 2022.

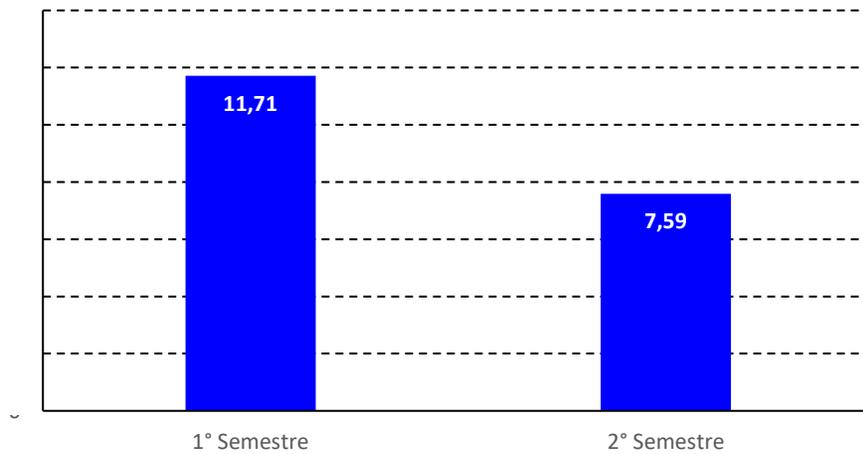
También, es importante destacar el desarrollo del sector de trenes de carga inteligentes en algunos países asiáticos. Un ejemplo claro de ello es el desarrollo chino de un **tren de carga autónomo con una extensión de 1530 metros de longitud, con capacidad de transportar 10.000 toneladas de carbón utilizando 108 vagones de carga**. El proyecto fue inaugurado el 16 de octubre de 2019 y su operación contempla la ruta Shenmu–Shuozhou. Este hito expone el avance de la industria ferroviaria china, situándola en la vanguardia de los trenes de carga inteligentes a escala mundial.

G. El COVID-19 y su afectación al tráfico de cargas

La pandemia que está ocurriendo actualmente debido al surgimiento de brotes masivos del virus SARS-CoV-2 ha alterado completamente el normal funcionamiento de todo el planeta. Dentro de esta alteración, se observaron modificaciones bruscas en el funcionamiento de múltiples cadenas de valor y por ende de sus cadenas de suministro.

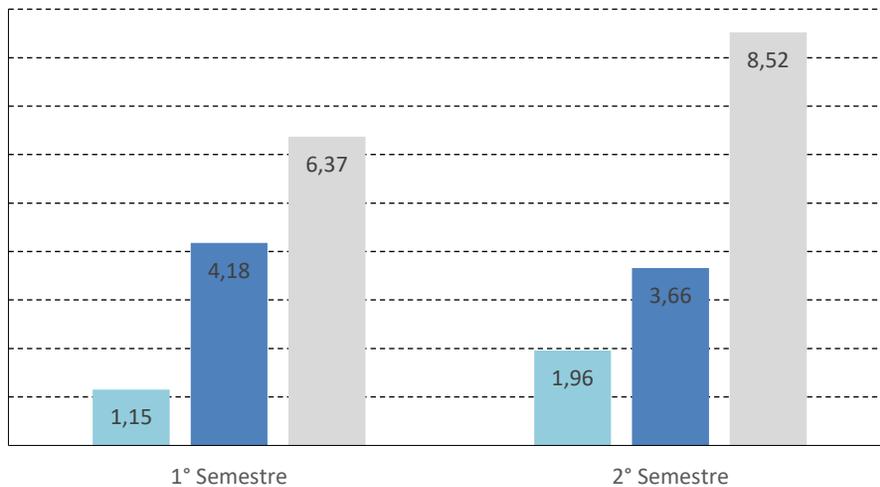
Según datos provistos por la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC), se pueden determinar las pérdidas sufridas en el sector ferroviario de cargas a nivel mundial y con cierta aproximación a escala regional. A continuación, se detalla la referida información en.

Gráfico 1
Pérdidas en Millones de dólares transporte mercancías



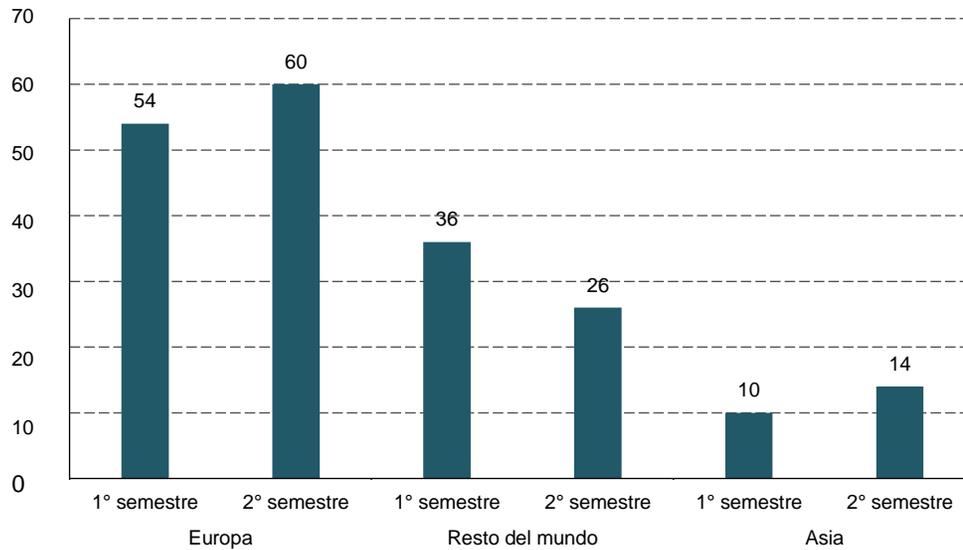
Fuente: Elaboración propia en base a UIC (2020).

Gráfico 2
Pérdidas millones de dólares transporte mercancías por región



Fuente: Elaboración propia en base a UIC (2020).

Gráfico 3
Porcentaje ingresos por fletes perdidos por semestre y región
(en porcentajes)



Fuente: Elaboración propia en base a UIC (2020).

Como referencia regional puede tomarse el caso de la empresa Kansas City Southern de México. La misma tuvo una caída en los ingresos, del 23% en el segundo trimestre del año (en volumen la caída fue del 21%) y del 11,7% en el tercer trimestre.

II. La infraestructura ferroviaria en América Latina

A. Desarrollo histórico del ferrocarril en la región

El siglo XIX vio la independencia de la mayoría de los países latinoamericanos de su estatus colonial, así como el progreso sostenido de la Revolución Industrial, que acercó el desarrollo de la industria ferroviaria a las nuevas naciones en la segunda mitad del siglo. Los proyectos fueron desarrollados a partir de la inversión extranjera, particularmente de compañías privadas de origen europeo que ya dominaban la tecnología suficiente. Los primeros tendidos se limitaron a replicar las carreteras principales de los nuevos países, los "caminos reales" que antes comunicaban los centros de producción –en particular de minería extractiva– con los antiguos puertos coloniales, ahora reconvertidos en centros de comercio exterior no monopólico. Buena parte de los capitales que intervinieron fueron británicos y los nuevos ferrocarriles sudamericanos consolidaron, en la práctica, el nuevo papel de los países del Atlántico sudamericano como exportadores de materias primas para las industrias alimentaria y textil.

Así, el ferrocarril constituyó en la región grandes emprendimientos que empleaban gran cantidad de población local y fueron fuentes directas de desarrollo, si bien este proceso a menudo estaba dirigido por los operadores extranjeros en colaboración con funcionarios locales. Antes del desarrollo del automóvil y la eclosión de la industria del petróleo con el cambio de siglo, el ferrocarril fue el gran aglutinador del transporte hacia los principales centros urbanos y también conexión segura entre éstos, reemplazando a la tracción a sangre en los principales tráficos y funcionando a vapor. Una parte de estas instalaciones se mantiene intacta en la mayoría de los países, observándose tendidos con hasta 150 años de antigüedad.

Dada la necesidad de escala de los operadores, que a menudo enfrentaban obras mucho más extensas que en sus países de origen, los contratos de construcción y concesión de la operatoria procuraban garantías de rentabilidad a los inversores privados, interpretándose esto como un necesario esfuerzo de los gobiernos para el desarrollo del sistema, que traería consigo progreso, aumento del rendimiento del transporte y la producción, abaratamiento de costos y por ende mayor competitividad

a regiones interiores atrasadas, entre otros beneficios a largo plazo. En ocasiones, los gobiernos directamente subsidiaron a las empresas.

Para las primeras décadas del siglo XX, el ferrocarril había alcanzado un desarrollo importante en países como México y Argentina, contando el primero con una red de 24.000 km hacia 1910, y el segundo una de 33.800 km hacia 1916. El desarrollo del automóvil y las complicaciones financieras surgidas del crack bursátil de 1929 implicaron la ralentización y progresivo estancamiento del modo ferroviario, que dependía de grandes inversiones, mientras que las industrias del automotor y petrolera (complementarias entre sí) fueron adquiriendo una influencia creciente merced a un ritmo de inversiones más fragmentado y de orígenes múltiples, lo que a la postre torcería el brazo al desarrollo ferroviario y consagraría al camión como nuevo vector del transporte de cargas. El cambio de la locomotora a vapor por tracción diésel resultaría simbólico, no sólo de la influencia de la industria petrolera, sino también la del capital norteamericano sobre el británico en la región, algo que se dio a partir de la Segunda Guerra Mundial.

Es la época en que las principales concesiones ferroviarias, quebradas o en decadencia frente al desarrollo automotor y de carreteras, volvían a los estados nacionales, que compraban o expropiaban las ahora deficitarias redes, desatendidas por los operadores extranjeros, e intentaban modernizarlas a partir del cambio de combustible, material rodante y trochas. En Argentina, Brasil, Perú y Chile, el Estado pasaba de esta manera a ser el único operador ferroviario. Esto implicó un cambio de objetivos, ya que la prestación del servicio pasó a ser un mandato más importante que la obtención de ganancia, y la necesidad de manutención de una estructura de grandes dimensiones llevó a la contratación de más personal, contribuyendo a la formación de profesionales en el sector y también a la disminución del desempleo. El costado menos oportuno de este sistema era el crecimiento desmedido de la estructura, que en pocas décadas llevaría a una imagen casi definitiva de decadencia e inoperatividad de los servicios transferidos. Esto a su vez desencadenaría una nueva ola de concesiones –las llamadas "privatizaciones"– sobre finales del siglo XX, y un regreso al modelo inicial de búsqueda de ganancias por parte de los operadores. Pero con una infraestructura obsoleta en todo o en parte, cuyo mantenimiento y modernización se buscaba fueran asumidos por el Estado a pesar de las promesas de renovación que habían estimulado el cambio de sistema en la región.

Especialistas como Kohon (2011) señalan el atraso que significó el mantenimiento de la tracción diésel por parte de los Estados, en lugar de migrar al sistema eléctrico que estaba siendo desarrollado en los países centrales para abaratar costos y disminuir la contaminación ambiental (lo que hoy llamamos huella de carbono). Las distintas políticas sectoriales de los sucesivos gobiernos llevaron a la convivencia de material rodante de distinto origen y funcionamiento, entre importaciones de diversa procedencia e intentos de las industrias nacionales por sustituirlas por modelos autóctonos para disminuir o eliminar distorsiones cambiarias. Distintas marcas y sistemas debían ser adaptados para su funcionamiento en entornos diferentes de aquellos para los que habían sido creados. Todo esto llevó a una progresiva multiformidad de la operatoria y consiguiente decadencia de la efectividad, tanto en logística como en transporte de pasajeros. Los viajes con incidencias comenzaron a ser frecuentes, así como las locomotoras o coches detenidos en los talleres, por complicaciones en su reparación o simple abandono. Se calcula que a fines de la década de 1980 sólo la mitad de las locomotoras existentes en la región estaba en condiciones de funcionar.

Una parte importante del deterioro tiene que ver con la tracción diésel, si bien los nuevos gobiernos nacionales hacían hincapié en un Estado sobredimensionado, particularmente en la incorporación de personal para la operatoria, con el objetivo de desprenderse de activos y concesionar los servicios.

Diagrama 11
Resumen etapas historia del ferrocarril en la región



Fuente: Elaboración propia.

B. Privatizaciones e incorporación de tecnología

Si bien la publicidad de la nueva política ferroviaria que influenció a la región en la década de 1990 tuvo que ver con un la operatoria de pasajeros, cuyo mejoramiento se daba por sentado con la concesión a empresas privadas, en sí se sostuvo a partir de la operatoria de las cargas, dado que para entonces buena parte de los pasajeros habían migrado hacia el transporte automotor dada su versatilidad y rendimiento. Esto volvió no rentable buena parte de los trayectos ferroviarios recorridos por servicios de pasajeros. Para hacer más apetecibles las concesiones, los gobiernos de la región tendieron a fragmentar los elefantiásicos ferrocarriles nacionales, a menudo por ramales, licitándolos por separado y a diferentes empresas. La referencia principal fue la reconversión del sistema ferroviario en Estados Unidos, un país también de gran extensión territorial que había sido cubierta inicialmente por el ferrocarril, para luego dar lugar a la competencia del automóvil y el camión. En EE.UU. se optó por el desarrollo en dos sentidos: por un lado, las líneas regionales, de al menos 350 millas de extensión, y por otras líneas cortas de operatoria menor, atomizando fuertemente la prestación de servicios.

No obstante, los países de mayor extensión tuvieron menos éxito en la obtención de una diversidad de oferta, tendiendo a la integración vertical en la operatoria (México, Brasil, Argentina); mientras que otros con redes menores, como Chile o Colombia, procuraron y obtuvieron una fragmentación mayor de los servicios con el objetivo de una mayor competencia entre operadores.

En general se concesionó la operatoria, mientras que la infraestructura ferroviaria seguía perteneciendo al Estado nacional que se trataba; si bien en países como Chile y México el material rodante fue transferido a los concesionarios en forma definitiva. Como se verá, el tendido de vía continuó en la práctica a cargo del área estatal respectiva, dado que los operadores privados tienden a concentrarse sólo en los tramos que rinden beneficios, dejando el resto en las mismas condiciones en que fue recibido. En términos generales, las concesiones son por largos períodos (nunca menos de 20 años, con casos como México donde los contratos son por 50 años). La extensión de los plazos, así como las condiciones relativamente permisivas de los contratos, están pensadas para atraer la inversión y amortizar el material rodante e infraestructura que haya provisto el concesionario.

La mayoría de las locomotoras utilizadas hoy son las mismas de la gestión estatal anterior, pero reparadas y en algún caso adaptadas a los adelantos tecnológicos, lo que permite concluir que esta parte de la operatoria dependía de una mejor gestión y no sólo de una mayor inversión. También se

incorporaron locomotoras y vagones de segunda mano, adquiridos en otros mercados como el estadounidense. En ocasiones, como en Argentina y Chile, el material debió ser adaptado a una trocha diferente, con la inversión suplementaria consiguiente.

Puede decirse que en general la operatoria de cargas en la región es competitiva, mientras que la de pasajeros no, al menos en trenes interurbanos. Entre la última década del siglo XX y la primera del XXI, período donde hizo eclosión el nuevo ciclo privatizador, la actividad de cargas medida en toneladas/kilómetro experimentó una recuperación notable: la productividad del sector en México se duplicó, mientras que en Argentina se incrementó un 50%, y en Brasil un 95%. En el total regional, entre 1999 y 2018 los operadores aumentaron el tonelaje transportado un 115%, mientras que en términos de tn/km el volumen aumentó aún más, un 160%.

No obstante esto, el ferrocarril aún está lejos de recuperar el porcentaje de cargas perdido frente al camión durante el siglo pasado. No es habitual que el operador reciba un subsidio del Estado por la operatoria, dependiendo de sus propios recursos.

En 2018, de los 41 ferrocarriles de oferta pública – esto es, contratables para cualquier carga– existentes en América del Sur y México, 30 eran operados por empresas privadas (diez años antes, la proporción era de 32 sobre 36). Los de mayor dimensión son el Estrada de Ferro Vitória a Minas (EDFVM), en Brasil, con 130 millones de toneladas anuales, y el Ferromex de México, con 41 millones de toneladas. Los más pequeños pueden transportar 1 millón de toneladas/año, como la Empresa Ferroviaria Andina boliviana. En conjunto, los privados manejan el 98% de las cargas transportadas por el modo.

Con estas empresas coexisten 11 líneas de carga operadas por los estados nacionales: las más antiguas son las del Istmo de Tehuantepec en México, el Instituto de Ferrocarriles del Estado en Venezuela, el Ferroeste brasileño y la Administración de Ferrocarriles del Estado en Uruguay. A estas se fueron agregando otras en la última década, por rescisión de los contratos de concesión (caso argentino) o caducidad de los mismos, optando algunos gobiernos por no renovarlos y asumir ellos mismos la operatoria.

Además, existen en la región unas 20 líneas de ferrocarril de oferta privada o industriales, habitualmente construidas y operadas por los dadores de carga que las utilizan. La distancia media recorrida por estos sistemas es menor a la regional, y el volumen de cargas se estima en unos 100 millones de toneladas anuales.

Tanto los servicios de oferta pública como los industriales se concentran en graneles, en particular los mineros, que comprenden más del 60% del volumen transportado en la región. Se advierte un retraso comparativo del transporte de cargas generales, terreno que parece perdido frente al camión a pesar de las obvias posibilidades y ventajas del transporte de contenedores por vía férrea. Dado que la mayor parte de la carga que circula en contenedor corresponde a importaciones, ésta suele desconsolidarse en la cercanía de los principales centros urbanos, que suelen coincidir con los puertos del comercio exterior de los países respectivos.

C. La interconexión entre países: limitaciones y desafíos

A medida que los ferrocarriles nacionales latinoamericanos se iban desarrollando, los tendidos se acercaban a los límites terrestres entre los países. Es en esas fronteras donde se hacen patentes las diferencias entre los diferentes sistemas nacionales, por ejemplo, en el tendido de trochas distintas a ambos lados de una frontera. Esto resulta en una limitación para la extensión de los tráficos intracontinentales.

En la actualidad, la mayoría de los países de América del Sur tiene este problema. El ejemplo opuesto sería la interconexión ferroviaria entre México y Estados Unidos, con más de media docena de pasos ferroviarios que mueven más de 50 millones de tn/año. Con la finalidad de evitar problemas, en este caso las locomotoras quedan en los respectivos países junto a su tripulación, cruzando solamente los vagones.

Además de la diferencia de trochas, puede ocurrir que de un lado el servicio no se encuentre operativo; que los pesos permitidos por eje sean diferentes en ambas naciones obligando a fragmentar la carga; que los trámites aduaneros compliquen el paso de mercaderías (un vagón de carga puede estar demorado una semana entera en algunos pasos); o más sencillamente, que el horizonte de tráfico no sea suficiente para justificar el desarrollo del sistema.

Entre los pasos limítrofes con diferencia de trochas a ambos lados de la frontera, deben contarse:

- Ciudad Hidalgo / Tecún Umán (México-Guatemala)
- Rio Branco / Jaguarao (Brasil-Uruguay)
- Rivera / Livramento (Brasil-Uruguay)
- Uruguayana / Paso de los Libres (Brasil-Argentina)

De éstos, sólo el último tiene operaciones ferroviarias en el orden de las 500 mil tn anuales. Dada la diferencia de trochas deben hacerse trasbordos. Se trata de un paso muy importante para el tráfico de camiones.

Otros pasos sin operatoria o con operatoria mínima:

- Arica / Tacna (Perú-Chile): Opera sólo pasajeros
- Huaqui / Puno (Bolivia-Perú)
- Charaña / Visviri (Bolivia-Chile)
- Villazón / La Quiaca (Bolivia-Argentina)
- Yacuíba / Salvador Mazza (Bolivia-Argentina)
- Mendoza / Los Andes (Argentina-Chile)
- Augusta Victoria / Socompa (Argentina-Chile): Operatoria mínima
- Posadas / Encarnación (Argentina-Paraguay): Operatoria mínima
- Concordia / Salto (Argentina-Uruguay)

En la actualidad existe una docena de proyectos de desarrollo o mejora de conexiones ferroviarias entre países de la región. La factibilidad depende del nivel de tráfico entre los países involucrados, ya que existen pocos tránsitos bioceánicos, por ejemplo, y la inversión necesaria es por lo general de gran volumen. Un caso de ferrocarril bioceánico en proyecto uniría Brasil con el norte peruano, transportando minerales en sentido este y graneles agrícolas en sentido oeste.

Como se ha dicho, los nuevos concesionarios de la región tienden a financiar y ejecutar las obras que les deparan el mayor rendimiento inmediato, dejando el resto en manos del Estado nacional involucrado. Esto a menudo redundo en que un sistema moderno y operacional en las cercanías de un puerto de exportación se vuelve obsoleto y decadente a medida que los tendidos avanzan hacia el interior del país, aunque ambos tramos sean operados por la misma compañía. Los estados nacionales, por su parte, requieren de políticas sectoriales con continuación en el tiempo y asistencia de organismos financieros multilaterales para llevar a cabo inversiones significativas en el mejoramiento de las redes ferroviarias en su territorio.

III. Ferrocarril y logística en México

Con una red principal de 17.360 km y 7 líneas operativas, México es el país más diversificado de la región en actividad ferroviaria después de Brasil. Es también segundo en la competencia modal, con un 25% de los tráficos de cargas frente al camión. La principal particularidad de su sistema es la interconexión con el sur de Estados Unidos, que involucra a siete pasos limítrofes con circulación ferroviaria, lo que contribuye a que la distancia media recorrida por sus trenes (773 km) sea muy superior al promedio regional (584 km).

La apertura de los servicios ferroviarios a la operatoria privada permitió el ingreso de capitales de Estados Unidos en algunos tramos, y la inversión consiguiente logró duplicar los tráficos en poco más de una década (1995-2006). Las principales concesiones de los servicios que operaba Ferrocarriles Nacionales de México (FNM) se realizaron entre 1995 y 2000.

Las redes más importantes son:

- **Ferrocarril del Pacífico:** la más extensa, con 8.130 km, es operada por la empresa Ferrocarril Mexicano (FERROMEX), que cuenta entre sus inversores a la consolidada compañía Union Pacific Railroad.
- **Ferrocarril del Noreste:** operada por la Kansas City Southern de México (KCSM), es la segunda del país en tonelaje transportado. Su red posee 4.312 km de extensión y es un caso de éxito en el rubro carga general, con el transporte de cerveza y automóviles a EE UU.
- **Istmo de Tehuantepec:** conocida como Ferroistmo y actualmente no operativa, está a cargo del gobierno mexicano. Forma parte de un proyecto que se propone como alternativa bioceánica al canal de Panamá. El trayecto entre ambas costas tiene apenas 192 km; la red completa, 2.031 km.
- **Ferrocarril del Sureste:** con 1.823 km, es la tercera red del país en tonelaje, lejos de las primeras. Fusiona dos concesiones del sur del país y es operada por Ferrosur.

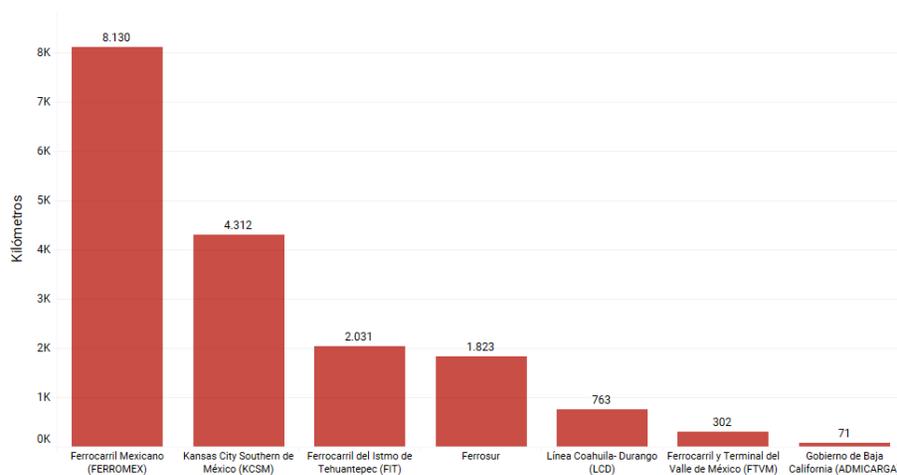
- **Cohauila-Durango:** tiene algo más de 700 km. Creada tras el desguace de FNM, es operada por la minera Peñoles.
- **Ferrocarril y Terminal del Valle de México (Ferrovale):** 302 km en el anillo del DF. Ferrovale opera una terminal intermodal para la consolidación y desconsolidación de cargas, conectada con las redes del Pacífico, Noreste y Ferrosur.
- **Gobierno de Baja California:** 71 km que corren en el límite noroeste. El trayecto es operado por ADMICARGA, una empresa estatal.

Se trata de una red de densidad considerable dentro de la región: todas estas líneas en conjunto operan unos 5,1 millones tn/km, un volumen diez veces mayor al de la red argentina. Una combinación de aciertos regulatorios y operatoria racional de los principales ramales ha conseguido que los trenes mexicanos operen el 25% del transporte de cargas, una cifra que podría parecer menor, pero es en realidad una de las más altas de la región, sólo superada por Brasil.

El uso de trocha estándar (1.435 mm) resulta una ventaja comparativa de México respecto del resto de la región. Es la misma trocha que se utiliza en EE UU, y en el caso mexicano se permite un peso de hasta 32,5 tn por eje, una de las mayores capacidades portantes de la región. El principal operador, FERROMEX, trae granos de EE UU en convoyes de gran extensión (100 vagones es una cifra habitual) y con vagones de 100 tn de capacidad.

La integración del servicio ferroviario mexicano con el del sur de EE UU – visible en la composición de las compañías operadoras – permitió una rápida renovación del material rodante a partir de las nuevas concesiones. La ley mexicana transfirió la propiedad del material rodante de FNM a los prestatarios, y no sólo se advirtió rápidamente la mejora y renovación de éstos, sino que además se agregó un número considerable de vagones al ya existente.

Gráfico 4
Extensión de la red en Km por empresa concesionaria de la red primaria concesionada – Año 2019 México



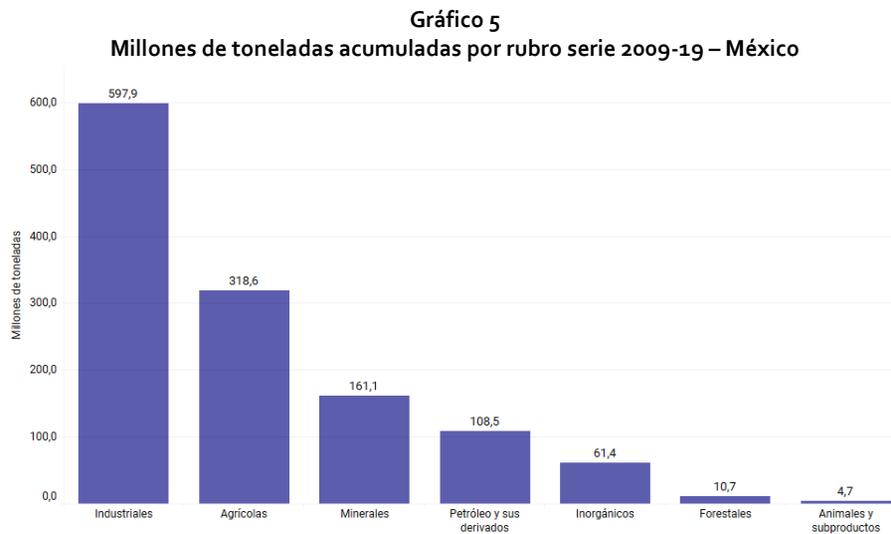
Fuente: Elaboración propia en base a Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario - México (2020).

A. Principales cargas

Estados Unidos es el principal socio comercial de México y los intercambios se realizan principalmente a través de la frontera terrestre que une a ambos países. En esta ecuación, el ferrocarril juega un papel fundamental: más del 50% de la carga transportada por las vías mexicanas viene de o va hacia el gran país del Norte.

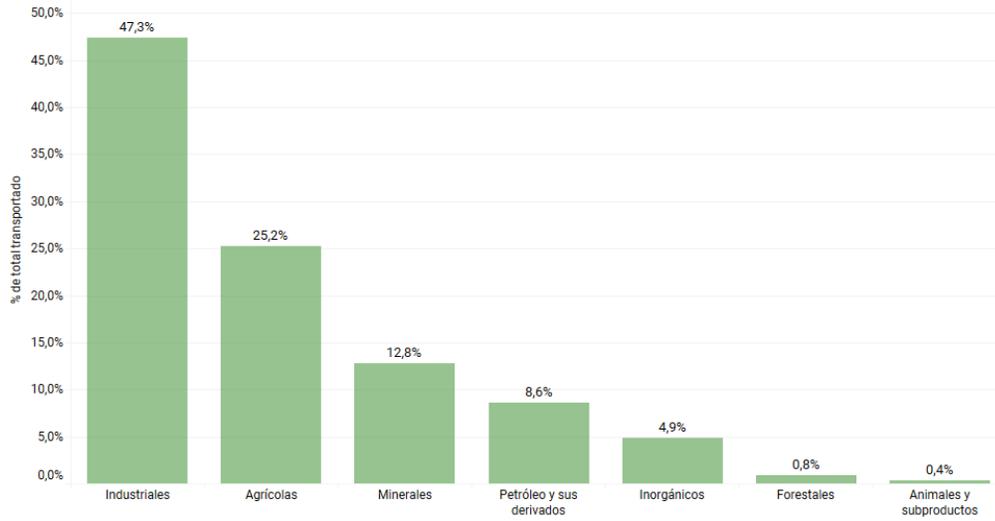
La cercanía con este gran centro de consumo generó en las últimas décadas una tendencia a localizar fábricas americanas en territorio mexicano, en función de los beneficios de la mano de obra barata y ciertas ventajas regulatorias estipuladas por el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (NAFTA, su sigla en inglés) del que ambos países son miembros. Esto explica que el principal rubro transportado sean los productos industriales, cuyo volumen se incrementó casi un 20% en la última década, llegando a superar los 60 millones de toneladas en el año 2017, un verdadero récord para el modo ferroviario.

Los productos agrícolas representan la mitad de ese volumen, con un crecimiento más atenuado en el período 2009-2019 (así y todo, el crecimiento en la década fue de 9 puntos porcentuales). Le siguen los productos de la minería (con altibajos), petróleo y derivados (leve crecimiento en el período), inorgánicos, forestales y cárnicos (estos rubros estables, con valores mínimos). En líneas generales, puede decirse que México importa por ferrocarril graneles y exporta (siempre a/de EE UU) productos industriales de diverso grado de elaboración.



Fuente: Elaboración propia en base a Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario - México (2020).

Gráfico 6
Participación carga por rubro serie 2009-19 - México



Fuente: Elaboración propia en base a Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario - México (2020).

Gráfico 7
Millones de toneladas anuales por rubro serie 2009-19 - México



Fuente: Elaboración propia en base a Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario - México (2020).

B. Incorporaciones tecnológicas

Ubicada al norte del Distrito Federal, la terminal intermodal de Ferrovalle es la conexión ferroviaria entre las industrias dadoras de carga de la región y las principales líneas que las conducen hacia y desde Estados Unidos. La amplia playa de maniobras atiende a las tres principales concesiones, recibiendo vagones y brindando servicios de tracción a las industrias vinculadas. Esto implica un número inusual de pasos, tráfico incesante de convoyes, cambio de vías y otras actividades de maniobra en un predio de 200 hectáreas de superficie vinculado a zonas urbanas.

En 2015, Ferrovalle anunció su programa de manejo de datos M2M, desarrollando productos propios para el monitoreo y administración de los datos aprovechando IoT. Bautizado "Distancia Cero", consiste en una "caja de cristal" donde se comparten los datos recibidos por los clientes, así como los generados por la empresa físicamente y mediante sensores instalados en el tendido férreo. La idea es monitorear y administrar en tiempo real el proceso de recepción/despacho de trenes, armado y ruptura de cargas. La información presente en una página web o app de celular respectiva es la misma que circula "host to host" a través de protocolos de intercambio electrónico de datos (EDI).

Los procesos de negocios se manejan en forma integrada mediante un software de planificación de recursos empresariales (tipo ERP). La novedad consiste en la minería y gestión de los datos que proporcionan los sensores ubicados en los diferentes dispositivos de la red ferroviaria. La empresa decidió desarrollar su propio ERP por una cuestión de costos: USD 170 mil versus USD 2 M, según los precios del mercado. Con esta finalidad fueron contratados programadores independientes que desarrollaron el sistema customizado para las necesidades de Ferrovalle, y además cedieron los derechos de propiedad sobre el código fuente. De manera parecida se procedió con el Centro de Control de Tráfico (CCT), la aplicación que traduce los datos transmitidos por los sensores a una interfaz amigable para el usuario, manteniendo la georreferenciación y la actualización de la información en tiempo real.

Los sensores colocados en las vías a intervalos regulares transmiten señales de presencia cada vez que un tren ingresa a la vía respectiva. Los datos son recogidos en "localidades" (casetas instaladas al costado de cada vía) que retransmiten al CCT vía 3G, 4G o microondas. A su vez el tren aporta los datos de georreferenciación en su GPS y también data del peso de la carga en sensores instalados en los ejes. Unos y otros dispositivos dialogan entre sí a través del CCT, que informa al conductor y dispone los cambios de tramo. El conductor del tren reduce la velocidad o maniobra según la información recibida; en algunos sistemas, estos cambios pueden hacerse incluso en forma automática.

La compañía menciona entre las ventajas de utilizar IoT la inmediata detección de fallas en los sensores, evitando tener que recorrer todo el tendido para testarlos uno a uno. La gestión de estas señales dispara a su vez avisos a otros sectores como estiba o facturación, que genera los documentos necesarios en forma automática.

Se trata de un buen ejemplo en cuanto a la aplicación de sensores georreferenciados e IoT pueden influir notablemente en la operatoria, si bien todavía hay sectores, como las grúas, que continúan generando datos en forma separada. El plan de inversiones de la compañía para 2020 –delineado antes de la pandemia COVID 19– contemplaba para el desarrollo de TI un monto superior a los 15 millones de pesos mexicanos, superando el presupuesto destinado a la renovación de material rodante, dentro de un presupuesto total aproximado de 190 millones de pesos mexicanos.

Otra empresa que ha avanzado con numerosas incorporaciones tecnológicas es Kansas City Southern de México (KCSM). Tomando como referencia la información provista por la empresa en cuestión, uno de sus avances consiste en la adquisición de equipamientos de inspección avanzados que pueden consistir en equipos que miden geometrías de vías, radares de penetración terrestre y tecnologías laser. También, dentro de este grupo de incorporaciones, la empresa ha instalado sensores

a lo largo de las vías, para poder detectar anomalías en las ruedas de los trenes que circulan y emitir alertas frente a posibles desvíos.

La empresa KCSM también ha incursionado en mejoras de seguridad mediante la instalación de un sistema de Control Positivo de Tren (Positive Train Control) lo cual implica un grado de mejora sustancial en la seguridad de sus operaciones debido a que permite el frenado automático frente a posibles colisiones y evita también descarrilamientos por excesos de velocidad, entre otras mejoras frente a situaciones de riesgo.

Por otro lado, respecto a KCSM, es notable su incorporación al programa Asset Health Strategic Initiative (AHSI) que implica la adaptación de varios procesos de tecnología en sus prestaciones, con el objetivo de mejorar la seguridad de sus operaciones y lograr mejoras de rendimiento a través de la mejora en calidad de inspección, disminuyendo la cantidad de paradas por mantenimiento requeridas y elevando sus respectivos estándares. Para esto se requirió, consolidar información sobre equipos, inspecciones y reparaciones de todos los equipamientos existentes y fuera de uso, incluyendo también información histórica.

Finalmente, otro caso a mencionar es el de Ferromex que mediante la plataforma “E-Ferromex” permite la trazabilidad de las cargas a los usuarios clientes de sus servicios. En este sentido, la empresa pone a disposición en esta plataforma web, información sobre la ubicación de las cargas, las unidades comprometidas y liberadas, los planes de viaje y documentos respectivos.

C. Proyecciones

1. Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec

El gran proyecto logístico –de larga data– del gobierno mexicano es la rehabilitación de este servicio y el completamiento de la traza, que se extiende del puerto de Salina Cruz (provincia de Oaxaca) al de Coatzacoalcos (Veracruz) constituyendo un corredor bioceánico. La idea de un ferrocarril de cargas cruzando la porción más estrecha del territorio mexicano es de larga data (existe incluso un tendido de trocha angosta anterior al actual). El tramo, por ahora inactivo, se extiende por 320 km de trocha estándar y debe ser reorientado en el tramo intermedio entre Lagunas y Chivela, con corrección de curvatura y pendientes a lo largo de casi 13 km. La obra debe complementarse con otras de rehabilitación de los puertos mencionados, para su adaptación a contenedores y el desarrollo de terminales intermodales que permitan el armado y ruptura de cargas. Asimismo, deben realizarse trabajos de desarrollo de infraestructura portuaria en la zona de Laguna de Pajaritos. El objetivo general es presentar el istmo como una opción para las cuantiosas cargas de origen asiático que tienen como destino final la costa este de EE UU.

El proyecto cuenta con el apoyo de las comunidades con avances en los trabajos, aunque la pandemia ralentizó la evolución de las obras en desarrollo en la región. Una de las opciones que el gobierno contempla para atraer el interés de las industrias y navieras es la instalación de una zona libre o franca para estimular inversiones, por ejemplo de maquila, actividad común en la zona de la frontera con EE UU. Por otra parte, el área cuenta con ductos instalados por Pemex para la provisión de combustibles a los operadores.

2. Libramientos ferroviarios

Existen conexiones y cinturones ferroviarios en diversas etapas de construcción tanto en Monterrey como en Santa Fe y Celaya, zonas operadas por Ferromex y KCSM. Santa Fe es punto de conexión entre los tendidos que operan ambas compañías, por lo que se instaló una doble vía de ferrocarril entre dicha conexión y la zona de actividades logísticas del puerto de Veracruz.

D. Marco regulatorio

La actividad ferroviaria es supervisada por la Dirección General de Desarrollo Ferroviario y Multimodal, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Las concesiones realizadas en la década de 1990 transfirieron a los prestatarios la propiedad del material rodante utilizado por FNM; por lo demás, la integración de las nuevas empresas fue vertical como en Brasil y Argentina, debido a la escala de la red y la necesidad de garantías de desarrollo para atraer inversiones.

Dada la cantidad de conexiones entre líneas, se otorgaron a las prestatarias derechos de paso para inducir la fluidez y cooperación del sistema. Los hay de dos tipos: operativos (un tren puede circular por una vía ajena sin derecho a captar tráficos de su hinterland) y comerciales, cuando la captación de tráficos está permitida. Estos últimos fueron pensados para fomentar la competencia entre compañías en los principales puertos y áreas más pobladas.

La falta de estimación de los derechos de paso operativos en la desregulación original de la operatoria generó algunos conflictos entre las empresas, obligadas a calcularlos por sí mismas. Esto, para algunos analistas, en la práctica impidió una mayor integración entre los dos principales corredores ferroviarios del país (Pacífico y Noreste), manteniendo la facultad de cada uno de fijar su propio precio a los dadores de carga sin preocuparse por la posibilidad de encontrar competencia del mismo modo en su hinterland. No obstante, también podría considerarse que una integración excesiva podría derivar en un oligopolio a nivel tarifario.

El plazo de las concesiones es de 50 años, y las empresas cuentan con la opción, una vez terminado ese plazo, de renovar por igual período de tiempo. Los principales concesionarios están reunidos en la Asociación Mexicana de Ferrocarriles (AMF) lo cual les permite generar propuestas unificadas de inversión ante el ente regulador. Puede decirse que estos prestatarios tienen una posición privilegiada a nivel regional, ya que el comercio con EE UU es un generador de tráfico constante y, además, cuentan con el material rodante en su inventario, lo que les permite por ejemplo consignarlo como garantía para obtener inversiones por su cuenta, siempre que obtengan prestadores financieros capaces de contemplar la posibilidad de volver líquidos estos bienes.

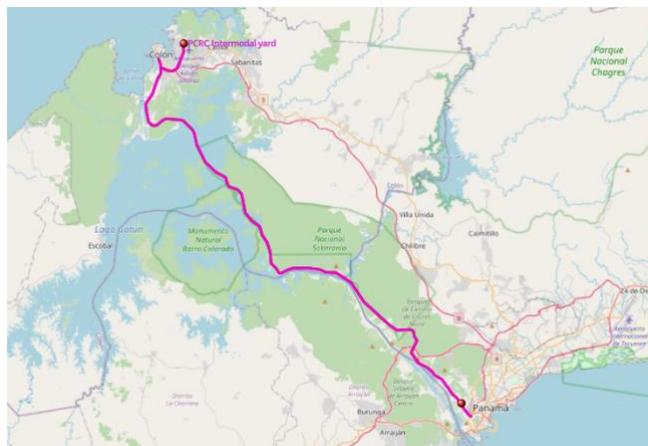
IV. Ferrocarril y logística en Panamá

El ferrocarril de cargas en Panamá cuenta con una línea que une los océanos Pacífico y Atlántico entre sí y cuenta con una extensión de 77 Km. Su existencia fue fundamental para la construcción del canal de Panamá debido a que su traza se configura en forma paralela al mismo.

Este sistema actualmente cuenta con una capacidad de unos 500 mil TEU- Año, sin embargo, existen planes que indican que se realizarán ampliaciones anuales de capacidad. Respecto a sus tráficos, son un complemento al canal de Panamá, atienden cargas similares pero que requieren un intercambio modal para trasladarse de un océano al otro.

A continuación, se presenta un mapa que expone el trazado de la red ferroviaria de la empresa Panama Canal Railway Company. En el mismo, se indican también las terminales en cada una de las costas.

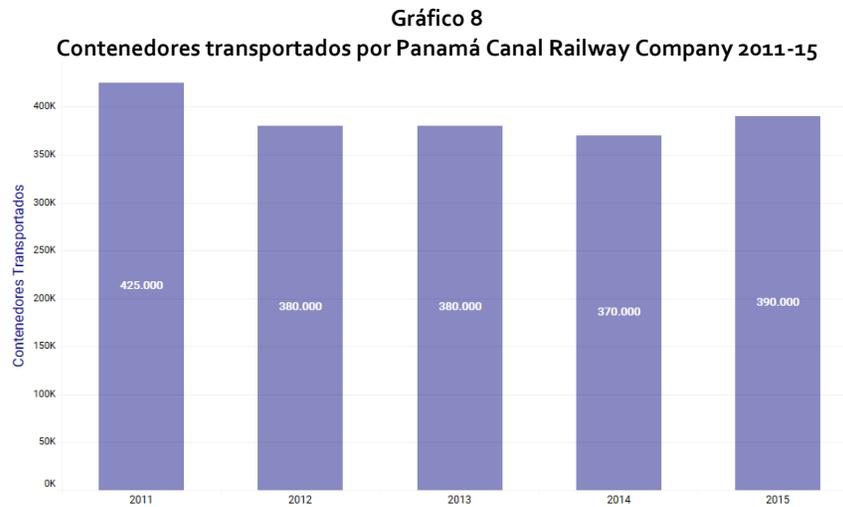
Mapa 1
Red ferroviaria PCRC - Panamá



Fuente: Edición propia en base a Panama Canal Railway Company (2020).

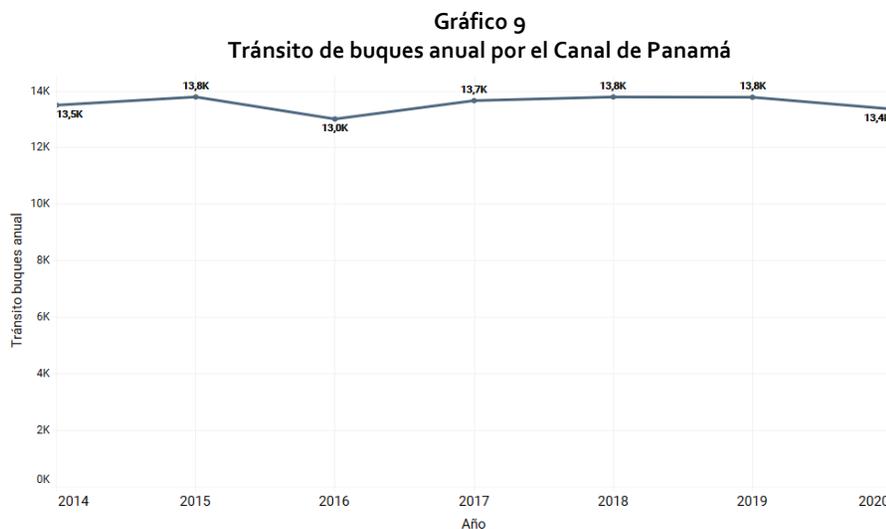
A. Principales cargas

Respecto a las cargas manipuladas, el sistema ferroviario panameño transporta cargas contenerizadas. Su red dispone de vagones con posibilidad de estibar en dos pisos. Anualmente, considerando el período 2011 - 2015, se manipularon en promedio unos 390 mil TEU's. A continuación, se expone un gráfico que muestra la referida evolución.



Fuente: Elaboración propia en base a CAF (2020).

Para comprender la situación logística del país en su rol como vinculador interoceánico, también se presenta a continuación la evolución de la carga movilizada a través del canal de panamá ya que como se explicó su disposición es paralela a la de la red ferroviaria. En este caso se analiza el período 2014-2020 para complementar la información detallada previamente.



Fuente: Elaboración propia según información de Autoridad del Canal de Panamá e Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá (2020).

Un aspecto a destacar es que en junio 2016 se inauguró una ampliación del Canal de Panamá, sin embargo, no se notaron cambios notables en los niveles de tránsito por el mismo. A continuación, se muestra la evolución de la variación interanual asociada.

Cuadro 1
Variación interanual tránsito buques Canal de Panamá
(en porcentajes)

Año	Total
2014-15	2,1
2015-16	-5,7
2016-17	5,0
2017-18	0,9
2018-19	-0,1
2019-20 ³	-3,0

Fuente: Elaboración propia según información de Autoridad del Canal de Panamá e Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá (2020).

B. Incorporaciones tecnológicas

Entre 2000 y 2001 la empresa PCRC realizó numerosas intervenciones y dotó al sistema del equipamiento necesario para el manejo de contenedores de forma eficiente lo cual significó una mejora importante para el sistema ferroviario panameño. En base a información provista por PCRC, entre sus incorporaciones - intervenciones se destacan:

1. Sistemas

- Despacho y control de tráfico: A partir de la renovación del sistema, la empresa incorporó un software llamado "TWC:DOC" que proporciona información sobre coordinación de uso de vía y brinda indicaciones/alertas de mantenimiento cuando hay elementos que lo requieren. Actualmente se encuentran en implementación de un sistema de despacho de Control Positivo de Trenes (llamado "Train Sentinel") que facilita ubicación de los trenes a través de sistemas de posicionamiento global (GPS) y permite advertir para evitar posibles colisiones o accidentes.
- Señalización y comunicaciones: Se implementaron cruces con barreras automáticas mediante sistema de detección de movimiento. También es relevante la dotación de capacidad de operar en 6 canales de comunicación alternativos.

2. Equipos de mantenimiento de vía

- Bateadora (Tamper): Se adquirió el modelo 6700 fabricado por Jackson Corporation y es operado sobre la vía. Es capaz de levantar y alinear hasta 3,2 Km de vía al día.
- Speedswing: Fue incorporado el modelo 441-B. Tiene cuatro llantas regulares para transitar sobre rieles que permite la operación sobre la vía. Brazo delantero para el manejo de materiales como rieles y durmientes.
- Ballast Regulator: Se incorporó el modelo KBR 900. Sirve para moldear la piedra para mantener el balastro alrededor y entre los durmientes de concreto.

³ Los datos del año en curso se encuentran incompletos.

3. Vagones de transporte de carga

Para lograr optimizar los viajes y por ende la capacidad del sistema fue fundamental la adquisición de 22 vagones articulados de 5 compartimientos doble estiba acondicionados. A su vez se dotó al sistema de cables que permiten el intercalado de las locomotoras o su operación. También se adquirieron 6 vagones planos.

4. Manipulación de carga en terminales

- Dos grúas pórticos de marco sobre ruedas Mi-Jack Modelo 850P con capacidad de levantamiento de 41 Toneladas.
- Tres grúas Fantuzzi/Mi-Jack top loader modelo 450 con capacidad de levantamiento de 36 Toneladas.
- Una grúa Taylor top loader modelo 950 con capacidad de levantamiento de 36 Toneladas.
- Una grúa Komatsu top loader con capacidad de levantamiento de 32 Toneladas.
- Doce tractores y diez trailers.

C. Proyecciones

Según datos de la Empresa PCRC, proyectan incrementar su capacidad en una tasa de 250 mil TEU - Año hasta llegar a su tope máximo alcanzable de 2 M TEU - Año.

Por otra parte, actualmente se encuentra en discusión la factibilidad de un mega proyecto ferroviario que conectaría las provincias de Panamá con Chiriquí. Su extensión sería de unos 390 Km y para el caso de las cargas contaría con 4 estaciones a lo largo de dicha red proyectada.

D. Marco regulatorio

1. Concesión de la red

En cuanto al modelo de gestión actual del sistema ferroviario cabe destacar que la empresa Panama Canal Railway Company adquirió el control de la red ferroviaria de Panamá en el año 1998 mediante una concesión por un plazo de 25 años.

La compañía posee el derecho exclusivo de “desarrollar, construir, operar, administrar, renovar, reconstruir, modificar y dirigir” el Ferrocarril de Panamá y sus terminales intermodales, infraestructuras, equipos e instalaciones.

2. Corredor Aduanero

A su vez, es necesario mencionar que por ley se considera como un corredor aduanero ferroviario, que permite el transbordo de carga sin tener que pagar impuestos. Esto sumado a la dotación de infraestructura y equipamiento previamente mencionadas en la sección “Incorporaciones tecnológicas” de este capítulo marcan importantes fortalezas del sistema a pesar de su corta extensión y simplicidad.

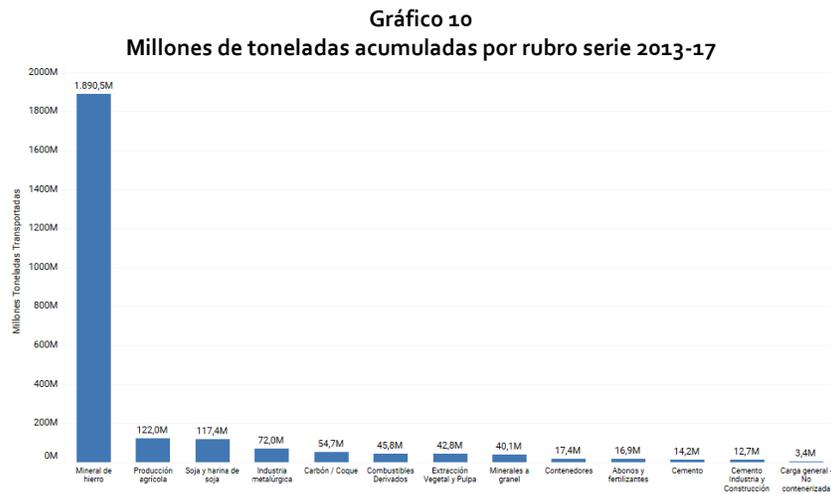
Las autoridades de aduaneras también impulsaron mejoras de procesos para agilizar los controles y los diferentes procedimientos documentales.

V. Ferrocarril y logística en Brasil

A. Principales cargas

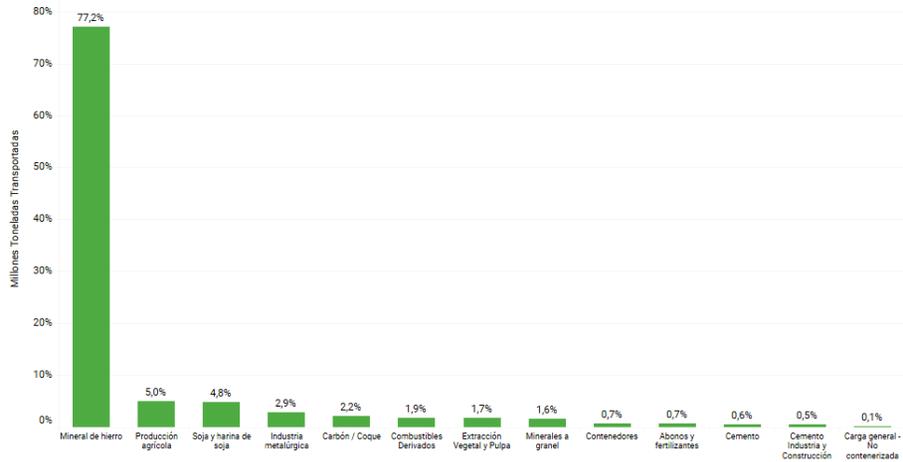
Tomando en consideración las cargas transportadas en el sistema ferroviario brasileño, se puede determinar que el principal material manipulado corresponde al Mineral de Hierro, contemplando una participación promedio del orden del 77%. Otras cargas con cierta relevancia son los productos agrícolas con una participación del 5%, derivados de la soja con un aporte del 4,8% y luego se ubican otras con volúmenes menores como productos de la industria metalúrgica (2,9%), Carbón de coque (2,2%) y Combustibles y derivados (1,9%), entre otros.

Los siguientes dos gráficos permiten observar la información previamente detallada.



Fuente: Elaboración propia en base a Confederación Nacional del Transporte - Brasil (2019).

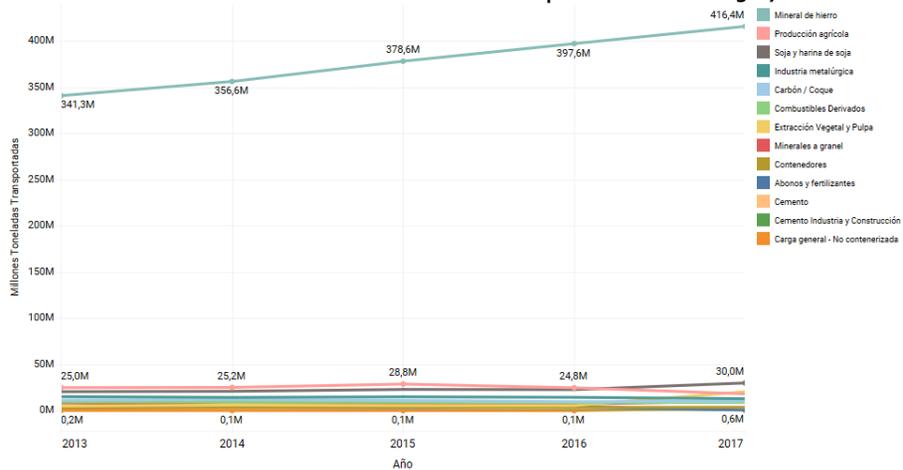
Gráfico 11
Participación porcentual de cargas acumuladas por rubro serie 2013-17



Fuente: Elaboración propia en base a Confederación Nacional del Transporte - Brasil (2019).

Respecto a la evolución a lo largo del tiempo por rubro, se detecta una tendencia creciente en el movimiento del principal rubro en cuestión: Mineral de hierro. A continuación, se presenta un gráfico que expone la tendencia de cada uno de los rubros en el período 2013 - 2017.

Gráfico 12
Evolución millones de toneladas anuales por rubro serie 2013-17



Fuente: Elaboración propia en base a Confederación Nacional del Transporte - Brasil (2019).

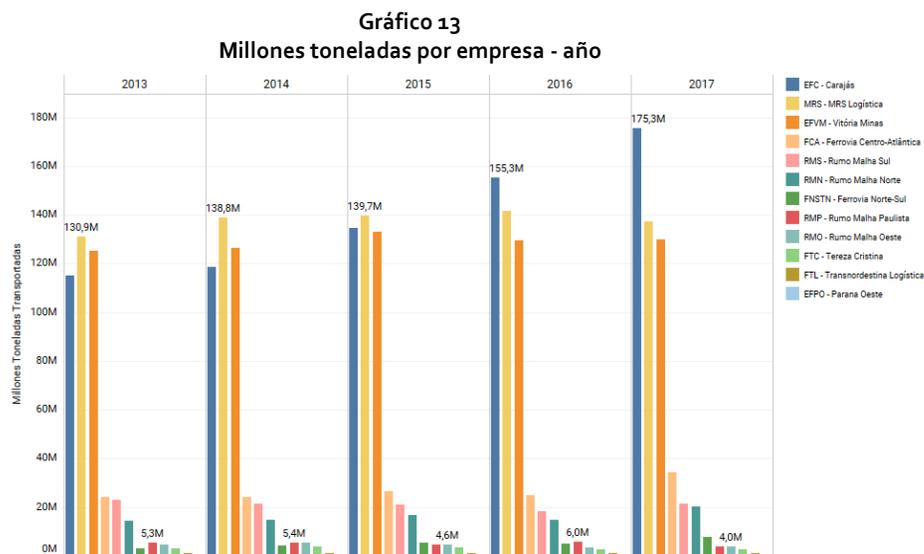
Debido al alto grado de concentración de las cargas, también se puede notar un alto grado de desarrollo del sistema ferroviario para poder atender las necesidades específicas de las mismas. En este sentido, la compañía VALE es el principal actor en el transporte de mineral de hierro en Brasil y por ende ha incursionado a gran escala en el sector ferroviario debido a la necesidad de adecuar su red logística para la manipulación de este tipo de producto. De este modo, la empresa se ha integrado verticalmente de manera notable y cuenta con la explotación de manera absoluta de 4 concesiones ferroviarias y a su vez posee una participación en otra concesión.

La compañía VALE posee cuatro concesiones ferroviarias de cargas que son las siguientes:

- Carajás (EFC)
- Vitória - Minas (EFVM)
- Centro - Atlântica (FCA)
- Ferrovia Norte - Sul (FNSTN)

Además, la empresa cuenta con el 41 % de la participación en la concesión de la empresa MRS Logística.

Para analizar con más detalle la participación en el movimiento de cargas por parte de cada una de las empresas, se presenta a continuación un gráfico con la evolución en toneladas transportadas por cada una de las empresas de todo Brasil en el período 2013 - 2017, según información provista por la Confederación Nacional del Transporte - Brasil.



Fuente: Elaboración propia en base a Confederación Nacional del Transporte - Brasil (2019).

B. Incorporaciones Tecnológicas

Realizando un relevamiento de las mejoras o modificaciones realizadas por diferentes empresas en el sistema ferroviario brasileiro, según OSEC, 2010 y consultando información propia de las compañías en cuestión, pueden identificarse las siguientes incorporaciones tecnológicas.

1. ALL - América Latina Logística

- Sus operaciones corren sobre el sistema web llamado "Translogic". La empresa lo incorporó en 2002 y lo actualizó en el año 2007.
- Desarrollo propio del sistema operacional sobre el que se basa su flota: Incorpora el sistema GPS sobre todas las unidades, con transmisión de datos satelital.
- Posee un centro de control en Curitiba desde donde se monitorea y gestiona toda la flota.

2. MRS Logística

- Incorporó tecnología GPS para el control y gestión de sus operaciones en tiempo real.
- Implementación de control de geometría: Permite el monitoreo instantáneo de los componentes clave de forma permanente para planificar con evidencia y lograr un incremento de la fiabilidad.

3. VALE

- Instalación de monitoreo satelital GPS con el objetivo de lograr operaciones seguras y productivas.
- Implementación de uno de los simuladores ferroviarios más avanzados del mundo.
- Simulación basada en realidad virtual, con oportunidades de alcanzar mejoras en seguridad operacional, ahorros de combustible, entre otras mejoras operacionales.
- En ferrocarril EFC (Carajás) incorporó un sistema de optimización de viajes (Trip Optimizer) que consiste en un sistema interconectado a los demás sistemas de la locomotora al mando que permite la operación por computadora. Entre sus mejoras se encuentran reducción de consumo de combustible, disminución de riesgos de accidentes y tiempo de viaje.

C. Proyecciones

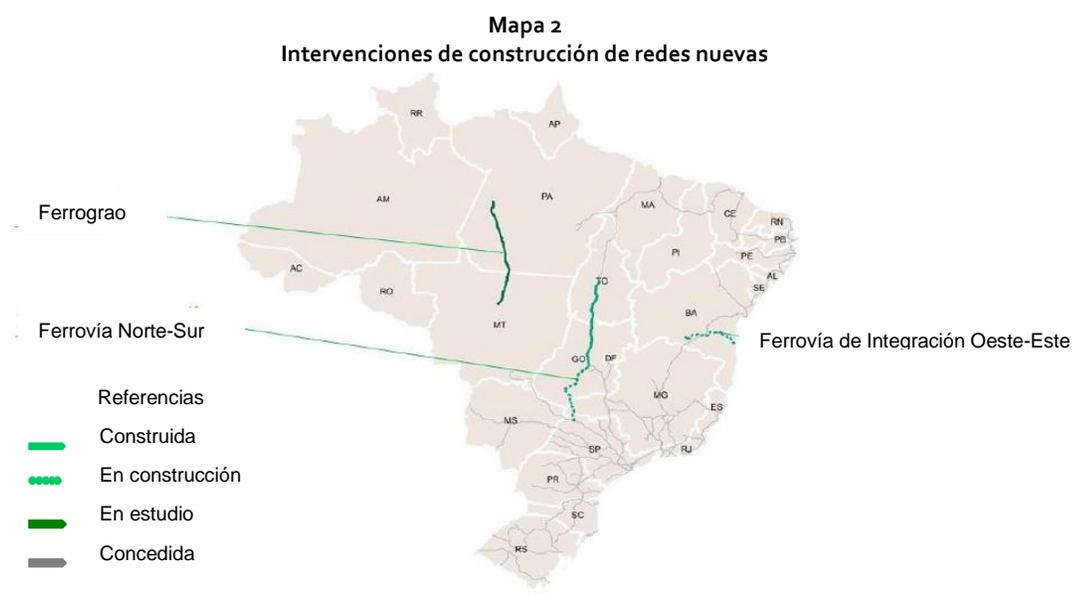
1. Construcción

Se planea la construcción de unos ~3,2 mil Km vías ferroviarias según el Plan Nacional de Logística 2025 (PNL 2025). Dicha extensión se indica a continuación:

Cuadro 2
Extensión tramos de red a construir

FFCC	Tramo	Extensión [Km]
Ferrovía de Integração Oeste - Leste (FIOL)	Ilhéus/BA - Caetité/BA	537
Ferrovía Ferrogrão	Miritituba/PA - Sinop/MT	1 142
Ferrovía Norte - Sul (FNS)	Porto Nacional/TO Estrela D'Oeste/SP	1 544
Total		3 223

Fuente: Adaptado en base a Empresa de Planeamiento Logístico – Brasil, 2018. Nota: Plan Nacional de Logística 2025. Brasil.



Fuente: Empresa de Planeamiento Logístico – Brasil, 2018. Nota: Plan Nacional de Logística 2025. Brasil.

2. Adecuación

Se contempla una adecuación de capacidad de 12,7 mil Km de vías ferroviarias a lo largo del país. Dentro de dichas intervenciones se observa como la principal adecuación de la Ferrovia Centro-Atlântica (FCA) es la que mayor extensión representa 7,2 mil Km.

A continuación, se describen cada una de las intervenciones previstas.

Cuadro 3
Intervenciones de adecuación en redes ferroviarias existentes

FFCC	Tramo	Extensión [Km]
Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM)	Malla Concedida	905
MRS Logística S.A.	Malla Concedida	1 674
Ferrovia Centro-Atlântica (FCA)	Malla Concedida	7 215
Rumo - Malha Paulista	Malla Concedida	1 989
Estrada de Ferro Carajás (EFC)	Malla Concedida	892
Total		12 675

Fuente: Adaptado en base a Empresa de Planeamiento Logístico – Brasil, 2018. Nota: Plan Nacional de Logística 2025. Brasil.



Fuente: Empresa de Planeamiento Logístico – Brasil, 2018. Nota. Plan Nacional de Logística 2025. Brasil.

D. Marco Regulatorio

El marco regulatorio del sector ferroviario a lo largo de la historia sufrió ciertas modificaciones entre las que pueden destacarse la unificación de los ferrocarriles en 1957 y sobre la década de los 90' la privatización del sistema ferroviario. En los últimos se observan ciertos intentos de reconfiguración, reactivación o simplemente de búsqueda de mejora del sistema que no han sido del todo prósperos.

En el año 1957 se unifican los ferrocarriles y se constituye la llamada "Red Ferroviaria Federal S.A.", si bien este modelo estatal fue adecuado durante varias décadas, tuvo su caída hacia fines de los años 80' debido a la sucesión de varios eventos – como i) el impacto del precio del petróleo de 1970 y el default mexicano, ii) la necesidad de gran apalancamiento por parte de las empresas brasileras para seguir invirtiendo, iii) la subvaluación de tarifas para controlar la inflación, iv) las nuevas prioridades de gasto público establecidas en la constitución de 1988 y v) las derivaciones del consenso de Washington debido a que los modelos de desarrollo latinoamericanos estaban en un momento complicado.

Luego, en la etapa de los años 90' se observa un cambio estructural del sistema debido a que se realizan los contratos de concesión, esto es posible mediante el "Programa de Privatización Federal". Si bien el proceso de privatización comenzó en 1992 con la inclusión de la Red Ferroviaria Federal S.A., la primera ocurre en 1996 y la última en 1998.

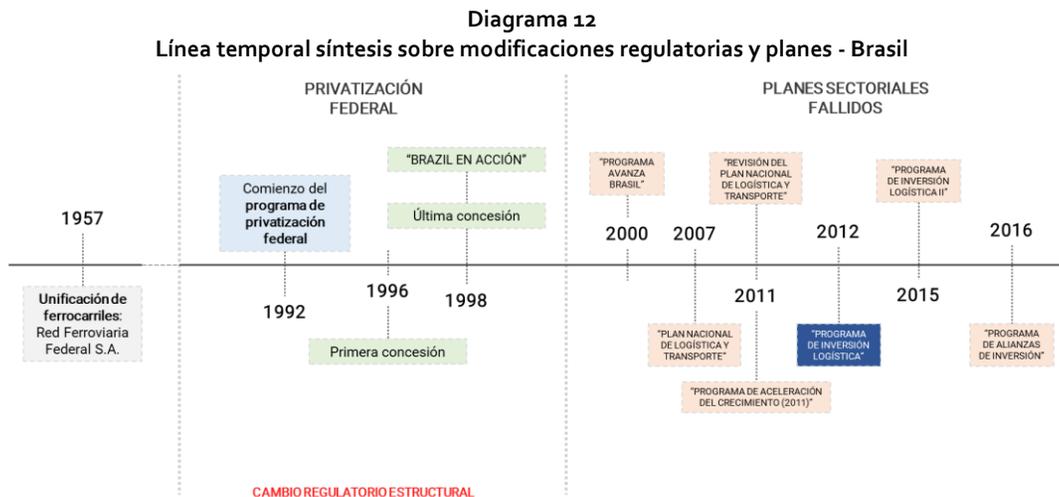
La privatización consistió en la división en 6 áreas geográficas más San Pablo y estipuló contratos a 30 años de concesión vertical. Respecto a las características de los contratos, se establecieron dos tipos de contratos – responsables asociados: i) Explotación infraestructura y ii) Servicio público para el transporte de cargas.

Estas medidas buscaron mejorar la eficiencia del sistema mediante una estructura más sustentable de cada una de las empresas, desde el punto de vista financiero, lograr un aumento en el tráfico de cargas, y fomentar la competitividad mediante un incremento modal. Sin embargo, no se dispuso ninguna restricción para limitar la participación de los actores en la explotación de la red, con lo

cual el resultado fue que las privatizaciones se realizaron principalmente para los clientes, dadores de carga de tipo commodity.

La etapa que comienza a partir de los 2000 se caracteriza por la propuesta de numerosos planes sectoriales que luego no tuvieron los resultados esperados, ya que no lograron generar las inversiones previstas. Entre ellos, uno de los más distintivos fue el "Programa de Inversión Logística" (PIL) en el año 2012. Este buscaba recuperar al ferrocarril como modo relevante en la logística nacional mediante una modernización del sistema. El programa implicaba el fin de los monopolios en cuanto a la operación ya que buscaba dividir la operación de infraestructura y el mantenimiento y provisión del servicio, a su vez se buscaba el Open Access para lograr una reducción de tarifas con el objetivo de lograr aumentar la competitividad del sector y por ende el incremento de la participación del modo ferroviario.

La siguiente línea de tiempo detalla la secuencia de los principales sucesos a destacar.



Fuente: Elaboración propia en base a Utilities Policy (2017).

1. Identificación de actores relevantes

En esta sección se detallan brevemente los actores relevantes en el sector ferroviario brasileño mediante algunas características distintivas respecto a sus funciones y orígenes.

a) Consejo Gestor de PPI

- Fue creado en 2016 para centralizar funciones de diferentes organismos.
- Principalmente se buscó que permita facilitar procesos de concesión.

b) Ministerio de Transporte

- Función de planificación general del sistema.
- Asesorado por Empresa de Planeamiento y Logística (EPL) en cuestiones específicas.

c) Agencia Federal de Transportes Terrestres

- Fue creada en 2001, su principal función consiste en la regulación del sector a escala federal.
- Presento situaciones de déficit de institucionalidad: no fueron nombrados los directores, la inestabilidad incidió en la dinámica de la agencia.

d) Empresa de Planeamiento y logística (EPL)

- La Empresa de Planeamiento y Logística se creó en 2011.
- Corresponde a la empresa especialista en cuestiones de planificación logística a nivel federal.

e) VALEC

- Se incorporó en 1972.
- Sobrellevó numerosos cambios organizacionales.
- En 2013 experimenta una gran reestructuración, se establecen como sus principales funciones: planificar, gestionar y desarrollar programas de ampliación de la capacidad de la red.

2. Intento fallido - Open Access (2012)

En el año 2012 surgió una iniciativa para lograr la implementación de un sistema de operación Open Access en el sistema ferroviario, sin embargo, dicha iniciativa no prosperó por diversas situaciones. A continuación, se detallan las principales características del modelo fallido y algunas de sus causas.

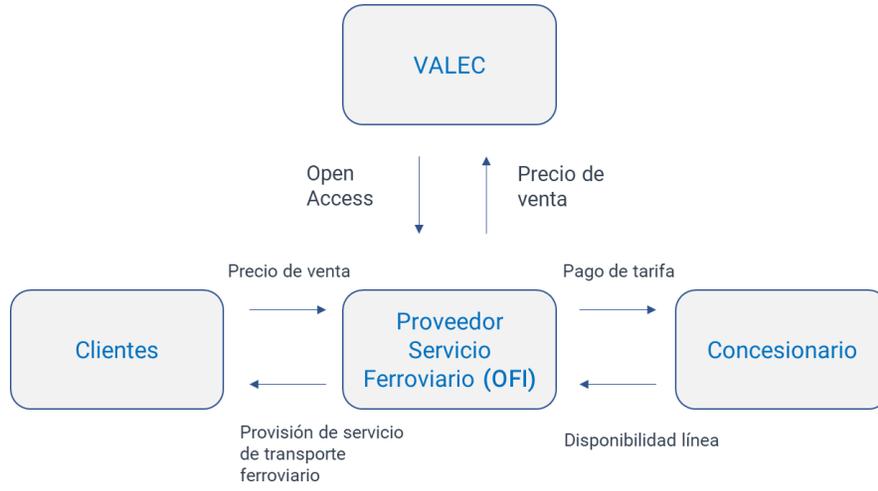
a) Características principales del modelo

- Buscaba dividir la operación de infraestructura y el mantenimiento y provisión del servicio.
- El gobierno expresaba la intención de lanzar licitaciones públicas para la construcción, operación y mantenimiento de nuevas infraestructuras ferroviarias.
- Se buscaba incluir transportistas individuales (OFI) para la prestación de servicios.
- Se pretendía lograr la universalización del transporte por ferrocarril de mercancías, y reducir los costos mediante el fomento de la competencia.
- VALEC habría comprado toda la capacidad de las extensiones del sistema y luego revendido mediante subastas públicas a distintos oferentes. Frecuencia renovación anual.
- La ANTT hubiera autorizado las incorporaciones de los OFI.

b) Desaciertos

- Coexistencia incompatible con el modelo previo vertical: Desincentivo a la inversión debido a la diversidad de reglas.
- Se necesitaban los fondos de VALEC para la compra anual.
- Existía cierta debilidad legal y en este sentido fue relevante una crítica al respecto por parte del Tribunal Federal de Cuentas.

Diagrama 13
Esquema sobre modelo Open Access Fallido (2012)



Fuente: Elaboración propia en base a Utilities Policy (2017).

VI. Ferrocarril y logística en Argentina

La red ferroviaria argentina posee aproximadamente 30.000 km de extensión, de los cuales 24.000 se encuentran en operación, o podrían entrar en operación realizando inversiones. Los 6.000 km restantes requerirían fuertes inversiones estructurales para estar en condiciones de operar. La estructura de la red es radial, y converge principalmente hacia los puertos de Buenos Aires, Rosario y Bahía Blanca. El trayecto promedio de los tráficos de carga ronda los 500 kilómetros. En términos de toneladas/kilómetro, el argentino es el tercer sistema en importancia en la región, después del brasileño y el mexicano; en cuanto a volúmenes de carga, se encuentra en cuarto lugar por debajo del colombiano, de gran expansión en los últimos años.

La superposición de proyectos en la época fundacional (siglo XIX) y la obsolescencia de diferentes sistemas ferroviarios hace que convivan un mallado de trocha angosta (Belgrano Cargas, el más extenso) en el norte del país con otro de trocha ancha en el centro y suroeste, sin tener conexión entre sí. Por ejemplo, en el área del Gran Rosario –casi de vanguardia en lo que hace al procesamiento de graneles y operación portuaria– hay 7 terminales con trocha mixta, 2 que cuentan con trocha ancha y 2 con trocha angosta. Muchos de los tramos de vía son obsoletos y no pueden soportar trenes de 60 vagones. Dado que se transporta en trenes de 3.000 toneladas netas, si la operatoria no es eficiente se producen grandes demoras y el modo pierde mercado frente al camión. No obstante, en comparación con los años de amesetamiento del modo ferroviario –de comienzos de los '60 a mediados de los '80–, a partir de la concesión de los principales ramales el volumen de carga transportada registró un aumento del 25% promedio.

Las principales líneas según sus operadores son:

- **Ferroexpreso Pampeano S.A. (FEPESA):** cubre el oeste de las provincias de Buenos Aires y La Pampa, con acceso al puerto de Rosario por un ramal de la vía principal que atraviesa el sur de Santa Fe. Su destino principal es el puerto de Bahía Blanca, principal salida exportadora de granos en el sur de la provincia de Buenos Aires.
- **Ferrosur Roca S.A. (FERROSUR):** la vía principal atraviesa Buenos Aires hacia el sur, cruzando las provincias de Río Negro y Neuquén hasta llegar a la localidad de Zapala. Hoy

operado por un consorcio encabezado por la cementera Loma Negra, se especializa en productos minerales no metalíferos, cemento y piedra.

- **Ferrocarril General San Martín:** atraviesa el centro del país desde la ciudad de Buenos Aires hacia el oeste, llegando hasta las provincias de Mendoza y San Juan. La concesión a la empresa América Latina Logística (ALL) de Brasil fue revocada y la operatoria hoy está en manos del Estado nacional.
- **Nuevo Central Argentino S.A. (NCA):** atraviesa norte de la provincia de Buenos Aires, sur de las provincias de Córdoba y Santa Fe, hasta las provincias de Santiago del Estero y Tucumán.
- **Ferrocarril General Urquiza:** antes también operado por América Latina Logística (ALL) de Brasil, hoy en operado como empresa pública. Atraviesa la región Mesopotámica, formando un corredor con el sur de Brasil.
- **Ferrocarril Belgrano Cargas y Logística:** atraviesa las regiones del Noroeste Argentino y Noreste Argentino, abarcando 13 provincias del centro y norte del país. De trocha angosta, es el más obsoleto tanto en instalaciones y en infraestructura como en sus operaciones; su gestión está a cargo de una empresa pública.

La participación modal del ferrocarril en el transporte de cargas alcanza aproximadamente un 5% del volumen total (un 15% en el hinterland de los puertos del Gran Rosario) y se ha mantenido amesetada en los últimos años. Dicha proporción es reducida si se tiene en cuenta la magnitud de volúmenes de graneles secos (para los cuales el ferrocarril posee claras ventajas comparativas respecto del camión) que se movilizan en el país. En la actualidad, a pesar de su baja asignación modal, el tráfico ferroviario alimenta los principales puertos y los orígenes de las cargas se concentran en puntos específicos de las principales zonas de producción agrícola. Los granos son el principal producto transportado, seguido por piedras y pellets. De acuerdo con la información que publica la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT), la carga total transportada por ferrocarril en Argentina en el año 2019 ascendió a 22,1 millones de toneladas, presentando una variación positiva de 17,6% con relación a igual período del año anterior, en tanto que las toneladas-kilómetro registraron un aumento de 17,2%.

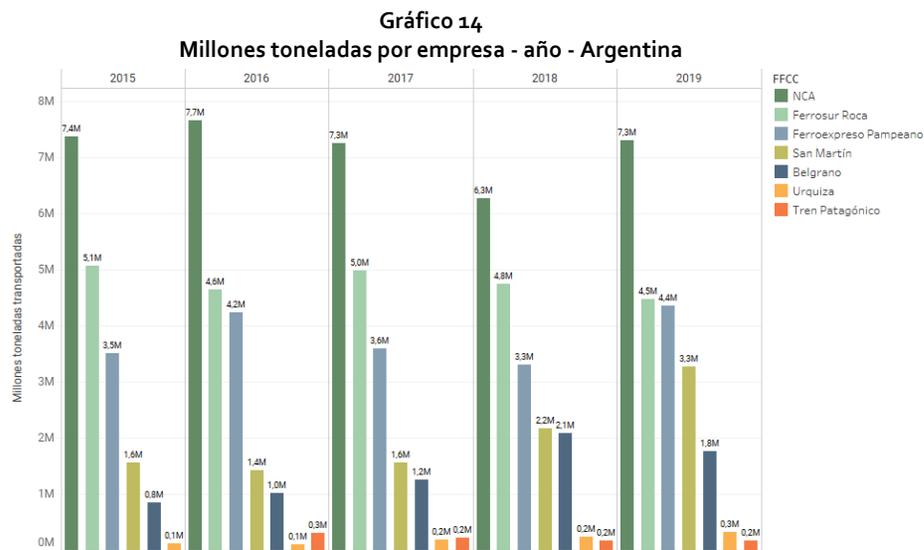
El escaso desarrollo de la intermodalidad en el país y la existencia de regulaciones favorables al transporte carretero contribuyen a explicar la baja participación del ferrocarril en el transporte de cargas. En términos generales, la infraestructura de acceso ferroviario a los puertos, instalaciones industriales y centros de acopio de granos es muy deficiente, generando ventajas para el camión que cuenta con mayor flexibilidad para la carga, descarga y maniobras. Las carencias en este ámbito impactan muy negativamente sobre las perspectivas del ferrocarril para atender cargas generales. Inversiones en la mejora de estas interfaces y en la construcción de zonas de actividades logísticas (ZAL) y playas de maniobra favorecerían una mayor participación del ferrocarril, no sólo en graneles sino también en el tráfico contenerizado. A ello se agrega el hecho de que se ha postergado en múltiples oportunidades la obligatoriedad del cumplimiento de los límites que impone la Ley de Tránsito respecto a la edad máxima de los camiones y a la relación peso-potencia permitida. Estas medidas en favor del autotransporte automotor fomentan una competencia asimétrica en desmedro del ferrocarril.

Como la operación del sistema portuario, la ferroviaria fue concesionada a operadores privados a comienzos de los años '90. Si bien varios de los concesionarios ferroviarios de carga han alcanzado buenos estándares operativos, el nivel de actividad del sector ha experimentado un crecimiento muy moderado. Con algunas diferencias entre las empresas, el resultado de las concesiones fue exitoso, ya que en un corto período de tiempo habían logrado recuperar los volúmenes de carga que la empresa estatal, Ferrocarriles Argentinos, había perdido a favor del autotransporte terrestre. Desde la primera

concesión en 1991 hasta 2007, el aumento de los tráficos fue constante; luego fue fluctuando, con nuevas alzas, pero todavía sin alcanzar el pico de 24,9 millones de toneladas alcanzado ese año.

En la actualidad, este esquema enfrenta importantes desafíos a causa de la incertidumbre regulatoria sobre el futuro de las concesiones de carga: de los cuatro operadores, tres (concesionarios privados) no han completado su renegociación, y uno de los actores, el FC Belgrano Cargas (operador público), hace 20 años que no logra revertir su decadencia. La red del FC Belgrano, especialmente relevante para las regiones del Noroeste Argentino y Noreste Argentino, históricamente representaba entre el 20% y el 25% del movimiento ferroviario de cargas total; actualmente no llega al 5%. De acuerdo con informes recientes de la empresa Trenes Argentinos de Cargas el FFCC Belgrano tiene un promedio de 1,5 descarrilamientos por día, y un viaje de la provincia de Jujuy a la ciudad de Buenos Aires excede los 20 días. Esto explica por qué los dadores de carga, en forma mayoritaria, prefieren asignar sus cargas al transporte por camión.

Para visualizar el volumen de la carga transportada por cada operador en los últimos años se presenta a continuación un gráfico que detalla la evolución en toneladas transportadas.



Fuente: Elaboración propia en base a Comisión Nacional de Regulación del Transporte (2019).

En el marco de las concesiones de carga, los siguientes factores plantean limitantes al potencial de crecimiento de los volúmenes transportados:

Estado de la infraestructura. La infraestructura de estos ferrocarriles se encuentra deteriorada, lo cual en algunos casos impacta negativamente en su desempeño. Dada la estructura de las empresas concesionarias y sus niveles de tarifa, no están en condiciones de invertir en las obras de rehabilitación necesarias, sino sólo en obras de mantenimiento. Si bien no se prevén problemas de capacidad por déficit de infraestructura en el corto y mediano plazo, estas inversiones estructurales son necesarias para lograr que el ferrocarril logre una mayor participación en el transporte de carga.

Stock de material tractivo. En la actualidad, la falta de locomotoras es probablemente una de las restricciones más importantes que enfrentan los operadores para captar mayores volúmenes de carga.

La integración vertical de los concesionarios ferroviarios con productores de bienes que los utilizan para el transporte de cargas propias no ayuda en los incentivos a expandir su actividad. Asimismo, la tradicional orientación de estas empresas al transporte de graneles puede ser una

limitante para captar la demanda de cargas generales (contenerizadas), lo cual requiere una adaptación y esquemas operativos estrechamente ligados a las necesidades de los dadores de carga.

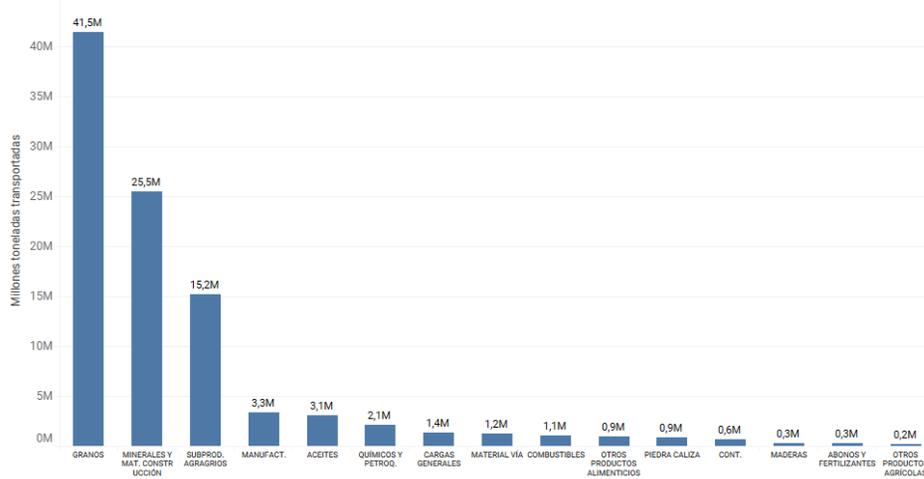
A. Principales cargas

En la actualidad los graneles agropecuarios y sus subproductos constituyen la principal carga transportada por ferrocarril (58%), seguida de los materiales de construcción como arena y cemento (25%); la minería sólo ocupa un 6%, y el 11% restante se divide en rubros de menor cuantía. En comparación, el transporte de minerales es mucho menor en Argentina que en otros países de la región.

Los siguientes gráficos permiten mensurar con datos precisos la participación relativa entre los distintos tipos de cargas.

Gráfico 15

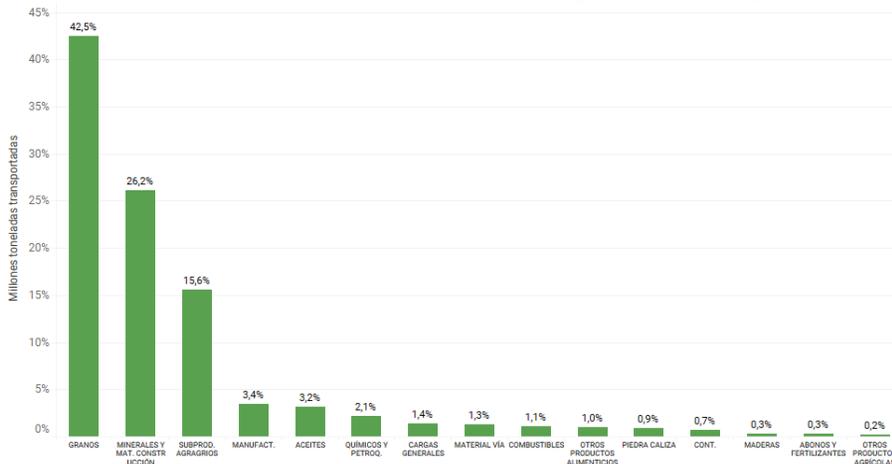
Participación en Millones de Toneladas acumulados 2015-19 por rubro en los flujos de carga ferroviaria - Argentina



Fuente: Elaboración propia en base a Comisión Nacional de Regulación del Transporte (2019).

Gráfico 16

Participación [%] por rubro en los flujos de carga ferroviaria - Argentina



Fuente: Elaboración propia en base a Comisión Nacional de Regulación del Transporte (2019).

B. Incorporaciones tecnológicas

En el año 2011, un accidente mortal en la estación de pasajeros de Once, en la capital argentina, puso de relieve la obsolescencia de la infraestructura utilizada y el debilitamiento de los controles estatales sobre el cumplimiento de los contratos de concesión. Una de las primeras medidas tomadas para atenuar el desastre fue la elevación a ministerio del área de Transporte, plafón ampliamente merecido para el sector dados los conflictos permanentes de desarrollo del área y su importancia derivada de la extensión territorial del país.

Desde entonces se han sucedido diversas medidas de renovación tecnológica, algunas de las cuales derramaron sobre la operatoria de cargas. Los principales cambios tuvieron que ver con la renovación de parte del material rodante, la más fácil de resolver a corto plazo, para lo cual se decidieron importaciones de nuevos coches, en particular de China. Más difícil es el reemplazo de locomotoras, para lo cual la iniciativa se diversificó, con la prueba piloto de la fabricación de la primera locomotora en el país en 40 años, realizada a partir de un acuerdo de la empresa Materfer con la norteamericana National Railway Equipment. Con dicho asesoramiento tecnológico se diseñó una locomotora diesel eléctrica, capaz de traccionar hasta 100 vagones de 80 tn y cuyo estándar de emisión de gases, es compatible con los protocolos internacionales de baja de emisiones.

El Ministerio de Defensa, a través de Fabricaciones Militares, incorporó un nuevo vagón tolva de fabricación argentina, pensado para el transporte de granos en la trocha angosta del ferrocarril General Belgrano. El fabricante destaca sus anchas bocas de descarga y el alto ángulo de tolva, así como una inclinación del 1% en los techos para evitar la acumulación de humedad.

El principal problema para resolver es el control automático de señales y barreras, dado que el conjunto de los tendidos presenta unos 14 mil pasos a nivel, de los cuales sólo una mínima parte se puede modificar con obras de infraestructura como pasos a desnivel. Algunas intervenciones de este tipo fueron realizadas en la ciudad de Buenos Aires para evitar accidentes viales.

Actualmente varias instituciones educativas como la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, el Instituto del Transporte de la Universidad Nacional de San Martín, la Universidad Tecnológica Nacional y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, trabajan en diversos proyectos enfocados a la modernización del sistema de señalamiento de vías y actualización del material rodante. Ocho de estas instituciones han conformado el Grupo de Investigación en Calidad y Seguridad de las Aplicaciones Ferroviarias (GIGCSAFE) con el objetivo de desarrollar tecnologías y soluciones locales, dado el alto costo de los componentes importados. El primer proyecto del GIGCSAFE es el diseño de un monitor de barreras (levantamiento automático de las mismas a partir de la comunicación entre señales fijas y móviles), en base a uno ya realizado por la regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional para el ramal de cargas que confluye en el puerto de esa ciudad. El proyecto, comenzado en 2018, es la adaptación de dicho dispositivo, utilizado a manera de prototipo en ese tendido, al estándar normativo internacional. El hardware resultante será de diseño abierto, para facilitar su fabricación a cargo de empresas PyME, y el derecho de uso transferido a Trenes Argentinos, la operadora ferroviaria estatal.

El monitor diseñado puede leer varios parámetros como la posición del brazo de la barrera, la carga de la batería que alimenta el motor de movimiento, y el funcionamiento y temperatura de este último. Los datos generados por este sensor son enviados en tiempo real a un servidor para su control por parte del operador.

Otro campo en el que se trabaja es el desarrollo de sistemas de alarma autóctonos como el conocido "hombre muerto", que permite frenar el convoy de manera automática y controlada en caso de ausencia o desatención del conductor. Esto involucra la comunicación de señales entre la vía y la locomotora, que permite monitorear la velocidad en tiempo real.

C. Proyecciones

Los principales proyectos de modernización y optimización de los ferrocarriles argentinos de carga tienen que ver con:

1. Actualización del tendido de vía en todos los ramales

Argentina cuenta con vías de tres anchos de trocha diferentes, lo que hace que los flujos del norte y centro del país confluyan sin conectarse. Dada la extensión territorial, que eleva considerablemente el costo de la opción de unificar dicho tendido, existe un consenso en la necesidad de primero optimizar los tendidos ya existentes, algunos en franco deterioro que obliga a los trenes a circular a muy bajas velocidades.

Los principales tendidos, por la cantidad de tráfico involucrado, son los trayectos entre Buenos Aires–Rosario, Buenos Aires– Mar del Plata (ambos trocha ancha) y el Belgrano Cargas (trocha angosta). En años recientes hubo un intento de fabricar durmientes en base a nuevos materiales reciclados, con los que se actualizó parte del tendido entre Buenos Aires y Mar del Plata, pero el material empleado resultó defectuoso y buena parte de los durmientes se quebraron poco tiempo después de comenzadas las operaciones.

Si bien el tendido ya se encontraba en estado de deterioro antes de las privatizaciones de los años '90, debe consignarse que los operadores que se hicieron cargo de las líneas usufructuaron dichos tendidos sin hacerse cargo de posibles intervenciones en la mejora de la infraestructura que por contrato les correspondía, concentrando sus esfuerzos de actualización en el material rodante y dejando, en la práctica, la actualización de la vía al Estado. Es decir, el capital de infraestructura involucrado no fue reemplazado en la misma medida en que fue consumido por las diversas operadoras.

Problemas de escala –cargas de gran volumen a bajo precio– contribuyen a que los operadores de carga no aporten debidamente al mantenimiento de la infraestructura a pesar de haberse comprometido en tal sentido al firmar sus contratos de concesión. En la actualidad la utilización de vía es circulada, en promedio, por menos de un tren cargado diario.

2. Relanzamiento del Belgrano Cargas

En años recientes, el corrimiento de la frontera agrícola llevó a operaciones de desmonte masivo en el norte y noroeste del país, en el convencimiento de que era posible el cultivo de soja en condiciones de competencia para la exportación a pesar de las grandes distancias entre las nuevas zonas de cultivo y los puertos del Gran Rosario, su nodo de exportación natural. Contribuyeron a ello los altos precios internacionales del commodity, y en la ecuación económica de los nuevos desarrollos el ferrocarril resulta el modo ideal para el abaratamiento del transporte de dichas cargas.

Diversas administraciones nacionales anunciaron planes generales de modernización del Ferrocarril Belgrano Cargas, que opera con trocha angosta y cuyo trayecto hasta el Gran Rosario demora varios días debido al estado de las vías, ausencia señalamiento confiable en diversos tramos, problemas organizacionales del operador, entre otras limitaciones. El último plan de modernización se anunció en 2018, con gran expectativa. Pero la interrupción de la financiación por problemas de coyuntura económica dejó una vez más el proyecto, de alto costo, estancado y a la espera de una inversión sustantiva, que podría provenir de un esquema de inversión bilateral con el gobierno de la República Popular China.

3. Plan Circunvalar Rosario

Se trata de un anillo circunvalar de doble traza –ferroviaria y vial– que conectaría de los puertos del norte del Gran Rosario a los del sur, posibilitando que los trenes de carga puedan derivar directamente hacia esos puertos sin entrar a la ciudad de Rosario. El proyecto, de gran envergadura, busca resolver el cuello de botella que los camiones –que concentran, como ya se dijo, el transporte de granos exportables hacia

los puertos— encuentran al llegar a Rosario, segunda ciudad de la Argentina en población y principal foco de la exportación de graneles agropecuarios del país.

A partir del permiso para que los principales operadores privados portuarios administraran por sí mismos algunas terminales portuarias primero –década de 1980– y concesionaran luego las principales –década de 1990– se dio una apertura territorial del puerto tradicional de Rosario, ya con progresivos problemas de capacidad. El desarrollo de los agrograneles en el período llevó a que fueran concesionándose y, en algunos casos, desarrollándose nuevas terminales portuarias especializadas para estos y otros tráficos hacia el norte y el sur de la ciudad; de manera tal que hoy existe un grupo de puertos que se extiende unos 70 km entre las localidades de Timbúes y Arroyo Seco, con la ciudad de Rosario, cuyo papel en estas cargas es hoy menor, en el centro de esta franja litoral del río Paraná principal vía navegable del país. Debido a esto, es común que las cargas ferroviarias que entran a Rosario sean luego trasbordadas a camiones que las llevan a los puertos vecinos para su procesamiento y embarque. El Circunvalar ferroviario evitaría que estos tráficos entren al ejido urbano, rodeándolo para alcanzar su destino final en las afueras. Esto implica la instalación de nuevas zonas de operaciones ferroviarias en el conurbano y su vinculación con plataformas de actividades logísticas.

Los operadores de las principales terminales especializadas, que resultan ser además quienes operan las plantas de procesamiento de oleaginosas emplazadas en dichos puertos, son los principales interesados en el proyecto, impulsando la iniciativa ante las sucesivas administraciones provinciales y nacionales, sin obtener aún un visto bueno definitivo. Entre otros temas, se discute la traza exacta que tendría el sistema, así como la posibilidad de que el anillo abarque sólo la alternativa vial, lo cual abarataría los costos de la obra. Cabe acotar que el anillo vial ya existe en forma incompleta, por lo que se trataría de completarlo y unificarlo, mientras que la traza ferroviaria contempla una problemática más compleja y costosa.

4. Corredor bioceánico central

El proyecto involucra la traza ferroviaria entre la frontera con Brasil, en la provincia de Corrientes, y la frontera con Chile, en la provincia de Mendoza, para lograr un tránsito continuo de cargas ferroviarias entre países limítrofes. El modo vial ha capturado estos tráficos, que comunican con Chile a través de los pasos cordilleranos. El plan contempla actualizar la traza ferroviaria, logrando la integración ferroviaria con Chile.

D. Marco regulatorio

En Argentina los sistemas ferroviarios de carga están verticalmente integrados, teniendo cada operador la exclusividad comercial del ramal concesionado. En esto coincide con el sistema brasileño.

No obstante, a partir de 2015 se cambió la legislación para modificar esta tendencia. Se impuso un modelo de gestión abierta, que tiende a la desintegración vertical y a la pérdida de la exclusividad comercial, lo que se conoce como sistema "Open Access". No obstante, la ley no fue implementada y tampoco surgieron expresiones de interés de nuevos operadores ferroviarios interesados en los ramales disponibles.

En este nuevo modelo, el Estado se rige por principios de objetividad, transparencia y no discriminación entre operadores. En la práctica, esto se traduce en una mayor injerencia estatal en la infraestructura ferroviaria y el control del tráfico, para facilitar el ingreso de nuevos inversores al sistema.

Cabe acotar que, dados los distintos niveles de tráfico de los distintos ramales, éstos requieren diferentes requerimientos de mantenimiento y control.

Entre 2021 y 2023 llegan a su término los contratos de concesión de los tres principales operadores ferroviarios privados: Ferro Expreso Pampeano SA FEPSA, Nuevo Central Argentino NCA y Ferrosur Roca (entre los tres concesionarios concentran el 75% de los tráficos). En la actualidad, el Ministerio de Transporte está conformando la comisión que tendrá a su cargo la renegociación de estos contratos, una vez que se establezcan protocolos de reunión necesarios toda vez que el país está atravesando el momento más grave de la pandemia.

VII. Recomendaciones para una mayor integración tecnológica: hacia un servicio "smart"

A. Consideraciones técnicas

La región presenta bajos niveles de participación modal del ferrocarril, motivo por el cual, algunos países hoy en día encontrarían barreras importantes para establecer prioridades en cuanto al desarrollo de un sistema de trenes inteligentes de carga: en primer término, deberían resolverse ciertos problemas estructurales desde el punto de vista técnico.

Para planificar la incorporación de servicios Smart, se sugiere llevar a cabo relevamientos de las brechas actuales en los componentes vinculados a la señalización, material rodante, locomotoras y otros equipamientos que existen actualmente en cada país. Sería conveniente que dicha información esté disponible para el análisis constante por parte de especialistas del sector a nivel regional, con la intención que puedan proponer intervenciones y planes de mejora a mediano y largo plazo, que no solo consideren la problemática a escala local, sino también en términos de integración del sistema a mayor escala. Si bien ciertas brechas han sido mencionadas en el documento, con lo cual son temas conocidos que ya han sido analizados por expertos referentes del sector, la recomendación es que debe existir un ambiente de trabajo adecuado para el tratamiento cooperativo y sistémico de dichos problemas, con foco en la preparación del sistema a nivel regional para una mejora futura sustancial.

Partiendo de las brechas identificadas, también es importante establecer una priorización para la resolución de aquellas situaciones que constituyan problemas críticos en el corto plazo. Para llevar a cabo esta acción debe existir un tratamiento basado en metas alcanzables con sus correspondientes planes de implementación. Finalizados los planes correspondientes se deberán analizar los resultados y volver a identificar los elementos más críticos, estableciendo así un proceso de mejora continua.

A partir de un informe de McKinsey, 2020 se puede comprender la importancia que tendrá la digitalización en los sistemas ferroviarios en un escenario futuro. El informe destaca que esta tendencia, permitiría simplificar y mejorar componentes relevantes de grandes redes ferroviarias, como los centros

de control y los sistemas de enclavamiento. A su vez, se destaca que podría incrementarse la capacidad, disminuir costos, lograr mayor eficiencia operativa e incrementar la sustentabilidad. También en base a CEPAL, 2020, se identifican como beneficios de la digitalización; i) mejoras operativas como incremento de la rapidez, seguridad y eficiencia en las operaciones, disminución de costos y externalidades negativas; ii) incremento de la información en la cadena logística con mayor precisión y utilidad para favorecer la trazabilidad en la cadena y lograr una mayor colaboración entre modos y actores; y iii) mayor valor agregado en los servicios ofrecidos, debido a la mayor flexibilidad, predictibilidad y mejoras en la gestión de contingencias.

Como explica IEEE, 2020, con las implementaciones futuras de los trenes de carga inteligentes, los sistemas de señalamiento y control requerirán de importantes mejoras en términos de comunicación. Analizando las tecnologías explicadas en el capítulo inicial del documento, se puede concluir que las redes GSM-R son las tecnologías más difundidas a nivel mundial, pero están comenzando a convertirse en obsoletas por su bajo nivel de intercambio de datos. Por otro lado, si se examinan las características de las redes LTE, se pueden observar mejoras en comparación con GSM-R pero aun así no pueden considerarse como la mejor alternativa en el largo plazo debido a que las futuras funcionalidades de los "Smart Rails" implicarán elevados requerimientos de intercambio de datos: Transmisión de video en tiempo real, soporte a circuitos cerrados de transmisión por televisión (CCTV), posibilidad de detección de componentes anómalos de forma remota, entre otras.

Debido a las necesidades que se avecinan, es fundamental determinar el grado de cobertura 5G en cada uno de los países involucrados y, explorar esta tecnología como una opción viable en la actualización de los sistemas ferroviarios de la región, dado que es una tendencia en términos de comunicaciones ferroviarias y en el futuro será clave para la adquisición y desarrollo de soluciones IIoT mediante el uso masivo de sensores debido a su alta capacidad de intercambio de datos.

La planificación regional debe partir de la definición de un estándar tecnológico permita una mayor integración entre los distintos países, evitando posibles barreras futuras. También se debería incrementar la comunicación entre los países de la región para investigar implementaciones exitosas y compartir buenas prácticas, fortaleciendo vínculos de transferencia tecnológica en este sector.

Cualquier tipo de implementación tecnológica debe considerar un análisis conjunto del sistema e identificar sinergias para los distintos actores involucrados. Es posible observar que las soluciones disponibles en términos técnicos lograrán avances sustanciales en cortos períodos de tiempo, motivo por el cual, es posible que se presente cierta dificultad para determinar cuál o cuáles conjuntos de soluciones son las que mejor se adaptan a las problemáticas de la región. Este proceso decisorio requiere de un consenso general para lograr los mejores resultados posibles.

Si bien puede existir variabilidad en las posibles soluciones, el Banco Mundial, 2019 menciona algunas definiciones sobre lo que parece estar claro respecto a los cambios tecnológicos que surgen y surgirán en esta nueva era de tecnologías emergentes, es que las transformaciones tecnológicas modificarán la forma en que la información fluye: Dejará de existir el flujo tradicional entre proveedores - clientes lineal, para migrar a un flujo simultáneo entre múltiples actores involucrados.

Respecto a posibles soluciones técnicas, se explican algunos aspectos sobre las dos siguientes tendencias:

- i) **Internet de las cosas, sensores inteligentes y Big Data Analytics:** En la última década se logró una disminución del orden de 40 a 60 veces en los costos de transmisión y procesamiento de la información. Sumado a esto se observa que los costos de los sensores requeridos para la captura de datos de diferentes tipos también han disminuido drásticamente. Partiendo de las reducciones de costos indicadas e incorporando técnicas de análisis de datos es posible lograr resultados, derivados del referido proceso, que constituyan insumos clave para la toma de

decisiones con resultados óptimos en cuanto a costos y tiempo. Lo cual conduce a un escenario de mayores posibilidades de mejora en base al manejo masivo de datos de distintos tipos y fuentes de origen.

- ii) **Blockchain:** Esta tecnología resulta prometedora debido a que tiene grandes ventajas en la disminución de tiempos, detección de anomalías documentales, mejora de trazabilidad y robustecimiento de procesos de control. Su uso permite la distribución de la información a múltiples localizaciones en forma simultánea, también facilita la asignación de roles y permisos.

B. Consideraciones tecnológicas

Desde el punto de vista tecnológico, el paradigma de los trenes inteligentes de carga supone un marco de gran interrelación entre los diferentes actores, uso compartido de información y soluciones escalables por parte de todos los involucrados. Es necesario considerar como aspecto destacable el valor agregado que tiene la información abierta en comparación con el valor individual que puede representar para cada uno de los interesados; en un ambiente de alta conexión, se pueden alcanzar mejores resultados del sistema en su conjunto. En los siguientes apartados se explicarán brevemente consideraciones importantes para un buen desarrollo de servicios de trenes inteligentes de carga. Según TRA, 2018 se analizan los siguientes factores.

1. Entornos interconectados

Existe gran atención en numerosas aplicaciones tecnológicas, sin embargo, un aspecto que es relevante desde el punto de vista tecnológico es la posibilidad de crear ambientes interconectados. Estos ambientes poseen numerosas entidades/objetos vinculados entre sí, lo cual permite crear entornos de optimización y agilizar la toma de decisiones para actuar frente a situaciones emergentes o anticipar desvíos futuros.

2. Datos compartidos

Si bien es necesario integrar los datos referidos al sector del transporte para poder optimizar los procesos de planificación operativa y estratégica, actualmente no es usual que los actores involucrados en el sector estén dispuestos a la apertura de sus datos. Sin embargo, la demanda de información por parte de los clientes es creciente y las soluciones a problemas futuros requieren de dicha apertura. El valor agregado por la información compartida es superior a la pérdida individual, esto es posible identificarlo en numerosos cambios de modelos de negocio de variados sectores, con lo cual es esperable que el sector ferroviario también repita esta tendencia.

3. Velocidad relativa de innovación

La velocidad de innovación requerida para producir un cambio modal hacia el transporte ferroviario no puede estimarse en base a las demandas actuales del modo automotor. La velocidad de innovación del modo automotor es elevada, debido a que existe un mayor mercado. Es necesario contemplar un escenario proyectado y planificar las medidas necesarias en base a las demandas potenciales futuras. Deben considerarse los siguientes aspectos clave:

- Velocidad de transición: La misma es menor para el modo automotor que el ferroviario debido a la menor vida útil de sus vehículos.
- Tiempo y esfuerzo: Si bien las innovaciones disruptivas implican cambios mayores que las incrementales, para que las mismas ocurran se requiere un gran trabajo previo de cooperación y coordinación entre todos los actores involucrados. Una forma segura de construir un camino de innovación está basado en avances temporales escalados, es decir graduales. Dicha

trayectoria debe contemplar la vinculación entre los distintos participantes del complejo ecosistema ferroviario y transformarse en logros y aprendizajes parciales.

4. Acceso a la demanda de tráfico internacionales

Como se detalló previamente, en el transporte ferroviario suelen encontrarse numerosas fragmentaciones entre los sistemas y también en la programación de los servicios en las fronteras de los países. Esto puede implicar importantes barreras organizacionales y financieras para lograr iniciativas de integración.

5. Igualdad de condiciones

Los elevados costos de inversión y el lead time -tiempo de espera en la entrega- para la apertura de nuevos servicios ferroviarios entre un determinado Origen - Destino limitan las posibilidades de operadores menores para expandir las redes y aumentar la competitividad del mercado.

6. Acceso de nuevos actores

Altos costos de inicio y complejidad del sistema ferroviario llevan a la dificultad de incorporar nuevos actores en el mercado. Si se compara con el modo automotor, sus costos son relativamente inferiores.

7. Competencia que conduce a la innovación

Para lograr grandes mejoras del sistema se requieren esfuerzos colaborativos de varios actores. En lugar de contemplar ventajas competitivas individuales, se necesita un trabajo cooperativo para alcanzar innovaciones superadoras. El beneficio posible que percibe el sistema en su conjunto por las innovaciones individuales y aisladas es muy inferior al de aquellas que se logran en conjunto.

8. Esquemas de financiamiento

Se deberían repensar los esquemas de financiamiento para las plataformas digitales: Las plataformas digitales requieren de grandes costos fijos iniciales, y moderados costos sucesivos. Se sugiere un modelo que implique un cambio de paradigma: En lugar de pensar los costos de adquisición de la tecnología como gastos de capital deberían contemplarse como gastos operativos. De esta forma, los proveedores de tecnología pasarían a establecer contratos de largo plazo en lugar de contratos individuales por determinados proyectos. Respecto a los operadores de las redes ferroviarias, por ejemplo, podrían pagar suscripciones para poder utilizar nuevos sistemas de gestión de tráfico basándose en la capacidad, disponibilidad, confiabilidad y puntualidad de esos sistemas.

C. Desafíos Institucionales

A partir del relevamiento realizado sobre los países de la región analizados en este documento, considerando sus buenas y malas prácticas en materia institucional y, comparando dichos esquemas con los lineamientos que pretende un entorno de trenes de carga inteligentes, se plantea la necesidad de establecer un modelo "Orientado al Supply Chain" para gestionar el sector ferroviario en la región. A continuación, se ampliarán los conceptos correspondientes al mencionado modelo, basados en TRA, 2018.

1. Orientación al Supply Chain (SCO)

Es importante que los diferentes países de la región trabajen de forma conjunta para lograr el desarrollo a escala subnacional, nacional y regional, de un modelo de gestión del sector ferroviario que se encuentre "orientado al supply chain". Este modelo se destaca por los siguientes aspectos.

- Mientras la gestión de la cadena de suministro (SCM) tiene como foco los flujos de intercambio, SCO enfatiza en la vinculación y el conocimiento de SCM entre cada actor de la cadena de suministro.

- La orientación al Supply Chain implica el “reconocimiento de una organización en lo sistémico, con implicaciones estratégicas en las actividades tácticas involucrando la gestión de numerosos flujos de Supply Chain”.
- Requiere un actor posicionado de forma estratégica para facilitar la integración requerida entre los distintos flujos de SCM.
- Considera fundamental la cooperación, coordinación, interacción y colaboración entre los actores.

2. Información ideal para la cooperación

En la comunicación entre los actores involucrados, el intercambio de información es un factor fundamental. Con el objetivo de lograr una gestión punta a punta de las cadenas de suministro para la mejora de los servicios, es deseable que al menos exista un uso compartido de las siguientes variables:

- Tiempos estimados de arribo, partida. Utilizando información real. **Esta información sería un requerimiento mínimo.**
- Capacidad por tren en cada viaje
- Disponibilidad de vías
- Localización de locomotoras y vagones
- Secuencia de carga de vagones
- Tiempos de espera y transferencias programadas
- Mantenimientos preventivos programados para evitar pérdida de capacidad

Considerando las variables detalladas, sería posible lograr una mejora en las soluciones a ofrecer por parte del sector ferroviario, logrando mayor coordinación e integración en las actividades desarrolladas por todos los participantes, ofreciendo así un mayor valor agregado y promoviendo el cambio modal.

3. Modelo de cooperación ideal - cooperación estratégica

Para alcanzar el nivel de coordinación requerido entre los diferentes actores, una posible alternativa es implementar un modelo de cooperación vertical que debiera integrarse a través de los siguientes participantes:

- Transportistas
- Terminales
- Operadores ferroviarios
- Proveedores de servicios logísticos

El administrador de estas interacciones debería ser un actor cuyas principales funciones -de manera conceptual- serían las siguientes sobre el conjunto del sistema:

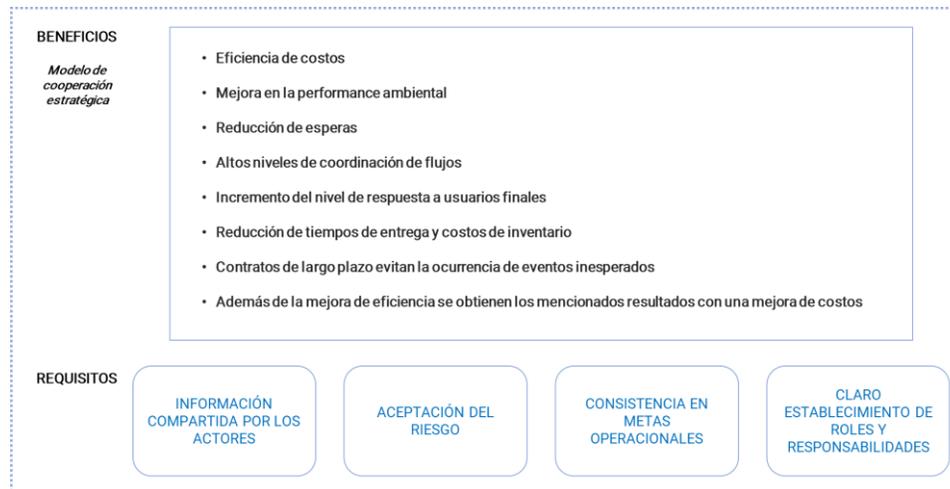
- Reserva
- Contabilidad
- Monitoreo

Entre las funciones específicas del administrador se encontrarían: Venta de capacidad de servicios intermodales, coordinación de los requerimientos de los transportistas, reserva de operaciones ferroviarias y gestión simultánea del servicio con los operadores de cargas que ofertan capacidad de transporte. También

debería promoverse la intermodalidad del servicio y promover la incorporación de un mayor número de transportistas. Facilitar el intercambio de información y promover la mejora continua.

Para sintetizar los conceptos clave del modelo de cooperación estratégica orientado al Supply Chain, a continuación, se resumen sus beneficios y requisitos principales.

Diagrama 14
Beneficios y requisitos Modelo de Cooperación Estratégica Orientado al Supply Chain



Fuente: Elaboración propia en base a TRA (2018).

D. Sugerencias de políticas públicas

A continuación, se proponen lineamientos de políticas que deberían ser consideradas para potenciar el desarrollo del sector ferroviario de cargas, con el objetivo de lograr un sistema de trenes de cargas inteligentes que integre a la región en su conjunto.

- Impulsar la integración regional de los sistemas ferroviarios: a escala nacional e internacional.
- Desarrollar un ambiente de información compartida para establecer la línea de base para la creación de servicios con mayor valor agregado.
- Generar espacios de investigación y desarrollo en la temática que permitan un continuo relevamiento de tendencias y propicien la implementación de proyectos estratégicos según la región y sus necesidades.
- Asegurar ámbitos de trabajo conjunto entre los diferentes actores del sector ferroviario para la implementación de posibles soluciones detectadas.
- Estudiar la posibilidad de implementar modelos Open Access en los países que no lo han implementado para crear ambientes competitivos en el sector, aumentando la oferta disponible, los tipos de servicio y una mejora de costos.
- Detectar los aspectos regulatorios que dificultan la incorporación de nuevos actores en los sistemas Open Access existentes e implementar medidas que propicien una mayor incorporación, creando sistemas de alta competitividad.

- Desarrollar una planificación nacional y regional de trenes inteligentes de carga para respetar un estándar tecnológico único y crear líneas de trabajo a largo plazo en busca del cumplimiento de metas que se adapten a las necesidades de cada lugar.
- Determinar la necesidad de incorporar tecnología 5G para poder escalar soluciones Smart a niveles superiores. Involucrar actores relevantes en posibles planes nacionales de incorporación de esta tecnología fomentando una mirada desde el sector.
- En base a CEPAL, 2020, es importante indicar que cualquier política a implementar debería considerar **la complementariedad con otros modos y, para esto sería necesario:**
- Priorizar y financiar corredores ferroviarios subregionales.
- Gestionar procedimientos de cruces de frontera integrados y expeditivos, basados en estándares internacionales y en las normativas de Naciones Unidas.
- Mejorar la capacidad y conectividad con tiempos y costos competitivos, mitigando las externalidades negativas sociales y ambientales.
- Desarrollar infraestructuras físicas y tecnológicas para favorecer un intercambio modal de forma competitiva y transparente en beneficio del usuario final.
- También se detalla en CEPAL, 2020 que deberían establecerse procedimientos logísticos y comerciales integrados tendientes a lograr:
- Resolver los desbalances de flujos ferroviarios y sus sobrecostos asociados.
- Alcanzar mejoras en los tiempos.
- Agregar valor a los servicios ofrecidos: flexibilidad, predictibilidad, manejo de contingencias.
- Integrar tarifas de origen a destino.

E. Posible incidencia de lo "smart" en la recuperación de los tráficos tras la pandemia

En base a las características particulares de los trenes de carga inteligentes que han sido explicitadas a lo largo del informe, es posible establecer ciertas ventajas que presenta este modo de transporte para la recuperación de tráficos en la post pandemia, es decir en la nueva normalidad. Entre dichas ventajas se identifican las siguientes.

- Reducción de costos de transporte a través de un mejor conocimiento de los flujos y una operación más eficiente según los requerimientos de los clientes. Mayor conocimiento sobre la demanda y la correspondiente adecuación de la oferta de servicios de transporte.
- Mejoras en la planificación de los servicios debido a una mayor disponibilidad de datos y análisis de estos: i) Incremento del nivel de servicio, ii) Definición de planes de contingencia frente a posibles rebrotes y iii) Desarrollo de resiliencia del sistema.
- Facilitar más información a los usuarios finales para la propia coordinación de sus cadenas de suministro, permitiendo un aumento de la resiliencia del sistema y ofreciendo la posibilidad de un mayor agregado de valor.
- Potenciar la integración de procesos y operaciones entre diferentes actores del sistema:
- Organismos reguladores

- Dadores de carga
- Otros modos de transporte
- Administradores de infraestructura
- Operadores de servicios ferroviarios, entre otros
- Mejoras en los procedimientos de fiscalización y simplificación de procesos con su consecuente incentivo al cambio modal.
- Incrementar la disponibilidad de servicios por implementación de mantenimientos predictivos a través de la recopilación y análisis de la información de elementos clave del sistema.

Para recuperar los tráficos, CEPAL, 2020 plantea que deben generarse una serie de reformas regulatorias e institucionales que se caracterizan por los siguientes 4 factores (4IN): Inversión, Interoperabilidad, Integración regional, Inteligencia logística.

Como resultado se deberían lograr cadenas logísticas Resilientes, Eficientes, Sostenibles, Conectadas y Seguras.

Bibliografía

- Academia Nacional de la Ingeniería-Instituto del Transporte (2015). Documento número 10. *El transporte de agrograneles*. Por Lic. Carmen Polo, Ing. Gastón A. Cossettini, Ing. Raúl S. Escalante, Ing. Ricardo A. Schwarz.
- AC&A, CENIT, Agosta Roberto, Blas, Frederic, de Cubas, Irene, Giacobone, Gabriel, Kohon, Jorge, Martínez, Juan Pablo, Pérez, José Enrique, Saurí, Sergi (2020). *Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040*. CAF Banco de Desarrollo de América Latina. Chile.
- Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (2020). Dirección de Estadística Ferroviaria. *Anuario Estadístico Ferroviario 2019*. Ciudad de México.
- Agosta R., Martínez J. P., Kohon J., Pérez J. E., Blas F., Giacobone G., Saurí S., de Cubas I. (2020). *Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040*. CAF Banco de Desarrollo de América Latina. Panamá.
- Agosta, R. (2010). *Integración y conectividad en el territorio argentino*. Trabajo inédito para el Departamento de Transporte, Facultad de Ingeniería, UBA.
- Águila, A., Cervantes, C., Temoltzin, D., & Cuellar, Y. (2017). *Infraestructura logística para la competitividad de México*. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, vol. 4 (5). Pp 71-83.
- Álvarez, D. (coord.) (2014). *Una mirada al Ferrocarril Belgrano Cargas*. DT N°2, Escuela de Gobierno de Chaco.
- Andreyana Ottavi, C. (2014). *Análisis socio-económico de alternativas para la implantación del Ferrocarril Toluca-Ciudad de México* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Antón-Haro C., Dohler M. (2015). *Machine-to-machine (M2M) Communications, Architecture, Performance and Applications*. Elsevier.
- Antún, J. P. (2013). *Distribución urbana de mercancías: Estrategias con centros logísticos*. Inter-American Development Bank. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, SCT.
- Araya, F., Bertino, M., Díaz, G., & Torrelli, M. (2013). *Evolución histórica de la Administración General de Ferrocarriles del Estado (AFE) en Uruguay: factores determinantes de su desempeño*. Ponencia presentada a las IV Jornadas Académicas de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Montevideo, 27, 28.
- Arceo, E. (2011). *El largo camino a la crisis: Centro, periferia y transformaciones de la economía mundial*. Buenos Aires, Cara o Ceca.
- Autoridad del Canal de Panamá. (2020). Disponible en: <https://micanaldepanama.com/>. Panamá.

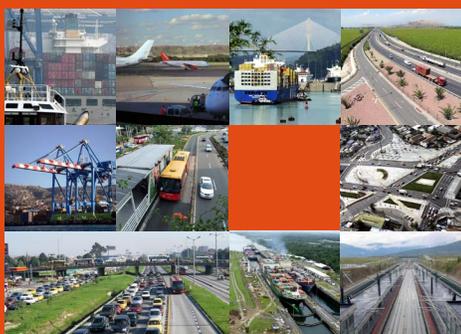
- Banco Mundial (2010). Logística: análisis y opciones para resolver sus desafíos estratégicos.
- _____. (2007). *América Latina: Respuestas a los altos costos logísticos y deficiencias de infraestructura para el transporte de mercaderías y la facilitación comercial*. Informe de Guasch, J.L.; Serebrisky, T.; y González, J. Washington DC, Estados Unidos.
- Baquero, G., Zamudio, A., & Cadenas, C. (2020). *Infraestructura logística: un Benchmarking entre Colombia vs México*. Universidad Ciencia y Tecnología, 24(102), 66-73.
- Barbero, J. (2010). *La logística de cargas en América Latina y el Caribe: Una agenda para mejorar su desempeño*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Barbero, J., & Bertranou, J. (2014). *Una asignatura pendiente: Estado, instituciones y política en el sistema de transporte*. Acuña, CH Dilemas del estado argentino: política exterior, económica y de infraestructura en el siglo XXI. Buenos Aires: Siglo Veintiuno, 191-244.
- Benedetti, A. (2016). Argentina, ¿país sin ferrocarril? La dimensión territorial del proceso de reestructuración del servicio ferroviario. *Revista Transporte y Territorio*, (15), 68-85.
- Blanco, S. y San Cristóbal, D. (2015). Escenarios territoriales y prospectiva de la línea Belgrano (cargas), 140 años después. En: *Actas del Primer Congreso Argentino de Transporte* (pp. 181-188). Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Bo Ai, Molisch A., Rupp M., Zhang-Dui Zhong (2020). 5G Key Technologies for Smart Railways. IEEE.
- Canitrot, L. y García, N. (2012). *La logística como herramienta para la competitividad: El rol estratégico de la infraestructura*. FODECO.
- Casilda Béjar, R. (2015). *Crisis y reinención del capitalismo: Capitalismo global interactivo*. Madrid, Tecnos.
- Centro de Estudios Estratégicos para el Desarrollo Sostenible (CEEDS) del Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA) (2016). *Transporte terrestre de agrograneles: mejoras en la competitividad para la exportación*. CEEDS-ITBA, Buenos Aires, Argentina.
- Champin, J., Cortés, R., Kohon, J., & Rodríguez, M. (2016). *Desafíos del transporte ferroviario de carga en Colombia*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Chen M., Milenkovic M., Prosen M., van Meijeren J., Val S. (2018). Smart-Rail - Smart Supply Chain Oriented Rail Freight Service. *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018*, April 16-19, 2018, Vienna, Austria.
- Cipoletta Tomassian, G.; Pérez Salas, G.; y Sánchez, R. (2010). *Políticas integradas de infraestructura, transporte y logística: experiencias internacionales y propuestas*. Santiago de Chile, CEPAL.
- Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT). (2019). *Estadísticas del Transporte Ferroviario*. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>
- Confederación Nacional del Transporte (CNT). (2019). *Anuário CNT Do Transporte 2019, estadísticas consolidadas*. Disponible en: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2019/Ferroviario/2-6-/Inicial>
- Cristini, M.; Moya, R. y Bermúdez, G. (2012). *Infraestructura y costos logísticos en la Argentina*. FIEL. Documento de trabajo N° 75.
- Empresa Ferromex. (2020). Disponible en: <https://www.ferromex.com.mx/>
- Empresa Kansas City Southern de México. (2020). Disponible en: <https://www.kcsouthern.com/es-mx/index>
- Empresa de Planeamiento Logístico (EPL). (2018). *Plan Nacional de Logística 2025*. Brasil.
- Empresa Panama Canal Railway Company. (2020). Disponible en: <http://www.panarail.com/>. Panamá
- Empresa VALE. (2014). Disponible en: <http://www.vale.com/>. Brasil.
- Ferrantino M., Koten E. (2019). *Understanding Supply Chain 4.0 and its potential impact on global value chains*. Banco Mundial.
- Foro de la Cadena Agroindustrial (2010). *Infraestructura de transporte de cargas en la República Argentina: Diagnóstico y propuesta* del Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.
- Forteza, J. (2013). *La infraestructura en el desarrollo integral de América Latina. Fortalecer las capacidades logísticas y competir exitosamente en los mercados mundiales de servicios logísticos: imperativos y oportunidades para América Latina*. Bogotá, CAF.
- Fraga- Lamas P., Fernández- Caramés T., Castedo L. (2017). *Towards the Internet of Smart Trains: A Review on Industrial IoT-Connected Railways*. Sensors.
- Galimberti, C. I. (2017). Recuperación y refuncionalización del patrimonio ferroviario junto al desarrollo de espacio público. Caso Gran Rosario, Argentina. *Revista AUS*, (22), 19-25.

- Gallego Menéndez, Laura (2018). *Análisis y propuesta de diseño del despliegue de tecnologías 5G en entornos ferroviarios de alta movilidad*. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Telecomunicación (UPM), Madrid.
- García Farjat, M. J., Novaira, N., & Salguero, S. (2018). *El sistema ferroviario argentino en los 90 desde una mirada socio-técnica: privatizaciones y atraso tecnológico*.
- Garza, A. G., & Landa, R. T. (2015). *Reformando el servicio ferroviario para la competencia*. *El Cotidiano*, (189), 109-114.
- González J.; Guasch, J.L.; y Serebrisky, T. (2010). High Logistics Costs and Poor Infrastructure for Merchandise Transportation in the LAC Region. Latin American Development Priorities: Costs and Benefits. *Cambridge University Press*.
- Hermosillo Tejeda, L. E. (2017). *El ferrocarril en México; su auge, decadencia, privatización y efectos en el desarrollo territorial* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Informe N° 54342-AR. Washington DC: Estados Unidos., Banco Mundial.
- Banco Mundial (2016). Connecting to compete: *Trade logistics in the global economy*. Washington DC, Estados Unidos, Banco Mundial.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá (INEC). (2020). Disponible en: <https://www.inec.gob.pa/>. Panamá.
- International Union of Railways (UIC). (2020). Gestión del COVID-19, RAILSilencia, de nuevo en marcha (Primera estimación del impacto económico global de Covid-19 en el transporte ferroviario). International Union of Railways (UIC). París, Francia.
- Kohon, J. (2011). *Más y mejores trenes: Cambiando la matriz de transporte en América Latina*. BID.
- Kohon, J., Polo, C., & Ricover, A. (2011). *La Infraestructura en el Desarrollo Integral de América Latina. Diagnóstico estratégico y propuesta para una agenda prioritaria*. Transporte IDeAL 2011. {En línea}. {octubre 2011}. Bogotá: CAF.
- Kralich, S., & Blanco, J. (2014). Políticas ferroviarias, territorios y movilidades: experiencias en Argentina e Italia. *Transporte y Territorio*, (10), 2-12.
- Leal, E., & Pérez, G. (2012). *Integración puerto ferrocarril: Desafíos y oportunidades para América Latina*.
- Lotz C., Ott A., Stern S. y Vandieken T. (2020). Digitizing European's Railways: A call to action. McKinsey & Company.
- López, M. J. y Waddell, J. E. (2007). Nueva historia del ferrocarril en la Argentina: 150 años de política ferroviaria. *Lumiere*.
- Martínez, J. P. (2014). ¿Tiene futuro en la Argentina la carga por ferrocarril?. *Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario*, 103, 1524.
- _____ (2012). La inversión estratégica en ferrocarriles. *Revista Vial*, edición especial 6-12.
- Müller, A. (2012). Racionalización en el ferrocarril estatal argentino: ¿qué se logró?. *VI Congreso de Historia Ferroviaria*. Vitoria, España.
- Ortega, M. G. G., Peyrelongue, C. M., & Campos, M. G. C. (2017). Análisis espacial de la evolución de los flujos ferroviarios de la industria automotriz mexicana 2011-2013. *Transporte y Territorio*, (17), 100-116.
- OSEC. Ch. (2010). The Brazilian Market for Railway Technologies. OSEC, Business Network Switzerland.
- Paredes Camacho, J. D. J. (2020). El servicio público ferroviario de carga en México ante la globalización, su concesión y el derecho de competencia. *Revista de la Facultad de Derecho de México*, 70(278-2), 719-740.
- Pérez García, A. L. (2013). Factores en la gestión logística mexicana que intervienen en la competitividad global de las empresas (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Pérez-Salas, G. (2020). Smart Rail Freight y la promoción de la integración ferroviaria en América Latina. CEPAL, *Reunión encuentro ferrocarril*, Facultad Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Perrotti, D. y Sánchez, R. (2011). *La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe*, CEPAL.
- Pinheiro Sampaio. P.R., Tchepurnaya Daychoum M. (2017). Two decades of rail regulatory reform in Brazil (1996-2016). *Utilities Policy*.
- Proyectos Empresa Shift2Rail. (2020). Disponible en: <https://projects.shift2rail.org/>
- Ramírez, S. M. (2013). *El transporte ferroviario en México*. Comercio exterior, 63(4).
- Raposo, I. (2009). Reestructuración ferroviaria en Argentina y cambios en el territorio. Una verificación en la Región Metropolitana Rosario. *Revista Transporte y Territorio*, (1), 25-56.

- Raposo, I. M. (2014). Una mirada actual al ferrocarril de cargas en la Argentina. *Revista Transporte y Territorio*, (10), 33-57.
- Rivera, R. A., Delgado, L. M., & de Jesús Carrillo Mendoza, J. (2013). Logística de transporte y su desarrollo. *Observatorio de la economía latinoamericana*, 185.
- Rojo, C. B. C., & Romo, A. G. El transporte ferroviario en hidalgo, una opción de desarrollo industrial y ente logístico de la zona centro del país. *Cambios e innovación: una visión estratégica para el desarrollo*, 1519.
- Salerno, E. (2008). *Los Ferrocarriles del Estado en Argentina y su contribución a la ciencia*. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 15(3), 657-678.
- Santos Sanchez, M. (2017). Oportunidades de infraestructura logística, paralelo México-Colombia durante los años 2010-2016.
- Thompson, L. S., & Kohon, J. C. (2012). Developments in rail organization in the Americas, 1990 to present and future directions. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 2(3), 51-62.
- Tinto, A.E. (2018). Contratos de asociación público-privada: ¿Una solución al déficit de inversión en infraestructura en Argentina? *Fundación CECE*, Centro de Estudios para el Cambio Estructural.
- Tomassian, G. C., Rozas, P., Sánchez, R. J., & Tromben, Políticas de infraestructura y transporte en américa latina: restricciones al desarrollo ya la integración. *Mundo nuevo*, 165.
- UNTREF-CIEA (2016). *Perspectiva multidisciplinaria para la planificación estratégica del transporte ferroviario en el país*. Estudio preparado por el Centro Interdisciplinario de Estudios Avanzados de la Universidad Nacional de Tres de Febrero para la Secretaría de Políticas Universitarias, Buenos Aires: Universidad Nacional de Tres de Febrero.
- Wilmsmeier, G. (2015). Geografía del transporte de carga: Evolución y desafíos en un contexto global cambiante. *Serie Recursos Naturales e Infraestructura*, 175, CEPAL.
- _____ (2011). et al. The Directional Development of Intermodal Freight Corridors in Relation to Inland Terminals. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1379-1386.
- _____ (2007). Infraestructura y servicios de transporte ferroviario vinculados a las vías de navegación fluvial en América del Sur. CEPAL.

La evolución de los conocimientos informáticos y digitales aplicados al sistema ferroviario de carga ha permitido desarrollar el concepto de trenes adaptados a las tecnologías de la información y las comunicaciones. Gracias al perfeccionamiento de numerosas soluciones tecnológicas en el transcurso de los últimos años, estas alternativas han avanzado de manera significativa en la región y en particular en el sector del transporte ferroviario de cargas. La adecuada planificación y priorización de las tecnologías digitales aplicadas al sistema ferroviario facilitarán la captura de beneficios en las distintas etapas de las cadenas de valor relacionadas con la logística ferroviaria; el logro de estos objetivos se vincula en forma directa con un espacio regional más cohesionado y competitivo.

En América Latina, la integración física y funcional mediante sistemas y redes informáticas entre diferentes países supone un aspecto trascendente para comprender el contexto del sistema ferroviario de carga en los países considerados: Argentina, Brasil, México y Panamá. En el documento se aborda la situación de los trenes de carga inteligentes en relación con sus principales mercados y tipos de carga y su evolución vinculada a las tecnologías de la información.



<https://www.cepal.org/en/topics/logistics-and-mobility>



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)
www.cepal.org



LC/TS.2022/13