

Innovación para la vinculación socioproductiva 2025

Smart Mobility: Sistema de Información a Tiempo Real para un Transporte Público Accesible e Inclusivo

Sebastian Seriani

Email: sebastian.seriani@pucv.cl

Número: 940927144

1. Nombre del Proyecto

Smart Mobility: Sistema de Información a Tiempo Real para un Transporte Público Accesible e Inclusivo

2. Resumen del Proyecto

Las estaciones de metro y alrededores presentan problemas de hacinamiento que no han podido resolverse con los métodos de análisis tradicionales disponibles, afectando el Nivel de Servicio peatonal (LOS = Level of Service) y por ende la experiencia de viaje de pasajeros que suben o bajan del vehículo de transporte público (tren, bus, o ascensor) hacia el andén, o se desplazan en otras zonas tales como boleterías/torniquetes. Las limitaciones se explican ya que los datos que sustentan la planificación y operación en estaciones están sujetas a la inspección visual de la congestión de diferentes espacios de circulación peatonal, lo cual no permite generar soluciones automatizadas y estandarizadas. Este proyecto ofrece una solución a este problema mediante el desarrollo de un dispositivo y metodología de análisis del LOS para saber, en tiempo real, cuándo y qué medida de control de flujos de pasajeros se requiere implementar en estaciones de metro y alrededores tales como paradas de bus y ascensores, favoreciendo la intermodalidad. Se propone desarrollar un instrumento digital (Smartflow toolkit) para estandarizar el nivel de servicio (Level of Service – LOS) en estaciones de metro, parada de buses y ascensores diseñado con inteligencia artificial, enfocado en Valparaíso, Chile. El dispositivo y metodologías asociadas se implementarán en un Laboratorio Vivo, traspasando los datos a través de información que mejore la experiencia de viaje y apoye la toma de decisiones de operadores. Con esto se busca cambiar el paradigma para registrar, en vez de valores promedios de densidad de pasajeros en todo un espacio de circulación peatonal, incorporar esquemas de discretización de diferentes espacios de circulación peatonal lo cual permite identificar qué zona está más congestionada y en qué momento, lo cual es relevante tanto para los diferentes tipos de pasajeros como para la operación. La propuesta a nivel experimental que este proyecto busca avanzar a nivel de prototipo o Laboratorio Vivo viene aplicándose desde el 2015 mediante diferentes experimentos en ambientes controlados, donde se implementa una medida de control de flujos de pasajeros (por ejemplo, puertas en andén, uso de pasamanos, zonas de espera preferencial; información variable, accesos al andén y zonas de boleterías/torniquetes; entre otras) mientras el resto de las variables permanecen sin modificación, determinando su efecto en el hacinamiento de pasajeros, y por ende en el LOS. El presente proyecto contempla avanzar hacia un prototipo tecnológico a partir de 3 subsistemas: sistema de obtención de datos; sistema de procesamiento de datos; y sistema de administración de datos. Para ello, el proyecto incluye 4 ejes principales. Primero, se requiere definir características prioritarias e identificar requerimientos del instrumento y movilidad. Segundo, se necesita desarrollar y aplicar la prueba de concepto del instrumento para estandarizar el LOS. Tercero, se debe validar resultados del instrumento desarrollado con mediciones en terreno. Los resultados se obtienen de mediciones en diferentes tipos de estaciones de metro y alrededores mediante inteligencia artificial en terreno. Y cuarto, se busca desarrollar la digitalización del instrumento validado con operadores. La metodología acompañada de hardware y software desarrollado, permitirán generar una capacidad analítica en el personal técnico de las instituciones asociadas, permitiendo tener datos granulares del hacinamiento de pasajeros, siendo más representativo del LOS que los valores promedios agregados de densidades en estaciones de metro y alrededores. De esta manera, se busca generar un cambio de mirada en la forma de analizar dichos espacios, repercutiendo en los problemas reales de eficiencia y seguridad que afectan tanto en la

planificación y operación de las estaciones y sus alrededores, como también en la experiencia del usuario. En consecuencia este proyecto contribuye a los ODS en relación al objetivo N°11, en donde se busca aportar con un transporte sustentable que impacte positivamente sobre las comunidades, la equidad y la accesibilidad de estos espacios de movilidad.

3. Objetivo General

Desarrollar un instrumento digital (Smartflow toolkit) para estandarizar el nivel de servicio (Level of Service – LOS) en estaciones de metro y alrededores (parada de buses y ascensores) validado con inteligencia artificial, enfocado en Valparaíso, Chile. El dispositivo y metodologías asociadas se implementarán en un Laboratorio Vivo, traspasando los datos a través de información que mejore la experiencia de viaje y apoye la toma de decisiones de operadores.

4. Objetivos Específicos

1. Definir características prioritarias e identificar requerimientos de movilidad e instrumento de detecciones. Se requiere identificar características hardware y software, y requerimientos de diferentes tipos de pasajeros en varios tipos de espacios (diferentes estaciones de metro, paradas de buses y ascensores) para caracterizar el LOS bajo diferentes configuraciones físicas, espaciales y operacionales. 2. Desarrollar y aplicar la prueba de concepto del instrumento para estandarizar el LOS. Se debe desarrollar y aplicar el instrumento para estandarizar el LOS tomando como referencia las características prioritarias definidas en estudios experimentales. 3. Validar resultados del instrumento desarrollado con mediciones en terreno. Los resultados se obtienen de mediciones en diferentes tipos de estaciones de metro, parada de buses y ascensores existentes mediante inteligencia artificial en terreno.

5. Problema

5.1 ¿Cuál es el problema, oportunidad o necesidad que da origen a su proyecto?

Los sistemas de transporte público, tales como estaciones de metro, ascensores o paradas de buses presentan problemas de hacinamiento de pasajeros que no han podido resolverse con los métodos de análisis tradicionales disponibles. Esto implica un impacto directo en la experiencia de pasajeros como también en costos de operación relacionado al nivel de servicio (LOS = Level of Service en inglés). Por ejemplo, una pérdida de LOS puede causar fuga de pasajeros que se cambia de modo de transporte hacia vehículos privados, aumentando la congestión y contaminación, entre otros efectos (Ortúzar y Willumsen, 2011). Es por ello, y tal como lo menciona Velastin et al. (2020), los operadores de transporte público están preocupados por las mejoras relacionadas a LOS, en donde se debe asegurar una infraestructura que brinde comodidad a los usuarios y tiempos de tránsito rápidos. Desafortunadamente, las agencias de transporte a cargo no necesariamente cuentan con toda la información para poder planificar o gestionar dichas infraestructuras. El problema surge ya que los operadores de transporte desconocen cuándo y qué medida de control de flujos de pasajeros es necesario implementar para mejorar el LOS, lo cual imposibilita la generación de medidas de forma estandarizada y automatizada, dependiendo de cada inspección visual e interpretación de lo observado (Pouw et al., 2021). Este problema abre una oportunidad para usar visión computacional en diferentes espacios de circulación peatonal en transporte público, tal como se describe a continuación (García et al., 2024; Seriani et al., 2024).

5.2 ¿A quienes afecta este problema, oportunidad o necesidad?

Por ejemplo, el tren, bus o ascensor (en adelante vehículo) y su respectivo andén es uno de los espacios donde más interacciones se producen entre pasajeros que suben y bajan (Seriani y Fernández, 2015a). En el caso de trenes, las situaciones de alta congestión han reportado en promedio 2,5 millones de interacciones al día (equivalentes a más de 721 millones de interacciones por año) en el Metro de Santiago (Metro de Santiago, 2023). Asimismo, en otros servicios como Tren Alameda-Nos (EFE, 2023) y Tren Limache-Puerto (EFE Valparaíso, 2023), se han registrado más de 13 y 20 millones de interacciones al año, respectivamente. En el caso de otros sistemas de trenes en el mundo tales como el del Reino Unido, cada año se producen más de 3 mil millones de interacciones, y el 48% de los riesgos de fatalidad para los pasajeros se producen en andenes, siendo un espacio complejo que presenta diferentes riesgos y peligros para los pasajeros (RSSB, 2015). Situaciones similares se observan en otros sistemas, tales como paradas de buses y ascensores (EOD, 2014). La alta aglomeración en estos espacios repercute en la experiencia de viaje de los pasajeros en especial para personas con discapacidad (Andrade et al., 2024). Esto ya que en situaciones con alto flujo de pasajeros se obtiene densidades mayores a 5 pasajeros/metro cuadrado (obteniendo un $LOS = F$), y por ende afecta las demoras en todo el sistema (TRB, 2000; 2003; 2010). Los impactos se pueden agrupar según: - Seguridad: Desde el punto de vista de la seguridad, un aumento del hacinamiento (entendido como un alto número de pasajeros) puede generar algún accidente, caída o aplastamiento en el andén, afectando principalmente a pasajeros con discapacidad o movilidad reducida. En caso de que el accidente tenga consecuencias fatales, se podría utilizar la metodología de estimación del valor de la vida estadística en Chile a través del enfoque de disposición a pagar del Ministerio de Desarrollo Social (MDS) vigente en la legislación nacional, el cual da un costo social por accidente fatal de UF 81.739 por persona (MDS, 2017). Esta metodología podría usarse para valorar el costo que implicaría una pérdida humana, y por ende justificaría la necesidad de implementar medidas de control de flujos de pasajeros en tiempo real. - Eficiencia: En términos de eficiencia, el tiempo de servicio de pasajeros tiene un impacto en la capacidad de la estación de transporte público (Fernandez et al., 2010). Dicho tiempo puede ser afectado por la falta de medidas de control de flujos de pasajeros, dificultando la subida y bajada de pasajeros, en especial pasajeros con discapacidad o movilidad reducida. Por ejemplo, cuando existen pasajeros en silla de ruedas hay un tiempo adicional de apertura y cierre de puertas, más el tiempo para desplegar y retraer rampas (para hacer frente a la brecha vertical u horizontal entre el vehículo y andén) y el tiempo adicional que toma para que un usuario suba y llegue a un área reservada dentro del vehículo (Seriani et al., 2021; Seriani et al., 2022a). Por ejemplo, en el caso de Metro de Santiago, una demora de 2 minutos en una estación podría generar un costo social de 12 mil millones de pesos aproximadamente en toda la red (considerando que en promedio viajan 2,5 millones de personas diarias y el valor social del tiempo de espera es de \$4.867 por pasajero, MDS, 2013).

5.3 ¿Cuál es el tamaño del problema, oportunidad o necesidad?

El problema antes mencionado también puede observarse en otros espacios de circulación, tales como boleterías y zonas de torniquetes, en donde se desconoce cuándo y qué medida de control de flujo de pasajeros es necesario implementar para mejorar el LOS. En consecuencia, los operadores de transporte público utilizan solo inspección visual, por ejemplo, mediante un conteo manual de pasajeros, lo cual no permite implementar medidas de forma estandarizada y automatizada, tales como habilitar una zona de gestión de colas, un nuevo torniquete o disponer de una o más máquinas de autoatención para la recarga del pasaje. Este método manual genera impactos en el operador, ya que hay casos donde existe una baja oferta de boleterías (o máquinas de

autoatención) o torniquetes, generando como consecuencia una alta densidad de pasajeros con niveles de LOS cercanos a F. Como consecuencia, los espacios de circulación se utilizan de forma inadecuada, generando insatisfacción en los pasajeros y un comportamiento inadecuado (Seriani y Fernandez, 2015a; Seriani et al., 2019; Seriani et al., 2021; Seriani et al., 2022b). Por ejemplo, en el caso de torniquetes, es necesario incluir un registro más detallado de la densidad, y por ende del nivel de LOS. De lo contrario, una persona que no tenga dicha condición puede hacer un mal uso de los torniquetes y utilizar su tarjeta de pago de forma incorrecta, generando problemas no solo de alta densidad ($LOS = F$) sino también de posible merma en la recaudación de pasajes para el operador (por ejemplo, una persona con discapacidad o movilidad reducida tiene tarifa reducida y por ende su mal uso significa una posible evasión de pago). Por ejemplo, en el caso de Transantiago o RED Movilidad, en donde existen casi 5 millones de viajes al día, algunos autores han realizado estudios sobre la evasión, la cual se registra cercana a un 30%, lo cual impacta no solo económicamente en el operador del servicio sino también en la experiencia de viaje de los pasajeros, es decir, en el LOS (Guarda et al., 2016; Cantillo et al., 2022). Si la tarifa de pasaje es de \$700, implicaría una merma equivalente a casi \$1.000 millones de pesos al día. Por cierto, el método más utilizado para medir el LOS se basa en el cálculo del hacinamiento de pasajeros en un determinado espacio de circulación. El LOS es una métrica importante para identificar problemas de congestión en zonas planas, áreas de espera y escaleras de estaciones. Sin embargo, de acuerdo con Evans y Wener (2007), la densidad general utilizada en la LOS no predice qué espacio presenta más interacción entre los pasajeros. Los autores descubrieron que el nivel de estrés aumentaba a medida que aumentaba la densidad. Estudios más recientes (Seriani y Fujiyama; 2018; Valdivieso y Seriani, 2021; Seriani et al., 2024b), indican la necesidad de estudiar el espacio ocupado por pasajeros, es decir el inverso de la densidad, lo cual es más representativo para medir la interacción entre pasajeros. Asimismo, Seriani y Fujiyama (2019) y Seriani et al. (2022b), reportan la necesidad de usar métodos de discretización del espacio, permitiendo conocer la ubicación de cada pasajero antes de subir al tren, y por ende saber qué espacio está más congestionado. Asimismo, hay una falta de nuevos métodos que permitan implementar otras técnicas, tales como los esquemas de voronoi, indicando la densidad de pasajeros según una distribución de polígonos dinámicos de acuerdo con la distancia que hay entre pasajeros (Liddle et al., 2011; Zhang et al., 2012; Xiao et al., 2016; Qu et al., 2021; Aguayo et al., 2023). Si se resolvieran las limitaciones y problemas mencionados, se podría incluir recomendaciones de medidas de control de flujos de pasajeros y establecer estándares de diseño, actualizando normativa y manuales desarrolladas por SECTRA tales como el REDEFE (2003) el cual se ocupa del diseño de estaciones en su capítulo 11 o la norma técnica de construcción de la vía férrea (NT 01-01-01, 2006). De la misma manera, estos estándares de diseño se complementarían con decretos puestos en marcha tales como el DS 50 (2016) y DS 142 (2017). En resumen, se requiere resolver los siguientes problemas reportados en sistemas de transporte público, aportando también en el desarrollo científico-tecnológico: -Registrar en tiempo real el hacinamiento de pasajeros en diferentes espacios de circulación, para saber cuándo y qué medidas de control de flujos de pasajeros son necesarias. -Implementar medidas de control de flujos de pasajeros de forma automatizada y estandarizada para obtener un mejor nivel de LOS y por ende mejorar la experiencia de viaje de pasajeros. -Fiscalizar el uso adecuado de dichos espacios para su correcto funcionamiento, evitando el hacinamiento (o niveles de LOS F) y potenciales pérdidas de recaudación económica (evasión). -Desarrollar métodos que permitan representar el LOS de forma adecuada en diferentes espacios de circulación, utilizando técnicas de discretización del espacio de circulación.

6. Solución

6.1 ¿En qué consiste su propuesta de solución?

A partir de los resultados previos, quisiéramos en esta propuesta avanzar hacia un prototipo tecnológico el cual permita: i) realización de experimentos no solo en estaciones de metro sino también en paradas de buses y ascensores, favoreciendo la intermodalidad; ii) medición del hacinamiento de pasajeros para obtener el LOS, incluyendo distintos tipos de pasajeros y su experiencia, a través de una metodología de modelación usando técnicas de discretización del espacio de circulación; iii) generación de información para saber en tiempo real tiempo real, cuándo y qué medida de control de pasajeros se requiere implementar para mejorar el LOS. Esto implica el desarrollo de 3 subsistemas: -Sistema de obtención de datos: Se construirá un Laboratorio Vivo, usando experimentación e infraestructura existente. A diferencia de los resultados previos, se considerará: a) diferentes espacios de una estación de metro; b) refugios de parada de bus incluyendo el andén para pasajeros y respectiva plataforma de bus; c) ascensores con su respectivo andén para pasajeros. En estos espacios se registrará la subida y bajada de pasajeros, incluyendo diferentes tipos de pasajeros y su experiencia, para diferentes situaciones horarias (punta mañana, punta tarde, valle mañana, valle tarde). Por ejemplo, en el vehículo dividiremos el espacio a analizar en diferentes zonas: hall de entrada, pasillo central, pasillos laterales, asientos centrales y asientos laterales. En cada zona se instalarán cámaras de video, drones y sensores para obtener la captura de imagen de los pasajeros que suben y bajan del vehículo. Asimismo, el Laboratorio Vivo, considera otros espacios de circulación peatonal tales como zonas de boleterías y torniquetes. En dichos espacios se registrará la cantidad de pasajeros esperando en cola para realizar la recarga de pasajeros o bien acceder o salir de la zona paga. Para obtener el LOS se ajustarán los algoritmos ya realizados en la etapa anterior experimental (de resultados previos) utilizando técnicas de discretización del espacio de circulación, lo cual se explica en el sistema de procesamiento de datos. -Sistema de procesamiento de datos: Las cámaras capturan las imágenes y luego son enviadas a la siguiente etapa de procesamiento de datos. Este envío se realiza mediante un celular o mini-pc con tarjeta GPU instalado (específicamente en la zona donde se está observando los pasajeros). El celular o mini-pc con tarjeta GPU permite que el envío de la información sea de forma inalámbrica y en tiempo real (para así no usar cables o alguna instalación eléctrica). El celular o mini-pc con tarjeta GPU al tener un chip con banda anchas móvil permite enviar los datos, los cuales pueden ser alojados en un hosting para luego procesarlos. - Administración del sistema: Luego de medir el LOS y procesar los datos, utilizaremos un sistema de envío de información para implementar medidas de control de flujos de pasajeros. Para ello, se implementará un sistema de alerta que procesará la información y enviará señales de texto. La señal de texto será recibida por pasajeros o el jefe(as) de estación. Cada señal permitirá conocer el LOS, y por ende cuando y qué medidas de control de flujos de pasajeros implementar. Se utilizarán aplicaciones y página web para ir administrando los datos. Las medidas de control de flujos de pasajeros serán previamente cargadas al instrumento de registro y estarán categorizadas de acuerdo al nivel de hacinamiento registrado y al efecto que tienen en términos de eficiencia y seguridad. Por ejemplo, si el hacinamiento es alto en el andén se propone retener pasajeros en una etapa anterior (por ejemplo, cerrar los torniquetes) para evitar que más pasajeros sigan ingresando al andén o bien informar a pasajeros para que escojan el vagón con menor hacinamiento y se distribuyan de mejor manera en el andén.

6.2 ¿Cuál es el estado del arte?

Diferentes estudios en base a experimentos a escala real han permitido probar diferentes configuraciones de estaciones para reducir el tiempo de subida y bajada de pasajeros (td), implementando medidas de control de flujos de pasajeros en el espacio tren-andén. Fernández et al. (2010) informaron que td depende no solo del número de pasajeros que suben y bajan, sino también de la altura del andén, el ancho de la puerta, el método de cobro de tarifas, el diseño interno del vehículo y la ocupación del vehículo. Otro experimento realizado por Rudloff et al. (2011) presentaron que la td disminuía a medida que aumentaba el ancho de la puerta, alcanzando un valor global mínimo de 24,93 s para una puerta de 1,85 m de ancho. Fujiyama et al. (2012) informaron que la brecha vertical entre el tren y andén de 50 mm logró un flujo máximo en las puertas de 1,42 pasajeros/s (para un ancho de puerta de 1,8 m y una distancia entre las puertas y los asientos de 800 mm). Del mismo modo, Fernández et al. (2015) encontraron que la brecha vertical debería reducirse a 150 mm o menos, permitiendo una capacidad de puerta de 1,0 pasajeros/s-m en el caso de un ancho de puerta de 1,65 m. Otro experimento (Tyler et al., 2015) recomendó utilizar un levantamiento de andén para producir un acceso nivelado (brecha vertical de 0 mm) en parte del andén. De acuerdo con Holloway et al. (2016) el uso de escalones también ha mostrado un efecto en td, en el que los pasajeros que suben demoraron más tiempo (4,13 s en promedio) que los que se bajan (3,68 s en promedio). Algunos autores (De Ana Rodriguez et al., 2016; Seriani et al., 2017a; Seriani et al., 2019) informaron que el uso de puertas en andén no tiene un impacto importante en td, pero la interacción de pasajeros está influenciada por otras variables como la formación de líneas de flujo, distancia entre pasajeros, velocidad, densidad (en el andén e interior del tren), la brecha vertical y horizontal, y el espacio utilizado por cada pasajero (Seriani y Fujiyama, 2018; Luangboriboon et al., 2021; Valdivieso y Seriani, 2021; Seriani et al., 2021). Estudios más recientes muestran la importancia de variables como el pasamano vertical y el uso de asientos dentro de los vehículos (Seriani et al., 2022a; Seriani et al., 2024b). Los autores concluyen que la experimentación permite probar diferentes diseños basados en estaciones existentes, en donde una sola variable cambia mientras el resto de las variables se mantiene igual. De esta manera, la experimentación permite controlar las variables y utilizar herramientas de visión computacional para el estudio peatonal, incluyendo la experiencia de diferentes tipos de pasajeros. Para estudiar la efectividad de las medidas de control de flujos de pasajeros y saber cuándo se requiere implementarlas, es necesario el uso de cámaras de video de forma automatizada (Pouw et al., 2021). En el caso de observación en estaciones existentes, el uso de videos y herramientas de conteo de pasajeros permite identificar el comportamiento de pasajeros en la interfaz vehículo-andén (Seriani et al., 2017b). Sin embargo, actualmente la extracción de videos para su posterior análisis presenta desafíos, siendo la detección automática mediante visión computacional una de las más relevantes (Simonnet et al, 2012; Yin et al, 2014; Calero et al., 2019; Jeong, et al., 2019). Los problemas para resolver implicarán oclusión, reconocimiento de personas en una multitud de alta densidad, interacciones de personas, entre otros. Como consecuencia, el conteo manual de personas mediante videos lleva mucho tiempo en términos de captura y análisis de datos, y por ende se requiere de sistemas automáticos de conteo para obtener el tiempo de subida y bajada de pasajeros y la cantidad de pasajeros que suben y bajan del tren. Es por ello, que diversos autores (Ertler et al., 2017; Peng et al., 2018; Velastin et al., 2020) han desarrollado estudios de detección de personas usando algoritmos para identificar cabezas en vez del resto del cuerpo o extremidades. Esto se realiza desde el punto de vista de una posición elevada, en lugar de un detector humano clásico (vista lateral o frontal observando a los pasajeros en una pose erguida de cuerpo entero). Las métricas relacionadas con este trabajo (Precision, Recall, F1 y mAP) se han probado detectores diferentes, que fueron entrenados para un objetivo específico, ergo, cabezas humanas. Esos detectores fueron YOLOv3 (Redmon

y Farhadi, 2018), Faster R-CNN (Ren et al., 2015) y EspiNetV2 (Oviedo et al., 2019). Los resultados recopilados indican que Recall, Precision y F1 se mantienen dentro del 84-85 %, y mAP es casi el 88 % para Faster R-CNN; 84,7%, 95,6%, 89,7% y 91,3% para YOLOv3, respectivamente; y 67,8%, 73,3%, 70,2% y 74,8% para EspiNetV2. Estos valores enuncian una clara ventaja para YOLOv3 frente a su competidor más cercano, Faster R-CNN. Lamentablemente, para EspiNetV2 el rendimiento es demasiado bajo. Por otro lado, los autores no ofrecen métricas de comparación entre un detector humano clásico y un detector de cabeza humana. Sin embargo, en el caso de Velastin et al. (2020) no solo se enfocan en la mejora de la detección humana sino también en su seguimiento, y como punto principal, en la entrega de un Dataset de experimentos, el cual viene con un conjunto etiquetado relacionado con cabezas humanas. Esto se relaciona con las métricas obtenidas, debido a una expansión del 25% relacionada con cada bounding box detectado y medida establecida. En el caso de Ertler et al. (2017) se aborda el problema de la detección de peatones desde un punto de vista elevado en imágenes RGB-D. Sin embargo, a pesar de que el modelo utilizado es el conocido modelo Faster R-CNN, el ajuste fino de una red troncal CNN basada en imágenes RGB con datos de profundidad (deep data) plantea un problema importante, que es la incompatibilidad del canal de entrada. Proponen adaptar el modelo Faster R-CNN para imágenes RGB-D, explorando dos arquitecturas para fusionar dos modelos Faster R-CNN, a saber, Late Fusion y Mid-Layer Fusion. También establecen que el paso de posprocesamiento para NMS (Non-Maximum Suppression) subyacente en Faster R-CNN debe ser superado por Tnet (Hosang et al., 2016). Los experimentos demostraron que la integración de la profundidad mejora claramente el rendimiento de detección en comparación con las imágenes RGB únicamente, e incluso seleccionaron Mid-Layer Fusion como la mejor opción. Desafortunadamente, la base de datos utilizada por los autores no está disponible, lo que no permite profundizar en el análisis y es imposible aprovechar la riqueza que brindan las cámaras RGB-D. Estudios más recientes (Saeed et al., 2023; Garcia et al., 2024) han utilizado Yolov7 para la detección de pasajeros en estaciones, generando una transformación de 2D a 3D para el cálculo de variables como posición, densidad, dispersión, velocidad entre otros. Estos estudios permiten dar cuenta del avance en la materia, buscando la posibilidad de implementarse en otros modelos y en otras circunstancias. Nuevas versiones de Yolo (v8, v9, v10) prometen aún mejores resultados.

6.3 Grado de Madurez Tecnológica de la Solución

La propuesta se encuentra en TRL-4. Esto se respalda a partir de algunas publicaciones (García et al., 2024).

6.4 Grado de diferenciación de su propuesta.

La propuesta de valor del servicio se basa en ofrecer soluciones innovadoras y eficientes que permitan mejorar la experiencia de los pasajeros y optimizar la operación de las estaciones de metro y alrededores. Los elementos diferenciadores y fundamentales para la determinación de la propuesta de valor se clasificaron en dos etapas (coincidentes con el desarrollo de etapa 1 y etapa 2), las que se asocian a: -En primer lugar, los elementos asociados al Diagnóstico de la situación base tales como evaluación de hardware y software, identificación de datos históricos e identificación de infraestructura física. -En segundo lugar, los elementos asociados al Monitoreo en tiempo real que agregan valor al servicio son el monitoreo continuo de flujo de pasajeros y la visualización de datos en una interfaz. Para ello, se considera los recursos clave a continuación: -Tecnología Avanzada de Detección y Análisis: Un sistema robusto de hardware y software que permite la detección precisa y el análisis en tiempo real del flujo de pasajeros. -Equipo Multidisciplinario: Un equipo compuesto por expertos en diversas áreas, como

ingeniería de transporte, análisis de datos, inteligencia artificial y gestión de proyectos, que permite una aproximación integral a los desafíos. -Plataforma de Gestión de Datos: Una plataforma que facilita la recopilación, almacenamiento y análisis de grandes volúmenes de datos, esencial para ofrecer diagnósticos precisos y recomendaciones basadas en datos sólidos. Se destaca también la avanzada infraestructura de monitoreo y un Laboratorio Vivo que nos permiten simular y analizar las condiciones reales de las estaciones de metro y alrededores. Este recurso es clave para calibrar nuestros sistemas y validar nuestras metodologías antes de su implementación en el campo.

6.5 ¿Cuál es la hipótesis que se pondrá a prueba?

Se considera la siguiente hipótesis: Es posible aplicar una herramienta tecnológica para medir el nivel de servicio a partir de datos de densidades de pasajeros en estaciones de metro.

7. Oportunidad de mercado

7.1 ¿Cuál es el mercado objetivo de su propuesta?

Los socios clave incluyen empresas de tecnología, proveedores de hardware y software, instituciones académicas, y operadores de transporte público que colaboran en la implementación y mejora continua de los servicios. Estos socios son esenciales para el desarrollo tecnológico, la expansión del mercado y la optimización de Procesos. Además, se definen los potenciales impactos a través de una estructura de ingresos lo cual se resume en: ● Venta de Servicios de Diagnóstico y Monitoreo: Este servicio representa una fuente de ingreso directa a través de contratos con operadores de metro que desean optimizar el flujo de pasajeros y mejorar la experiencia del usuario. ● Licenciamiento de Software y Hardware: se puede licenciar su tecnología a otros operadores de transporte que deseen implementar el sistema en sus estaciones y alrededores. Esto permite la generación de ingresos recurrentes a través de tarifas de licencia. ● Servicios de Consultoría y Capacitación: Ofrecer servicios adicionales como consultoría especializada y programas de capacitación para el personal de operadores de transporte público es una fuente adicional de ingresos. Estos servicios no solo generan ingresos, sino que también fortalecen la relación con los clientes al proporcionarles conocimientos prácticos y adaptados a sus necesidades. El mercado potencial está compuesto principalmente por operadores de sistemas de metro y transporte urbano tales como buses y ascensores en ciudades congestionadas. Estos clientes valoran la eficiencia y la seguridad en la gestión del flujo de pasajeros, y están dispuestos a invertir en tecnologías que les permitan optimizar estos aspectos. Además, se puede extender los servicios a consultoras de transporte, gobiernos locales y otros actores interesados en mejorar la movilidad urbana. Estos clientes no solo buscan soluciones tecnológicas, sino también el conocimiento experto y la consultoría especializada que se puede ofrecer.

7.2 ¿Cuál es su propuesta de continuidad?

Se requiere optar por un FONDEF Tecnologías Avanzadas para continuar con el proyecto. Las etapas clave incluyen: -Sistema de Administración y Monitoreo de Datos: Generar una plataforma de datos para utilizarlos en tiempo real en la toma de decisiones tanto en diseño como planificación del transporte. -Desarrollo y Mantenimiento de Tecnología: Investigación y desarrollo continuo para mantener la tecnología en la vanguardia y adaptarse a las necesidades cambiantes del mercado. -Recolección y Gestión de Datos: Procesos de recopilación y almacenamiento seguro de datos en tiempo real, fundamentales para obtener información precisa sobre el comportamiento

de los pasajeros. -Análisis de Datos e Interpretación: Utilización de algoritmos avanzados para interpretar los datos recogidos y proporcionar insights valiosos. - Desarrollo y Gestión de Interfaces de Usuario: Creación de interfaces intuitivas que faciliten la interpretación de los datos y la toma de decisiones por parte de los usuarios finales. -Implementación y Soporte Técnico: Instalación y configuración del sistema en estaciones de metro, junto con soporte técnico continuo para asegurar su correcto funcionamiento. -Desarrollo de Relaciones con Clientes: Actividades continuas de gestión de relaciones con los clientes para asegurar su satisfacción y fidelización. - Monitoreo y Mejora Continua: Monitoreo constante del rendimiento del sistema y mejoras basadas en los resultados observados. -Marketing y Ventas: Promoción de los servicios y expansión en mercados para captar nuevos clientes.

7.3 ¿Cuál o cuáles son los actores o entidades claves para el desarrollo del proyecto?

EFE Valparaíso es entidad clave para el desarrollo del proyecto. EFE Valparaíso es una empresa de transporte público, que busca proveer a sus pasajeros un medio de transporte confiable, eficiente, seguro y responsable con el medioambiente y sus comunidades, con el compromiso de mejorar la calidad de vida de las personas y aportar al desarrollo del país. La innovación es uno de los 5 valores que públicamente posee EFE, donde creemos en la innovación como el motor que nos permitirá seguir evolucionando y afrontando nuevos desafíos. EFE Valparaíso ha tenido la posibilidad de participar en distintos proyectos I+D de manera autónoma y en conjunto con instituciones académicas, entre los que destacan el Simulador de carga de pasajeros desarrollados en conjunto con la UTFSM. Se buscará apoyo en observar estaciones existentes de la red de EFE Valparaíso, revisar estudios existentes sobre medidas de control de flujos de pasajeros que incluyan estándares de accesibilidad, y probar el dispositivo en diferentes espacios de una estación existente de la red de EFE Valparaíso.

8. Equipo

Investigador Responsable

- **Nombre:** Sebastian Seriani
- **Rut:** 15641465-4
- **Unidad Académica:** Escuela de Ingeniería de Construcción y Transporte
- **CV Responsable:** https://docs.google.com/document/d/1yeUNjPUh2lBWBk0QvdfNnBP6zBszVLE0/edit?usp=drive_link&ouid=104196315576521812532&rtpof=true&sd=true

Investigador@s

Nombre del investigador: Gonzalo Farias
Rut del investigador: 13111865-1
Unidad académica del investigador: Escuela de Ingeniería Eléctrica

9. Entidad Patrocinadora

Nombre patrocinador: Empresa de los Ferrocarriles del Estado
Rut patrocinador: 96766340-9
Rubro del patrocinador: Transporte

Región del patrocinador: Región de Valparaíso

Ciudad del patrocinador: Valparaíso

Descripción: EFE Valparaíso es una empresa de transporte público, que busca proveer a sus pasajeros un medio de transporte confiable, eficiente, seguro y responsable con el medioambiente y sus comunidades, con el compromiso de mejorar la calidad de vida de las personas y aportar al desarrollo del país. La innovación es uno de los 5 valores que públicamente posee EFE, donde creemos en la innovación como el motor que nos permitirá seguir evolucionando y afrontando nuevos desafíos. Como EFE Valparaíso hemos tenido la posibilidad de participar en distintos proyectos I+D de manera autónoma y en conjunto con instituciones académicas, entre los que destacan el Simulador de carga de pasajeros desarrollados en conjunto con la UTFSM

Link carta de patrocinio: <https://drive.google.com/file/d/1T7DE9YYZVByQ3cPUKoJwQ6kUbLDnw0hm/view?usp=sharing>

10. Plan de trabajo y presupuesto

Objetivo específico: Objetivo 1.- Definir características prioritarias e identificar requerimientos de movilidad e instrumento de detecciones

Actividades:

- **Requerimientos y tecnologías**

1.1.- Identificación de requerimientos tecnológicos para la detección de pasajeros en diferentes espacios de circulación peatonal en base a inteligencia artificial.

1.2.- Ajuste de instrumento y modelo adaptable a diferentes espacios de circulación peatonal, en donde se pueda incluir inferir comportamientos en base a la experiencia de pasajeros.

1.3.- Requerimientos de Laboratorio Vivo, adaptación de espacios de circulación peatonal para medir el LOS y cursos a ofrecer a la entidad patrocinadora para capacitación de uso del instrumento

Presupuesto: \$5000000

Duración: 3 meses

Objetivo específico: Objetivo 2.- Desarrollar y aplicar la prueba de concepto del instrumento para estandarizar el LOS.

Actividades:

- **Estandarización del LOS**

2.1.- Caracterizar y evaluar las medidas de control de flujos de pasajeros según espacio de circulación peatonal y su efecto en el LOS.

2.2.- Generar protocolo de aplicación del instrumento para diferentes tipos de pasajeros en diversos espacios de circulación.

2.3.- Desarrollo de experimentos en Laboratorio Vivo con apoyo de tesis y ayudante de laboratorio.

Presupuesto: \$10000000

Duración: 4 meses

Objetivo específico: Objetivo 3.- Validar resultados del instrumento desarrollado con mediciones en terreno.

Actividades:

- **Diseño y mediciones del LOS**

3.1.- Evaluar el diseño de experimentación y mediciones en estaciones y alrededores con apoyo de tesistas y ayudante de laboratorio.

3.2.- Clasificar resultados según efecto de las medidas de control de flujos de pasajeros en el LOS para cada espacio de circulación peatonal, considerando la experiencia de pasajeros.

Presupuesto: \$10000000

Duración: 3 meses

Presupuesto total: 25000000