



BARRERAS DE DEFENSA EN CRUCES A NIVEL

Proyectos de mejora de la seguridad operacional en cruces ferroviarios-peatonales a nivel

Se presenta una breve descripción de dos proyectos de semáforos diseñados para brindar mayor información sobre el estado de protección y operatividad de los cruces ferroviarios a nivel, para lograr una mayor probabilidad de éxito del desempeño de los peatones y de los operadores finales de los modos ferroviario y automotor.

Introducción

La traza ferroviaria tiene una característica particular, y es que dispone de una vía de tránsito exclusiva para el material móvil ferroviario, el cual tiene la prioridad de paso en la circulación. Esto quiere decir que los peatones, transeúntes y automóviles no tienen permiso para circular a lo largo de dicha vía, y solo pueden cruzarla en lugares debidamente habilitados y autorizados, conocidos como cruces ferroviarios-peatonales a nivel o pasos a nivel (PAN).

Los cruces ferroviarios, ferroviarios-peatonales y ferroviarios-peatonales a nivel pertenecen a lo que se conoce como “entornos de interacción” dentro del contexto operacional ferroviario definido para nuestro sistema socio técnico complejo. Estos entornos particulares conforman una interfaz de riesgo, tanto en los procesos operativos referidos al modo de transporte ferroviario como para el modo automotor, incluido el tránsito peatonal.

Los riesgos de accidentes e incidentes en cruces ferroviarios y peatonales a nivel se mantendrán a niveles aceptables siempre y cuando exista el debido cumplimiento de las reglas de convivencia entre el tránsito automotor-peatonal y el ferroviario. Cuando esto no ocurre, dichos riesgos se materializan en un evento riesgoso, lo cual puede devenir en sucesos no deseados que, en general, resultan en daños humanos y/o materiales. A estos eventos no deseados se los denomina “accidentes en cruces a nivel” o “accidentes bimodales”.

El propósito de este artículo es compartir con el lector iniciativas y acciones a desarrollar, orientadas a reducir los riesgos mencionados. Sin ser exhaustivos, existen dos grupos de acciones de gestión elementales que se aplican en los Sistemas de Gestión de la Seguridad (SGS): la implementación de estrategias preventivas y predictivas y la implementación de barreras de defensa para la gestión de riesgos en el sistema de transporte. Aquí planteamos dos proyectos que responden al segundo grupo de acciones, el *Semáforo de Señal al Tren* y el *Semáforo Otro Tren*, ambos para cruces ferroviarios-peatonales.

De acuerdo con los aspectos que definen el accionar de las barreras de defensa, planteadas en el seno de un SGS, existen en su clasificación distintas facetas conceptuales. Estas consideran las diferentes características que los dispositivos o instrumentos pueden tener en relación con su modo de actuación y alcance en eficacia, en referencia a la función para la cual se diseñan.

En términos generales, las barreras de defensa son dispositivos o instrumentos que detectan y gestionan desviaciones inaceptables que se producen en un elemento, sistema, subsistema o proceso; y que contienen sus efectos minimizando las consecuencias

posibles. Estos dispositivos pueden ser materiales o inmateriales y actúan cuando los fallos activos se producen, no antes. Las barreras de defensa, yendo de las más rígidas a las más flexibles, pueden ser físicas, simbólicas, funcionales u organizacionales. Si bien el nivel de eficacia de las barreras está en el mismo orden en el cual se mencionan, no siempre una barrera de defensa inmaterial u organizacional es precisamente débil. Una adecuada y positiva cultura de seguridad en una organización resulta ser una barrera de defensa muy poderosa.

“Los riesgos de accidentes e incidentes en cruces ferroviarios y peatonales a nivel se mantendrán a niveles aceptables siempre y cuando exista el debido cumplimiento de las reglas de convivencia.”



Los proyectos desarrollados en este artículo refieren a la implementación de barreras de defensa de clasificación simbólico-funcional, donde, a partir de brindar mayor información sobre el estado de protección de los cruces ferroviarios y su estado operativo, se genera una mayor probabilidad de éxito del desempeño humano, tanto para los operadores finales que participan en el modo ferroviario (proyecto *Semáforo de Señal al Tren*), como para los actores protagonistas del modo automotor y peatonal (proyecto *Semáforo Otro Tren*).

Características generales de implementación de los Proyectos Técnicos de Seguridad Operacional

De manera general, los Proyectos Técnicos de Seguridad Operacional (PTSO) tienen dos orígenes: el tratamiento del problema y el planteo de aspectos de mejora como objetivos comunes de seguridad.

Los dos proyectos que se abordan en este documento nacen del tratamiento del problema, ya que las colisiones y choques vehiculares y peatonales en cruces a nivel representan un problema significativo en el proceso de transporte ferroviario actual.

La información proveniente de indicadores de riesgos ocurridos, conjuntamente con sus Sistemas de Causas Probables (SCP) (que eventualmente han generado determinadas Recomendaciones de Seguridad Operacional), constituyeron el punto de partida para la formulación de ambos proyectos.

Cabe aclarar que las fuentes de información no tienen su origen únicamente en accidentes e incidentes, sino también en procesos de telerrelevamientos (Circuitos Cerrados de Televisión [CCTV] estáticos y dinámicos expos y relevamientos por dron), y procesos de monitoreo de características predictivas (CCTV estáticos y dinámicos on-line).

Nos referimos a estáticos cuando la información proviene de CCTV instalados de manera fija en cruces a nivel, estaciones y zonas de riesgo; y dinámicos cuando la información proviene de CCTV móviles, instalados en las propias formaciones o a partir de telerrelevamientos por cámaras del tipo GoPro, colocadas en el material rodante de manera eventual. En cuanto a la información recabada, se debe tener en cuenta que la Criticidad o Índice de Riesgo asignado a un cruce no está relacionado exclusivamente con la cantidad de accidentes o con los niveles de severidad alcanzada (cantidad de víctimas o daños), sino que contempla la condición de riesgo potencial en función de las características particulares de cada cruce. En muchas oportunidades existe un riesgo potencial mayor para un cruce, que arroja menos cantidad de accidentes que otro.



Foto: gentileza de Trenes Argentinos.

Con respecto al desarrollo de los proyectos que se abordan en este artículo, consideramos fundamental el apoyo en procesos de *Design Thinking*¹, espíritu que sostenemos siempre desde Seguridad Operacional de Trenes Argentinos Operaciones a la hora de abordar proyectos o planes de acción. Esta metodología procura alcanzar la innovación en una organización, introduciendo cambios en un elemento, dispositivo, sistema, subsistema, proceso, aspecto reglamentario o servicio, en base a un

1. Metodología que nace conceptualmente más orientada a un producto, aunque puede ser utilizada para el diseño o el rediseño de procesos o aspectos necesarios para la gestión del cambio en una organización.

propósito determinado. Durante el proceso se aplica el pensamiento coparticipativo de un equipo de trabajo multidisciplinario basado en la innovación hacia el diseño, compuesto por áreas que concentran las competencias técnicas necesarias y aquellas que conocen las condiciones finales de uso de lo que se quiere aplicar como solución.

En los procesos de soluciones planteados para los proyectos *Semáforo de Señal al Tren* y *Semáforo Otro Tren* se aplicaron las cinco etapas que requiere la metodología mencionada y se llegó a las instancias de prototipado y evaluación de campo, donde se utilizaron los procesos de verificación y validación.

Otro aspecto característico de la forma en la cual abordamos los Proyectos de Seguridad Operacional se vincula con el concepto de "plan piloto", es decir, con la implementación directa en la línea o sector donde el desarrollo de la propuesta tiene lugar. El período de vigencia de un plan piloto puede depender de múltiples circunstancias: elaboración de prototipos, presupuestos, acciones en el dominio del proveedor, desarrollo de proveedores, gestiones con organismos municipales, gestiones con las autoridades de aplicación, reglamentación, etc.

La implementación de los proyectos mencionados tiene aspectos indispensables a ser contemplados, que trascienden las fronteras de la propia organización ferroviaria, y que muchas veces presentan barreras de dificultad aún mayores que el propio desafío de la solución técnica. Los planes piloto son muy útiles para estresar cada implementación y observar todas las circunstancias posibles, muchas veces impensables en la etapa de diseño.

El proyecto Semáforo de Señal al Tren para cruces ferroviarios-peatonales a nivel²

La condición técnica de infraestructura en la zona de operatividad ferroviaria del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) coexiste con distintos sistemas de protección en los cruces ferroviarios y ferroviarios-peatonales.

Las barreras que restringen el ingreso a la zona operativa según el cruce pueden ser accionadas de forma automática, por una lógica de control (accionamiento electromecánico por detección-circuito de vía) o manualmente, por un operador especializado (guarda paso a nivel o guar-

2. Este proyecto se inició en la Subgerencia de Seguridad Operacional de la línea Roca, dependiente de la Gerencia de Seguridad Operacional de Trenes Argentinos Operaciones, y cuenta con la coparticipación de la Gerencia de la línea Roca y de otros actores clave, como el área de Señalamiento de la misma línea, la Gerencia de Ingeniería de SOFSE Central, la Subgerencia de Desarrollos y Normas Técnicas, el área de Capacitación del sindicato La Fraternidad de la línea Roca junto al personal de conducción, y la Gerencia de Fiscalización Técnica Ferroviaria de la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT).

dabarrera) que cumple con el proceso de protección del cruce movilizandolos brazos de barrera de manera manual o activando un sistema electromecánico que ejecuta dicha acción, incluso de manera remota (barreras telecomandadas). También existen accionamientos manuales efectuados desde una cabina de señales.

Dentro de este conjunto de sistemas, la situación más favorable en la actualidad es el uso de barreras automáticas que presentan la condición de seguridad intrínseca (*fail-safe*) con circuito de aproximación complementado con ATS/ATP (*Automatic Train Stop*).

La irregularidad operativa que conlleva la circulación de un tren con una barrera levantada es considerada una No Conformidad de Seguridad crítica. Este fallo activo claramente puede ser parte del Sistema de Causas Probables (SCP) de accidentes e incidentes, como lo es, por ejemplo, una colisión con vehículo en un cruce a nivel.

Aunque el proyecto de *Semáforo de Señal al Tren* alcanza actualmente a los cruces dotados de barreras automáticas, se está elaborando un nuevo proyecto para cruces protegidos por barreras manuales, con diferencias operativas significativas, teniendo en cuenta que su grado de seguridad está relacionado con el desempeño humano del operador y del proceso dentro del cual éste es la etapa final.

“El proyecto del Semáforo de Señal al Tren tiene previsto un estudio de factibilidad para poder instalar una baliza conmutable que brinde información sobre las irregularidades detectadas.



Las barreras automáticas, si bien son intrínsecamente seguras, pueden ser susceptibles a la condición de fallo no seguro, dejando comprometido el proceso de protección del cruce. En ciertas ocasiones se ha detectado el no descenso del brazo de barrera, no por un fallo técnico, sino por elementos o dispositivos de detención colocados de forma voluntaria o involuntaria, como estacas colocadas por terceros, instalaciones de cables en altura irregulares, entre otras cosas. Estos elementos han incidido gravemente en la falta de protección del cruce a nivel, generando riesgos altamente inaceptables e incluso accidentes.

El proyecto del *Semáforo de Señal al Tren* nació a partir de una Recomendación de Seguridad Operacional (RSO) vinculada a un Informe Preliminar de Accidentes e Incidentes elaborado por Seguridad Operacional de Trenes Argentinos Operaciones en la línea Roca, en el que se abordó una colisión vehicular en el excruce a nivel



Foto: gentileza de Trenes Argentinos.

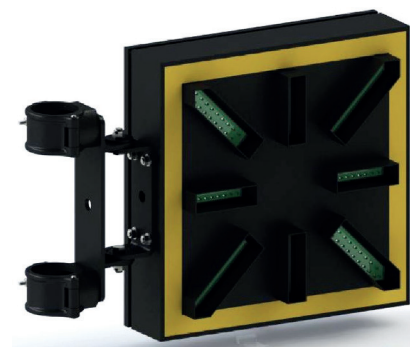
ferroviario de la calle Ramella del ramal Plaza Constitución–La Plata, cerca de la estación Bernal (municipio de Quilmes), que tuvo lugar el 5 de abril de 2017. Entre las medidas indicadas en dicha RSO se sugirió la implementación de un semáforo de señal al tren, momento a partir del cual se inició el trabajo de diseño y elaboración del sistema.

Fundamentalmente, se trata de un semáforo adelantado al cruce, que dispone de dos módulos led compuestos por un aspa sin centro que al activarse luce de color blanco y forma una X; y un aspa led de color amarillo a 45° respecto de la primera, en forma de cruz griega. El semáforo también cuenta con una orla amarilla retroreflectiva.

Los módulos led del semáforo presentan funcionalidades con propósitos distintos:

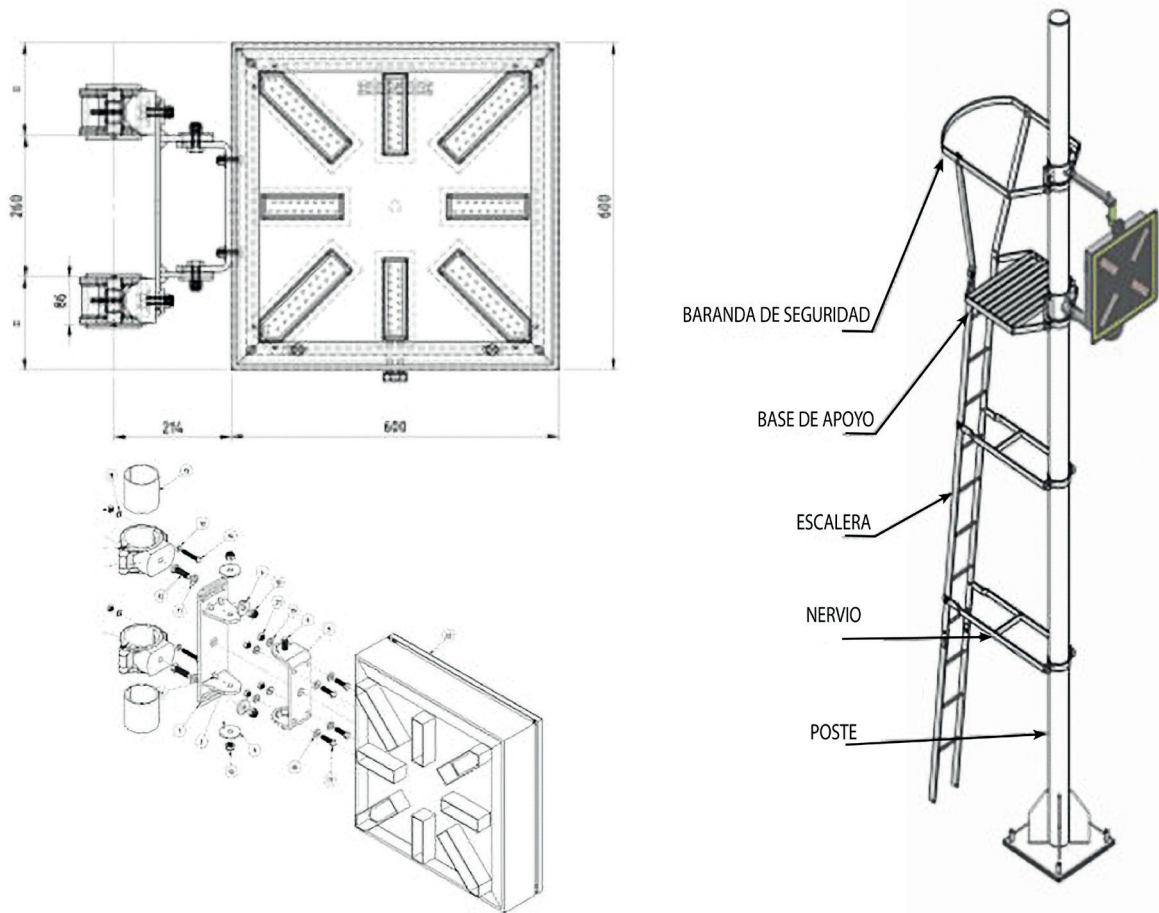
1. Aspa de color blanco (X): brinda información al personal de conducción sobre el estado y progreso de protección del cruce al paso del tren.
2. Aspa de color amarillo (+): brinda información al personal de conducción sobre aspectos de fallos o irregularidades detectadas en el cruce al paso del tren.

Figura 1. Semáforo de Señal al Tren soportado lateralmente (para anclaje lateral en pedestal o columna)



Fuente: Trenes Argentinos Operaciones, 2019.

Figura 2. Esquemas del Semáforo de Señal al Tren



Fuente: Trenes Argentinos Operaciones, 2019.

Modo de operación

Funcionalidad del aspa blanca (X)

- Señal apagada:
 - Brazo de barrera entre 90°- 85° (posición vertical).
 - * Paso a nivel con barreras altas (no protegido).
- Aspa blanca intermitente:
 - Brazo de barrera entre 85°- 5° (posición intermedia).
 - * El sistema de barreras se halla en ciclo de protección (brazo en proceso de descenso).
 - * La frecuencia de intermitencia se halla sincronizada con la frecuencia de la señal fono luminosa.
- Aspa blanca encendida fija:
 - Brazo de barrera entre 5° a 0° (posición horizontal).
 - * Paso a nivel con barreras bajas (protegido).

Funcionalidad de aspa amarilla (+)

El aspa de aspecto amarillo tiene la finalidad de brindar información al personal de conducción sobre irregularidades o fallos del sistema detectables en el paso a nivel. Se activa a partir de distintas circunstancias que detectan el fallo en la protección del paso a nivel: circuito de vía ocupado por más de un determinado tiempo con brazo de barrera en posición distinta a la horizontal, brazo de barrera roto o degradado, brazo de barrera trabado o retenido por un agente externo, fonoluminosa inoperativa, cuadrilla de señalamiento interviniendo el sistema, sistemas adicionales como la detección de vehículos atrapados, posible accionamiento remoto por parte de personal operativo apostado en el paso a nivel, etc. La detección de las condiciones de fallo dependerá de los sensores instalados que localicen las irregularidades elegidas de ser identificadas:

- El aspecto amarillo que se activa con una barrera en fallo (o condición irregular) lucirá de manera intermitente al doble de la frecuencia del sistema fono luminoso.

- El aspecto amarillo podrá ser activado de manera local o remota (de disponer de esta función) por personal autorizado del área de competencia que determine necesaria esta activación.
- Cuando se activa el aspecto amarillo, se inhibe automáticamente la operación del aspa blanca.

Cada cruce ferroviario, ya sea de mano simple o doble, contará con dos semáforos: uno por cada sentido de circulación de trenes. Existirá también un disco de aproximación situado a 500 m del cruce que le indicará al personal de conducción que se aproxima a un paso a nivel dotado de este sistema.

El disco también indicará cuando se ubique en una zona de pasos a nivel sucesivos.

Figura 3. Disco aproximación en el ramal Plaza Constitución-La Plata de la línea Roca



Fuente: Trenes Argentino Operaciones, 2019.

Las metodologías de análisis y evaluación de riesgos en algunos sistemas de gestión de la seguridad a nivel mundial permiten adoptar al menos tres alternativas para estos procesos³:

1. La aplicación de códigos prácticos reconocidos, aprobados y acreditados por normativa especializada aceptada en la actividad ferroviaria.

³ Estos criterios son extraídos de investigaciones hechas sobre normativa de otros países. Aquí se expresan de acuerdo a concepto, adaptación y desarrollo propio, producto de dichas investigaciones.

2. La aplicación del enfoque de riesgos a través de la implementación de un Análisis Preliminar de Riesgos (APR) que proviene de la valoración explícita de los riesgos y sus medidas de control.
3. La selección de un sistema de referencia ya utilizado, reconocido y que haya sido comprobado en cuanto a su eficacia y conformidad sobre los subsistemas que participan del proyecto cuando se comprueba la similitud o equivalencia de la implementación pretendida.

El proyecto de *Semáforo al Tren* se basa en la tercera alternativa, ya que se investigó su implementación en otros países del mundo. Para tomar ese sistema de referencia se analizó la especificación técnica española ET 03.365.522.6 de Señales Especiales al Ferrocarril para Pasos a Nivel tipo LED (AIDF España, 2018), y se realizaron mediciones de iluminancia en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) sobre semáforos Electrans españoles adquiridos e importados exclusivamente con ese fin. Por otro lado, en la etapa de prototipado, se llevaron a cabo ensayos diurnos y nocturnos en campo, con la participación del personal de conducción, en recorridos de verificación sobre detección y deslumbramiento.

Actualmente se encuentran instalados 114 semáforos en el ramal Plaza Constitución-La Plata de la línea Roca, en cumplimiento de la primera etapa de implementación. Los semáforos se están protocolizando para su puesta definitiva en servicio.

Figura 4. Instalación del Semáforo al Tren en el ramal Plaza Constitución-La Plata de la línea Roca



Fuente: Trenes Argentino Operaciones, 2019.

El proyecto *Semáforo al Tren* también tiene previsto un estudio de factibilidad para poder instalar una baliza conmutable a la distancia correspondiente, que brinde información adelantada sobre las irregularidades detectadas y que pueda llevar a condición segura a la formación circulante bajo el amparo del sistema ATS.

El resultado de esta implementación ha reunido los aportes y opiniones de todos los actores intervinientes. Actualmente se está implementando una segunda etapa de adquisición y montaje de estos semáforos en la misma línea de Sociedad Operadora Ferroviaria Sociedad del Estado (SOFSE).

Proyecto Semáforo Otro Tren para cruces ferroviarios-peatonales a nivel⁴

Este proyecto nace en 2022 de la observación de gran cantidad de eventos donde automovilistas y peatones aceleran el cruce del área operativa ferroviaria en un paso a nivel, antes de liberarse la ocupación por parte de las formaciones ferroviarias que se hallan circulando. Estos avanzan sin percatarse de que, al paso de un tren, puede existir la circulación de otro tren en sentido contrario o incluso en el mismo sentido, lo cual produce colisiones peatonales y vehiculares que se suscitan con las barreras en posición horizontal.

El proyecto tiene por fin brindar información, tanto a los peatones como a los vehículos carreteros que están próximos a cruzar, sobre la presencia de otro tren que pueda estar aproximándose al paso a nivel, indicando también el sentido de donde viene. Esto podría evitar el avance temprano de peatones y vehículos y disminuir la alta probabilidad de accidentes que se producen en estas situaciones.

Al igual que con el proyecto anterior, con el semáforo que alerta sobre la aproximación de otro tren en los pasos a nivel se pretende la implementación de una barrera de defensa simbólico-funcional que brinde información adicional, lo cual aumentará la probabilidad de éxito de un adecuado desempeño humano, en este caso de los usuarios vehiculares de los pasos a nivel.

Este sistema de protección activa para cruces ferropeatonales y ferroviarios-peatonales, que ya se ha visto en otros países, como por ejemplo en Japón, consiste en la indicación simbólica automática de semiflechas

que anuncian de manera intermitente la presencia de trenes acercándose al cruce donde se encuentra el semáforo.

El proyecto se encuentra en etapa de verificación, a la espera de los ensayos de campo que se desarrollarán como plan piloto en el ramal eléctrico Once-Moreno de la línea Sarmiento.

Figura 5. Prototipo de semáforo desarrollado por la Subgerencia de Desarrollo y Normas Técnicas de SOFSE



Fuente: Trenes Argentinos Operaciones, 2019.

4. El proyecto se inició en la Subgerencia de Seguridad Operacional actuante en la línea Sarmiento, dependiente de la Gerencia de Seguridad Operacional de Trenes Argentinos Operaciones, y cuenta con la coparticipación de la Gerencia de la Línea Sarmiento y de actores clave como el área Señalamiento de la línea Sarmiento, la Gerencia de Ingeniería de SOFSE Central, la Subgerencia de Desarrollos y Normas Técnicas y la participación y acompañamiento de la Gerencia de Fiscalización Técnica Ferroviaria de la CNRT.



***“El proyecto Semáforo Otro Tren brinda información, tanto a los peatones como a los vehículos próximos a cruzar, sobre la presencia de otro tren que pueda estar aproximándose al PAN, indicando también el sentido de donde viene.*”**



Biografía

Alejandro Leonetti. Ingeniero Mecánico, especialista en Material Rodante y en Seguridad Operacional aplicada al Transporte Ferroviario. Ingresó a la empresa Ferrocarriles Argentinos en el Departamento Mecánica de la línea General Roca en 1981 y se desarrolla en la actividad ferroviaria hasta la fecha. También cuenta con una especialidad de posgrado en Factores Humanos y Organizacionales en la Gestión de Riesgos de la UDESA y con título de Instructor Facilitador en CRM y FFHH orientado a la actividad ferroviaria. En la actualidad se encuentra a cargo de la Gerencia de Seguridad Operacional en Trenes Argentinos Operaciones, área creada en el año 2014. En el marco de la actividad académica, se desarrolla como docente en la Cátedra de Material Móvil en General y Remolcado en el posgrado de Ingeniería Ferroviaria de la UBA y como docente en la Maestría de Planificación y Gestión del Transporte-Seguridad Operacional y Seguridad en el Material Rodante de la UBA; participa en la maestría en Transporte de la UTN y se desarrolla también como docente en las cátedras de Seguridad Operacional Ferroviaria de la Licenciatura en Gestión y Tecnología Ferroviaria de la Universidad de San Martín y en la Licenciatura de Tecnologías Ferroviarias de la Universidad de Lanús. A su vez, dicta clases en las diplomaturas sobre Gestión de la Seguridad Operacional de la JST, DECAHF y UTN (FRH).

CONCLUSIONES

Los proyectos técnicos desarrollados en este artículo, que pretenden mejorar la seguridad en la circulación ferroviaria, son parte de las Acciones Direccionadas y Específicas planteadas en el Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional Ferroviaria en nuestro país.

El propósito principal de estas acciones es disminuir la tasa de riesgos ocurridos en cruces ferroviarios-peatonales a nivel, donde se observa en una gran participación de fallos activos de terceros. Sin duda, cualquier iniciativa en este sentido generará impactos positivos tanto en la seguridad integral del transporte, donde participan peatones, vehículos automotores y vehículos ferroviarios como en aspectos operativos frente a

costos por daños, cancelaciones y demoras que afectan al sistema ferroviario y a la comunidad en general.

En función de aplicaciones a partir de un pensamiento sistémico orientado a las mejoras de la seguridad en el transporte, resulta importante no olvidar la definición completa de sistema. En este sentido debemos considerar la totalidad de los subsistemas que lo conforman, las interfaces entre estos, cómo son las características de rendimiento de las mismas y las acciones preventivas y predictivas basadas no solo en los factores técnicos, sino también en los factores humanos, organizativos y culturales del contexto en el cual está inmerso nuestro sistema sociotécnico complejo, es decir, el transporte ferroviario.