

TRABAJO FINAL

ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN Y LA VINCULACIÓN TECNOLÓGICA



UNR Universidad
Nacional de Rosario

CEI CENTRO DE ESTUDIOS
INTERDISCIPLINARIOS

TITULO:

PATIO DE TRENES DIGITAL: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CLASIFICACIÓN Y
ARMADO DE FORMACIONES MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA RFID

Autor: Ing. Diego H. Esquivel

Director: Mg. Enrique J. Porta

Mayo, 2025

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es abordar los desafíos que enfrenta la logística ferroviaria en la clasificación y formación eficiente de trenes de carga en un patio ferroviario. Mejorar los procesos operativos en este sector se vuelve esencial para garantizar su competitividad y promueve una gestión efectiva.

La relevancia del estudio se basa en la creciente necesidad de optimizar la gestión de activos. La tecnología RFID (IDentificación por RadioFrecuencia) emerge como una solución prometedora para abordar estos desafíos. La implementación de sistemas RFID en el patio de trenes permitirá una identificación automática facilitando la clasificación y formación eficiente. Esta tecnología brinda la posibilidad de rastrear y monitorear los activos en tiempo real, mejorando la trazabilidad y la seguridad en todo el proceso logístico. Se destaca la importancia del transporte ferroviario en la economía actual y la necesidad de optimizar sus procesos.

Esta información generada permite planificar y programar nuevas rutas de manera eficiente, gestionar dinámicamente el inventario de activos, tomar decisiones estratégicas y optimizar movimientos de maquinaria pesada como locomotoras y vagones.

Palabras clave: Trenes de carga, ferrocarril, patio de trenes, RFID, tecnología

Abstract

The main objective of this project is to address the challenges faced by railway logistics in the efficient classification and formation of freight trains within a rail yard. Improving operational processes in this sector is essential to ensure its competitiveness and promote effective management.

The relevance of the study lies in the growing need to optimize asset management. Radio Frequency Identification (RFID) technology emerges as a promising solution to tackle these challenges. Implementing RFID systems in the rail yard will enable automatic identification, facilitating efficient train classification and formation. This technology provides the ability to track and monitor assets in real time, enhancing traceability and safety throughout the entire logistics process.

The importance of rail transport in today's economy is emphasized, along with the need to optimize its processes. The information generated enables efficient route planning and scheduling, dynamic asset inventory management, strategic decision-making, and optimization of heavy equipment movements such as locomotives and railcars.

Keywords: Freight trains, railway, rail yard, RFID, technology

Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Índice.....	4
Introducción.....	6
El Problema.....	7
Planteamiento del Problema	7
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos	9
Justificación de la Intervención.....	10
Alcances y Limitaciones	10
Marco Teórico Referencial	12
Fundamentación Teórica.....	12
Industria 4.0	14
Concepto de Tecnología RFID	17
Tipos de Etiquetas RFID	20
Frecuencias de Operación	21
Regulaciones para RFID en Argentina.....	22
Estándares Internacionales	23
Aplicación Industrial.....	24
RFID y la Logística	26
Antecedentes Nacionales.....	27

Antecedentes Internacionales	30
América Latina	31
Europa	32
Marco Conceptual	33
Marco Metodológico	34
Enfoque Metodológico	34
Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	35
Variables e Indicadores	35
Propuesta de Estudio	36
Análisis de la Situación	36
Objetivos de la Propuesta	38
Patio de Trenes Digital	41
Diseño del Sistema	44
Planificación	44
Cronograma de Actividades	44
Asignación de Tareas	45
Implementación	46
Conclusiones	49
Reflexiones Finales	49
Desafíos y Oportunidades	50
Bibliografía	53

Introducción

El transporte de cargas por ferrocarril es un importante eslabón en la cadena logística ya que logra una forma eficiente y económica de mover grandes volúmenes de cargas de un punto a otro. Los trenes tienen una capacidad de carga significativamente mayor que los camiones, lo que los hace más efectivos para transportar grandes volúmenes medidos en toneladas/kilómetros. El sistema ferroviario ha sido históricamente un pilar fundamental para la economía argentina, la vasta extensión del país y su producción minera, agrícola e industrial hacen posible el acceso a nuevos mercados y facilita el intercambio comercial de productos y recursos.

Un patio de trenes (Figura1) es una instalación ferroviaria donde se lleva a cabo la clasificación, maniobra y formación de trenes. Su función principal es facilitar el movimiento de vagones y contenedores, asegurando que los trenes se formen de manera adecuada para su posterior transporte. Además, se realizan labores de mantenimiento y reparación de vagones, asegurando su correcto funcionamiento y prolongando su vida útil.

Para asegurar competitividad en este mercado, se requiere la implementación de tecnologías que logren mejorar los procesos logísticos, reducción de tiempos y costos de operación. En este contexto, la implementación de tecnología RFID (Identificación por Radiofrecuencia) en el patio de trenes representa una oportunidad para optimizar la identificación y seguimiento automatizado de los contenedores, lo que agiliza los procesos de clasificación y armado de formaciones para satisfacer la creciente demanda logística.

Es un paso crucial para modernizar y potenciar este sector clave, fortalecer la competitividad del país en el ámbito del comercio internacional e impulsar el crecimiento económico sostenible en el futuro.



Figura 1: Patio de maniobras “Patio Parada” de la empresa Nuevo Central Argentino S.A. en la ciudad de Rosario. (imagen Facebook: Ariel Raúl Arroyo)

El Problema

Planteamiento del Problema

El sistema de logística ferroviaria en Argentina enfrenta desafíos en términos de eficiencia y optimización de recursos. La demanda de transporte de cargas continúa creciendo, pero las limitaciones técnicas y logísticas presentes en el sistema actual dificultan una operación fluida y rentable. La ausencia de tecnología para el seguimiento y control en tiempo real de vagones y trenes resulta en una clasificación y armado de formaciones ineficientes en los patios de trenes. Cada formación se planifica pensando en el destino, pero la falta de información precisa y automatizada sobre la ubicación y estado de los vagones dificulta la creación de formaciones o hace excesivo el tiempo que debe dedicarse para completar la tarea.

Uno de los obstáculos cruciales en este ámbito es la falta de tecnología adecuada para el seguimiento y la gestión de activos, específicamente en el proceso de formación y clasificación de trenes de carga.

Cada formación debe organizarse de forma manual para cumplir con un destino determinado, considerando variables como la disposición de los vagones de frenos. Esto conlleva demoras excesivas, ineficiencias y tiempo adicionales para localizar por ejemplo, donde se encuentran en el patio los vagones de frenos requeridos.

Gestionar productos que viajan por ferrocarril puede resultar una tarea costosa. La carga abarca desde piezas de automóviles, materiales de construcción y recursos energéticos como petróleo, carbón y gas natural comprimido, hasta materias primas como mineral de hierro y cereales, etc como puede verse en la Figura 2.

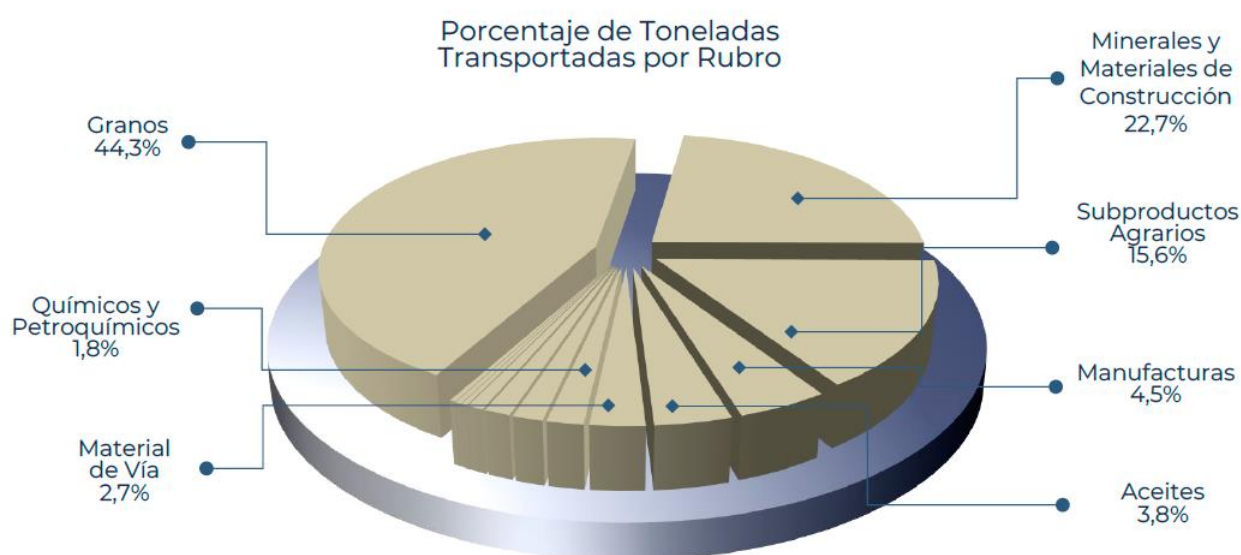


Figura 2: Porcentaje de Toneladas Transportadas por Rubro para el 1er Trimestre del año

2025 fuente: <https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>

El costo de los bienes perdidos, dañados o robados se mide en millones de dólares al año. No sólo la carga es costosa, sino que también hay muchas partes involucradas, como la

programación de trenes, la gestión de vías, la disponibilidad de vagones, el mantenimiento de vagones y vías, y la programación de carga. RFID se introdujo como una forma de identificar de forma única los vagones de ferrocarril, pero poco a poco se ha extendido a aplicaciones adicionales y se ha convertido en una solución eficaz para la gestión ferroviaria.

Objetivo General

Utilizar eficazmente la tecnología RFID para transformar y mejorar las operaciones en el patio de maniobras ferroviario, aumentando la eficiencia y brindando un servicio de mayor calidad tanto a los operadores ferroviarios como a los clientes que confían su carga. A través de este enfoque, buscamos optimizar los procesos operativos, aumentar la visibilidad en tiempo real y reducir los costos asociados con la operación y el mantenimiento de los activos.

Objetivos Específicos

- Analizar las necesidades y desafíos actuales en la industria ferroviaria en relación con la gestión de activos, el seguimiento de vagones y la eficiencia operativa en el patio de trenes.
- Investigar y comprender las características y capacidades de la tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) y cómo se ha aplicado en otros sectores industriales, considerando factores como el rango de lectura, la precisión y la resistencia a las condiciones ambientales extremas por exposición a la intemperie.
- Diseñar un plan de implementación de RFID adaptado a las necesidades específicas del sector ferroviario, considerando la infraestructura existente, los tipos de vagones, tipo de etiquetas, ubicación antenas de lectura, frecuencia de operación y capacidad de almacenamiento
- Establecer indicadores de rendimiento donde pueda medirse la efectividad del sistema.

- Evaluar el impacto económico y operativo de la implementación de la tecnología RFID en términos de reducción de costos y mejora de la eficiencia
- Planificar la implementación de un software de gestión que integre la información de seguimiento en tiempo real.
- Proponer estrategias para la implementación a gran escala de sistemas RFID en la industria ferroviaria, considerando aspectos como la inversión inicial, la formación del personal y la integración con los sistemas existentes.

Justificación de la Intervención

La justificación para la intervención propuesta se basa en la creencia que todos los procesos pueden mejorarse y llegar a puntos óptimos a través del uso correcto de la tecnología. La intervención en esta industria en particular busca reemplazar procesos manuales con sistemas inteligentes que puedan realizar tareas de manera más rápida y precisa, liberando a los profesionales para que se centren en actividades donde puedan aportar mayor valor. Asimismo, la aplicación de algoritmos avanzados y análisis de datos en tiempo real permite una toma de decisiones más informada y precisa, generando decisiones estratégicas sólidas y fundamentadas.

Se busca implementar soluciones novedosas que generen ventajas competitivas, al tiempo que permiten la exploración de nuevas oportunidades de negocio y la adaptación a las demandas cambiantes del mercado.

Alcances y Limitaciones

El alcance del proyecto se enfocará en la implementación de tecnología RFID para optimizar el proceso de formación y clasificación de trenes en un patio ferroviario exclusivamente. La distribución de los puntos de lecturas para los tags será en el ingreso, puntos intermedios y

egreso del patio, buscando solo conocer los activos con los que se cuenta para poder armar y clasificar las formaciones.

Solo se aplicarán para industria ferroviaria de trenes de carga, quedando exenta el transporte de pasajeros.

De debe de tener en cuenta que la inversión para poder poner en marcha el sistema puede ser costosa si solo se utiliza en el patio para la gestión de formaciones. La aplicación de RFID y sus respectivos componentes que lo integran puede ayudar además en gestión de inventarios, mantenimiento, seguridad en cruces de vías y pasos a nivel, monitoreo de cargas, etc.

Se ha optado por centrar esta intervención profesional en el patio de trenes debido a su relevancia e importancia en la operación diaria. La decisión de limitar el alcance es una estrategia de estudio que permite un análisis más profundo y específico.



Figura 3: Trenes de pasajeros / Trenes de carga Fuente: Internet

Marco Teórico Referencial

Fundamentación Teórica

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. 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 inteligente aplicado a los trenes 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 clientes.

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 desarrolló 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 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.

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 futuro. El uso masivo de inteligencia artificial conducirá a una mayor eficiencia, sustentabilidad y seguridad del transporte ferroviario de cargas.

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, derivó 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. 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.

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. La optimización en el uso de la información generaría mayores eficiencias en el transporte y la logística.

Industria 4.0

La Industria 4.0, también conocida como la cuarta revolución industrial, es un término que se refiere a la transformación digital y tecnológica de los procesos industriales y de fabricación.

Representa una evolución significativa en la manera en que se diseñan, producen y gestionan los productos y servicios.

El objetivo de la Industria 4.0 es crear entornos de producción más eficientes, flexibles y personalizados, permitiendo a las empresas responder de manera ágil a las demandas del mercado y mejorar su competitividad. Además, puede llevar a la creación de nuevos modelos de negocio y a la transformación de la forma en que interactuamos con la tecnología en el ámbito industrial.

En el contexto ferroviario, la implementación de sensores desempeña un papel crucial. Estos dispositivos se utilizan para capturar una amplia gama de información, como la temperatura de los ejes, sensores de vibración, humedad, sensores de impacto y acelerómetros. Por ejemplo, sensores de temperatura pueden monitorear el estado de los componentes críticos del tren, previniendo sobrecalentamientos, posibles averías y evitar descarrilos.

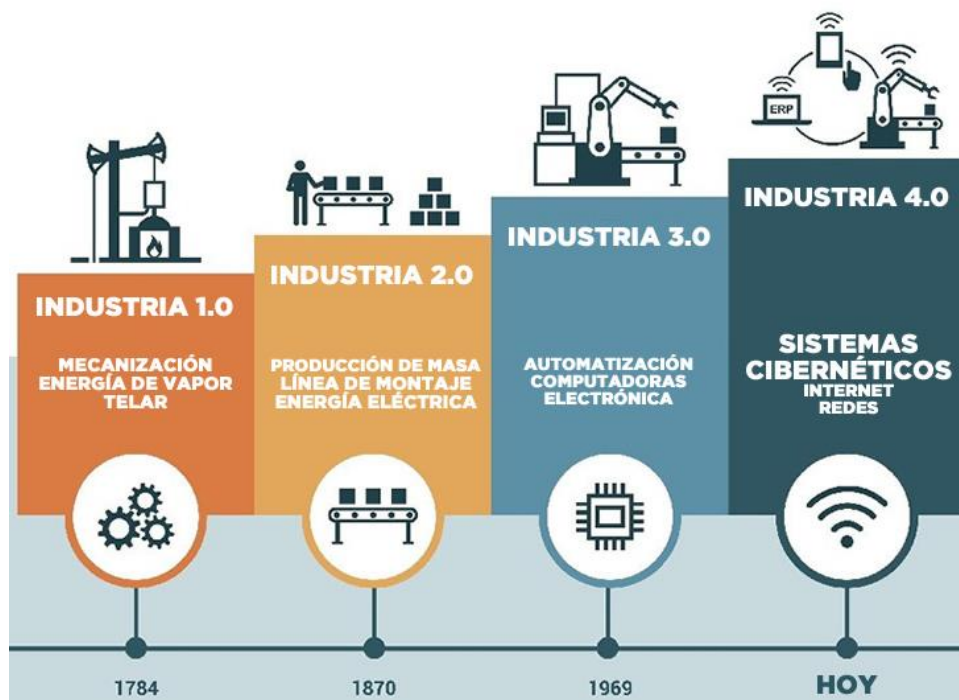


Figura 4: Evolución de la industria y las tecnologías. Fuente:

<https://www.soy mujerrural.com/mujeres-en-la-ciencia/revolucion-4-0/>

La recolección de datos a través de sensores permite un seguimiento en tiempo real del rendimiento y la condición de los activos ferroviarios, lo que facilita la implementación de mantenimiento predictivo. Al analizar estos datos, se pueden identificar patrones y tendencias que indican cuándo es necesario llevar a cabo tareas de mantenimiento, optimizando así la disponibilidad y la eficiencia de la flota ferroviaria. Imaginemos que podríamos contar con información y anticiparnos a futuras fallas gracias al seguimiento de estadísticas.

De esta manera destacamos algunos conceptos básicos de la industria 4.0 y analizamos que relación tendrían con su aplicación en el ámbito de los trenes de carga:

Interconexión: La capacidad de conectar de manera inteligente diferentes componentes de una operación industrial, desde máquinas y dispositivos hasta sistemas de gestión y análisis de datos. Esto permite la comunicación en tiempo real y la toma de decisiones automatizada.

Internet de las Cosas (IoT): La integración de sensores y dispositivos en equipos y productos, permitiendo la recopilación de datos en tiempo real sobre su estado y rendimiento. Esto brinda una visión más detallada y precisa de los procesos.

Big Data y analítica avanzada: La capacidad de procesar grandes volúmenes de datos generados por la operación industrial para identificar patrones, tendencias y oportunidades de mejora. Esto facilita la toma de decisiones basada en datos concretos.

Computación en la Nube: La utilización de plataformas de almacenamiento y procesamiento en la nube, lo que permite acceder a datos y aplicaciones desde cualquier lugar y facilita la colaboración entre diferentes partes involucradas. Ventajas como poder contar con más potencia de hardware al momento de necesitarla, pagando solo por uso de recursos.

Inteligencia Artificial y Machine Learning: La implementación de algoritmos y sistemas que permiten a las máquinas aprender y tomar decisiones de manera autónoma a partir de los datos recopilados. Esto optimiza los procesos y permite una mayor eficiencia.

Realidad Aumentada y Virtual: La integración de tecnologías que permiten la superposición de información digital en el entorno físico, lo que facilita la formación, el mantenimiento y la resolución de problemas en la operación. Tener la posibilidad de crear modelos digitales para analizar su impacto, crear nuevos espacios de capacitación para conductores simulando una actividad como si fuera real.

Concepto de Tecnología RFID

RFID es una tecnología inalámbrica sin contacto que permite la identificación remota de objetos automáticamente mediante ondas de radio. Los componentes principales de un sistema RFID se muestran en la siguiente Figura 5.

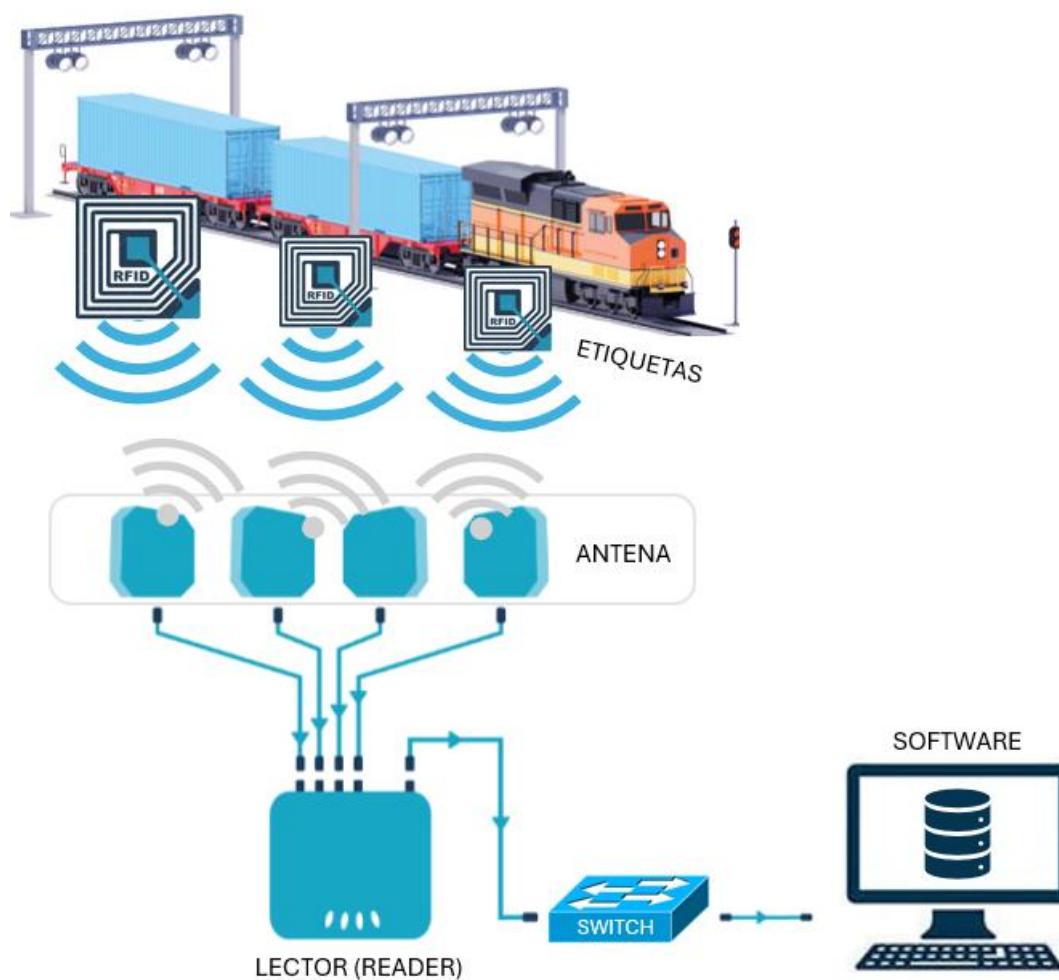


Figura 5: Componentes principales de un sistema RFID. Fuente: Elaboración propia

En su esencia, un sistema RFID consta de cuatro componentes principales:

Etiqueta (Tag): Dispositivos que almacenan información sobre el objeto al que están adheridos. Las etiquetas constan de un microchip electrónico integrado en su interior y de una antena. El microchip tiene el número de identificación único de la etiqueta RFID. Pueden ser pasivos, activos o semipasivos, dependiendo de si cuentan con una fuente de energía propia.



Figura 6: TAG Industrial RFID colocado en un vagón de carga. Fuente: Wikipedia

Antena: Emite las señales de radiofrecuencia y facilita la transmisión de señales entre el lector y las etiquetas, extendiendo el alcance y la precisión del sistema.



Figura 7: Antena. Fuente: <https://www.zebra.com/la/es/products/rfid>

Lector (Reader): Este dispositivo cumple la función de solo leer el contenido de las etiquetas o, leer y escribir sobre las mismas. Extrae esta información y se la transmite a la base de datos o software encargado de gestionar la información.



Figura 8: Montaje de Reader y Antena. Fuente: <https://transcore.com/>

Software de gestión: Este software procesa los datos capturados por los lectores RFID y los integra en sistemas de gestión de inventarios. Generalmente denominado "middleware".

El proceso es simple pero eficiente, el lector envía una señal de radio que es captada por la etiqueta. La etiqueta, utilizando la energía de esa señal (en el caso de las pasivas), responde transmitiendo su información al lector. Esta interacción permite identificar de manera única cada objeto, sin necesidad de contacto directo o línea de visión, a diferencia por ejemplo de códigos de barras tradicionales.

Tipos de Etiquetas RFID

Pasivas: No tienen batería y funcionan con la energía electromagnética recibida del lector. Son más económicas y tienen una vida útil prácticamente ilimitada.

Alta Frecuencia (HF - High Frequency, 13.56 MHz): Ofrece un alcance de hasta 1 metro y es comúnmente utilizada en tarjetas inteligentes, pasaportes electrónicos y sistemas de pago sin contacto.

Ultra Alta Frecuencia (UHF - Ultra High Frequency, 2.4-5.8 GHz): Posee un alcance mayor, de varios metros, y es la más utilizada en logística, gestión de inventarios y sistemas ferroviarios. Esta es la variante que se puede implementar para aprovechar como lectores los access point IEEE 802.11b/g/n/ax.

Las bandas de UHF utilizadas para RFID varían según la región debido a las regulaciones establecidas por cada país o bloque económico:

América del Norte (EE.UU. y Canadá): 902-928 MHz, regulado por la FCC (Federal Communications Commission).

Europa: 865-868 MHz, regulado por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Asia y América Latina: Existen variaciones dependiendo del país, pero en general se utilizan rangos entre 920-925 MHz en China y Japón, y entre 902-928 MHz en Brasil y otros países de la región.

Estas diferencias en las frecuencias pueden generar problemas de compatibilidad en sistemas RFID cuando se busca implementar una solución global. Por ello, muchos fabricantes diseñan etiquetas y lectores capaces de operar en múltiples bandas.

Regulaciones para RFID en Argentina

En Argentina, la Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC), ahora integrada en el Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM), es el organismo encargado de regular el uso del

espectro radioeléctrico. Según la normativa vigente, las frecuencias permitidas para RFID en UHF están dentro del rango de 915-928 MHz, en concordancia con el estándar utilizado en América del Norte y otros países de la región.

El cumplimiento de las regulaciones de RFID en nuestro país no solo garantiza la operabilidad del sistema dentro del marco legal, sino que también evita interferencias con otras tecnologías de comunicación inalámbrica.

Estándares Internacionales

La tecnología RFID cuenta con una serie de estándares internacionales que regulan su funcionamiento, garantizando la compatibilidad entre dispositivos y asegurando su correcto uso en distintos entornos industriales. Estos estándares son definidos por organismos internacionales y abarcan aspectos como la frecuencia de operación, los protocolos de comunicación y los formatos de datos.

Uno de los principales estándares es el ISO/IEC 18000, que define los parámetros técnicos para los sistemas RFID en diferentes rangos de frecuencia, incluyendo baja frecuencia (LF), alta frecuencia (HF) y ultra alta frecuencia (UHF). Dentro de este marco, el ISO/IEC 18000-6C es uno de los más utilizados, ya que especifica las características del protocolo UHF Gen2, empleado en aplicaciones de logística, transporte y gestión de activos.

Otro estándar ampliamente adoptado es el EPCglobal Class 1 Gen 2 (EPC Gen2), desarrollado por GS1 y reconocido a nivel mundial para la identificación de productos en la cadena de suministro. Este estándar define cómo las etiquetas RFID almacenan y transmiten información, permitiendo la interoperabilidad entre distintos sistemas.

La ISO (International Organization for Standardization, en español, Organización Internacional de Normalización) es una entidad independiente y no gubernamental que desarrolla y publica estándares internacionales) cuenta con la participación de organismos de normalización de más de 160 países. Sus estándares son ampliamente utilizados en la industria, ya que

proporcionan especificaciones técnicas que garantizan la calidad, seguridad y compatibilidad de productos y sistemas.

De este comité, surgieron importantes normas relacionadas para poder usar esta tecnología, de las cuales detallamos sólo las relacionadas al proyecto:

NORMA	APLICACIÓN
ISO 7810	Tarjetas de Identificación
ISO 9798	Técnicas de Seguridad y autenticación
ISO 15962	RFID para gestión de objetos (Protocolo de codificación de datos)
ISO/IEC 18000-6:2013	Interfaz Aire desde 860 MHz to 960 MHz

Tabla 2: Normas ISO aplicadas para el trabajo de investigación

Aplicación Industrial

El RFID fue inventado en el año 1948 mientras se desarrollaba y mejoraba el sistema RADAR. Como la tecnología estaba en la etapa de desarrollo, se realizaron y probaron muchos experimentos entre los años 1950-1980. En el año 1990, hubo un rápido crecimiento en el uso de la tecnología RFID. En el siglo XX, hubo una estandarización en la tecnología RFID que atrajo la principal atención de muchas industrias y también se convirtió en parte de la vida cotidiana de las personas. Con la reducción de su costo y la madurez creciente, muchas industrias están ahora adoptando esta tecnología para una operación mejor y más segura, incluyendo los ferrocarriles.

La tecnología RFID, según (Khattab et al., 2017) es un sistema de identificación automática (Auto-ID), es decir, una tecnología capaz de identificar y localizar objetos automáticamente mediante intercambios de información electrónicos sin interacción humana y evitando el ingreso de datos manualmente. Es debido a este último aspecto que la finalidad de usar esta tecnología es aumentar la eficiencia y disminuir el capital humano requerido para

inspecciones o control disminuyendo a su vez los errores potenciales propios del ser humano. En la actualidad, existe una gran variedad de sistemas de identificación automática. Cada uno de ellos, con sus ventajas e inconvenientes, será elegido en función de los requerimientos de cada aplicación donde se requiera implementar.

Aunque el sistema ferroviario utiliza la automatización en algunas áreas en la actualidad, todavía hay muchas otras que se controlan/gestionan manualmente. Esta industria es una de las más antiguas y esto crea barreras significativas para la implementación de nuevas tecnologías. Una de las razones principales es la naturaleza heredada de la infraestructura ferroviaria, que a menudo implica sistemas y equipos antiguos que no están diseñados para integrarse fácilmente con tecnologías modernas como la RFID.

Además, la resistencia al cambio es un factor significativo. Los profesionales ferroviarios y los operadores pueden ser reacios a adoptar nuevas tecnologías debido a la falta de familiaridad y la preocupación por la confiabilidad de los sistemas automatizados. La capacitación y la educación son esenciales para superar esta resistencia, pero también requieren tiempo y recursos.

Por lo que el objetivo de este trabajo pretende, es explicar por qué la automatización en la industria ferroviaria es más desafiante en comparación con otras industrias

La adopción de esta tecnología en entornos industriales es más que una actualización tecnológica; es una estrategia transformadora que impulsa la eficiencia, la seguridad y la competitividad. En sectores como el transporte ferroviario de cargas, donde la optimización de operaciones es crucial, RFID se presenta como una herramienta indispensable para enfrentar los desafíos actuales y futuros. No se trata solo de identificar objetos, sino de obtener información valiosa que permita tomar decisiones informadas y estratégicas. Integrar RFID en la industria no es simplemente una tendencia pasajera, es una realidad que está redefiniendo la forma en que operamos y gestionamos nuestros recursos.

RFID y la Logística

Para entender como RFID puede ayudar en la optimización de los procesos logísticos, debemos definir la Logística. D. Bowersox, D. Closs y M. Cooper definían que “la logística se enfoca en la responsabilidad para diseñar y administrar sistemas con el fin de controlar el movimiento y el posicionamiento geográfico de la materia prima, el trabajo en proceso y el inventario terminado al costo total más bajo”.(Sancho, 2011).

La logística moderna se enfrenta al crecimiento del comercio global, la necesidad de entregas más rápidas y la gestión eficiente de inventarios. En este contexto, la tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) ha revolucionado la manera en que se rastrean, controlan y gestionan los productos dentro de la cadena de suministro. Su capacidad para ofrecer una identificación precisa y en tiempo real ha permitido optimizar los procesos logísticos, reducir errores y mejorar la eficiencia operativa en múltiples sectores.

Una de las principales ventajas de RFID en logística es su capacidad para identificar múltiples elementos simultáneamente sin necesidad de contacto directo ni línea de visión, a diferencia de los tradicionales códigos de barras. Mientras que un código de barras requiere ser escaneado individualmente, una etiqueta RFID puede ser leída a distancia y en grandes volúmenes, lo que acelera el control de inventarios y reduce la intervención manual. Además, las etiquetas RFID pueden almacenar más información que un código de barras, permitiendo registrar detalles como el historial de ubicación, fechas de caducidad o condiciones ambientales de los productos.

En la industria farmacéutica, la tecnología RFID ha sido clave para garantizar la trazabilidad de medicamentos y suministros médicos. La capacidad de registrar automáticamente cada movimiento de los productos permite evitar falsificaciones, controlar la temperatura de medicamentos sensibles y asegurar que los productos cumplan con las normativas de seguridad. Las etiquetas RFID en los envases de medicamentos también facilitan la gestión de inventarios

en farmacias y hospitales, reduciendo el desperdicio de productos vencidos y mejorando la reposición de stock.

Asimismo, en sectores como la distribución de bienes de consumo y la industria automotriz, RFID ha permitido mejorar la visibilidad de los activos en tránsito, optimizar rutas y reducir pérdidas o robos de mercancía. Su implementación en almacenes automatizados ha reducido tiempos de procesamiento y ha hecho posible un control más preciso sobre la ubicación y estado de cada artículo dentro del sistema logístico.

Si bien la implementación de RFID puede requerir una inversión inicial mayor en comparación con los códigos de barras, los beneficios en términos de eficiencia, reducción de costos operativos y mejora en la trazabilidad hacen que esta tecnología sea una opción cada vez más adoptada en la logística moderna. A medida que la industria 4.0 sigue evolucionando, la integración de RFID con otras tecnologías como la inteligencia artificial y el análisis de datos permitirá un mayor grado de automatización y optimización en la gestión de la cadena de suministro.

Antecedentes Nacionales

La tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) ha sido adoptada en diversas industrias para mejorar la trazabilidad y eficiencia en la gestión de activos. En Argentina, su aplicación en el sector ferroviario de carga ha sido limitada, pero existen antecedentes y proyectos que evidencian su potencial.

Implementación de RFID en la Línea Sarmiento. En 2019, se presentó un pliego de especificaciones técnicas para la provisión e instalación de un sistema de RFID destinado al posicionamiento de trenes en las vías de la Línea Sarmiento. Este proyecto tenía como objetivo complementar el Sistema de Gestión Operativa Ferroviaria (SIGOF) mediante la localización precisa y en tiempo real de las formaciones ferroviarias. Los componentes principales incluían lectoras RFID UHF con antenas integradas, PCs industriales para señalamiento, TAGs RFID

encapsulados para resistir condiciones ferroviarias y un servidor para el registro y administración de los TAGs. Aunque este proyecto se centró en el sector de pasajeros, su implementación sentó precedentes para la adopción de RFID en el ámbito ferroviario nacional.

Además de las iniciativas en el sector ferroviario, Argentina ha explorado la implementación de la tecnología RFID en otras áreas estratégicas, con el objetivo de mejorar la trazabilidad, la seguridad y la eficiencia operativa. Un caso relevante es la evaluación del uso de chips RFID en documentación registral vehicular, desarrollado en el ámbito de los Registros Nacionales de la Propiedad del Automotor y de Créditos Prendarios.

En 2016, se analizó la incorporación de etiquetas RFID en cédulas de identificación vehicular y placas patentes, con el propósito de optimizar los procesos de control y verificación de automóviles en circulación. Esta iniciativa tenía como objetivo agilizar los procedimientos administrativos y reducir el riesgo de fraude o falsificación documental. A través del uso de lectores RFID portátiles, las fuerzas de seguridad y organismos competentes podrían validar la autenticidad de los documentos de un vehículo sin necesidad de conexión a una base de datos centralizada, lo que permitiría inspecciones más rápidas y confiables en puntos de control.

No obstante, este proyecto también generó debates en torno a la privacidad y la protección de datos personales. Se advirtió que el uso de RFID en documentación vehicular podría derivar en un monitoreo constante de los ciudadanos sin su consentimiento, lo que motivó recomendaciones para la realización de un Estudio de Impacto de Privacidad (PIA) antes de su implementación. Si bien este sistema representaba un avance tecnológico significativo en términos de seguridad y trazabilidad vehicular, también evidenció la necesidad de equilibrar la innovación con el respeto a los derechos individuales.

Implementación de RFID en el Sistema de Peajes de Buenos Aires

Además de su aplicación en el ámbito ferroviario y vehicular, la tecnología RFID ha sido utilizada en Argentina para optimizar la gestión del tránsito y mejorar la eficiencia en los accesos

viales. Un ejemplo destacado es la implementación del sistema "Autopistas sin Barreras" en la Ciudad de Buenos Aires, desarrollado por el Gobierno porteño para modernizar el cobro de peajes.

Este sistema, basado en la combinación de etiquetas RFID, cámaras de reconocimiento de patentes (LPR) y sensores láser, permite la identificación automática de los vehículos sin necesidad de que estos se detengan. Si el automóvil cuenta con el sistema TelePASE, el cobro se realiza de manera inmediata a través de su medio de pago registrado. En caso contrario, la patente es asociada al Registro del Automotor y se emite una factura al titular del vehículo.

La implementación de esta tecnología ha traído múltiples beneficios, como la reducción de tiempos de espera, la mejora en la fluidez del tránsito y la disminución del riesgo de accidentes en los accesos a la ciudad. Al eliminar las barreras físicas y automatizar el proceso de cobro, se optimiza la operatividad del sistema vial y se reduce el impacto ambiental derivado de la congestión vehicular en las estaciones de peaje.

Este antecedente demuestra que la tecnología RFID ha sido considerada en distintos sectores estratégicos de Argentina más allá del ferroviario, con aplicaciones orientadas a mejorar la gestión de activos y la seguridad. Estos desarrollos reflejan un creciente interés por la digitalización y automatización de procesos en el país, sentando las bases para futuras iniciativas que podrían aplicarse.



Figura 9: Componentes del sistema de peaje de Buenos Aires. Fuente: buenosaires.gob.ar

Antecedentes Internacionales

La implementación de la tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) en el sector ferroviario ha transformado la gestión y operación de los trenes de carga a nivel mundial. A continuación, se presentan casos destacados en Europa y América Latina que ilustran cómo diversos países han adoptado esta tecnología para mejorar la eficiencia y seguridad en el transporte ferroviario.

América Latina

En América Latina, el transporte ferroviario de carga ha sido históricamente un pilar fundamental para la logística y el desarrollo económico, facilitando el traslado de materias primas, productos agrícolas e insumos industriales a lo largo de extensas rutas. Sin embargo, la región enfrenta desafíos significativos en términos de modernización, eficiencia operativa e integración tecnológica. A pesar de que la modernización ferroviaria ha sido más lenta en comparación con otras regiones del mundo, en la última década han surgido diversas iniciativas para digitalizar la gestión del transporte de carga. Países como Brasil, México, Chile y Argentina han avanzado en el uso de tecnologías para mejorar la competitividad de su infraestructura ferroviaria.

Brasil posee uno de los sistemas ferroviarios más extensos de América Latina, movilizando aproximadamente 560 millones de toneladas de carga. El 30% del transporte terrestre de mercancías en el país se realiza por ferrocarril, destacando su relevancia en la logística nacional. Empresas como Rumo Logística han implementado esta tecnología para monitorear la ubicación y el estado de los vagones en tiempo real. Las etiquetas RFID permiten un seguimiento preciso de las mercancías transportadas, optimizando la logística y reduciendo pérdidas.

México cuenta con un sistema ferroviario que transporta más de 100 millones de toneladas de carga. La participación del ferrocarril en el transporte terrestre de mercancías es del 25%, reflejando una integración significativa en la cadena logística del país. En México, la implementación de sistemas RFID en el transporte de carga ha sido objeto de estudio como una alternativa para mejorar la seguridad y eficiencia en la cadena de suministro. Investigaciones sugieren que el uso de RFID puede reducir incidentes de robo y mejorar la trazabilidad de las mercancías durante su transporte.

Chile cuenta con una red ferroviaria de aproximadamente 5.622 kilómetros, operada por empresas tanto públicas como privadas. Anualmente, el sistema ferroviario chileno moviliza cerca de 27 millones de toneladas de carga. En Chile, la empresa Río Blanco ha utilizado

tecnología RFID para controlar la temperatura de sus productos durante el transporte marítimo. Aunque este caso se centra en el transporte marítimo, demuestra la versatilidad de la tecnología RFID en la cadena de suministro y su potencial aplicación en el sector ferroviario para garantizar la calidad de productos sensibles durante su traslado.

Europa

En Alemania, la Deutsche Bahn ha integrado sistemas RFID para monitorear y gestionar su flota de trenes de carga. Las etiquetas RFID se colocan en los vagones, permitiendo su identificación automática en puntos estratégicos de la red ferroviaria. Esto facilita la localización en tiempo real de cada unidad, optimiza la planificación de rutas y mejora la eficiencia en la carga y descarga de mercancías. En 2015, el transporte ferroviario movilizó 117 mil millones de toneladas-kilómetro, representando el 17,6% del total de mercancías transportadas en el país.

En Francia, la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF) ha implementado tecnología RFID para supervisar el mantenimiento de su material rodante. Al equipar los componentes clave de los trenes con etiquetas RFID, la SNCF puede rastrear el historial de mantenimiento de cada pieza, programar intervenciones preventivas y reducir el riesgo de fallos mecánicos.

En el Reino Unido, empresas ferroviarias han adoptado sistemas RFID para mejorar la seguridad en los cruces ferroviarios. Las etiquetas RFID instaladas en los trenes interactúan con sensores en los cruces, activando señales de advertencia y barreras de manera automática, lo que disminuye la probabilidad de accidentes y mejora la seguridad vial.

La empresa Freightliner, en colaboración con Network Rail, ha equipado toda su flota de locomotoras y material rodante con etiquetas RFID. Estas etiquetas permiten la identificación instantánea de cada vehículo y la monitorización de aspectos críticos como el estado de las ruedas y la suspensión. Estos puntos de control de Network Rail detectan posibles daños o cargas desiguales, facilitando el mantenimiento preventivo y mejorando la seguridad operativa.

Este enfoque ha optimizado la gestión del mantenimiento y reducido el desgaste de la infraestructura ferroviaria.

Marco Conceptual

El presente trabajo se enmarca en el contexto de la modernización del sector ferroviario mediante la implementación de tecnologías de identificación y rastreo, en línea con los principios de la Industria 4.0. La identificación automática de activos ferroviarios es esencial para garantizar la eficiencia logística, la seguridad operativa y la gestión integral del transporte de cargas.

La problemática actual en muchos sistemas ferroviarios radica en la falta de precisión y agilidad en el rastreo de activos. Los métodos tradicionales, basados en la identificación manual o el uso de placas metálicas numeradas, presentan limitaciones significativas en términos de eficiencia, ya que dependen de la intervención humana y están expuestos a errores en el registro de información. Además, estos métodos no permiten el monitoreo continuo en tiempo real, una característica crucial en operaciones de transporte de gran escala.

Por otra parte, aunque el GPS permite conocer la ubicación geográfica de trenes completos, carece de la capacidad de identificar individualmente los vagones dentro de una formación, ni proporciona información específica sobre la carga transportada o el tipo de vagón/contenedor. En contraste, el uso de dispositivos RFID permite la identificación precisa de cada vagón, independientemente de la velocidad o las condiciones climáticas, proporcionando un control más detallado y eficiente del inventario.

Así, la implementación de RFID en el ámbito ferroviario representa una innovación clave que responde a la necesidad de modernización y optimización de procesos logísticos. Al integrar esta tecnología con otros sistemas inteligentes, se promueve un modelo de gestión más preciso, seguro y adaptable a las demandas contemporáneas del transporte de cargas, consolidando al ferrocarril como una alternativa eficiente y sostenible en la cadena logística.

El verdadero potencial de modernización radica en la integración de múltiples tecnologías en un solo ecosistema inteligente. Al combinar RFID con sistemas GPS y otros sensores propios de la Industria 4.0, se podría lograr un monitoreo integral de las operaciones, no solo identificando cada vagón, sino también rastreando su ubicación en tiempo real y midiendo parámetros críticos como temperatura de ejes, vibración o desgaste. Este enfoque integral permitiría tomar decisiones más informadas, mejorar la eficiencia operativa, aumentar la seguridad y generar modelos predictivos que sean de uso para el mantenimiento preventivo innovador.

Marco Metodológico

Enfoque Metodológico

El presente trabajo se desarrolla bajo un enfoque exploratorio y conceptual, orientado a proponer la implementación de tecnología en el ámbito ferroviario con el propósito de digitalizar particularmente el patio de trenes y optimizar la gestión logística utilizando también otros beneficios que la aplicación de esta tecnología nos brinda. Dado que el planteamiento surge de una innovadora aplicación a RFID y no de una experiencia empírica directa, la metodología se basa principalmente en el análisis documental y la revisión bibliográfica de experiencias nacionales e internacionales en el sector industrial.

El objetivo principal es aprovechar los beneficios y oportunidades que ofrece esta tecnología para la gestión de trenes de carga, así como evaluar su viabilidad en el contexto nacional. Para ello, se han seleccionado fuentes documentales provenientes de artículos académicos, estudios de casos y normativa vigente en Argentina y empresas que han implementado tecnologías similares en el transporte de mercaderías.

La metodología utilizada permite comprender el estado actual de la industria ferroviaria en cuanto a identificación y gestión logística, así como explorar las potencialidades de la incorporación de sistemas inteligentes que utilizan como fuente la información recolectada por

RFID. A través de un análisis cualitativo, se contrastan los avances tecnológicos con la realidad operativa de la industria, considerando factores como eficiencia, seguridad y trazabilidad.

Esta propuesta busca aportar un enfoque teórico-práctico que sirva de referencia para futuras investigaciones y proyectos piloto en la modernización del transporte ferroviario en el país

Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento y análisis de datos se fundamentan en la recopilación de información proveniente de artículos académicos, informes técnicos y documentos normativos vinculados al uso de tecnología en la industria ferroviaria y aplicaciones en otros sectores logísticos. El análisis se enfoca en identificar patrones y tendencias en la implementación de sistemas RFID en distintos países y contextos, evaluando su aplicabilidad en el ámbito ferroviario argentino.

Asimismo, se realiza un análisis de los casos de éxito internacionales, destacando los beneficios alcanzados y los desafíos identificados, con el fin de contextualizar la viabilidad de aplicar esta tecnología en la gestión de patios de trenes en Argentina. Esta aproximación permite construir un marco conceptual sólido que sustente la propuesta del patio de trenes digital.

Variables e Indicadores

Para evaluar el impacto y la viabilidad de la implementación de tecnología RFID en el ámbito ferroviario, se consideran diversas variables cualitativas y cuantitativas que permiten medir los beneficios y desafíos del proyecto.

Entre las variables cualitativas, se destacan la percepción de eficiencia logística, la aceptación de la tecnología por parte de los operadores ferroviarios y el grado de integración con sistemas preexistentes. Por otro lado, las variables cuantitativas incluyen:

- Tiempo de identificación vagones
- Precisión en la trazabilidad
- Tiempo promedio de armado de trenes

- Cantidad de fallos mecánicos reportados
- Tiempo promedio para realizar tareas de relevamiento en formaciones
- Porcentaje de lectura exitosa en distintas condiciones
- Tiempo para realizar inventario en patio de trenes
- Disponibilidad Operativa del Material Rodante

Los indicadores asociados a estas variables pueden incluir el porcentaje de mejora en la identificación automática frente a métodos tradicionales, el tiempo promedio de lectura RFID en diferentes escenarios operativos y la comparación de costos antes y después de la implementación tecnológica.

Estos indicadores permitirán evaluar el éxito del proyecto desde múltiples perspectivas, abordando tanto los aspectos operativos como los estratégicos relacionados con la modernización del sistema ferroviario de cargas en Argentina.

Propuesta de Estudio

Análisis de la Situación

El sistema ferroviario argentino, especialmente en lo que respecta al transporte de cargas, presenta múltiples deficiencias estructurales que limitan su eficiencia operativa. Una de las áreas más críticas dentro de esta infraestructura son los patios ferroviarios, espacios fundamentales para el armado, clasificación y reorganización de formaciones. En la actualidad, muchas de estas tareas se realizan de manera manual, apoyadas en planillas impresas, comunicaciones verbales entre operarios y escasa automatización. Muchas veces también puede pasar que utilicen medio digitales y planillas escritas a mano donde la información se realiza por duplicado. Esto provoca una alta dependencia de la experiencia individual, errores humanos frecuentes, y un bajo nivel de trazabilidad del movimiento de vagones, ya que mucha información queda solo en papel y nunca llega a digitalizarse.

En paralelo, el sistema ferroviario de pasajeros ha logrado, en muchos casos, avances más significativos en materia de digitalización y automatización. En algunas líneas suburbanas o metropolitanas, por ejemplo, se ha implementado el uso de tecnología RFID en combinación con sistemas de control automático de trenes (CBTC, por sus siglas en inglés), sensores de proximidad y telemetría. Estos sistemas permiten saber en tiempo real la ubicación del tren, anticipar su arribo a una estación o gestionar señales automáticas. Esto demuestra que la tecnología RFID ya se encuentra presente y validada en el ámbito ferroviario argentino, aunque su aplicación ha estado más enfocada en la operación de pasajeros y no para la optimización operativa en los trenes de carga.

En este contexto, la propuesta de aplicar RFID en los patios ferroviarios de carga aparece como una innovación necesaria y perfectamente factible. Su implementación permitiría contar con información confiable y en tiempo real sobre la ubicación y el estado de los vagones, optimizar los tiempos de armado para nuevas formaciones, reducir errores en la asignación de vagones y disminuir significativamente la intervención manual. Además, facilitaría el mantenimiento preventivo y la integración con otros sistemas digitales, alineando al sistema ferroviario argentino con los estándares de operación de países más avanzados.

Mientras que en el mundo ya existen experiencias exitosas en la incorporación de RFID para la gestión de trenes de carga como en Alemania, Estados Unidos, Suiza o China, en Argentina el potencial está aún subutilizado. Esto representa una oportunidad única para adaptar esta tecnología a la realidad local, tomando en cuenta las particularidades de la red, el parque rodante y la infraestructura disponible.

Además de los desafíos técnicos y operativos que enfrentan los patios ferroviarios en Argentina, es importante considerar las limitaciones estructurales que afectan la capacidad de inversión del sector. Una de las principales barreras para la adopción de tecnologías como RFID radica en la falta de previsibilidad a largo plazo, tanto en lo económico como en lo regulatorio. Las empresas concesionarias o privadas que operan servicios de carga muchas veces carecen

de condiciones estables que justifiquen proyectos de modernización con horizontes de retorno de inversión de mediano o largo plazo.

Esta falta de previsibilidad está asociada a la debilidad institucional en la planificación ferroviaria del país, a los cambios frecuentes en los marcos regulatorios y a la ausencia de políticas de Estado sostenidas en el tiempo. A esto se suma un problema estructural aún más grave el estado general de la infraestructura de vía, cuya responsabilidad recae en el Estado Nacional (concedente). En muchos tramos de la red ferroviaria argentina, el deterioro de la infraestructura básica (rieles, durmientes, señalamiento, pasos a nivel) no solo impide aumentar las velocidades comerciales o reducir los tiempos logísticos, sino que también desalienta cualquier intento de introducir mejoras tecnológicas en otras áreas, como la gestión de activos o la automatización operativa.

En este contexto, muchas empresas ferroviarias se ven obligadas a destinar sus recursos a mantener el nivel mínimo de operación, dejando en segundo plano inversiones estratégicas como la digitalización o el desarrollo de sistemas inteligentes de seguimiento y control. Por eso, el diseño de soluciones viables, escalables y adaptadas a la realidad del país (como la propuesta conceptual de un patio de trenes digital basada en RFID) cobra especial relevancia. No se trata solo de importar tecnologías ya probadas, sino de repensar cómo aplicarlas de manera efectiva en un entorno donde las limitaciones económicas y estructurales son reales, pero no imposibles.

Objetivos de la Propuesta

El objetivo general de esta propuesta es diseñar un modelo conceptual de patio de trenes digital, basado en la implementación de tecnología RFID como elemento central para mejorar la eficiencia, la trazabilidad y la automatización de los procesos logísticos vinculados al armado y control de formaciones ferroviarias de carga.

El sistema propuesto busca aprovechar el potencial de esta tecnología no solo para identificar en tiempo real la ubicación de los vagones dentro del patio, sino para construir un entorno operativo más inteligente y funcional, en el que los datos se conviertan en información

útil para tomar mejores decisiones, reducir tiempos operativos y elevar el estándar general de eficiencia del sistema ferroviario argentino.

Entre los principales objetivos específicos se destacan:

- Brindar información de valor para el mantenimiento preventivo del material rodante, permitiendo registrar kilómetros recorridos, tiempos en operación y eventualidades vinculadas a cada vagón. Esta trazabilidad permitirá anticipar fallas, programar mantenimientos y optimizar la disponibilidad de partes.
- Automatizar el proceso de armado de formaciones, utilizando la información recopilada por el sistema RFID para seleccionar de manera eficiente los vagones requeridos para cada operación, considerando variables operativas como tipo de carga, destino, configuración técnica de los vagones (presencia de frenos, limitaciones de peso, etc.), entre otros. Por ejemplo, en un escenario donde se requiere formar un tren con destino a la provincia de Tucumán, que incluya vagones con freno debido a la presencia de pendientes, el sistema debería ser capaz de identificar en qué zona del patio se encuentran esos vagones, verificar su disponibilidad y sugerir un plan de movimientos ordenado, lógico y eficiente, minimizando los tiempos de búsqueda y la intervención manual.
- Reducir los tiempos de localización y reorganización de vagones en el patio, generando rutas de armado inteligentes que optimicen los movimientos internos y eviten desplazamientos innecesarios o improductivos. Por ejemplo, si varios vagones no se utilizaran por días, identificarlos y sugerir moverlos hacia una ubicación que no obstruya las demás maniobras en el patio.

- Generar información en tiempo real que fortalezca la toma de decisiones operativas y estratégicas, tanto a nivel del patio como en los niveles superiores de gestión logística. La visibilidad de cada vagón, su historial operativo y su ubicación en tiempo real aportan datos esenciales para planificar con precisión y ajustar procesos dinámicos.
- Optimizar el proceso de inspección técnica mediante dispositivos portátiles (handheld), permitiendo que los revisadores puedan escanear las etiquetas RFID de los vagones y registrar novedades detectadas durante las revisiones visuales. Esta funcionalidad habilita la generación automática de alertas o solicitudes de mantenimiento, asociadas a vagones individuales o a grupos específicos, mejorando los tiempos de respuesta y facilitando la trazabilidad de los eventos técnicos.
- Establecer una base tecnológica escalable para la integración futura con sistemas inteligentes y plataformas interoperables, tales como sensores de condición, GPS, sistemas ERP logísticos o inteligencia artificial aplicada al análisis de datos. El uso de RFID no solo optimiza procesos actuales, sino que habilita una arquitectura tecnológica sobre la cual se podrán construir nuevas funcionalidades, como mantenimiento predictivo, análisis de desempeño operativo, planificación automatizada de cargas y comunicación directa con clientes o entes reguladores. Este objetivo apunta a que el patio digital no sea un sistema aislado, sino parte de una red logística más amplia, conectada, interoperable y con potencial de expansión hacia otros nodos de la red ferroviaria.

Patio de Trenes Digital

Un patio de trenes es una infraestructura ferroviaria diseñada para permitir la organización, clasificación, armado y desarmado de formaciones ferroviarias. Es un nodo operativo fundamental para la logística del transporte de cargas, donde los vagones son separados o reunidos de acuerdo con su destino, tipo de carga y condición. En estos espacios, también se realizan maniobras de ingreso y egreso de trenes, revisiones técnicas básicas, inspecciones de seguridad y tareas vinculadas al mantenimiento preventivo del material rodante.

Tradicionalmente, los patios de trenes han funcionado bajo esquemas operativos manuales, apoyados en la experiencia del personal ferroviario y en el uso de planillas de papel o, en algunos casos más recientes, hojas de cálculo digitales sin integración en tiempo real. En Argentina, este modelo operativo sigue vigente en gran parte lo que conlleva limitaciones significativas en cuanto a trazabilidad, eficiencia, confiabilidad de la información y capacidad de respuesta ante imprevistos.

El personal que trabaja en un patio ferroviario incluye operadores de maniobras, revisadores técnicos, personal de mantenimiento, operadores de señales, jefes de patio y administrativos. Cada uno de estos actores desempeña un rol clave en el flujo operativo, y muchas de sus tareas dependen de la información disponible y del estado físico de los vagones y locomotoras. La figura 10 muestra un patio de trenes con un gran tamaño, esto hace referencia que si no se tiene un control preciso del patio, administrarlo puede ser un dolor de cabeza y costar mucho en tiempo y dinero por una deficiente organización.

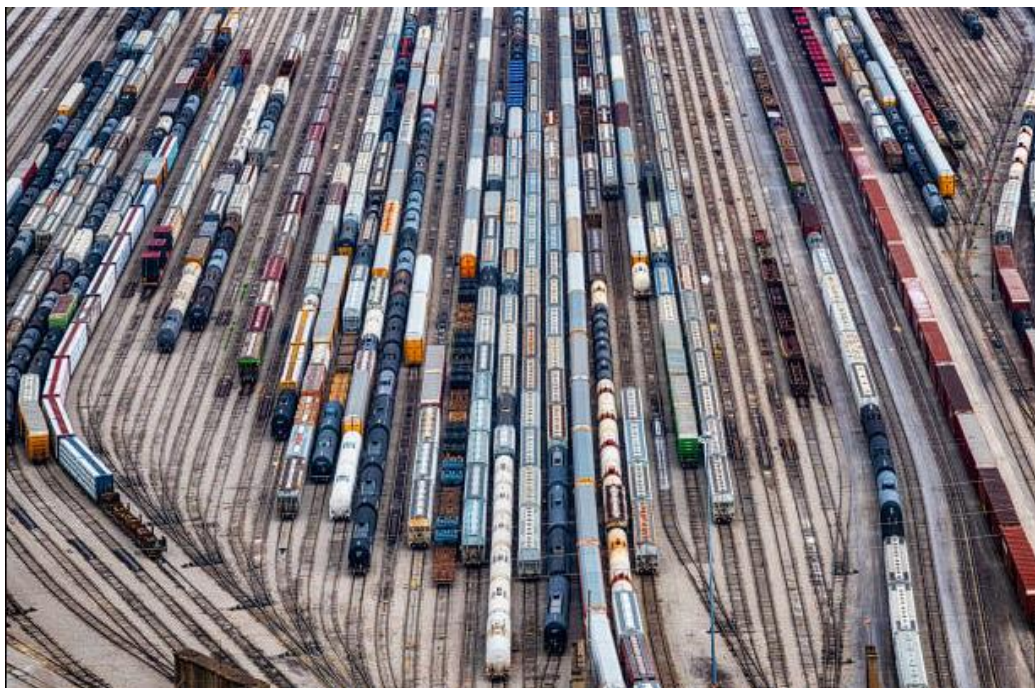


Figura 10: Patio ferroviario de Norfolk Southern en Atlanta. Fuente: Getty Images/iStockphoto

La digitalización del patio de trenes mediante la implementación de tecnología RFID propone transformar este entorno tradicional en un espacio inteligente, en el que la información sobre los vagones, su ubicación, condición, historial operativo y asignación logística esté disponible en tiempo real para todos los actores involucrados. Este cambio no solo optimiza la operación diaria, sino que abre la puerta a nuevas oportunidades estratégicas.

Al implementar un sistema de identificación automática y lectores ubicados en puntos estratégicos del patio, se puede automatizar el proceso de armado de formaciones, reducir el margen de error humano, identificar más rápidamente los vagones requeridos para una operación específica y generar rutas lógicas para moverlos dentro del patio con la menor cantidad posible de maniobras. También se puede mejorar la planificación de mantenimientos, a partir de la información registrada por los dispositivos portátiles utilizados por los revisadores (Handheld RFID Reader Figura 11), y detectar fallas recurrentes o patrones de deterioro.



Figura 11: Dispositivo Handheld UHF RFID Reader. Fuente:

<https://www.cipherlab.com/es/product-278509/UHF-RFID-Reader-RK25.html>

Además, la digitalización del patio establece las bases para el desarrollo de líneas de trabajo futuro como la integración con sistemas de monitoreo remoto, uso de inteligencia artificial para prever necesidades operativas, visualización de datos en plataformas centralizadas, y coordinación en tiempo real con otros nodos logísticos como estaciones intermodales o centros de despacho.

Un aspecto adicional y especialmente relevante en el contexto argentino es el de la seguridad patrimonial. Las instalaciones ferroviarias suelen ser extensas y, en muchos casos, de difícil cobertura. La situación se agrava en regiones donde el robo o vandalismo representa una amenaza constante para los activos ferroviarios. En este sentido, la digitalización del patio abre también la posibilidad de incorporar sensores adicionales y sistemas de alerta conectados a la infraestructura RFID, que permitan detectar intrusiones, movimientos no autorizados o intentos de hurto, generando notificaciones en tiempo real para prevenir a las casillas de vigilancia para evitar daños y preservar la integridad del material rodante.

Un patio de trenes digital no solo representa una mejora operativa inmediata, sino que constituye un paso clave hacia la modernización integral del sistema ferroviario argentino. Su implementación permite transformar la información en una herramienta estratégica, reduciendo

la incertidumbre operativa, mejorando la asignación de recursos y fortaleciendo la competitividad del transporte ferroviario frente a otros modos logísticos.

Diseño del Sistema

Planificación

La planificación del proyecto contempla una secuencia lógica de etapas orientadas a garantizar una implementación eficaz del sistema RFID en el patio de trenes ferroviario. El punto de partida es una investigación preliminar en la que se definen con claridad los objetivos de la intervención profesional, se analiza el funcionamiento actual del patio de trenes y se identifican las necesidades técnicas y operativas que debe abordar la solución tecnológica para cumplir con los objetivos planteados. A partir de este diagnóstico se seleccionan las tecnologías más apropiadas y se diseña conceptualmente el sistema, incluyendo la distribución de lectores y antenas, la estrategia de etiquetado y la lógica de integración con el software de gestión. Esta planificación busca no solo asegurar la viabilidad técnica del sistema, sino también garantizar que su adopción sea escalable y sostenida en el tiempo, considerando las condiciones operativas y la necesidad de generar beneficios concretos y medibles en el funcionamiento cotidiano del patio ferroviario.

Cronograma de Actividades

El cronograma de trabajo propuesto se organiza en cinco etapas, cada una compuesta por actividades específicas que permiten un desarrollo ordenado y progresivo del sistema:

1. Investigación Preliminar y Diseño

- 1.1 Establecer los objetivos del proyecto
- 1.2 Análisis de los procesos actuales del patio de trenes
- 1.3 Selección de tecnología en base a las necesidades
- 1.4 Diseño conceptual del sistema RFID

2. Implementación del Sistema RFID

2.1 Instalación de etiquetas RFID

2.2 Instalación de antenas para la lectura de las etiquetas

2.3 Conexión del sistema y pruebas de comunicación

3. Desarrollo de Software

3.1 Análisis de requerimientos

3.2 Diseño de la aplicación

3.3 Codificación

3.4 Integración con el sistema RFID

3.5 Ajustes de parámetros para automatización

3.6 Testing y pruebas finales

4. Capacitación y Entrenamiento

4.1 Capacitación técnica sobre RFID

4.2 Capacitación sobre el uso del software

5. Documentación y Cierre

5.1 Documentación detallada de todo el proyecto

Cada fase contará con hitos, validaciones parciales y entregables definidos, permitiendo así evaluar el progreso y asegurar la calidad de la implementación.

Asignación de Tareas

A continuación, se presenta la asignación de tareas por etapa del proyecto y los equipos asignados:

Etapas	Actividades principales	Equipo responsable
1. Investigación Preliminar y Diseño	Definición de objetivos, análisis de procesos, diseño del sistema	Equipo de análisis funcional + técnico
2. Implementación del Sistema RFID	Instalación de etiquetas, antenas, pruebas de comunicación	Equipo técnico RFID
3. Desarrollo de Software	Análisis, codificación, integración y testing del sistema	Equipo de desarrollo + análisis funcional
4. Capacitación y Entrenamiento	Formación técnica y operativa del personal del patio	Equipo técnico + análisis funcional
5. Documentación y Cierre	Redacción de informes, documentación técnica y cierre del proyecto	Todos los equipos

Tabla 3: Resumen de responsabilidades asegurando una coordinación eficiente de los recursos y un desarrollo progresivo del proyecto.

Implementación

La implementación del proyecto se desarrollará siguiendo cada una de las actividades específicas que permiten estructurar el proceso de transformación del patio ferroviario hacia un modelo digital basado en tecnología RFID. A continuación, se detalla el desarrollo de cada una de estas fases:

1. Investigación Preliminar y Diseño

Esta etapa tiene como objetivo comprender el contexto operativo actual del patio ferroviario. Se establecerán los objetivos específicos del proyecto y se relevarán los procesos que hoy se desarrollan manualmente. A partir de este diagnóstico se seleccionará la tecnología

RFID más adecuada y se diseñará un modelo conceptual que contemple la disposición de antenas, lectores, tipo de etiquetas y requerimientos de integración con sistemas de software existentes. Esta etapa también permitirá estimar los costos, riesgos y beneficios esperados.

2. Implementación del Sistema RFID

Una vez finalizado el diseño, se procederá a la instalación física de las etiquetas RFID en los vagones y de las antenas de lectura en ubicaciones estratégicas del patio. Esta infraestructura permitirá identificar y rastrear los vagones en tiempo real. Además, se conectará el sistema de lectura con servidores locales o en la nube para almacenar los datos capturados. Se realizarán pruebas iniciales para validar la conectividad y la lectura efectiva de las etiquetas, logrando la confiabilidad de los datos obtenidos.

3. Desarrollo de Software

Sistema de Software de Gestión Operativa

El desarrollo de software propuesto constituye uno de los pilares centrales del sistema de patio de trenes digital, ya que será el encargado de transformar los datos recolectados a través de la infraestructura RFID en información procesable para la toma de decisiones operativas. No se trata simplemente de una interfaz para visualizar la ubicación de los vagones, sino de una herramienta estratégica capaz de indicar con precisión los movimientos que deben realizar los operadores en el armado de nuevas formaciones.

La lógica detrás del sistema puede compararse con un tablero de ajedrez, donde cada movimiento debe estar cuidadosamente planificado para lograr el máximo resultado con el menor esfuerzo. Así como en el ajedrez no se puede mover una pieza al azar sin comprometer la estrategia general, en el armado de una formación ferroviaria cada desplazamiento de un vagón implica consumo de tiempo y recursos humanos. El software busca minimizar estos costos,

generando rutas internas de armado eficientes, ágiles y técnicamente adecuadas para cada tipo de tren.

Una de sus principales funcionalidades será la capacidad de calcular la formación óptima en función del destino del tren, la carga que transportará y los requerimientos técnicos (como la ubicación de los vagones con freno o la distribución del peso en caso de atravesar áreas con pendientes pronunciadas). Al ingresar el destino del tren, el sistema consultará el inventario en tiempo real disponible en el patio —gracias al etiquetado RFID— y propondrá una serie de pasos inteligentes para el armado, que minimice movimientos, evite errores y garantice la seguridad operativa.

De este modo, el software no será un componente aislado, sino el cerebro del ecosistema digital del patio ferroviario, integrando datos provenientes del sistema RFID, del personal operativo y del historial técnico de cada vagón. Su valor radica en transformar la información bruta en decisiones inteligentes, precisas y fundamentadas, capaces de mejorar drásticamente la eficiencia logística y operativa del sistema ferroviario de cargas.

4. Capacitación y Entrenamiento

Esta fase es clave para garantizar la correcta adopción del sistema. Se capacitará al personal técnico y operativo del patio en el uso de las nuevas herramientas tecnológicas. El entrenamiento incluirá el manejo de dispositivos de lectura portátil (handheld), interpretación de datos del sistema y procedimientos para reportar incidencias o generar alertas desde el sistema. Se realizarán jornadas prácticas en el entorno real de trabajo.

5. Documentación y Cierre

Finalmente, se elaborará la documentación técnica completa del sistema implementado, incluyendo manuales de uso, esquemas de arquitectura, protocolos operativos y reportes de

validación. Esta etapa también incluirá la entrega formal del proyecto y una evaluación final de resultados, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora, nuevas funcionalidades a incorporar y estrategias para extender el sistema a otros patios ferroviarios o nodos logísticos del país.

Conclusiones

Reflexiones Finales.

La implementación de un sistema de digitalización para patios ferroviarios no es solo una iniciativa técnica, representa una oportunidad concreta para redefinir el modelo operativo del transporte de cargas en Argentina. A lo largo del trabajo, se ha analizado cómo el actual esquema aún utiliza procesos manuales con formularios llenados a mano, fragmentado en partes no conectadas y poco trazable, esto limita seriamente la eficiencia logística, la toma de decisiones en tiempo real y la planificación estratégica a largo plazo. La incorporación de soluciones tecnológicas no solo permitiría mejorar la gestión interna del patio, sino que habilitaría nuevos niveles de integración con otros sistemas de la cadena logística ferroviaria y multimodal. En la actualidad, resulta impensado que una industria funcione sin el apoyo de tecnologías digitales. Sin embargo, en el sector ferroviario (y particularmente en el ámbito del transporte de cargas) persisten prácticas operativas tradicionales profundamente arraigadas a culturas transmitidas de generación en generación. Esta resistencia al cambio no responde únicamente a limitaciones técnicas o de presupuestos, sino a factores culturales y generacionales, en muchos casos el personal con años de experiencia percibe la incorporación de tecnología como una amenaza (o control) a sus funciones, en lugar de reconocerla como una herramienta de apoyo que potencia su trabajo. Este aspecto constituye uno de los principales retos en los procesos de transformación digital del sistema ferroviario argentino.

A pesar de no tratarse de una tecnología nueva, RFID sigue siendo subutilizada en el ámbito ferroviario del país, en contraste con ejemplos internacionales donde su implementación ha sido masiva, estandarizada y efectiva. Este trabajo pone de manifiesto que la brecha tecnológica no responde únicamente a factores técnicos, sino también a obstáculos estructurales como la falta de previsibilidad, la escasa inversión pública en infraestructura y la necesidad de políticas sostenidas, ya que el estado debería ser el principal impulsor para que el ferrocarril vuelva a ocupar el lugar que solía ocupar como motor para el desarrollo de un país. No obstante, el análisis desarrollado demuestra que incluso en contextos adversos, es posible diseñar soluciones viables, escalables y adaptadas a nuestra realidad.

La propuesta conceptual de un patio de trenes digital es, ante todo, un llamado a repensar el rol de la tecnología en los procesos logísticos críticos. No basta con hacer solo cambios por modernizar, es necesario alinear las herramientas disponibles con objetivos claros, medibles y estratégicos que impacten directamente en la productividad, la seguridad y la competitividad del sistema ferroviario. Las decisiones operativas pueden ser más inteligentes si están respaldadas por datos confiables y disponibles en tiempo real, y este trabajo ha intentado demostrar cómo lograrlo.

Desafíos y Oportunidades

La transformación digital de los patios ferroviarios mediante tecnología RFID enfrenta múltiples desafíos, tanto técnicos como institucionales. Uno de los más significativos radica en la fragmentación del sistema ferroviario argentino, compuesto por una diversidad de operadores privados, empresas estatales y organismos regulatorios que, en muchos casos, carecen de una estrategia tecnológica común. Esta falta de coordinación no solo dificulta la interoperabilidad de los sistemas y el intercambio de datos entre actores, sino que también impide la consolidación de estándares técnicos que podrían mejorar significativamente la eficiencia del sistema en su conjunto.

En este sentido, una de las grandes oportunidades que se presenta es la creación de un sistema nacional unificado de gestión y seguimiento ferroviario mediante RFID, en el que tanto operadores públicos como privados adopten una misma arquitectura tecnológica, bajo normativas claras y consensuadas. Esta estandarización permitiría compartir información logística en tiempo real, optimizar la circulación entre redes de distinto origen, reducir los tiempos de espera en cruces interjurisdiccionales y facilitar el mantenimiento colaborativo del material rodante.

De igual manera, el país enfrenta un histórico problema estructural vinculado a la diversidad de trochas ferroviarias, que limita la interoperabilidad, complica la circulación de trenes de larga distancia y restringe la velocidad operativa de muchas formaciones. Avanzar hacia una unificación progresiva del ancho de vía, o al menos hacia políticas que prioricen corredores estratégicos con trochas normalizadas, sería un paso clave para acompañar los avances tecnológicos con mejoras reales en la infraestructura física.

Más allá de la implementación de RFID, el verdadero desafío será su inserción plena en el paradigma de la Industria 4.0, donde tecnologías como la inteligencia artificial (IA), Big Data, la internet de las cosas (IoT) y las plataformas de visualización en la nube transforman la forma en que se planifican, controlan y optimizan los procesos logísticos. La digitalización del patio ferroviario es solo el primer paso para integrar el sistema a ecosistemas inteligentes donde los datos no solo se registran, sino que se convierten en insumo clave para la toma de decisiones anticipadas y automatizadas.

La IA permitirá detectar patrones de desgaste, predecir fallas mecánicas antes de que ocurran o calcular en tiempo real la mejor distribución de vagones en una formación. La analítica de datos, a gran escala, abrirá nuevas oportunidades para mejorar el rendimiento operativo y reducir los tiempos muertos. A su vez, la conectividad de los sistemas a través de soluciones como internet satelital (por ejemplo, Starlink) podrá garantizar cobertura y transmisión de datos en tiempo real incluso en zonas remotas del país donde aún no hay conexión, algo

particularmente relevante en corredores ferroviarios de baja densidad o sin infraestructura de comunicación.

Sin embargo, la incorporación de estas tecnologías también impone nuevos desafíos. La ciber seguridad será un aspecto crítico a medida que los sistemas se vuelvan más autónomos y dependientes de datos sensibles. La capacitación del personal, la actualización de los marcos regulatorios y la disponibilidad de infraestructura de soporte tecnológico serán factores clave para garantizar que estas innovaciones se transformen en soluciones sostenidas y escalables.

Para ir finalizando, el camino hacia un ferrocarril inteligente no se limita en la incorporación de sensores o etiquetas, sino que exige una mirada estratégica que contemple el futuro del transporte en un entorno altamente digitalizado, competitivo y en constante evolución. Argentina tiene la oportunidad de aprovechar estas herramientas no solo para modernizar su red ferroviaria, sino también para construir una logística nacional más integrada, segura y sustentable.

Bibliografía

1. IEEE, (2010). IEEE Standard for Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-
-Transducers to Radio Frequency Identification (RFID) Systems Communication
Protocols and Transducer Electronic Data Sheet Formats
<https://standards.ieee.org/ieee/1451.7/4582/>
2. Argentina.gob.ar, (2025). Reporte Estadístico, 1er trimestre del año 2025.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2025-1_trimestral_cargas.pdf
3. American Express (2023). Oportunidades de la tecnología RFID para la logística y el
'retail'. <https://amexcorporate.com.ar/multitaskers/gestion-empresaria/oportunidades-de-la-tecnologia-rfid-para-la-logistica-y-el-retail>
4. RFID POINT (2011). Control de trenes con Tecnología RFID.
<https://www.rfidpoint.com/control-de-trenes-con-tecnologia-rfid/>
5. TransCore (2023). Rail & Intermodal. <https://transcore.com/rfid/rail-intermodal>
6. Quesada, Ivan. (2021). PROYECTO CONTROL Y SEGUIMIENTO AUTOMATICO DE
VAGONES RFID-LORAWAN. 10.13140/RG.2.2.36244.01925.
https://www.researchgate.net/publication/349105640_PROYECTO_CONTROL_Y_SEGUIMIENTO_AUTOMATICO_DE_VAGONES_RFID-LORAWAN
7. López Soriano, S. (2018). Diseño de antenas para etiquetas de RFID en escenarios de
alta exigencia. https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2018/hdl_10803_462033/sls1de1.pdf
8. Potepan, V. B. (2016). Propuesta de solución al control de acceso mediante RFID.
<https://www.studocu.com/es-ar/document/pontificia-universidad-catolica-argentina-santa-maria-de-los-buenos-aires/tesis-de-licenciatura/doc-rfid-monografia-licenciatura-en-sistemas-y-computacionpropuesta-de-solucion-al-control-de-acceso/28379774>

9. Febré, G., & Pérez, G. (2012). Sistemas inteligentes de transporte en la logística portuaria latinoamericana.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36122/FAL-305-WEB_es.pdf
10. Copextel (2011). PROYECTO CONTROL Y SEGUIMIENTO AUTOMATICO DE VAGONES RFID-LORAWAN.
https://www.researchgate.net/publication/349105640_PROYECTO_CONTROL_Y_SEGUIMIENTO_AUTOMATICO_DE_VAGONES_RFID-LORAWAN
11. Amanna, A., Agrawal, A., & Manteghi, M. (2010, January). Active RFID for enhanced railway operations. In Rail Transportation Division Conference (Vol. 44069, pp. 31-37).
12. FQ INGENIERIA ELECTRONICA S.A (2008). RFID UHF en aplicaciones ferroviarias.
<https://www.fqingenieria.com/es/aplicaciones/rfid-uhf-en-aplicaciones-ferroviarias-10>
13. Suzanne Smiley (2018), RFID & Railways, <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/rfid-railways>
14. Intertech Rail (2023). RFID - BEST PRACTICE IN YARD MANAGEMENT
<https://www.intertechrail.com/articles/rfid-best-practice-in-yard-management>
15. Intellistride (2023). RFID in Railway <https://www.intellistride.com/blog/rfid-in-railway/>
16. Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM). (2007). Sistema de identificación por radiofrecuencia (rfid)
https://www.enacom.gob.ar/multimedia/bibliotecas/archivos/biblioteca_16395.pdf
17. Telectrónica “Líder en tecnología RFID” (2025). <https://telectronica.com/rfid-faq/>
18. Trenes Argentinos Operaciones. (2019) “Sistema RFID - Trenes Argentinos – Licitaciones” https://contrataciones-publico.sofse.gob.ar/descarga_licitaciones/Y0hBSE1ENU1GVWpkRVNwYXVwTXBRQT09

19. Ente Nacional de Comunicaciones. (2007). "Sistema de identificación por radiofrecuencia (rfid)"
https://www.enacom.gob.ar/multimedia/bibliotecas/archivos/biblioteca_16395.pdf
20. Argentina.gob.ar. (2022) "Trenes de cargas (estadísticas operativas)"
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/datos_generales_ferrocarriles_de_cargas.pdf
21. Buenosaires.gob.ar.(2019) "Paso a paso: cómo funciona el nuevo sistema de peaje inteligente que evita demoras". <https://buenosaires.gob.ar/node/desarrollo-urbano-y-transporte/noticias/paso-paso-como-functiona-el-nuevo-sistema-de-peaje>
22. Sancho. (2011). Industria 4.0. Aplicación de Tecnologías RFID para la mejora de procesos logísticos.
23. Khattab, A., Jeddi, Z., Amini, E., Bayoumi, M.: Introduction to RFID. Cham (2017)
24. Jorge Kohon (2016) "Evaluación del sistema ferroviario en América Latina."
https://webpicking.com/jorge-kohon-logistica-transporte-comercio_exterior-supply_chain
25. Subsecretaría de Transportes Chile." (2023) Transporte Terrestre (Ferroviario)".
<https://logistica.mtt.cl/transporte-terrestre-ferroviario>
26. Sylvain Duranton, Agnès Audier, Joël Hazan, Mads Peter Langhorn, and Vincent Gauche (2017)"The 2017 European Railway Performance Index"
<https://www.bcg.com/publications/2017/transportation-travel-tourism-2017-european-railway-performance-index>
27. Simon Walton (2021) "¡Te tengo! Freightliner etiquetado con tecnología digital"
<https://es.railfreight.com/uk/2021/02/25/te-tengo-freightliner-etiquetado-con-tecnologia-digital/>
28. Rail Serve (2025). "Easily Keep Track of Railcars and Inventory in the Rail Yard"
<https://railserve.com/yard-tracker-software/>

29. Railroad Software (2025). "Rail Yard Management Software"

<https://www.railroadsoftware.com/rail-yard-management-software/>

30. Clever Device (2025) "SmartYard® for Rail"

<https://www.cleverdevices.com/products/smartyard-for-rail/>

31. Amsted Digital Solutions (2025) "Yard Management

["https://www.amsteddigital.com/yard-management/](https://www.amsteddigital.com/yard-management/)

32. Soy Mujer Rural (2025). Revolución 4.0: el futuro se escribe en digital

<https://www.soytujerrural.com/mujeres-en-la-ciencia/revolucion-4-0/>

33. SIEMENS Mobility (2025). Yard and depot solutions

<https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail-infrastructure/yard-and-depot-solutions.html>

34. Ador Tech Inc (2025). "How Rail Yards Manage the Complex Arrangement of railcars"

<https://adortech.com/blog/how-rail-yards-manage-the-complex-arrangement-of-railcars>