

Sistema de Información al Viajero (SIV) de transporte público colectivo, basado en servicios de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)



Proyecto de Trabajo de Grado

Dania Marcela Angarita Medina

Rafael Alejandro Belalcázar Burbano

Director: MSc. Ricardo Salazar C.

Co-Director: PhD. Gustavo Adolfo Ramírez G.

Asesor: PhD. Álvaro Pachón de la Cruz

Departamento de Telemática

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Universidad del Cauca

Popayán, Cauca, mayo de 2022

Sistema de Información al Viajero (SIV) de transporte público colectivo, basado en servicios de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)

Dania Marcela Angarita Medina

Rafael Alejandro Belalcázar Burbano

Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones de la
Universidad del Cauca para obtener el título de:
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Director: MSc. Ricardo Salazar C.
Co-Director: PhD. Gustavo Adolfo Ramírez G.
Asesor: PhD. Álvaro Pachón de la Cruz

Departamento de Telemática
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad del Cauca
Popayán, Cauca, mayo de 2022

Tabla de contenido

Capítulo 1.....	1
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento de problema.....	1
1.1.1. Formulación del problema	1
1.1.2. Justificación del problema	4
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. General.....	5
1.2.2. Específicos	5
1.3. Aportes.....	5
1.4. Metodología.....	6
1.5. Actividades y cronograma	6
1.6. Documento sometido a revista internacional.....	8
1.7. Estructura del Documento.....	8
Capítulo 2.....	9
2. Marco teórico.....	9
2.1. Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).....	9
2.2. Sistema de Información al Viajero	9
2.3. Arquitecturas ITS internacionales	10
2.3.1. Arquitectura de Estados Unidos ARC-IT (Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation) versión 8.2.....	10
2.3.2. Norma ISO relacionada con ITS.....	10
2.3.3. Arquitectura FRAME (Framework Architecture Made for Europe).....	11
2.4. Áreas de Servicio en ITS	12
2.5. Technology Readiness Level (TRL).....	13
2.6. Prueba de concepto, validación de desarrollo y prototipo	14
Capítulo 3.....	15
3. Trabajos relacionados y estado del arte	15
3.1 Revisión de la Literatura.....	15
3.1.1. Análisis bibliométrico.....	15
3.1.2. Análisis de Trending Topics	16
3.1.3. Revisión detallada de la literatura.....	19

3.2. Estado del Arte.....	21
Capítulo 4.....	26
4. Arquitectura ITS para el SIV	26
4.1. Introducción.	26
4.2. Arquitecturas de servicios ITS relacionadas con el SIV.	26
4.2.1. Servicio de Información al Viajero en ARC-IT.....	26
4.2.2. Servicio de Información al Viajero en FRAME	27
4.3. Selección de una arquitectura ITS modelo o de referencia.	29
4.4. Arquitectura propuesta para el SIV	30
4.4.1. Módulos de la arquitectura.....	31
4.4.2. Comunicación entre los módulos de la arquitectura	32
4.4.3. Usuarios de la arquitectura.....	36
Capítulo 5.....	38
5. Diseño y desarrollo de la prueba de concepto del SIV	38
5.1. Diseño del prototipo en modalidad prueba de concepto.....	38
5.1.1. Tecnologías y protocolos seleccionados para el prototipo	38
5.1.2. Detalles importantes por considerar en cada módulo	41
5.2. Desarrollo del prototipo en modalidad prueba de concepto	44
5.2.1. Desarrollo de las historias de usuario con mayor relevancia en el sistema	45
5.2.2. Estructura de la base de datos del sistema	56
5.2.3. Sub-módulos funcionales del Módulo TMC del prototipo	59
Capítulo 6.....	68
6. Pruebas diseñadas y resultados de validación obtenidos.	68
6.1. Diseño de pruebas	68
6.2. Resultados de validación obtenidos	77
6.3. Discusión de resultados obtenidos	93
6.4. Trabajos futuros	96
Capítulo 7.....	97
7. Conclusiones	97

Lista de figuras

Figura 1. Resultado de documentos cargados y eliminados con ScientoPy (elaboración propia).	15
Figura 2. Trending Topics generados con la herramienta ScientoPy (elaboración propia)....	16
Figura 3 Evolución del estado del arte en los últimos 4 años (elaboración propia).	17
Figura 4. Crecimiento de los <i>trending topics</i> en los últimos años (elaboración propia).	18
Figura 5. Top diez de países que han contribuido al estado del arte (elaboración propia)....	19
Figura 6. Servicio PT-08 de la arquitectura ARC-IT (fuente: [35]).	27
Figura 7. Funcionalidad de alto nivel del área “ <i>Provide Traveler Journey Assistance</i> ” de FRAME (fuente: [50])	28
Figura 8. Función “ <i>Provide Traveler Information</i> ” de FRAME (fuente: [50]).....	29
Figura 9. Arquitectura propuesta para el SIV (elaboración propia).	31
Figura 10. Prototipo diseñado para el SIV (elaboración propia).	38
Figura 11. Concepto del protocolo HTTP (fuente: [52]).....	39
Figura 12. Ubicación de la base de datos (elaboración propia).	41
Figura 13. Colección users en Firebase (elaboración propia).....	42
Figura 14. Interfaz principal del usuario empresa de transporte (elaboración propia).	46
Figura 15. Interfaz de asignación de datos de la ruta (elaboración propia).	46
Figura 16. Mapa en pantalla completa para realizar el trazado de ruta (elaboración propia). 47	
Figura 17. Interfaz de asignación de datos de la ruta con trayectoria (elaboración propia). ..	47
Figura 18. Interfaz principal del usuario empresa de transporte con el icono de mapa (elaboración propia).	48
Figura 19. Mapa en pantalla completa con trayectoria de la ruta (elaboración propia).	48
Figura 20. Interfaz principal del usuario Empresa de Transporte con el icono de editar (elaboración propia).	49
Figura 21. Interfaz de edición de datos de la ruta (elaboración propia).	49
Figura 22. Mapa en pantalla completa con marcadores de edición de trayectoria (elaboración propia).	50
Figura 23. Menú de opciones del usuario empresa de transporte (elaboración propia).	50
Figura 24. Información de Vehículos (elaboración propia).....	51
Figura 25. Definición del punto de inicio (elaboración propia).	51
Figura 26. Modificación del punto de destino (elaboración propia).....	52
Figura 27. Usuario viajero observa rutas disponibles (elaboración propia).	52
Figura 28. Usuario viajero selecciona ruta (elaboración propia).....	53
Figura 29. Usuario viajero observa lista de vehículos disponibles (elaboración propia).	53
Figura 30. Detalle de vehículo seleccionado (elaboración propia).....	54
Figura 31. Menú de opciones usuario empresa de transporte (elaboración propia).	55
Figura 32. Lista de estaciones (elaboración propia).	55
Figura 33. Interfaz SIV para estaciones (elaboración propia).	55
Figura 34. Estructura de la colección Routes (elaboración propia).....	56

Figura 35. Expansión del campo path de la colección Routes (elaboración propia).	56
Figura 36. Estructura de la colección <i>Vehicles</i> (elaboración propia).	57
Figura 37. Estructura de la colección <i>Transits</i> (elaboración propia).	58
Figura 38. Estructura de la colección <i>Stations</i> (elaboración propia).	58
Figura 39. Estructura de la colección <i>Events</i> (elaboración propia).	59
Figura 40. Estructura del campo location de la colección <i>Events</i> (elaboración propia).	59
Figura 41. Estructura de la colección users (elaboración propia).	59
Figura 42. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU4 (elaboración propia).	78
Figura 43. Resultado obtenido de las rutas registradas en la prueba 2 de la HU4 (elaboración propia).	78
Figura 44. Resultado obtenido de la selección de ruta en la prueba 2 de la HU4 (elaboración propia).	79
Figura 45. Resultado final obtenido de la prueba 2 de la HU4 (elaboración propia).	79
Figura 46. Resultado obtenido del ingreso de datos de la prueba 3 de la HU4 (elaboración propia).	80
Figura 47. Resultado final obtenido por la prueba 3 de la HU4 (elaboración propia).	80
Figura 48. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU2 (elaboración propia).	81
Figura 49. Resultado obtenido en el inicio de la prueba 1 de la HU3 (elaboración propia).	82
Figura 50. Resultado obtenido final de la prueba 1 de la HU 3 (elaboración propia).	82
Figura 51. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU5 (elaboración propia).	83
Figura 52. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU14 (elaboración propia).	84
Figura 53. Resultado obtenido de la prueba 1 fijando punto de destino de la HU15 (elaboración propia).	85
Figura 54. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU15 buscando rutas (elaboración propia).	85
Figura 55. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU16 (elaboración propia).	86
Figura 56. Resultado obtenido de la prueba 2 de la HU16 (elaboración propia).	86
Figura 57. Resultado obtenido de la prueba 3 de la HU16 (elaboración propia).	87
Figura 58. Resultado obtenido de la prueba 4 de la HU16 (elaboración propia).	88
Figura 59. Resultado obtenido de la prueba 4, vehículos realizando ruta, de la HU16 (elaboración propia).	88
Figura 60. Resultado obtenido de la prueba 5 de la HU16 (elaboración propia).	89
Figura 61. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU17 (elaboración propia).	90
Figura 62. Resultado obtenido de la Prueba 1 de la HU20 (elaboración propia).	91
Figura 63. Resultado obtenido de la prueba 2 de la HU20 (elaboración propia).	91
Figura 64. Resultado obtenido de la prueba 3 de la HU20 (elaboración propia).	92
Figura 65. Resultado obtenido de la prueba 4 de la HU20 (elaboración propia).	93

Lista de tablas

Tabla 1. Cronograma del proyecto.....	7
Tabla 2. Documentos removidos por base de datos.....	16
Tabla 3. Descripción de <i>trending topics</i>	17
Tabla 4. Top diez de países que han contribuido al estado del arte	19
Tabla 5. Documentos incluidos en la revisión detallada.....	21
Tabla 6. Artículos y Criterios que los relacionan.....	25
Tabla 7. Comparación de las arquitecturas ITS	30
Tabla 8. Mensajes “ <i>Personal transit and traveler information</i> ”	33
Tabla 9. Mensajes del módulo <i>Transit general information</i>	34
Tabla 10. Mensajes del módulo <i>Enterprise Transit Information</i>	35
Tabla 11. Mensajes del módulo <i>Public Transportation Routes and Fares</i>	36

Lista de acrónimos

- **ADY.** Número promedio de documentos por año.
- **AGR.** Tasa de crecimiento anual.
- **ARC-IT.** Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation.
- **BID.** Banco Interamericano de Desarrollo.
- **CONPES.** Consejo Nacional de Política Económica y Social.
- **DNP.** Departamento Nacional de Planeación.
- **EUI.** Extended Unique Identifier.
- **FRAME.** Framework Architecture Made for Europe.
- **GPS.** Global Positioning System.
- **HTML.** Hypertext Markup Language.
- **HTTP.** Hypertext Transfer Protocol.
- **HU.** Historia de usuario.
- **ISO.** International Organization for Standardization.
- **ITS.** Sistemas Inteligentes de Transporte.
- **LORA.** Long Range.
- **ML.** Machine Learning.
- **OBE.** On-Board equipment.
- **OMS.** Organización Mundial de Salud.
- **PDLY.** Porcentaje de documentos en el último año.
- **RTI.** Research, Technology, and Innovation.
- **SDK.** Software Development Kit.
- **SETP.** Sistemas Estratégico de Transporte Público.
- **SGCF.** Sistema de Gestión y Control de Flota.

- **SGR.** Sistema de Gestión de Recaudo.
- **SINITT.** Sistema Inteligente Nacional de Infraestructura, Tránsito y Transporte.
- **SIV.** Sistema de información al viajero.
- **STP.** Sistema de transporte público.
- **TMC.** Transit Management Center.
- **TRL.** Technology Readiness Level.
- **UI.** Interfaz de Usuario.
- **VANET.** Vehicular ad hoc network.

Agradecimientos

A Dios y la vida por las oportunidades y regalos. A mis padres Rafael Belalcázar y Yolanda Burbano por hacerme el hombre que soy y los valores que me han transmitido. A mi esposa Valentina Cifuentes y a mi hija Valery Belalcázar que me motivan a seguir adelante y crecer personal y profesionalmente. A mi director Ricardo Salazar Cabrera por su paciencia, disposición y amabilidad durante la creación de este trabajo y por último, pero no menos importante a mi familia y amigos que me acompañaron durante largas horas de estudio y dieron su apoyo durante todo mi pregrado.

Atentamente: Rafael Alejandro Belalcázar Burbano

A mis padres Milton Angarita y Dione Medina por sus esfuerzos, amor y apoyo incondicional, aspectos fundamentales para la consecución de este logro, a mi hermana María Fernanda Angarita por ser mi motor de vida. A mi hijo que llegó justo a tiempo para compartir conmigo esta alegría. A mi director Ricardo Salazar Cabrera por ser la cabeza de este proyecto, tener paciencia, disposición y compromiso. A mi compañero de trabajo de grado Rafael Alejandro Belalcázar por tantas horas de dedicación, paciencia y apoyo. A Nancho que desde el cielo me acompaña para lograr cada una de mis metas propuestas y por último a todas y cada una de las personas que aportaron durante todo mi pregrado.

Atentamente: Dania Marcela Angarita Medina

Abstract

Mobility over long distances is a fundamental aspect that directly affects the activities performed by humans; therefore, to improve their quality of life, they have developed different solutions to transport themselves, bringing with them consequences such as pollution problems, road congestion, and traffic accidents.

A viable solution to minimize the occurrence of these problems is using public transportation systems because this can reduce the number of private vehicles on the roads. However, in Colombia and many developing countries (mainly in Latin America), the lack of a control system and timely information to the user of the service means that this solution is not truly effective.

This research proposes a Traveler Information System (TIS) for collective urban transit service, based on Intelligent Transport Systems (ITS) services. For its design and development, a review of the state of the art and the development of an ITS architecture proposal for the system were performed. Based on this architecture, a proof of concept of the TIS was designed and its respective development. Additionally, the TIS tests were designed and executed to validate its proper operation.

Finally, this paper presents the conclusions generated with the analysis of the results obtained, in which the viability of a system of this type (TIS) based on ITS services is ratified, to improve the characteristics of the collective urban transportation service in a medium-sized city of a developing country, such as Colombia.

Resumen

La movilidad a través de largas distancias es un aspecto fundamental que afecta directamente las actividades que realiza el ser humano; es por esto que, con el fin de mejorar su calidad de vida ha desarrollado diferentes soluciones para transportarse, trayendo consigo consecuencias tales como problemas de polución, congestión de las vías y accidentes de tránsito.

Una solución viable para minimizar la ocurrencia de dichas problemáticas es el uso de los sistemas de transporte público, debido a que esto puede reducir el número de vehículos particulares en las vías. Sin embargo, en Colombia y en muchos países en desarrollo (principalmente en Latino América), la carencia de un sistema de control y de información oportuna al usuario del servicio hace que esta solución no sea verdaderamente efectiva.

Este trabajo propone un Sistema de Información al Viajero (SIV) de transporte público colectivo, basado en servicios de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).

Para su diseño y desarrollo fue realizada una revisión de la literatura existente y el desarrollo de una propuesta de arquitectura ITS del sistema. Con base en dicha arquitectura fue diseñada una prueba de concepto del SIV y su respectivo desarrollo. Posteriormente, fueron diseñadas y ejecutadas las pruebas del SIV para validar su adecuada operación.

Finalmente, este trabajo presenta las conclusiones generadas con el análisis de los resultados obtenidos, en las cuales se ratifica la viabilidad de un sistema de este tipo (SIV) basado en servicios ITS, para mejorar las características del servicio de transporte público colectivo en una ciudad intermedia de un país en desarrollo, como Colombia.

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Planteamiento de problema

1.1.1. Formulación del problema

La movilidad es uno de los principales aspectos que influye en las actividades que realiza el ser humano y por ende en el desarrollo de sus objetivos. Algunas personas, en el afán de mejorar su calidad de vida, han desarrollado diferentes soluciones para transportarse, como el automóvil. Sin embargo, con el tiempo, el número de vehículos en las ciudades ha incrementado considerablemente generando problemas de polución, congestión de las vías y accidentes de tránsito [1] [2].

Los sistemas de transporte público (STP), en las ciudades, buscan minimizar los problemas mencionados previamente (polución, congestión y accidentes de tránsito), intentando reducir el número de vehículos particulares que transitan, mediante el incremento del uso del servicio público por parte los ciudadanos [1], [3]. Sin embargo, en Colombia y en algunos otros países en desarrollo (principalmente latinoamericanos), la capacidad de sus STP muestra un déficit por patrones de uso que provocan una congestión en las denominadas horas pico, y una subutilización en las denominadas horas valle [4]. Además, los STP presentan problemas de sobreoferta en algunas rutas; y escasa información de los recorridos y horarios para los usuarios, generando incertidumbre y la preferencia del ciudadano por otros medios de transporte como automóviles y motocicletas particulares [4].

El ciudadano, usuario del STP, no encuentra un servicio de transporte de calidad en aspectos como accesibilidad, comodidad y seguridad [5]; principalmente, en ciudades intermedias donde no existen servicios de transporte masivo (p.e. Transmilenio, MIO y Metro en las principales ciudades colombianas). Las ciudades intermedias colombianas (y en general, de varios países en desarrollo) tienen un transporte público denominado “colectivo”, conformado por buses, busetas y microbuses, el cual es el principal medio de transporte público. Este medio de transporte público tiene considerables inconvenientes en las ciudades intermedias del país ([5-10]), tales como: inadecuado manejo de oferta y demanda, inconvenientes en la infraestructura y mantenimiento de la flota de vehículos, falta de seguimiento y control de la flota de vehículos, infraestructura de las vías, manejo de la información para el usuario y seguridad del servicio.

La falta de una adecuada y oportuna información del sistema de transporte público “colectivo”, es un aspecto que influye de forma transversal en otros inconvenientes planteados ([11], [12]), principalmente, en aspectos como la oferta y la demanda. El usuario viajero requiere información del STP colectivo como por ejemplo el tiempo aproximado que toma cierta ruta en llegar a una parada, la cantidad de puestos disponibles en un vehículo, o el tiempo aproximado en realizar un viaje entre dos puntos. Mientras que las empresas de transporte de este servicio requieren información sobre la cantidad de usuarios del servicio en cierta ruta y en cierto horario, los tiempos de duración de cada ciclo de la ruta, y las paradas que realiza el conductor. Esto con el fin de realizar un adecuado control de la flota y definir políticas de seguridad para el medio de transporte.

El mejoramiento de la información que genera un STP colectivo puede darse a través de un SIV, el cual puede generar grandes beneficios, en diversos aspectos, lo cual podría incentivar el uso de este medio de transporte [13]. Esto redundaría en un mejoramiento de los principales problemas de movilidad de las ciudades intermedias mencionados previamente (accidentalidad, congestión y polución).

Los SIV están diseñados para brindar información principalmente sobre el servicio de transporte público, ya sea de un medio de transporte en particular (por ejemplo: colectivo) o de varios servicios de transporte al mismo tiempo (por ejemplo: colectivo, buses, sistema de transporte masivo), en cuyo caso se denominan SIV multimodales. La información que provee un SIV sirve para que los viajeros puedan hacer uso eficiente del servicio y el personal encargado de control de flotas pueda ajustar horarios, rutas, y modos de viaje en consecuencia a esta información. La información más relevante de un SIV para un usuario viajero está relacionada con la información pre-viaje, y la información durante el viaje. La información pre-viaje debe permitir al usuario viajero establecer un punto de inicio y un punto de destino de su ruta y recibir información respecto a las rutas disponibles, los vehículos que cubren dichas rutas y los tiempos de llegada a ciertos puntos de parada. La información durante el viaje debe permitir establecer tiempos aproximados de desplazamiento y recibir información sobre condiciones de la ruta. Respecto a los usuarios encargados del control de flotas, la información más relevante está relacionada con la ubicación en línea de los vehículos, comúnmente en un mapa que facilite su visualización. Además de la ubicación del vehículo los datos como: velocidad y cantidad de pasajeros, son relevantes para la toma de decisiones de control de rutas y frecuencias.

En cuanto a la accidentalidad a nivel mundial, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su reporte del 7 de diciembre del 2018, alrededor de 1.35 Millones de personas mueren en el mundo por accidentes de tránsito cada año y entre 20 y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales [14]. Colombia tiene tasas de muertes y lesiones de 13.8 y 79.4 respectivamente por cada 100.000 habitantes [15], en ciudades intermedias como Armenia, Ibagué, Pasto Pereira y Popayán, existen altas tasas de muerte y lesiones (entre 11,63 y 19,25 en tasa de muertes y entre 166,82 y 304,01 en tasas de lesiones). Estos valores contrastan con los presentados en las grandes ciudades, en donde las tasas de muertes y lesiones son menores, por ejemplo, Medellín (con 9,45 en muertes y 110,30 en lesiones) y Bogotá (con 6,44 en muertes y 100,92 en lesiones).

Respecto a congestión vial, de acuerdo con la organización INRIX, en Colombia, tanto las ciudades intermedias, como las grandes ciudades, tienen altos niveles de tráfico, que puede hacer perder hasta 272 horas al año a una persona en una ciudad como Bogotá y 100 horas aproximadamente en ciudades intermedias [16]. Estos altos niveles de tráfico contribuyen a incrementar la contaminación del aire, y en ocasiones generan accidentes de tránsito, que causan muertes y lesiones.

El transporte público utilizado en el país aporta significativamente al porcentaje de muertes y/o lesiones en accidentes de tránsito, considerando que el número de vehículos de transporte público es relativamente bajo, respecto al número total de vehículos. Las muertes en el país por accidentes de tránsito, cuando el desplazamiento es hecho como pasajero, en el transporte público representa el tercer lugar en el rango estadístico con 8,5% [15]. Respecto a las lesiones, cuando el desplazamiento es hecho como pasajero, el transporte público tiene el segundo lugar (26%), mientras que las motocicletas están en el primero con el 50% y los automóviles en el tercero con el 21% [15].

Considerando estos crecientes problemas en la movilidad de las ciudades intermedias del país, principalmente en el STP colectivo, el gobierno nacional está apoyando el desarrollo de los denominados Sistemas Estratégico de Transporte Público (SETP). Los dos módulos principales de un SETP son el Sistema de Gestión y Control de Flota (SGCF), y el Sistema de Gestión de Recaudo (SGR) ([6-10]), sin embargo, un SIV es fundamental para que el usuario pueda acceder a los servicios prestados por el SETP, lograr un buen nivel de calidad y una percepción positiva del STP. Los documentos donde se determinan las características de cada uno de los SETP en implementación en el país ([6-10]), evidencian también los problemas que tienen actualmente los STP en las ciudades intermedias del país, e identifican que la falta de información al usuario es un aspecto clave por mejorar.

Los ITS contribuyen exitosamente a la gestión de transporte, seguridad, sostenibilidad, eficiencia y confort en varias ciudades del mundo [17], [18]. Entre los múltiples servicios de los ITS, está el servicio de información al viajero. Este servicio ITS es clave para el STP, debido a que brinda información al viajero sobre aspectos como las rutas, tiempo de llegada de los vehículos, tiempo de viaje, congestión en la vía, entre otros [19].

Para facilitar que un servicio ITS como el servicio de información al viajero pueda operar conjuntamente con otros servicios ITS, para implementar un SIV, es muy importante utilizar una arquitectura ITS que sirva de referencia [20]. El gran beneficio, derivado de la utilización de una arquitectura ITS adecuada, radica en la interoperabilidad de los servicios desarrollados con base en dicha arquitectura. Cuando es clara la forma de intercambiar información entre servicios, los módulos que intervienen y las reglas para hacerlo de manera adecuada, es posible generar un gran impacto económico para las ciudades. Lo anterior se logra al reducir los costos de integración entre los servicios, disminuir los tiempos de desarrollo de los nuevos servicios e incrementar la satisfacción del usuario al tener servicios intercomunicados que ofrecen mejor información y funcionalidad.

Actualmente en Colombia, y en muchos otros países en desarrollo, existen soluciones de SIV, pero la gran mayoría no están diseñados mediante servicios basados en arquitecturas ITS adecuadas, y que además consideren el contexto específico de ciudades intermedias de un país en desarrollo [20]. La interoperabilidad de los módulos o componentes de un SIV con otros servicios de movilidad es muy importante, y esta no es considerada por la gran mayoría de desarrollos que se han realizado a nivel Nacional e Internacional [20]. Funcionalidades relacionadas con un SIV como, por ejemplo: presentar datos pre-viaje al usuario viajero (como rutas, paradas, frecuencias), y presentar los datos de ubicación de los vehículos de transporte público y el tiempo estimado de llegada a la próxima parada, son clave para otro tipo de servicios de movilidad en la ciudad, encargadas del control de tráfico y gestión de flotas. Por lo anterior, un reto tecnológico muy importante en el desarrollo del SIV es poder garantizar que los módulos funcionales del SIV tengan una fácil comunicación con otros servicios de movilidad, es decir, que sean interoperables.

Adicionalmente, considerando que el usuario viajero es una fuente muy importante de información para los servicios de movilidad de la ciudad, es relevante el aspecto colaborativo que puede tener un SIV, permitiendo al usuario reportar eventos que puedan afectar la movilidad como accidentes o alto nivel de tráfico.

Considerando todo lo anterior la pregunta de investigación por resolver es: **¿Cómo mejorar la gestión de la información dirigida al usuario en un sistema de transporte público colectivo**

que permita garantizar la interoperabilidad con otros servicios de movilidad, que permita un entorno colaborativo y que al mismo tiempo contribuya al mejoramiento del servicio en esta modalidad de transporte?

En este sentido, la hipótesis planteada para responder a la pregunta de investigación establece que es posible hacerlo mediante el **desarrollo de un SIV, en modo prueba de concepto [21], que esté basado en una adecuada arquitectura ITS, y que contribuya a solucionar los problemas identificados en este medio de transporte.**

1.1.2. Justificación del problema

La iniciativa de ciudades emergentes y sostenibles, que plantea el Banco Interamericano de Desarrollo BID, menciona cuatro áreas de desarrollo en las cuales una ciudad sostenible debe distinguirse, una de ellas es el desarrollo urbano sostenible. Esta área debe promover un desarrollo económico local y de igual manera promover el transporte y la movilidad urbana sostenibles [22]. Por lo anterior, uno de los grandes factores que afecta la movilidad urbana, es el servicio de transporte público, su uso gestión.

Un SIV basado en el desarrollo e integración de servicios ITS (adecuadamente estandarizados mediante una arquitectura ITS), permitirá a los viajeros, sus usuarios principales, obtener mayor y mejor información sobre las rutas del STP que requieren para llegar desde su origen a su destino, el tiempo de llegada de cierta ruta y la disponibilidad de puestos en cierto vehículo [11].

El mejoramiento de la gestión de la información del STP colectivo mediante el SIV, permitirá mejorar la calidad percibida del servicio al usuario, ya que es un aporte para solventar las diferentes problemáticas de este medio de transporte. Ese mejoramiento puede contribuir a que los ciudadanos incrementen el uso del STP, generando mejoras en los grandes problemas de movilidad en las ciudades (disminuyendo la congestión, accidentalidad y polución) [23].

Adicionalmente, el Gobierno Nacional está apoyando el desarrollo de los denominados SETP, los cuales buscan mejorar las condiciones actuales del servicio público colectivo de las ciudades intermedias del país. La operación de estos SETP es planeada, gestionada y controlada mediante un Sistema de Gestión y Control de Flota (SGCF) y es estructurada con base en estudios realizados por cada ente territorial y validados por la nación a través del Departamento Nacional de Planeación (DNP) [24]. Estos SETP que van a ser implementados en los próximos años en ocho ciudades intermedias del país (de acuerdo a los documentos CONPES, entre ellos [6], [7], [8], [9], [10]) requerirán de un adecuado SIV para que puedan presentar de forma adecuada y oportuna la información a los viajeros.

Con respecto a la estandarización de servicios de movilidad a través de ITS, el Gobierno Nacional generó el Decreto 2060 de 2015, el cual en su artículo 3, define la necesidad de implementar un Sistema Inteligente Nacional de Infraestructura, Tránsito y Transporte SINITT, administrado por el Ministerio de Transporte, con sus respectivos subsistemas, con el fin de garantizar la centralización de la información y por ende la interoperabilidad de los diferentes sistemas. El SINITT presenta una serie de principios que deben cumplir los ITS [25], y también propone 24 servicios prioritarios para el territorio Nacional [26], entre ellos los siguientes servicios: “Información vial”, “Información de ruta”, “Gestión de Información de obras en la vía” e “Información de emergencias al viajero”, los cuales están relacionados con un SIV. Lo anterior evidencia que el trabajo de esta monografía está en línea con las prioridades establecidas con el SINITT, sobre servicios ITS relevantes para el país.

Finalmente, es importante resaltar que, el desarrollo de este SIV utilizó los resultados obtenidos de un Sistema de Gestión y Control de Flota que desarrolló otro grupo de trabajo de grado de la misma línea de investigación en movilidad de la Universidad del Cauca. La integración de estos dos servicios ITS busca contribuir a disminuir la accidentalidad vial y la congestión (para la capital Caucana), en caso de llegar a implementarse.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Desarrollar una prueba de concepto¹ de un SIV, para el STP colectivo basado en el desarrollo de servicios ITS.

1.2.2. Específicos

- Diseñar la arquitectura (funcional y física) adecuada para un SIV del STP colectivo, basándose en arquitecturas ITS de referencia internacional.
- Desarrollar los componentes del SIV, de acuerdo a la arquitectura ITS diseñada.
- Validar el SIV desarrollado, haciendo uso de un conjunto de datos recolectados previamente, que contenga datos de trayectos de vehículos públicos (preferiblemente colectivos).

1.3. Aportes

El trabajo propuesto fortalece la línea de aplicaciones y servicios sobre internet, dedicada a los sistemas y servicios informáticos o de tratamiento de información basada en Internet.

Específicamente los aportes más relevantes del trabajo son:

- El desarrollo de una prueba de concepto de un SIV, que está basada en servicios ITS.
- El desarrollo de componentes software basados en una arquitectura estándar que servirán para la operación del SIV, que también podrán ser utilizados en futuros servicios de movilidad que requieran la información de la operación del transporte público, gracias a las interfaces claras de comunicación a implementar.
- Los resultados obtenidos de la validación del servicio desarrollado.
- Las experiencias adquiridas y los obstáculos presentados, que servirán como una importante base de conocimiento para proyectos similares de movilidad.
- La documentación generada a partir del desarrollo del proyecto, como por ejemplo el documento final del trabajo de grado.

¹ Prueba de concepto: es una implementación, a menudo resumida, de un método o de una idea, realizada con el propósito de verificar que el concepto o teoría en cuestión es susceptible de ser explotada de una manera útil. Se propone desarrollar el sistema en modo prueba de concepto, ya que un prototipo está más relacionado con el nivel de producción (el cual es mucho más avanzado en el nivel de madurez que determina MinCiencias).

1.4. Metodología

Para la definición de la metodología a utilizar en el proyecto, fueron consideradas las siguientes opciones:

- Metodología fundamentada en las buenas prácticas descritas en la Guía del PMBOK [27]
- Metodología de desarrollo en Cascada [28]
- Metodología *Scrum* [29]

El concepto de agilidad fue de gran relevancia, considerando el tiempo de desarrollo disponible. Otros aspectos relevantes fueron la continua retroalimentación del usuario y la oportunidad para identificar cambios necesarios. Considerando estos aspectos, fue seleccionada la metodología *Scrum* para el desarrollo del proyecto de trabajo de grado. Esta metodología brinda además algunas ventajas en el desarrollo de proyectos como: adaptabilidad, ambiente de trabajo abierto, mejora continua, alta velocidad en el desarrollo, ambiente innovador, transparencia, entrega continua de valor y entrega anticipada de valor [29].

Scrum es uno de los métodos ágiles más populares. Es un marco de trabajo adaptable, iterativo, rápido, flexible y eficaz, diseñado para ofrecer un valor considerable en forma rápida a lo largo del proyecto. Una fortaleza clave de *Scrum* radica en el uso de equipos interfuncionales, auto organizados y empoderados que dividen su trabajo en ciclos de trabajo cortos y concentrados llamados *Sprint* [30].

Los procesos de *Scrum* abordan las actividades específicas y el flujo de un proyecto de *Scrum*. En total hay diecinueve procesos fundamentales de *Scrum* que aplican a todos los proyectos. Estos procesos definen cinco fases que son: inicio, planificación y estimación, implementación, revisión y retrospectiva, y lanzamiento.

1.5. Actividades y cronograma

En la metodología *Scrum* seleccionada, las actividades o tareas son determinadas una vez es descrita toda la funcionalidad del proyecto y los actores son identificados. Dicha funcionalidad es dividida en “épicas” y estas épicas son refinadas como “Historias de Usuario (HU)”. Una vez han sido delimitadas las “Historias de Usuario” (descritas desde el punto de vista del usuario final) ya es posible describir claramente las “tareas o actividades” (desde el punto de vista del desarrollador), las cuales deben ser realizadas para cumplir con toda la funcionalidad descrita en las Historias de Usuario (HU).

Debido a esto, el cronograma de actividades del proyecto fue especificado de acuerdo a las etapas de la metodología, identificando tres (3) *Sprints*. El cronograma de trabajo es presentado a continuación en la **Tabla 1**

Nombre de la etapa	Observaciones	Duración en meses				
		1	2	3	4	5
Diseñar la arquitectura adecuada para SIV, basándose en arquitecturas ITS de referencia internacional	Antes de iniciar con la planeación del desarrollo del SIV, es necesario realizar este diseño, que servirá de base para la etapa de inicio.					

Inicio	En esta etapa es definida la funcionalidad a realizar en el SIV, con base a la arquitectura diseñada.					
Planeación y estimación general y del Sprint 1	Planeación general de todos los sprints, detallando el Sprint 1.					
Desarrollo e Implementación Sprint 1						
Revisión y Retrospectiva Sprint 1						
Lanzamiento Sprint 1						
Planeación y estimación del Sprint 2						
Desarrollo e Implementación Sprint 2						
Revisión y Retrospectiva Sprint 2						
Lanzamiento Sprint 2						
Trabajo conjunto con el grupo encargado de recolectar datos, para integrar el trabajo a realizar.	Reuniones y seguimiento con el otro grupo de proyecto de Trabajo de Grado, para garantizar la adquisición de datos (“dataset”) necesarios para la validación del SIV desarrollado.					
Planeación y estimación del Sprint 3						
Desarrollo e Implementación Sprint 3						
Revisión y Retrospectiva Sprint 3						
Lanzamiento Sprint 3						
Documentación continua del proyecto y otros entregables	Preparación monografía, “dataset”, artículo. Revisiones periódicas y realimentación continua de los documentos.					

Tabla 1. Cronograma del proyecto (elaboración propia).

Se aclara que el “documento de inicio” de la metodología Scrum determina entre otros aspectos: el caso de negocio, los objetivos, los roles asignados, las épicas, un Backlog priorizado del proyecto.

Por su parte el “documento de planeación” de la metodología Scrum incluye entre otros aspectos: Las HU de cada uno de los usuarios, en los que se dividen las épicas, las tareas a desarrollar, para cada una de las HU, la priorización de dichas HU en los *Sprints* programados, un Backlog priorizado del primer *Sprint*.

Estos dos documentos (inicio y planeación) y los documentos de resultados del *Sprint* y planeación del siguiente, hacen parte de los Anexos planeados de este trabajo.

1.6. Documento sometido a revista internacional

Fue desarrollado un artículo que resume el trabajo de investigación realizado en este trabajo de grado. Dicho artículo fue presentado en la revista “*IEEE Latin America Transactions*” y está en evaluación actualmente. El contenido del artículo puede revisarse en el **Anexo A**.

1.7. Estructura del Documento

Este documento fue dividido en los capítulos descritos a continuación.

- El capítulo 1 presenta la **introducción** que contiene el planteamiento del problema, los objetivos, las contribuciones de la investigación, la metodología, las actividades y el cronograma, y las publicaciones.
- El capítulo 2 expone el **marco teórico** de los temas relevantes para nuestra investigación. Teniendo en cuenta Sistemas de Transporte Inteligente, Sistemas de Transporte Inteligente, entre otros.
- El capítulo 3 presenta los **trabajos relacionados** y el **estado del arte**, teniendo en cuenta la revisión de literatura que se realizó por medio de un análisis bibliométrico, y la selección de los documentos que hicieron parte del estado del arte. Con dichos documentos fue realizado un análisis comparativo para determinar si se cumplían o no, ciertos parámetros identificados.
- El capítulo 4 presenta la **arquitectura ITS para el SIV**, basada en la revisión de la literatura y en las arquitecturas de referencia americana, europea y el modelo de la Organización Internacional de Estandarización (ISO).
- El capítulo 5 presenta el **diseño y desarrollo de la prueba de concepto del SIV**. Presenta el diseño hardware del SIV y los respectivos módulos software que lo componen, considerando la arquitectura propuesta para el SIV. Posteriormente, presenta información sobre el desarrollo del sistema en modo prueba de concepto (identificación de tipos de usuario, requerimientos, desarrollo de *Sprints* de la metodología *Scrum*, y la base de datos desarrollada, presentando un diagrama de la misma).
- El capítulo 6 presenta las **pruebas diseñadas, los resultados de validación obtenidos, y un análisis de dichos resultados**. El capítulo detalla la integración con el *dataset* desarrollado previamente (por otro grupo de trabajo), las pruebas programadas (indicando el tipo de prueba y el resultado esperado). los resultados obtenidos, un análisis de dichos resultados y finalmente los trabajos futuros que se planteó realizar.
- El capítulo 7 presenta las **conclusiones** obtenidas del trabajo.

Capítulo 2

2. Marco teórico

A continuación, son presentados los conceptos técnicos básicos relacionados con los ITS y los SIV, para contextualizar nuestra propuesta.

2.1. Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)

Un ITS (*Intelligent Transportation System*), hace referencia a una solución tecnológica encargada de mejorar la operación y la seguridad de las diferentes modalidades de transporte; como por ejemplo: reducir el tiempo de viaje, incrementar la comodidad [26] y desplegar la información del tráfico de forma adecuada, monitoreada en tiempo real. De esta forma son generadas alternativas para mejorar la movilidad urbana [31].

En la actualidad, la implementación de nuevas tecnologías, a nivel mundial, en los diferentes mecanismos de control y operación de transporte ha traído numerosas ventajas. Todo esto impulsado por la revolución tecnológica, que utiliza mecanismos que facilitan y agilizan la movilidad; brindando a su vez seguridad y múltiples beneficios a los usuarios.

Los ITS contribuyen a la solución de problemas de congestión de tráfico y de movilidad urbana en calles y carreteras. Esto requiere realizar una gestión de la infraestructura del transporte para mejorar la productividad del sistema, además de contribuir a la reducción de índices de accidentalidad, congestión y mejorar la eficiencia de transporte [32].

2.2. Sistema de Información al Viajero

Los SIV basados en ITS están diseñados para brindar información precisa sobre las condiciones del tráfico y del servicio de transporte; para que los viajeros y los gestores de flotas puedan ajustar horarios, rutas, y modos de viaje en consecuencia a esta información [33].

La generación de información sobre el viaje por parte del operador es un concepto amplio que atraviesa todo el campo de operaciones e implica varias áreas [34]:

- Recopilación de información periódica de las operadoras asociadas.
- Proporcionar información al usuario de las condiciones previstas de tránsito (antes del viaje) o condiciones de tránsito actuales (durante el viaje).
- La contribución que puede hacer la información del usuario a la política de comunicación del operador, es la de una relación entre ambos.
- La carretera y la información de tránsito como un elemento importante para los operadores de gestión de transporte público, de carga y de flotas.

Para poder informar a los colaboradores y a los conductores de manera eficaz, los gestores deben definir primero las rutas de información, y éstas deben ser coherentes con los planes de operación y gestión [34].

2.3. Arquitecturas ITS internacionales

A continuación, se describen las tres iniciativas más importantes en cuanto a arquitectura ITS a nivel internacional.

2.3.1. Arquitectura de Estados Unidos ARC-IT (Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation) versión 8.2

Esta arquitectura (ARC-IT) proporciona una base que facilita la planificación, definición e integración de sistemas de transporte inteligentes. ARC-IT es una arquitectura de referencia, proporciona una base común para los planificadores e ingenieros con diferentes inquietudes para concebir, diseñar e implementar sistemas utilizando un lenguaje común como base para la entrega de ITS, pero no exige ninguna implementación en particular [35].

ARC-IT maneja detrás de los planteamientos de arquitecturas y estructuras de las mismas, los siguientes conceptos:

- Un sistema tiene una arquitectura.
- Las partes que integran el sistema tienen intereses en el mismo.
- Las partes interesadas tienen preocupaciones.
- Los puntos de vista de la arquitectura enmarcan las preocupaciones y las vistas de la arquitectura abordan esas preocupaciones.

A través de estos, ARC-IT forma la base para un lenguaje en común entre sistemas. Como anteriormente se ha mencionado, ARC-IT es una arquitectura de referencia: proporciona la base para la implementación regional y local, con la finalidad de que los implementadores personalicen la arquitectura según sus propias necesidades: primero creando una arquitectura regional que describa la visión a largo plazo de su región de interés, luego definiendo proyectos dentro de esa arquitectura regional y finalmente desarrollando arquitecturas de sistemas de proyectos detallados. [35].

La arquitectura ARC-IT presenta información detallada, mediante gráficos, flujos de información, y componentes de las diferentes áreas de servicio que incluye para el mejoramiento del transporte en general. Esta información es muy útil al momento de proponer determinada arquitectura para un servicio en particular.

2.3.2. Norma ISO relacionada con ITS

Los organismos de estandarización con más presencia mundial en el ámbito de los ITS son: los comités técnicos ISO/TC204 (ISO_TC204, 2009) [23], CEN TC278 (CEN_TC_278, 2007), ETSI TC ITS (ETSI, 2009) [24] y el ISO/TC 22 (ISO/TC_22, 2007), aunque este último está más centrado en los sistemas generales que se relacionan con la construcción de los vehículos [36].

Uno de los referentes es la Organización Internacional de Estandarización (ISO) que, en el año 1993, definió un Comité Técnico ITS ISO/TC204 para establecer las estandarizaciones y normalizaciones ISO para ITS. El propósito de este comité técnico es la estandarización de sistemas de información, comunicación y control en el ámbito del transporte rural y urbano, incluidos aspectos intermodales y multimodales, información al viajero, gestión de tráfico, transporte público, transporte comercial, servicios de emergencia y servicios comerciales en el sistema de transporte Inteligente ITS. Y aunque muchos temas aún se encuentran en desarrollo,

en [37] se puede encontrar publicaciones aprobadas donde se define la arquitectura general para la implementación de sistemas ITS:

Los aspectos claves que esta serie ISO contiene, son los siguientes:

- Asegurar la compatibilidad de los productos.
- Aseguramiento de la interfaz
- Mejora de la eficiencia de producción.
- Garantía de calidad.
- Comunicación precisa, promoción del entendimiento mutuo.
- Prevalencia de tecnologías de la investigación y desarrollo.
- Garantizar seguridad y protección.
- Reducción de la carga ambiental.
- Mejora de la fuerza competitiva industrial, preparación del entorno competitivo.
- Promoción del comercio y más.

El estándar ISO 14813-1 contribuye a establecer las relaciones de interoperabilidad entre los elementos del marco de trabajo. Éste estándar define dentro de una Arquitectura ITS los dominios de servicios, grupos de servicios y servicios [17].

La familia de normas ISO 14813 describe las mejores prácticas para desarrollar una arquitectura ITS. La norma proporciona una arquitectura referencia para ITS que describe una taxonomía de servicios para implementar, propone un estándar para describir soluciones y otro para describir los datos a intercambiar entre los sistemas [17].

2.3.3. Arquitectura FRAME (Framework Architecture Made for Europe)

La arquitectura FRAME comprende los requisitos y las funciones de nivel superior, o los casos de uso, para casi todas las aplicaciones y servicios ITS que han sido considerados para su implementación en algún lugar de la Unión Europea. Está en un "nivel" tal que puede ser utilizado como referencia por todos los arquitectos de ITS, y pretende ser la base para construir los otros tipos de arquitectura que sean necesarios. Les permitirá garantizar el cumplimiento en las interfaces de otros sistemas para que se puedan proporcionar servicios integrales a los viajeros transfronterizos, y se pueda establecer un mercado europeo abierto de componentes compatibles [38].

Una característica distintiva de la arquitectura FRAME es que está diseñada para tener subconjuntos creados a partir de ella y, por lo tanto, es poco probable que se use en su totalidad. FRAME no es tanto un modelo de ITS integrados, sino un marco a partir del cual permite crear modelos específicos de ITS integrados de manera sistemática y común.

La arquitectura FRAME ahora cubre las siguientes áreas de ITS [28]:

- Cobro electrónico de tarifas
- Notificación y respuesta de emergencia: notificación en carretera y en el vehículo
- Gestión del tráfico: urbano, interurbano, estacionamiento, túneles y puentes, mantenimiento y simulación, junto con la gestión de incidentes, la contaminación basada en vehículos de carretera y la demanda de uso vial
- Gestión del transporte público: horarios, tarifas, servicios a pedido, gestión de flotas y conductores
- Sistemas en el vehículo: incluye algunos sistemas cooperativos
- Asistencia al viajero: planificación previa al viaje y durante el viaje.

- Apoyo a la aplicación de la ley
- Gestión de carga y flota
- Brindar soporte para sistemas cooperativos: por ejemplo, uso de carriles de autobuses, estacionamiento de vehículos de carga.
- Interfaces multimodales: enlaces a otros modos cuando sea necesario, por ejemplo, información de viaje, gestión de cruce multimodal.

2.4. Áreas de Servicio en ITS

Las arquitecturas ITS de referencia a nivel mundial como las presentadas en la sección 2.3, trabajan en áreas de servicio que resultan ser conceptualmente muy similares. Aunque algunos nombres de las áreas de servicio no son exactamente iguales, la funcionalidad prestada resulta ser muy similar. Teniendo en cuenta que la arquitectura ARC-IT es la que fue considerada más completa, en cuanto a la información que brinda y los recursos a los que se puede acceder. A continuación se presentan las áreas de servicio con las cuales trabaja actualmente [35]:

- **Operaciones de vehículos comerciales.** Esta área aborda la gestión de la eficiencia, la seguridad y la operación de flotas de vehículos comerciales y el movimiento de carga.
- **Gestión de datos.** Esta área aborda la gestión de datos que pueden ser utilizados por las agencias de transporte y otras organizaciones.
- **Mantenimiento y construcción.** Esta área aborda el monitoreo, mantenimiento, mejora y gestión de la condición física de la carretera y su equipo de infraestructura asociado, así como los recursos disponibles necesarios para llevar a cabo estas actividades.
- **Gestión de estacionamiento.** Esta área aborda la gestión de las operaciones de estacionamiento, incluida la gestión del espacio y el pago electrónico por el estacionamiento.
- **Seguridad Pública.** Esta área aborda la gestión por parte de las agencias de seguridad pública de emergencias o incidentes en la red de transporte.
- **Transporte público.** Esta área aborda la gestión, operaciones, mantenimiento y seguridad del transporte público para permitirles proporcionar servicios de tránsito que operen de manera oportuna y eficiente, entregando información operativa, incluida información multimodal a los operadores y usuarios.
- **Apoyo.** Esta área aborda el monitoreo, mantenimiento y administración del sistema del vehículo conectado que incluye centros, equipos de campo, vehículos y dispositivos de viajero.
- **Viajes sostenibles.** Esta área aborda la operación del sistema de transporte para minimizar el impacto ambiental.
- **Gestión del tráfico.** Esta área aborda la gestión del movimiento de todo tipo de vehículos, viajeros y peatones a través de la red de transporte.
- **Información al viajero.** Esta área aborda la provisión de información tanto estática como dinámica sobre la red de transporte a los usuarios antes y durante sus viajes. Incluye información sobre opciones y transferencias multimodales y el estado de otros modos de transporte para uso de los usuarios. Esta área también cubre la información de señalización estática y dinámica directamente a los conductores a través de dispositivos en el vehículo.
- **Seguridad vehicular.** Esta área aborda la seguridad del vehículo para vehículos automatizados, conectados y no equipados.

- **Clima.** Esta área aborda actividades que monitorean y notifican a los usuarios y gerentes de la red de transporte sobre el clima y las condiciones ambientales que tienen un impacto en la red de transporte por carretera y sus usuarios.

2.5. Technology Readiness Level (TRL)

TRL (Technology Readiness Level) es un concepto propuesto inicialmente por la NASA en los años 70 que tiene como objetivo establecer el grado de madurez tecnológica de las diferentes propuestas de programas. Este concepto es utilizado como referencia por MinCiencias en una adaptación al esquema TRL, para la organización de actividades relacionadas con la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación de los actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación [39]. De esta forma, el TRL sirve para identificar la correspondencia de las actividades de I+D+i (Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación) con las diferentes etapas del desarrollo tecnológico.

En [39], se hace la respectiva identificación de las características de cada nivel, a continuación, se exponen las más relevantes para cada uno:

- **Nivel 1,** Observación de los principios básicos. En este nivel se han postulado y observado cualitativamente los principios básicos de la idea, y se ha completado la investigación científica inicial.
- **Nivel 2,** Formulación del concepto. Aquí se identifican aplicaciones prácticas, que pueden llegar a una invención. Las aplicaciones aún son especulativas y es posible que todavía no haya pruebas o análisis detallados que confirmen estas suposiciones. "Prueba de concepto" para los conceptos de tecnología.
- **Nivel 3,** Prueba de concepto experimental. En este nivel, las actividades que se llevan a cabo son fuertemente de investigación y desarrollo, que incluyen estudios analíticos y estudios a escala de laboratorio para validar físicamente las predicciones de los elementos separados de la tecnología. También se incluyen pruebas de laboratorio, pero todavía no hay intención de integrar componentes en un sistema completo.
- **Nivel 4,** Validación del desarrollo en ambiente de laboratorio. El cuarto nivel corresponde a la validación de componentes básicos, para determinar si los componentes trabajarán en conjunto como un sistema que logre su correcto funcionamiento.
- **Nivel 5,** Validación del desarrollo en el entorno correspondiente. Aquí se integran los componentes tecnológicos para que la configuración del sistema sea similar a la aplicación final en casi todas sus características, aclarando que su operatividad aún está a nivel de laboratorio.
- **Nivel 6,** Demostración del desarrollo en ambiente pertinente. Se comienza a evaluar el sistema en un ambiente de condiciones acordes a las condiciones reales de operación y se genera un prototipo piloto con diseño detallado y con condiciones de escalamiento que permitan llegar a un sistema operativo que sea capaz de desarrollar todas las funciones requeridas por el mismo.
- **Nivel 7,** Demostración del desarrollo en entorno real. En este nivel ya se desarrolla un prototipo completo con un sistema operativo funcional demostrado en entorno real y se realiza la primera prueba piloto y las pruebas finales reales.
- **Nivel 8,** Desarrollo completo y certificado. Este nivel corresponde al sistema completo final y evaluado a través de pruebas y demostraciones.

- **Nivel 9**, Despliegue de desarrollo. Corresponde a la operación del sistema. Aquí la tecnología está en su forma final y operable en una serie de condiciones operativas, lo que da al producto o tecnología para la producción y comercialización en serie.

En base a estas características y la asociación de cada una con las actividades de RTI, **se determinó que el alcance de esta propuesta de trabajo de grado podría alcanzar el nivel 3**, que corresponde a **prueba de concepto experimental**.

2.6. Prueba de concepto, validación de desarrollo y prototipo

En base a las características que ofrece MinCiencias para los diferentes niveles de TRL [39], se pueden establecer algunas diferencias entre las definiciones de prueba de concepto y prototipo. En primer lugar, según el nivel de menor madurez o desarrollo, se ubica la prueba de concepto, que se define como evidencia, típicamente derivada de un proyecto o experimento piloto, que demuestra si un concepto de diseño o propuesta comercial es factible. En base a esto y aplicado al marco de las tecnologías, lo que se busca en esta fase o nivel, es validar físicamente (a escala de laboratorio) las predicciones realizadas en un artículo científico de los elementos separados de la tecnología, a través de actividades de investigación y desarrollo. En este nivel, no hay un estudio del funcionamiento de los elementos trabajando juntos, o un sistema. Este tipo de prueba se considera imprescindible a la hora de crear un prototipo de una operación operativa y válida.

Luego de la prueba de concepto, se encuentra el nivel de validación del desarrollo, donde los diferentes componentes de la tecnología básica comienzan a integrarse para demostrar que pueden trabajar en conjunto y su verificación se da en laboratorios y en ambientes controlados [39]. En esta fase a través de pruebas físicas o de desempeño, se determina si se cumplen los requisitos de una especificación, producto o sistema. Estos se realizan con respecto a las necesidades del usuario, los requisitos y los procesos comerciales realizados para determinar si un sistema cumple con los criterios de aceptación [39].

Asociado a este desarrollo tecnológico aparece el término “prototipo” o “demostrador”, que es el modelo o primer espécimen desarrollado muy próximo al ámbito comercial, que sirve para un posterior desarrollo del producto final y llega a su avance final precisamente en el nivel 7 [39]. A partir de esto, la asociación con un prototipo que aparece en el nivel de validación del desarrollo se presenta en la construcción de una unidad de desarrollo de prototipos, que es el objetivo de este nivel.

Aunque es claro que este trabajo de grado pretende desarrollar un SIV a un nivel 3 de TRL y que por lo tanto se debería mencionar que es una prueba de concepto. Dicho termino no es muy común y podría llegar a confundir cual es el nivel de desarrollo al que se quiere llegar, por tal motivo, se menciona dentro del documento que se va a realizar un **“prototipo en modalidad de prueba de concepto”**.

Capítulo 3

3. Trabajos relacionados y estado del arte

Este capítulo presenta el proceso de revisión de literatura realizado (incluyendo una revisión bibliométrica inicial), para la determinación de los documentos que hicieron parte del estado del arte.

3.1 Revisión de la Literatura

Con la finalidad de establecer un correcto estado de arte, se realizó una revisión de la literatura existente que podía contribuir para el desarrollo del proyecto. Para esto, se realizó inicialmente un análisis bibliométrico, utilizando las bases de datos Scopus y Web of Science, y la herramienta ScientoPy [40]. Posteriormente, con los resultados arrojados en esta etapa, se realizó un análisis de “*Trending Topics*” (tendencias) lo cual permitió un filtrado de información más preciso. Finalmente, fue realizado un análisis complementario que arrojó los documentos incluidos en la sección de documentos relacionados. A continuación, se detalla cada una de las etapas mencionadas anteriormente.

3.1.1. Análisis bibliométrico

Para el estudio de la literatura existente, fue realizado un análisis bibliométrico usando las bases de datos *Scopus* y *Web of Science (WoS)*, donde la ecuación de búsqueda fue “(passenger OR traveller OR traveler) AND information AND system”. Al aplicar la ecuación de búsqueda fueron obtenidos 14.578 documentos, el 08 de noviembre del 2019, el cual fue pre-procesado con la herramienta *ScientoPy* [40] para hacer una limpieza de los datos, removiendo los archivos duplicados, como muestra la **Figura 1**. En la **Figura 1** se observa que el porcentaje de documentos eliminados en la base de datos WoS fue del 1% y el porcentaje de los documentos eliminados en la base de datos Scopus fue del 37%.

Al finalizar la limpieza fueron obtenidos 10.427 artículos.

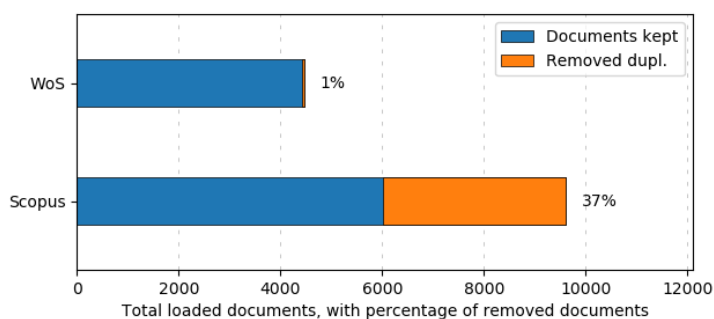


Figura 1. Resultado de documentos cargados y eliminados con ScientoPy (elaboración propia).

La **Tabla 2** presenta el porcentaje y los documentos removidos en cada una de las bases de datos o revistas de forma precisa:

Revista	Documentos Removidos	Porcentaje Removido
Web of Science	56	1.3%

Scopus	3597	37.4%
--------	------	-------

Tabla 2. Documentos removidos por base de datos (elaboración propia).

3.1.2. Análisis de Trending Topics

ScientoPy cuenta una funcionalidad para encontrar “*Trending Topics*” (o tópicos de tendencia), basados en el número de documentos por cada *Author Keyword* (palabra clave de autor) en un intervalo de tiempo, la herramienta lista los primeros 10 por defecto.

Una vez realizada la limpieza del *dataset* fue ejecutada la herramienta para encontrar los primeros diez *trending topics* limitando el periodo de tiempo entre el año 2015 y 2019. La **Figura 2** muestra una gráfica de barras con los primeros diez *trending topics*, donde está resaltado en color naranja el porcentaje de documentos publicados en el último año.

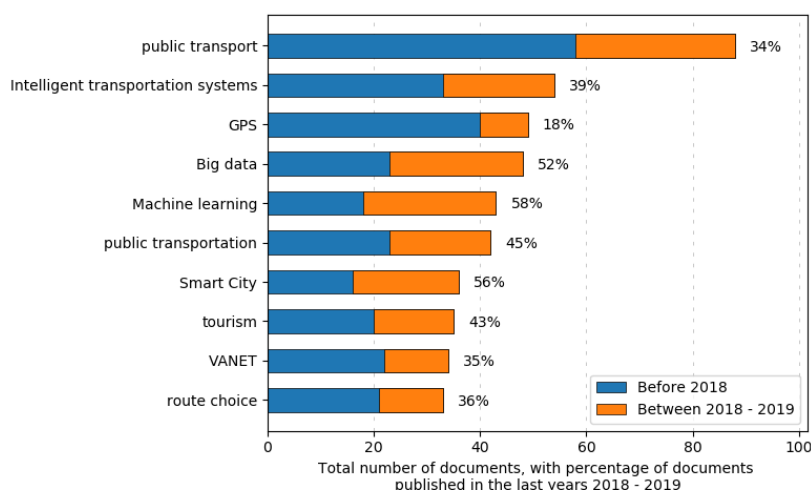


Figura 2. Trending Topics generados con la herramienta ScientoPy (elaboración propia).

Cada uno de los *trending topics* fue descrito por los siguientes datos:

- Total: Número de artículos
- AGR: Tasa promedio de crecimiento
- ADY: Número promedio de documentos por año
- PDLY: Porcentaje de documentos en el último año
- hIndex: Indicador que mide el impacto promedio de las publicaciones

Fue determinado seleccionar los documentos identificados en los 10 primeros *trending topics* para continuar con una revisión más detallada de la literatura.

Los documentos obtenidos (*en dichos trending topics*) fueron 462 documentos. La información de los *trending topics* es presentada a continuación en la **Tabla 3**.

Pos.	AuthorKeywords	Total	AGR	ADY	PDLY	hIndex
1	Public transport	88	-4	15	34.1	10
2	Intelligent transportation systems	54	2	10.5	38.9	10

3	GPS	49	-6	4.5	18.4	5
4	Big data	48	2	12.5	52.1	7
5	Machine learning	43	2.5	12.5	58.1	6
6	Public transportation	42	1	9.5	45.2	6
7	Smart City	36	0	10	55.6	5
8	Tourism	35	-2	7.5	42.9	5
9	VANET	34	1	6	35.3	5
10	Route choice	33	-1	7.5	45.5	6

Tabla 3. Descripción de *trending topics* (elaboración propia).

Además, partiendo del análisis de *trending topics* se hizo un análisis complementario que permitió conocer la evolución del estado del arte en los últimos años.

Como se muestra en la **Figura 3**, la comunidad ha tenido gran interés por trabajos relacionados con tópico denominado “*public transport*” ya que muestra mayor número de documentos acumulados. También se evidencia que el tópico de “GPS” había crecido a un segundo lugar en 2017, pero ha bajado al tercer lugar para 2019. Un tópico de alto crecimiento en los últimos dos años ha sido “*Big Data*”, incrementando en una gran proporción el número de documentos acumulados. El tópico de “*ITS*” ha tenido igualmente un gran crecimiento, llegando a un segundo lugar en 2019.

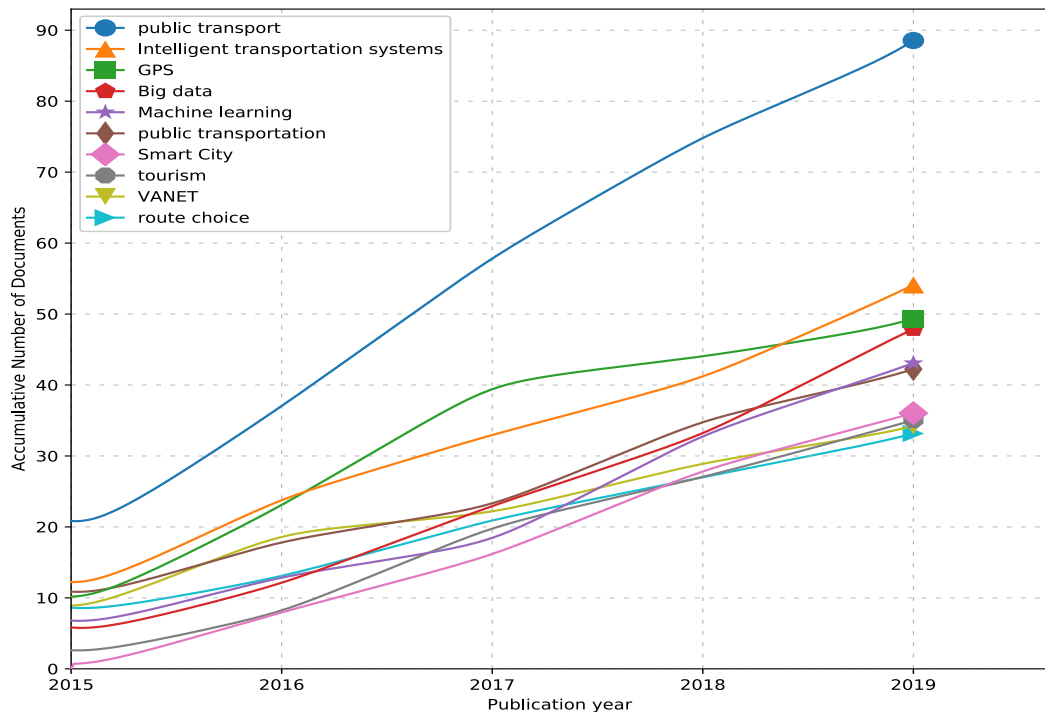


Figura 3 Evolución del estado del arte en los últimos 4 años (elaboración propia).

También fue considerado interesante conocer los *trending topics* cuya velocidad de crecimiento va en aumento. Para ello fueron procesados los datos y se obtuvieron los resultados de la **Figura 4**. “*Machine Learning*” es el *trending topic* con mayor crecimiento respecto al último año, seguido por “*Smart City*”, “*Big data*”, “*public transportation*”, “*tourism*”, y “*Intelligent transportation system*”.

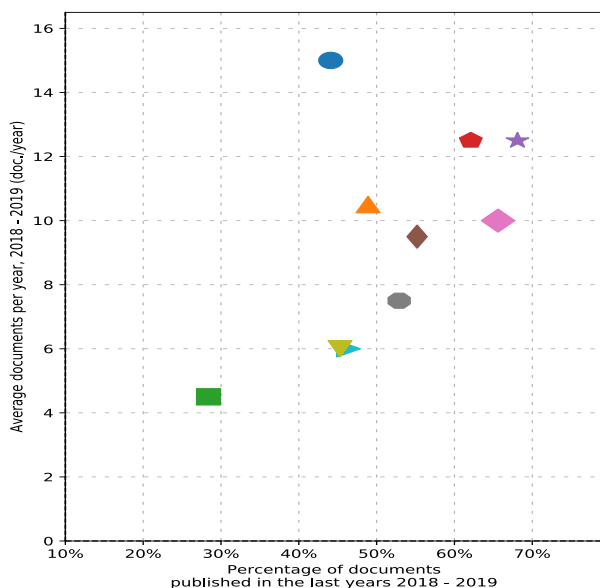


Figura 4. Crecimiento de los *trending topics* en los últimos años (elaboración propia).

La herramienta también permitió conocer el top diez de países que han contribuido al estado del arte en los últimos años. En la **Tabla 4** se presentan los siguientes parámetros que describen la información anteriormente mencionada:

- Pos: Posición en el Top 10 que ocupa el país relacionado.
- *AuthorKeywords*: País que se describe.
- Total: Número de artículos
- AGR: Tasa promedio de crecimiento
- ADY: Número promedio de documentos por año
- PDLY: Porcentaje de documentos en el último año
- hIndex: Indicador que mide el impacto promedio de las publicaciones

Pos.	<i>AuthorKeywords</i>	Total	AGR	ADY	PDLY	hIndex
1	China	816	0.5	187.5	46.0	26
2	Estados Unidos	683	-13.0	138.5	40.4	29
3	India	264	-10.5	50.5	38.3	12
4	Alemania	169	-1.5	37.0	43.8	13
5	Reunido Unido	167	-6.5	29.0	34.7	13
6	Italia	144	-9.0	23.5	32.6	13
7	Japón	137	-2.0	27.5	40.1	7
8	Korea del Sur	133	-2.0	24.5	36.8	14
9	Australia	122	3.5	28.5	46.7	13
10	Francia	109	-2.0	21.5	39.4	10

Tabla 4. Top diez de países que han contribuido al estado del arte (elaboración propia).

La herramienta también permite observar de manera gráfica el porcentaje de documentos aportados por país, como se observa en la **Figura 5**, además permite diferenciar los artículos más recientes, resaltando el porcentaje en color naranja.

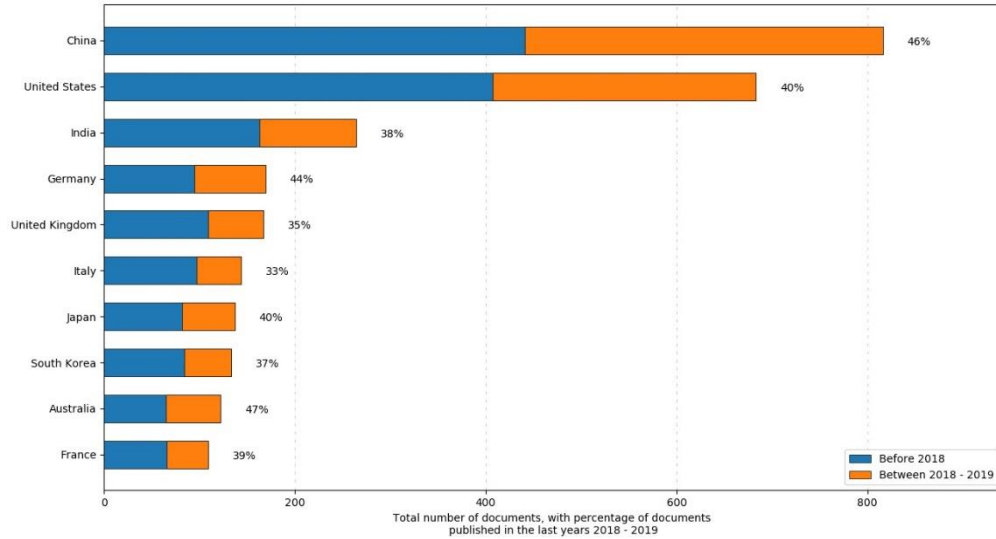


Figura 5. Top diez de países que han contribuido al estado del arte (elaboración propia).

3.1.3. Revisión detallada de la literatura

De los 462 documentos obtenidos, fueron revisados el título y *abstract* (resumen) para descartar documentos cuyo enfoque era diferente al del trabajo descrito en esta monografía. Por otra parte, fue considerado conveniente continuar con la revisión de los documentos con número de citas mayor a 0, descartando los documentos de bajo impacto. Como resultado fueron obtenidos 35 documentos, para pasar a una nueva fase de revisión detallada. En la fase de revisión detallada, fue realizada la lectura completa del contenido de los documentos. Finalmente, fueron elegidos 8 documentos, los cuales fueron incluidos en el estado del arte final, debido a la relevancia del aporte en el proyecto a desarrollar, la innovación tecnológica y el posible impacto en el problema planteado.

Los 35 documentos incluidos en la revisión detallada se presentan en la **Tabla 5**. Además, para facilitar su diferenciación, los artículos elegidos para el estado del arte han sido resaltados en color verde.

Título	Autores	Año
<i>Exposing the role of exposure: Public transport network risk analysis</i>	Cats O.; Yap M.; van Oort N.	2016
<i>Bus travel time prediction using a time-space discretization approach</i>	Kumar, B.A.; Vanajakshi, L.; Subramanian, S.C.	2017
<i>Evaluating the added-value of online bus arrival prediction schemes</i>	Cats, O.; Loutos, G.	2016

<i>Inferring Passenger Travel Demand to Improve Urban Mobility in Developing Countries Using Cell Phone Data: A Case Study of Senegal</i>	Demissie, M.G.; Phithakkitnukoon, S.; Sukhvibul, T.; Antunes, F.; Gomes, R.; Bento, C.	2016
<i>Modeling the impacts of public transport reliability and travel information on passengers' waiting-time uncertainty</i>	Cats, O.; Gkioulou, Z.	2017
<i>Improving service quality in public transportation systems using automated customer feedback</i>	Stelzer, A.; Englert, F.; Horold, S.; Mayas, C.	2016
<i>Environmental impacts of public transport systems using real-time control method</i>	Nesheli, M.M.; Ceder, A.; Ghavamirad, F.; Thacker, S.	2017
<i>GIS-based ride-sharing and DRT in Tehran city</i>	Faroqi H.; Sadeghi-Niaraki A.	2016
<i>A Multi-Agent Advanced Traveler Information System for Optimal Trip Planning in a Co-Modal Framework</i>	Dotoli, M.; Zgaya, H.; Russo, C.; Hammadi, S.	2017
<i>How network structure can boost and shape the demand for bus transit</i>	Badia H.; Argote-Cabanero J.; Daganzo C.F.	2017
<i>UrbanEye: An Outdoor Localization System for Public Transport</i>	Verma, R.; Shrivastava, A.; Mitra, B.; Saha, S.; Ganguly, N.; Nandi, S.; Chakraborty, S.	2016
<i>Exploiting IoT and big data analytics: Defining Smart Digital City using real-time urban data</i>	Rathore M.M.; Paul A.; Hong W.H.; Seo H.; Awan I.; Saeed S.	2018
<i>Exploiting Real-Time Big Data to Empower Smart Transportation using Big Graphs</i>	Rathore, M.M.; Ahmad, A.; Paul, A.; Thikshaja, U.K.	2016
<i>A Big Data Architecture for Traffic Forecasting Using Multi-Source Information</i>	Petalas, Y.G.; Ammari, A.; Georgakis, P.; Nwagboso, C.	2017
<i>Real-time incident clearance time prediction using traffic data from internet of mobility sensors</i>	Al-Najada H.; Mahgoub I.	2018
<i>Smart City Mobility Simulation and Monitoring Platform</i>	Suciu, G.; Butca, C.; Dobre, C.; Popescu, C.	2017
<i>Comprehensive survey on security services in vehicular ad-hoc networks</i>	Azees, M.; Vijayakumar, P.; Deborah, L.J.	2016
<i>Advanced traveller information systems under recurrent traffic conditions: Network equilibrium and stability</i>	Bifulco, G.N.; Cantarella, G.E.; Simonelli, F.; Velona, P.	2016
<i>Efficient Data Reporting in Intelligent Transportation Systems</i>	Anisi, M.H.; Abdullah, A.H.	2016
<i>Spatiotemporal Segmentation of Metro Trips Using Smart Card Data</i>	Zhang, F.; Zhao, J.J.; Tian, C.; Xu, C.Z.; Liu, X.; Rao, L.	2016
<i>Uncertainty in Bus Arrival Time Predictions: Treating Heteroscedasticity With a Metamodel Approach</i>	O'Sullivan, A.; Pereira, F.C.; Zhao, J.H.; Koutsopoulos, H.N.	2016
<i>A Big Data Architecture for Traffic Forecasting Using Multi-Source Information</i>	Petalas, Y.G.; Ammari, A.; Georgakis, P.; Nwagboso, C.	2017
<i>A Collaborative Routing Method with Internet of Vehicles for City Cars</i>	Wu L.B.; Fan J.; Nie L.; Cui J.Q.; Zou Y.F.	2017
<i>SORS: A Scalable Online Ridesharing System</i>	Cici, B.; Markopoulou, A.; Laoutaris, N.	2016
<i>Integration of Smart Phone and IOT for development of Smart Public Transportation System</i>	Sutar, S.H.; Koul, R.; Suryavanshi, R.	2016
<i>Design and Implementation of Vehicle Navigation System in Urban Environments using Internet of Things (Iot)</i>	Godavarthi, B.; Nalajala, P.; Ganapuram, V.	2017
<i>Prediction of Bus Travel Time using ANN: A Case Study in Delhi</i>	Amita, J.; Jain, S.S.; Garg, P.K.	2016
<i>VEHICLE TRACKING AND MONITORING SYSTEM TO ENHANCE THE SAFETY AND SECURITY DRIVING USING IoT</i>	Anusha, A.; Ahmed, S.M.	2017

<i>Smart Public Transport for Smart Cities</i>	Vakula, D.; Raviteja, B.	2017
<i>Real time trans bus tracking and passenger information system using hybrid application technology</i>	Buana P.W.; Made Sukarsa I.; Purwania I.B.G.; Prasetya I.G.B.Y.	2016
<i>Traveling time prediction in scheduled transportation with journey segments</i>	Gal A.; Mandelbaum A.; Schnitzler F.; Senderovich A.; Weidlich M.	2017
<i>An Internet-of-Things Enabled Connected Navigation System for Urban Bus Riders</i>	Handte, M.; Foell, S.; Wagner, S.; Kortuem, G.; Marron, P.J.	2016
<i>A big data approach for smart transportation management on bus network</i>	Wang Y.; Ram S.; Currim F.; Dantas E.; Saboia L.A.	2016
<i>Utilizing Real-Time Travel Information, Mobile Applications and Wearable Devices for Smart Public Transportation</i>	Chow, V.T.F.; Sung, K.W.; Meng, H.M.; Wong, K.H.; Leung, G.K.S.; Kuo, Y.H.; Tsoi, K.K.F.	2016
<i>Efficient Pairing-Free Certificateless Authentication Scheme With Batch Verification for Vehicular Ad-Hoc Networks</i>	Gayathri, N.B.; Thumbur, G.; Reddy, P.V.; Rahman, M.Z.U.	2018

Tabla 5. Documentos incluidos en la revisión detallada (elaboración propia).

3.2. Estado del Arte

La revisión bibliométrica realizada y la posterior revisión detallada de la literatura, tuvo como resultado ocho (8) artículos referentes a trabajos de investigación que presentan relación con el sistema por desarrollar (en modo prueba de concepto). A continuación, se presenta la descripción de cada uno de estos trabajos.

- Utilizing Real-Time Travel Information, Mobile Applications, and Wearable Devices for Smart Public Transportation.

En [41] se propone una plataforma en la nube, que trabaja con datos en tiempo real que contienen información sobre viajes en un STP. Dicha plataforma está enfocada para dispositivos móviles y *wearables* que faciliten el transporte público inteligente en Hong Kong. La plataforma propuesta cuenta con variados beneficios, brinda información sobre el STP en tiempo real y además realiza recomendaciones personalizadas a los usuarios. Entre las novedades de esta plataforma, está incluida la medida de la velocidad de la marcha actual del usuario y el uso de los tiempos de llegada estimada en tiempo real de los vehículos públicos.

A diferencia del sistema a desarrollar, esta propuesta trabaja en un contexto diferente al de un país en desarrollo, debido a que fue realizado en la ciudad de Hong Kong. Además de esto, el sistema no está basado en una arquitectura ITS.

- Smart City Mobility Simulation and Monitoring Platform.

El artículo [42] parte de la problemática de la congestión vial y la solución aportada por los ITS, teniendo en cuenta diferentes opciones para buscar minimizarla. El artículo también menciona la carencia de una plataforma diseñada para ITS, de tipo colaborativa, lo cual genera el difícil ingreso y adaptación de nuevos servicios. El artículo propone como solución una plataforma para ecosistemas que permite a las comunidades involucradas explotar el valor compartido de culturas colaborativas y movilidad (aprovechando más allá de lo que proponen las redes sociales).

El aporte innovador de este proyecto es la plataforma de tipo colaborativo centrada especialmente en el usuario, buscando entre otros aspectos que la interfaz de usuario sea innovadora, eficaz y confiable.

Entre las diferencias con el trabajo propuesto, se identifica que no desarrolla un sistema basado en servicios ITS, ni una arquitectura ITS adecuada. La arquitectura ITS propuesta en este artículo, no está basada en estándares internacionales.

- Smart Public Transport for Smart Cities.

En [43] los autores proponen una arquitectura inteligente del STP que consiste básicamente en tres módulos, a través de los cuales los usuarios pueden generar el máximo provecho del transporte público. Los módulos propuestos en este trabajo son los siguientes:

- Módulo transmisor de autobuses.
- Módulo de control de terminal de bus.
- Módulo de servicio al pasajero.

Este artículo conserva elementos de gran relevancia y aporte para el SIV a diseñar, debido a que plantea una arquitectura inteligente del transporte público; incluyendo el servicio al pasajero, lo cual es de gran utilidad en el diseño y aplicación del sistema propuesto.

Cabe resaltar que, a diferencia del trabajo propuesto en este documento, el trabajo de este artículo no desarrolla ningún servicio o módulo, únicamente plantea la aplicación de una arquitectura ITS.

- Comprehensive Survey on Security Services in Vehicular Ad-Hoc Networks.

Los autores de [44] exponen los desafíos de seguridad presentes en redes vehiculares ad-hoc (VANET) y resumen los principales ataques que sufren estas redes a los servicios de seguridad, relacionados con la disponibilidad, confidencialidad e integridad de los datos, autenticación y no repudio.

Este proyecto puede aportar en el estudio de la implementación de una arquitectura ITS, aportando en aspectos relacionados con seguridad.

Por otra parte, este artículo pretende resolver problemas de seguridad en redes vehiculares, pero no involucra la implementación de una arquitectura ITS, ni presenta opciones para integrar estas soluciones de seguridad al STP en el contexto de una ciudad intermedia de un país en desarrollo.

- Traveling time prediction in scheduled transportation with journey segments.

En [45] los autores realizan una investigación basada en datos generados por una red de buses en Dublín sobre el proceso de predicción y estimación del tiempo de viaje, dado un par de “origen/destino” para un viaje programado en autobús; para esto combinan distintos métodos que van desde la teoría de colas, hasta el proceso de aprendizaje automático predictivo. El artículo resalta la consideración de los datos históricos, como flujos de información en tiempo real. Del mismo modo, propone un modelo basado en la segmentación natural de datos de acuerdo con las paradas del autobús y un conjunto de predictores, además de emplear técnicas de *Machine Learning (ML)* para solucionar la aparición de valores atípicos en el proceso de predicción.

Este artículo aporta de manera importante al proyecto, presentando soluciones innovadoras y eficaces de procesos predictivos de rutas que pueden emplearse para el diseño y desarrollo del SIV a proponer.

El proyecto únicamente desarrolla el planteamiento de un proceso de predicción y estimación del tiempo de viaje, además fue ejecutado en Dublín, que es un contexto bastante diferente al propuesto en el trabajo descrito en este documento.

- A Multi-Agent Advanced Traveler Information System for Optimal Trip Planning in a Co-Modal Framework.

En [46] se presenta un SIV avanzado para el transporte público y privado que incluye servicios de uso compartido, planificación previa al viaje, elección de medios de transporte, rutas y otros. El SIV que propone este trabajo utiliza una arquitectura basada en agentes y una optimización de objetivos múltiples. Con esto, puede responder a las solicitudes de planificación de viajes de varios usuarios en un entorno co-modal, considerando preferencias de vehículo y criterios en conflicto.

Además, este trabajo utiliza elementos importantes que aportan en el desarrollo del SIV a proponer, como la implementación de una arquitectura, respuesta a múltiples criterios de usuarios. Así mismo, muestra una alternativa de optimización en los tiempos de viaje, permitiendo así la orientación y reducción del tráfico. Sin embargo, no hace énfasis en una arquitectura estándar que garantice la interoperabilidad con otros sistemas. Por otra parte, existe una brecha considerable en el contexto del trabajo, considerando que el artículo utiliza la ciudad europea de Lille (Francia) como caso de estudio.

- Improving service quality in public transportation systems using automated customer feedback.

En [47] se evalúa la necesidad de un intercambio de información automatizado y estandarizado, entre los viajeros y la empresa de transporte para mejorar la calidad del STP. Por lo tanto, define las necesidades y expectativas de las empresas de transporte y los viajeros. Además, propone el uso de un enfoque novedoso para los sistemas bidireccionales de información y comunicación en el transporte público. Como resultado describe escenarios de aplicación para el uso de la información del cliente y destaca las ventajas de este enfoque, especialmente para los procesos de despacho de vehículos. Además, señala los beneficios para los clientes y las empresas de transporte con respecto a la calidad del servicio.

Este artículo a diferencia del trabajo descrito en este documento, no tiene en cuenta el contexto de una ciudad intermedia de un país en desarrollo, ya que la prueba de concepto es realizada en la ciudad de Darmstadt - Alemania, donde la mayoría del STP funciona sobre las vías férreas existentes, sin compartir las vías del transporte particular.

- Uncertainty in Bus Arrival Time Predictions: Treating Heteroscedasticity with a Metamodel Approach.

Las predicciones de la hora de llegada para el próximo autobús disponible son un componente clave de los SIV modernos. Sin embargo, la naturaleza estocástica y no lineal inherente de estos sistemas, provoca predicciones no precisas con fuentes de error que varían en función de las condiciones climáticas, tráfico y muchas otras fuentes. En [48], los autores abordan la

incertidumbre en las predicciones de tiempo de llegada del autobús utilizando un enfoque alternativo. Como estudio de caso, este enfoque aplica a los datos de un SIV real en Boston.

Por otra parte, a diferencia de la propuesta del trabajo descrita en este documento, este artículo no hace mención a una arquitectura estándar para un ITS, ni tiene en cuenta el contexto de una ciudad intermedia de un país en desarrollo.

Con el fin de visibilizar las diferencias encontradas en los artículos que componen el estado del arte y evidenciar más fácilmente los aportes del trabajo descrito en este documento, a continuación, están relacionados los criterios de comparación con su respectiva descripción:

- Uso de arquitecturas ITS. Identifica si el trabajo realizado en el artículo tuvo en cuenta para una arquitectura ITS como base para su diseño y/o desarrollo.
- Desarrolla un SIV. Este criterio identifica si en el trabajo realizado se desarrolló un sistema que permite al usuario viajero acceder a información que pueda ser útil para planificar y realizar su viaje.
- Aporta a la disminución de la congestión vehicular. Identifica si el trabajo desarrollado aporta directa o indirectamente a la disminución de la congestión vehicular. La congestión vehicular es uno de los principales problemas de movilidad en las ciudades y a través de un SIV es posible aportar en su disminución.
- Trabaja en un contexto de una ciudad intermedia de un país en desarrollo. Identifica si el trabajo del artículo se desarrolló en el contexto de interés o está desarrollado en un contexto diferente.
- Soporta envío de información en tiempo real. Este criterio identifica si el trabajo permite el envío de datos referente a flujo vehicular en tiempo real; debido a que es la base para la aplicación de un SIV en un entorno real.
- Estima tiempos de llegada de un viaje. Identifica si esta funcionalidad, que fue considerada relevante para el SIV propuesto, es incluida o no por el trabajo revisado.
- Permite un entorno colaborativo. El SIV propuesto consideró relevante el envío de datos en los dos sentidos, desde el SIV al viajero y del viajero al SIV. Este último sentido debido a que los viajeros pueden reportar novedades sobre las condiciones de la vía (accidentes o alto nivel de tráfico).

Finalmente, la **Tabla 6** presenta los criterios de comparación que se evaluaron en cada uno de los artículos tenidos en cuenta en el estado del arte. En la fila final se evidencia que el trabajo descrito en este documento cumple con todos los criterios identificados, lo cual no sucede con ninguno de los otros trabajos revisados.

Es posible apreciar en la **Tabla 6** que en los trabajos relacionados el uso de una arquitectura ITS como referencia, no se realizó en la gran mayoría de trabajos. Este aspecto es muy importante para poder garantizar interoperabilidad con otros sistemas o servicios de movilidad. El contexto utilizado en cada uno de los trabajos también es relevante, ninguno de los trabajos revisados fue desarrollado en una ciudad latinoamericana (que son ciudades comúnmente de un país en desarrollo), lo cual hace relevante que el trabajo de grado considere este aspecto. El contexto de una ciudad latinoamericana genera ciertas restricciones respecto a presupuesto de implementación, características del medio de transporte, infraestructura vial, entre otros. El entorno colaborativo también es un factor importante a considerar, ya que muy pocos trabajos (solo dos) de los revisados lo tuvieron en cuenta. La colaboración que puede realizar el viajero en cuanto a actualización de eventos que afecten la movilidad en la ciudad, es un aspecto que puede mejorar la calidad de la información y la validación que provean otras fuentes.

	CRITERIOS DE COMPARACIÓN						
Trabajo revisado o propuesta	Uso de arquitectura ITS	Desarrolla un SIV	Aporta a la disminución de la congestión vehicular	Trabaja en un contexto de ciudad latinoamericana	Emplea información en tiempo real	Estima tiempos de llegada de un viaje	Permite un entorno colaborativo
[41]	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI
[42]	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO
[43]	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
[44]	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
[45]	NO	NO	SI	NO	SI	SI	NO
[46]	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
[47]	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI
[48]	NO	NO	SI	NO	SI	SI	NO
Propuesta del Trabajo de grado	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla 6. Artículos y criterios que los relacionan (elaboración propia).

Capítulo 4

4. Arquitectura ITS para el SIV

4.1. Introducción.

Los ITS ofrecen soluciones tecnológicas encargadas de mejorar la operación y la seguridad de diferentes modos de transporte; reducir el tiempo de viaje; e incrementar la comodidad mediante la captura, almacenamiento y despliegue de información del tráfico, monitoreada en tiempo real. De esta forma se generan alternativas para mejorar la movilidad ([26], [31]).

Para el desarrollo de este trabajo, fue considerado conveniente evaluar el uso de los servicios ITS para obtener un mejoramiento adecuadamente planeado de la movilidad de las ciudades intermedias de Colombia. Estos ITS son implementados en la mayoría de países desarrollados a través de los denominados servicios ITS (dividiendo la funcionalidad general de un ITS en servicios con un alcance limitado, mucho más manejable), haciendo uso de una arquitectura ITS específica. Una arquitectura ITS permite identificar los diferentes componentes (módulos) que conforman determinado servicio, determina cómo es la interacción entre los actores (usuarios del servicio) y dichos componentes y cuál es la información (contenido y estructura) que se intercambia entre dichos componentes.

Para definir una arquitectura adecuada para el trabajo a realizar (tanto general, como específica), teniendo en cuenta el contexto de interés, se realizó un estudio de las arquitecturas más utilizadas en el mundo, entre las cuales se encuentran la arquitectura americana también conocida como ARC-IT [35], la definida por la Organización Internacional de Normalización (ISO mediante el estándar 14813) [49], y la arquitectura europea o mejor conocida como FRAME [38]. Estas arquitecturas ITS son un referente a nivel mundial, tienen una muy buena documentación, y han mejorado progresivamente mediante actualizaciones continuas (que surgen de su aplicación en entornos reales), por lo cual son consideradas una base adecuada para tomar como referencia. Estas arquitecturas ya fueron mencionadas en las subsecciones 2.3.1, 2.3.2, y 2.3.3.

4.2. Arquitecturas de servicios ITS relacionadas con el SIV.

4.2.1. Servicio de Información al Viajero en ARC-IT

Considerando que el sistema propuesto pretende brindar información al viajero del servicio público colectivo en una ciudad intermedia, en la arquitectura americana ARC-IT el servicio que más se adapta a las funcionalidades esperadas es el PT08 denominado *Transit Traveler Information*, en el área de transporte público. La **Figura 6** presenta el diagrama físico del servicio *PT08: Transit Traveler Information* de ARC-IT [35].

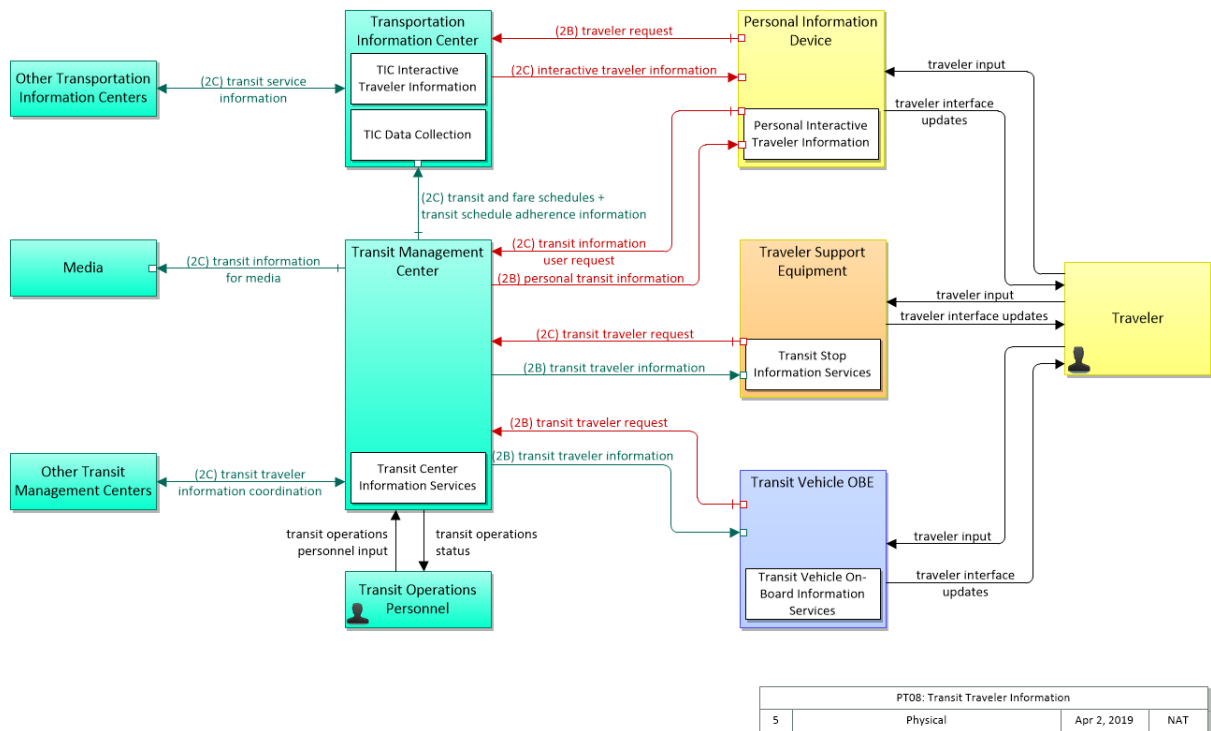


Figura 6. Servicio PT-08 de la arquitectura ARC-IT (fuente: [35]).

En la **Figura 6** se presenta el servicio PT-08, el cual proporciona a los usuarios de tránsito un acceso rápido a la información del mismo. Los servicios de información incluyen anuncios de paradas de tránsito, señales de llegada inminente y pantallas de horarios de tránsito en tiempo real que son de interés general para estos usuarios. Los sistemas que brindan itinerarios de viaje en tránsito personalizados y otros servicios de información de tránsito personalizados también están representados por este paquete de servicios.

4.2.2. Servicio de Información al Viajero en FRAME

La arquitectura europea (FRAME) organiza las funcionalidades en 10 grupos llamados áreas funcionales, de las cuales, la de principal interés para este trabajo es el número 6, denominada *Provide Traveler Journey Assistance*. Esta área proporciona información a todo tipo de viajeros, como por ejemplo: información previa al viaje, rutas especiales para vehículos de emergencia, información de alojamiento, y otros modos de transporte. La **Figura 7** presenta las funcionalidades de alto nivel que enmarca el área funcional *Provide Traveler Journey Assistance* de la arquitectura FRAME. También muestra el flujo de información con las entradas y salidas de cada bloque.

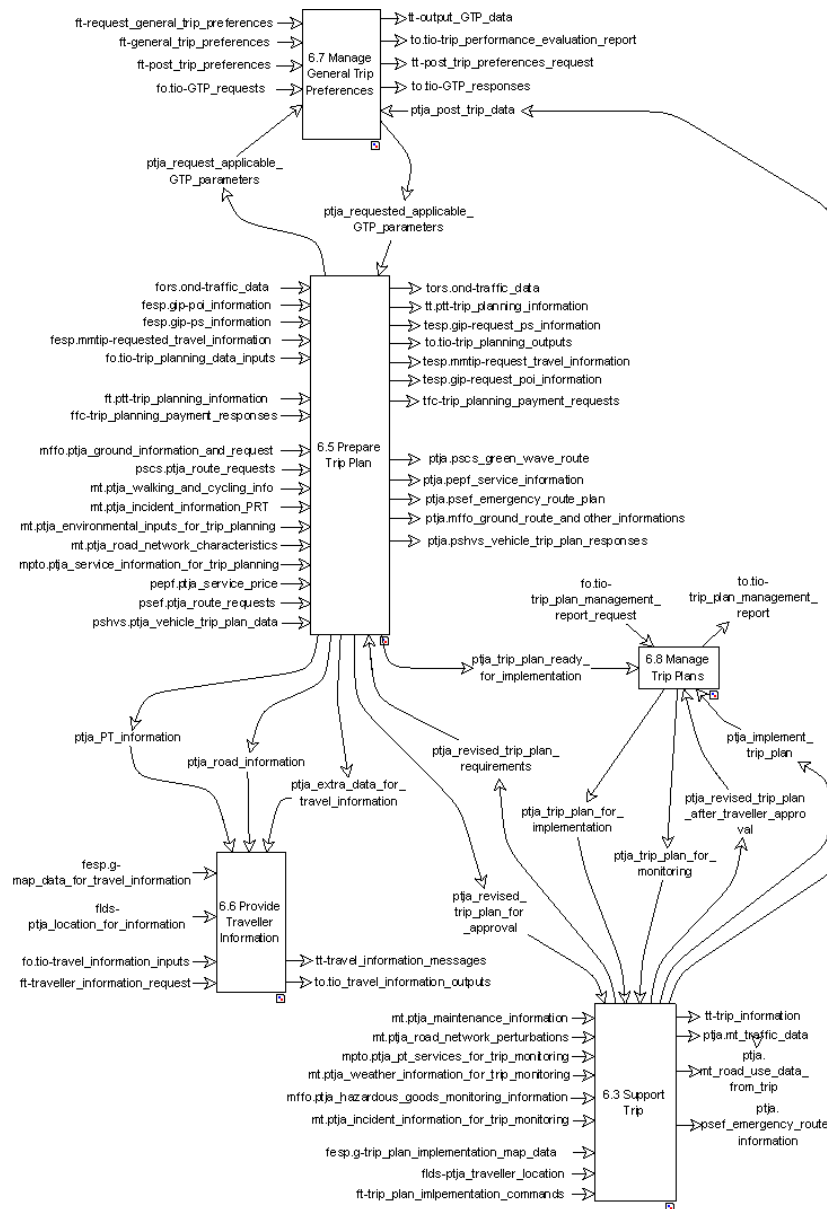


Figura 7. Funcionalidad de alto nivel del área “Provide Traveler Journey Assistance” de FRAME (fuente: [50])

Esta área funcional es bastante general y involucra muchas funcionalidades que están fuera del alcance de este trabajo, que se enfoca en brindar información al viajero referente al STP, no incluye otros modos de transporte. Por otra parte, esta área funcional de FRAME tiene en cuenta múltiples viajeros en distintas situaciones como ciclista, viajero estático, viajeros de vehículo compartido (*car pooler*), conductor de vehículo, pasajero de transporte público, viajero antes del viaje, peatones, pasajero de servicio a demanda [50]. Por lo anterior, fue considerada específicamente una función de dicha área funcional, la función seleccionada fue la 6.6 denominada *Provide Traveler Information* cuya arquitectura es presentada en la **Figura 8**.

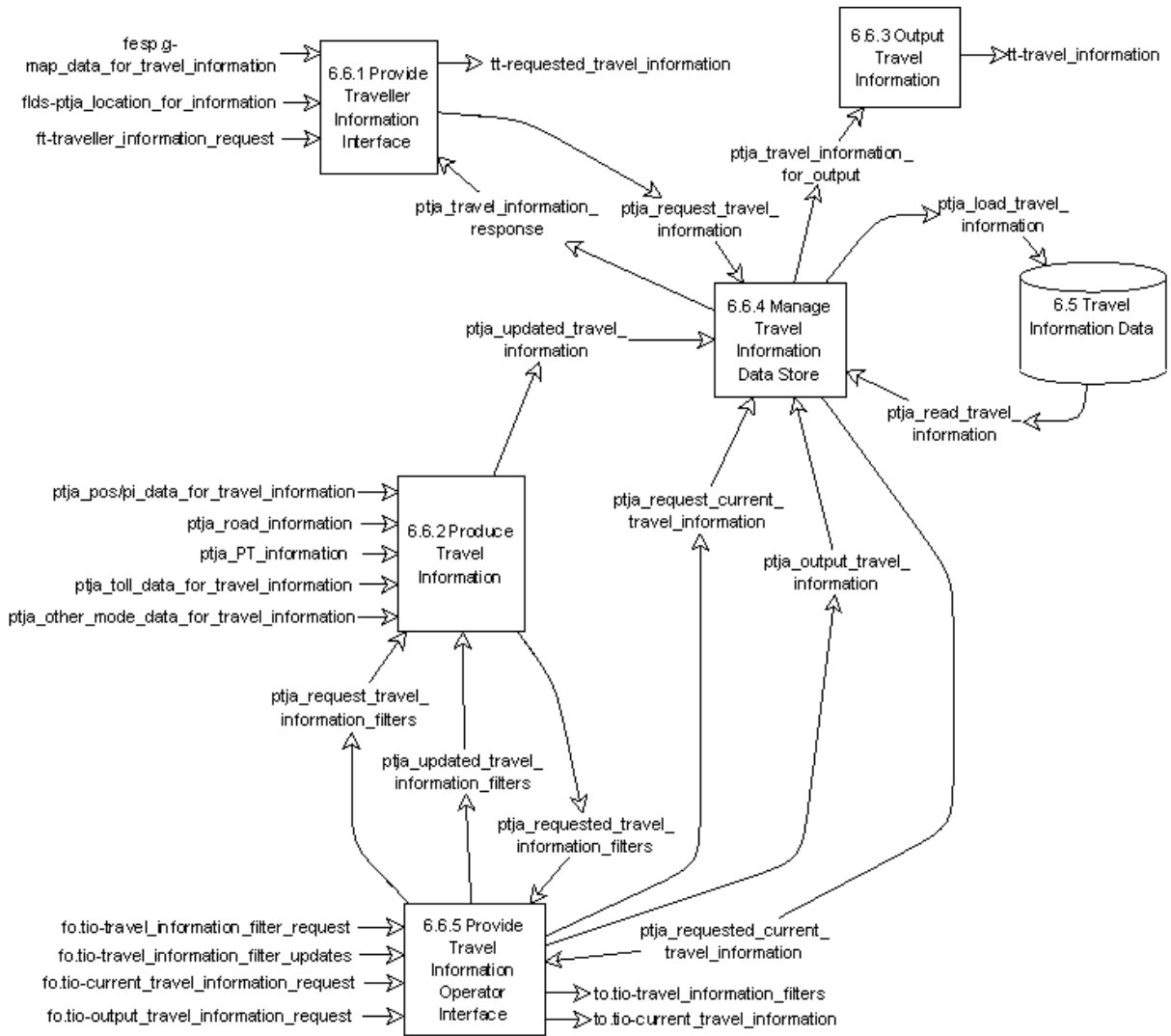


Figura 8. Función “Provide Traveler Information” de FRAME (fuente: [50])

4.3. Selección de una arquitectura ITS modelo o de referencia.

Luego de hacer una revisión general de las arquitecturas ITS más relevantes a nivel internacional y de sus paquetes de servicio, fue realizado un estudio los servicios específicos de cada arquitectura relacionados con el SIV y cómo estos pueden contribuir al diseño de una arquitectura. También fue considerado el contexto de interés, de una ciudad intermedia en un país en desarrollo.

La **Tabla 7** presenta una comparación de las arquitecturas mencionadas anteriormente, con el fin de definir la de mayor aporte para el sistema a desarrollar. En la tabla fueron considerados diferentes aspectos de interés sobre las arquitecturas.

Arquitectura ITS	Acceso libre a la información	Actualización reciente (hace 4 años o menos)	Presentación de arquitectura por servicio
ARC-IT	Si	Si	Si
ISO 14813	No	Si	No
FRAME	Si	Si	No

Tabla 7. Comparación de las arquitecturas ITS (elaboración propia).

De acuerdo a la anterior tabla comparativa fue tomada como referencia la arquitectura americana ARC-IT y se consideró tener en cuenta las funcionalidades de FRAME relacionadas con nuestro sistema.

4.4. Arquitectura propuesta para el SIV

En la **Tabla 5** se observa que la arquitectura ARC-IT brinda bases de mayor aporte para realizar el diseño de la arquitectura y desarrollar el sistema propuesto en el trabajo de grado, principalmente por que se enfoca en el STP, dejando de lado otros elementos que pueden incrementar demasiado el alcance para este caso.

Un aspecto importante de ARC-IT es la clasificación de los objetos físicos dentro de la arquitectura ITS de cualquier servicio. Esto ayuda a visualizar clara y rápidamente la clase de objeto en cuestión. Existen cinco clases de objetos físicos: Sistemas de soporte, Centros, Equipo de campo, Vehículos y Dispositivos del viajero), diferenciadas por color en cada uno de los diagramas [51].

Una de las características específicas de FRAME fue considerada para el diseño de la arquitectura propuesta. La centralización de la información en el bloque denominado “*Manage Traveler Information Data Store*” permite que la base de datos solo sea accedida directamente por dicho bloque. Esta característica ayuda a mejorar la seguridad de los datos ya que limita su acceso a solo un objeto funcional del sistema.

La **Figura 9** presenta la arquitectura ITS propuesta para el SIV a diseñar y desarrollar en este trabajo, la cual fue una adaptación de algunos servicios de la arquitectura ARC-IT, considerando algunos aspectos importantes de la arquitectura FRAME y del contexto de interés.

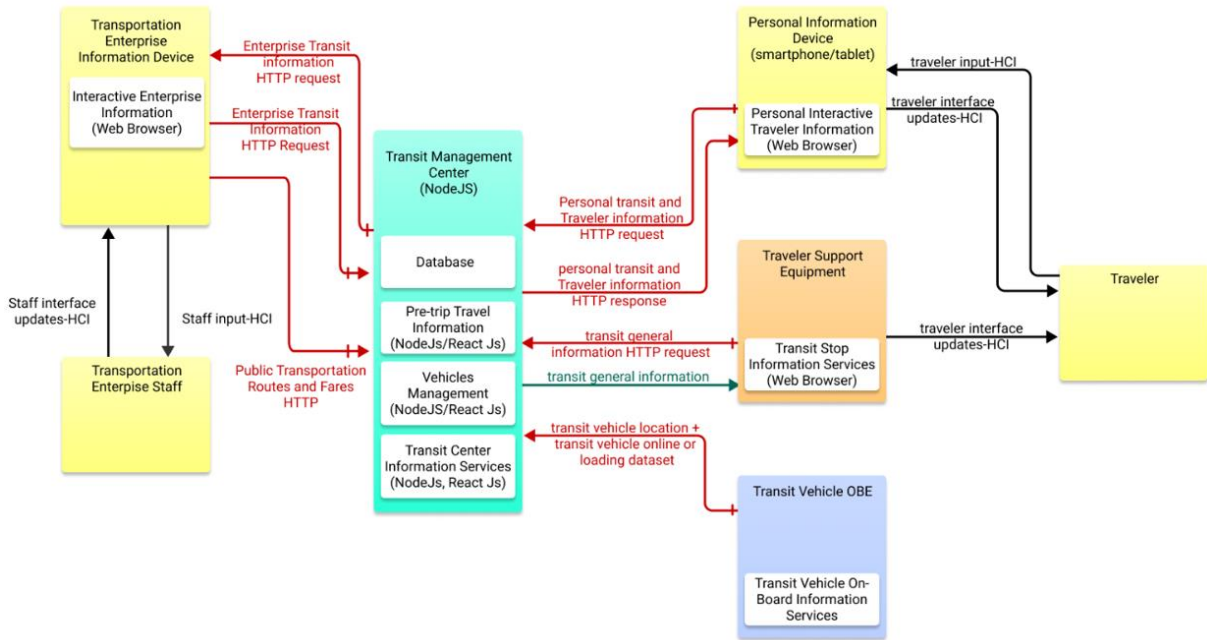


Figura 9. Arquitectura propuesta para el SIV (elaboración propia).

4.4.1. Módulos de la arquitectura

A continuación, se encuentran relacionados cada uno de los módulos y su descripción detallada para una mejor comprensión de la arquitectura:

Traveler. El "Viajero" representa a cualquier persona que utilice los STP. Las interfaces para el viajero proporcionan información general previa al viaje y en ruta que respalda la planificación del viaje, la orientación personal y las solicitudes de asistencia en caso de emergencia que son relevantes para todos los usuarios del sistema de transporte. Las interfaces con las que el viajero interactúa son dos: de forma activa con su dispositivo personal (*Personal Information Device*) y de forma pasiva con el equipo de apoyo al viajero (*Traveler support Equipment*) que son dispositivos ubicados en espacios públicos, generalmente estaciones de parada.

Personal Information Device. Es un dispositivo capaz de recibir y capturar datos del viajero relacionados a la planificación del viaje y guía de la ruta, este módulo puede ser un *Smartphone*, una *laptop*, o una *tablet*. Este módulo cuenta a su vez con un submódulo que se describe a continuación:

- *Personal Interactive Traveler Information.* Este sub-módulo es el entorno sobre el cual se ejecutan las acciones requeridas por el usuario, generalmente es un navegador (WEB) o una aplicación.

Traveler Support Equipment. El equipo de apoyo al viajero son dispositivos físicos que, por medio del sub-módulo funcional *Transit Stop Information Services*, brindan acceso a la información del viajero en estaciones o paradas autorizadas. Se pueden tener pantallas informativas que muestren información de horarios, señales de llegada de vehículos.

Transit Management Center (TMC). Es el módulo central de la arquitectura. Gestiona los datos recibidos de los vehículos, también de las rutas, los usuarios de las empresas de transporte, los recorridos que el usuario configura, los recorridos de los vehículos y demás información del sistema. Los datos de los recorridos realizados por los vehículos se tienen planeado obtenerlos para este trabajo, a través de la gestión de un *dataset* (el cual fue desarrollado por otro grupo de trabajo de proyecto de grado sobre recorridos de vehículos de transporte público). Sin embargo, lo sugerido en la arquitectura ITS es obtener los datos referentes a la ubicación de los vehículos directamente desde un dispositivo.

El módulo físico TMC está compuesto por los siguientes sub-módulos funcionales:

- *Database.* Es el sub-módulo encargado de gestionar todos los datos generados por el sistema, para posteriormente acceder a ella, permitiendo responder a las solicitudes de los dispositivos que controla el viajero y otros usuarios finales.
- *Pre-trip Travel Information.* Es el sub-módulo encargado de gestionar la información previa al viaje, permitiendo al viajero (a través de su dispositivo) obtener la información para tomar decisiones respecto al viaje y efectuar estimaciones de tiempo de viaje y decisiones de ruta previas al viaje.
- *Vehicles Management.* Es el sub-módulo encargado de procesar los datos que provienen de los vehículos.
- *Transit Center Information Services.* Este sub-módulo recopila datos frecuentemente y y los pone a disposición de los usuarios. La información proporcionada puede incluir la última información disponible sobre rutas de tránsito, horarios, opciones de transferencia, tarifas, cumplimiento de horarios en tiempo real, incidentes actuales.

Transportation Enterprise Information Device. Dispositivos físicos que por medio del sub-módulo funcional (*Interactive Enterprise Information*) permiten realizar operaciones de gestión, monitoreo y control de rutas.

Transportation Enterprise Staff. Es el personal de empresas de transporte público encargado del monitoreo, control y gestión del tránsito de vehículos prestadores del servicio pertenecientes a la empresa.

Transit Vehicle OBE. Este módulo se encarga de sensar datos del vehículo y enviarlos al *Transit Management Center (TMC)*. En el caso particular de este trabajo, para obtener datos sensados de los vehículos, se utiliza la integración con el trabajo de grado encargado de recolectar los datos de los vehículos de transporte público y generar un *dataset*.

4.4.2. Comunicación entre los módulos de la arquitectura

Para poder establecer la comunicación entre los objetos físicos que conforman la arquitectura, se hace uso de **mensajes** tipo **Petición/Respuesta** que permiten el flujo de datos entre estos.

A continuación, se describen los diferentes mensajes que permiten la interacción entre módulos:

- **Personal transit and traveler information.**
Por medio de la interfaz gráfica el sistema muestra al usuario viajero información previa y durante el viaje. El *Personal Information Device* requiere de cierto tipo de datos del módulo *Transit Management Center* y este genera como respuesta a las peticiones su respectivo mensaje con los datos solicitados.

En la **Tabla 8** podemos observar la relación de mensajes que se emplean para la solución de las peticiones que este módulo permite

- El mensaje tipo petición se da desde *Personal Information Device* hacia *Transit Management Center* y es denominado en la arquitectura como “**Personal transit and traveler information request**”.
- El mensaje respuesta es denominado “**Personal transit and traveler information**”.

Solicitud	Parámetros	Respuesta
Crear cuenta	{ nombre, correo, contraseña }	Confirmación
Iniciar sesión	{ correo, contraseña }	Acceso
Buscar rutas para mi viaje	{ punto de origen, punto de destino }	Rutas recomendadas
Elegir vehículo para viaje	{ punto de origen, punto de destino, id vehículo }	Tiempo de espera, cupos disponibles, velocidad promedio, tarifa.
Reportar eventualidad	{ Ubicación, Tipo de eventualidad }	Confirmación
Buscar estaciones de parada	No requiere parámetros	Lista de estaciones de parada con su ubicación en mapa.
Cerrar sesión	{ id viajero }	Confirmación

Tabla 8. Mensajes “*Personal transit and traveler information*” (elaboración propia).

- **Transit general information.**

Estos mensajes son útiles para que el usuario puede obtener información de las rutas y vehículos, cuando está ubicado en una parada. Se realiza una petición desde *Traveler Support Equipment* hacia *Transit Management Center*.

Transit Management Center genera un mensaje como respuesta que contiene horarios de tránsito, llegada de los buses que realizan dicha parada, tarifas, entre otras.

En la **Tabla 9** podemos observar la relación de mensajes que se emplean para la solución de las peticiones que este módulo permite

- El mensaje tipo petición se da desde *Traveler Support Equipment* hacia *Transit Management Center* y es denominado en la arquitectura como **Transit traveler information request**.

- El mensaje respuesta es denominado **Transit traveler information response**.

Solicitud	Parámetros	Respuesta
Buscar rutas que pasen por mi estación de parada	{ubicación}	Lista de rutas sugeridas en mapa.
Ver vehículos que pasen por mi estación de parada.	{ubicación}	Tiempo de espera, cupos disponibles, velocidad promedio, tarifa y ruta a seguir.

Tabla 9. Mensajes del módulo *Transit general information* (elaboración propia).

- **Traveler Input.** Este tipo de mensajes hace referencia a una petición que realiza el usuario para poder acceder a las funcionalidades del sistema, por medio de la interacción con el dispositivo físico, obteniendo como respuesta ingreso a la información sobre el viaje, permiso para realizar solicitudes de rutas, entre otras. Conecta el módulo *Traveler* con los módulos *Personal Information Device* y *Traveler Support Equipment*.
- **Traveler interface Update.** Este tipo de mensajes son generados desde los módulos *Personal Information Device* y *Traveler Support Equipment* como respuesta a la solicitud de ingreso (*Traveler Input*) del módulo *Traveler*. Se ven representados por medio de Información visual (por ejemplo: rutas, mensajes, orientación, información de emergencia) que se proporciona al viajero.

Cabe aclarar que la comunicación que se da entre *Traveler Support Equipment* y *Traveler* es de forma pasiva por medio del envío de información general, mostrando por ejemplo buses y rutas que realizan dicha parada, además de tener acceso a las diferentes rutas contenidas en el sistema.

- **Transit vehicle location + transit vehicle online or loading dataset.** Este tipo de mensajes comunican el módulo *Transit Vehicle OBE* con *Transit Management Center*. Dónde *Transit Vehicle OBE* envía información haciendo uso de un arreglo de datos que contiene la ubicación del vehículo (Longitud y latitud), cantidad de pasajeros y velocidad del vehículo; estos datos de los vehículos son enviados al módulo *Transit Management Center*, el cual se encarga de procesarlos. En el caso de este trabajo esta información es cargada a través del *dataset* creado por otro grupo de trabajo de grado.
- **Enterprise Transit Information.** El módulo *Transportation Enterprise Information Device* realiza la petición al módulo *Transit Management Center* solicitando datos referentes al tránsito de los vehículos de servicio público colectivo. *Transit Management Center* responde a dicha solicitud con mensajes que contienen parámetros tales como: ubicación, número de cupos en el vehículo, velocidad y rutas disponibles.

Cabe aclarar que este usuario no tiene la opción de “Crear cuenta” debido a que se relaciona directamente desde la base de datos, para controlar el acceso.

En la **Tabla 10** podemos observar la relación de mensajes que se emplean para la solución de las peticiones que este módulo permite

- El mensaje tipo petición se da desde *Transportation Enterprise Information Device* hacia *Transit Management Center* y es denominado en la arquitectura como ***Enterprise Transit Information request.***
- El mensaje respuesta es denominado ***Enterprise Transit Information.***

Solicitud	Parámetros	Respuesta
Iniciar sesión	{ correo, contraseña }	Acceso
Solicitar rutas	{ Id de empresa }	Lista de rutas (número de ruta, número de vehículos asignados)
Visualizar información de los vehículos en tiempo real.	{ Id del vehículo }	Ubicación en mapa, velocidad promedio, número de cupos.
Alertas (accidente, obra en la vía)	No requiere parámetros	{ nombre de alerta, ubicación }
Visualizar estadísticas generales por empresa	{ Id empresa, Fecha de inicio, Fecha final }	Reporte Lista de vehículos con (Id vehículo, distancia recorrida por vehículo, número de pasajeros, velocidad promedio). Resumen gráfico general de los datos anteriores.
Cerrar sesión	{ id empresa }	Confirmación

Tabla 10. Mensajes del módulo *Enterprise Transit Information* (elaboración propia).

- ***Public Transportation Routes and Fares.*** Este tipo de mensajes se realizan desde el módulo *Transportation Enterprise Information Device* hacia el módulo *Transit Management Center*, contienen información necesaria para la gestión de rutas por parte de la empresa de transporte público, permitiendo la creación, modificación y eliminación de estas, además de la actualización de tarifas, incluyendo parámetros tales como puntos de parada, y trazado de rutas.

En la **Tabla 11** podemos observar la relación de mensajes que se emplean para la solución de las peticiones que este módulo permite.

Solicitud	Parámetros	Respuesta
Crear, Modificar ruta.	{ número de ruta, trazado de ruta, color }	Confirmación
Eliminar ruta	{ número de ruta }	Confirmación
Crear, Modificar tarifa.	{ punto destino, valor }	Confirmación
Eliminar tarifa	{ punto destino }	Confirmación

Crear, Modificar puntos de parada.	{ nombre, ubicación }	Confirmación
Eliminar punto de parada	{ id parada }	Confirmación
Crear, Modificar vehículo	{ número de vehículo, nombre de conductor }	Confirmación
Eliminar vehículo	{ número de vehículo }	Confirmación
Asignación de rutas	{ id ruta, número de vehículo }	Confirmación

Tabla 11. Mensajes del módulo *Public Transportation Routes and Fares* (elaboración propia).

- **Staff Input.** Este tipo de mensajes son enviados desde el *Transportation Enterprise Staff* hacia el módulo *Transportation Enterprise Information Device*. Hacen referencia a una solicitud que realiza el usuario para poder acceder a las funcionalidades del sistema, por medio de la interacción con el dispositivo de la empresa; pudiendo obtener información sobre vehículos, rutas, tarifas entre otras.
- **Staff Interface Update.** Este tipo de mensajes se realizan desde el módulo *Transportation Enterprise Information Device* hacia el *Transportation Enterprise Staff* como respuesta a la solicitud de ingreso del usuario (*Staff Input*). Se ven representados por medio de información visual (por ejemplo, rutas, reportes, información de emergencia) que se proporciona al personal de la empresa de transporte público.

4.4.3. Usuarios de la arquitectura

Considerando el contexto de una ciudad intermedia (de un país en desarrollo) y el sistema de transporte, se realizó la definición de los usuarios del sistema.

Usuario empresa de transporte. Hace referencia a las empresas prestadoras del servicio que deseen incluirse en el sistema, este usuario tiene la siguiente funcionalidad.

- Gestiona (a través de un dispositivo interactivo como un smartphone o laptop) las rutas y tarifas a ofrecer en el SIV por parte de su empresa.
- Gestiona (a través de un dispositivo interactivo como un smartphone o laptop) los puntos que hacen parte de las rutas de los vehículos que pertenecen a su empresa (puntos por donde debe transitar la ruta). Debe definirse la ubicación (longitud y latitud) y orden (para definir la dirección del recorrido).
- Puede observar (a través de un dispositivo interactivo como un smartphone o laptop) la geolocalización (en un mapa) de los vehículos que pertenecen a su empresa.
- Puede revisar (a través de un dispositivo interactivo como un smartphone o laptop) la información detallada de cada vehículo (ruta que tiene asignada, velocidad, cupos disponibles). El dato cupos disponibles puede ser negativo en caso de sobrecupo.
- Puede visualizar reportes generales de los vehículos de la empresa y reportes por vehículo, seleccionando un intervalo de tiempo.
- Puede visualizar indicadores de eventualidades actuales de accidentalidad y obras en la vía reportadas por el usuario viajero.

Usuario viajero. Hace referencia a las personas que desean utilizar el STP, requiriendo el acceso al SIV. Este tipo de usuario tiene la siguiente funcionalidad en el sistema.

- Puede registrarse en el sistema usando su correo y contraseña para luego acceder con estas credenciales a las diferentes funciones del sistema.
- Puede ingresar (a través de un dispositivo interactivo como un smartphone o laptop, denominado en la arquitectura propuesta como *Personal Information Device*) el punto de destino al cual se dirige, seleccionando (en un mapa o una lista) un punto que haga parte de una ruta.
- Puede modificar (a través de un dispositivo interactivo como un smartphone o laptop) el punto de inicio en el cual se encuentra (Por defecto este punto de inicio se arroja por geolocalización, fijando el punto que esté más cercano y haga parte de una ruta, como punto de inicio).
- Puede observar (a través de un dispositivo interactivo como un smartphone o laptop) en un mapa, el recorrido (e información básica) de la ruta o rutas (cada una con un color asociado) que contengan en su recorrido inicialmente el punto de inicio y posteriormente el destino.
- Puede observar (a través de un dispositivo interactivo como un smartphone o laptop) la ubicación e información de los vehículos (empresa, ruta que tiene asignada, velocidad, cupos disponibles) con rutas que son útiles para el recorrido que desea. El dato cupos disponibles puede ser negativo en caso de sobrecupo.
- Puede observar (a través de un dispositivo interactivo como un smartphone o laptop) el tiempo estimado de llegada de los vehículos de interés, al punto de recogida, para realizar la ruta seleccionada.
- Puede observar (a través de un dispositivo interactivo como un smartphone o laptop) si alguna ruta tiene actualizaciones por emergencias u obras en la vía e identificar la ruta normal y la ruta actualizada.
- Puede observar (a través de un dispositivo ubicado en una parada) información general de los vehículos próximos a llegar, la ruta asignada, el tiempo de llegada, y los cupos disponibles.
- Puede indicar ocurrencia de eventualidades actuales de accidentalidad u obras en la vía. Por defecto se toma la ubicación actual del usuario al momento de realizar el reporte, pero esta puede ser modificada en el caso de ser requerida.
- Puede visualizar indicadores de eventualidades actuales de su interés, tales como accidentes u obras en la vía.

Capítulo 5

5. Diseño y desarrollo de la prueba de concepto del SIV

5.1. Diseño del prototipo en modalidad prueba de concepto

Teniendo en cuenta la arquitectura propuesta del SIV (presentada en la **Figura 9**) fue realizado un prototipo (en modo prueba de concepto, en adelante en el documento se menciona solamente como “prototipo”), identificando las tecnologías ideales de desarrollo para la implementación e interconexión de los módulos de la misma.

Lo anterior, considerando que la arquitectura ITS propuesta para el SIV indica el “qué” se debe desarrollar, más no el “cómo”. Por lo cual, es necesario desarrollar un prototipo que especifique “cómo” se propone realizar el desarrollo del prototipo del sistema, detallando las tecnologías utilizadas en cada componente propuesto.

A continuación, la **Figura 10** presenta el prototipo diseñado.

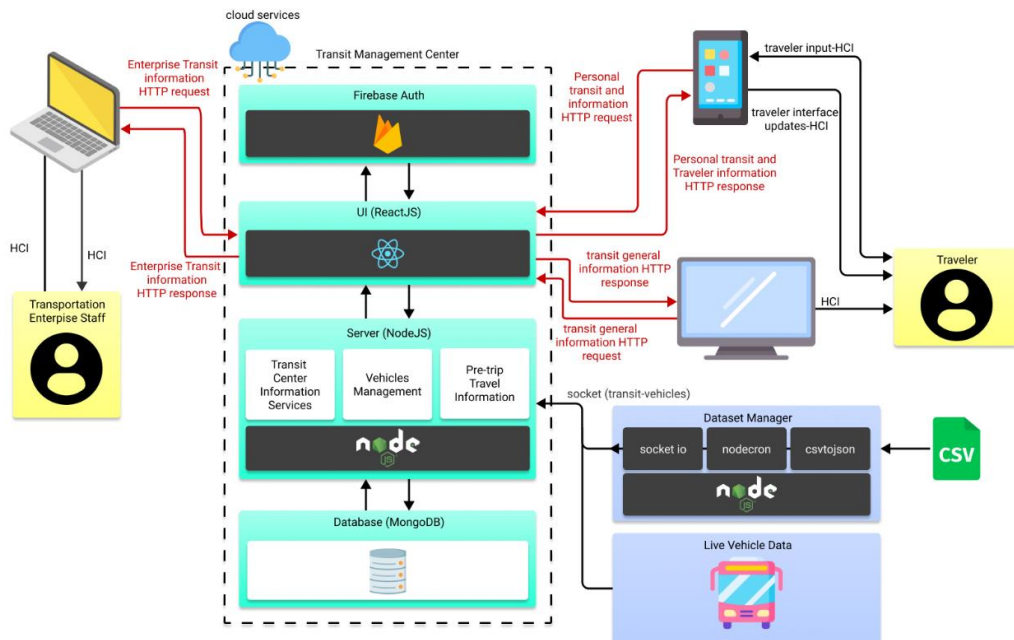


Figura 10. Prototipo diseñado para el SIV (elaboración propia).

5.1.1. Tecnologías y protocolos seleccionados para el prototipo

Para desarrollar el prototipo planteado (en modo prueba de concepto) y ofrecer las funcionalidades requeridas, se hizo una selección de las tecnologías y protocolos adecuados, considerando las particulares características técnicas de cada uno de los módulos.

Fueron seleccionados las siguientes tecnologías y protocolos.

- **HTTP**

El nombre HTTP proviene de sus siglas en inglés (“*Hypertext Transfer Protocol*”). Hace referencia a un protocolo que permite la realización de peticiones de datos y recursos y se encuentra establecido como la base del intercambio de datos en la web [52].

En la **Figura 11**, podemos observar de manera gráfica el concepto de HTTP, donde al ser un protocolo de estructura cliente-servidor, la petición inicial es generada por el elemento que recibirá los datos (normalmente es un navegador). Es por esto que, en ejemplo, una página web está conformada por la unión de diferentes subdocumentos recibidos, que estructuran y unifican la misma [52].

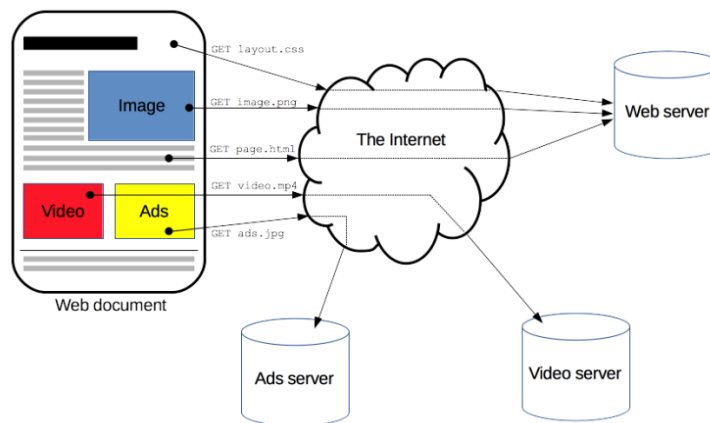


Figura 11. Concepto del protocolo HTTP (fuente: [52])

El protocolo HTTP es altamente empleado debido a su sencillez, está desarrollado para ser fácilmente leído e interpretado, agilizando la depuración de errores y el aprendizaje. Además de esto, es extensible, ya que permite su ampliación y experimentación permitiendo la creación de nuevas funcionalidades.

Este protocolo de capa de aplicación permite la transmisión de documentos de hipertexto (HTML), y también ampliarse a otro tipo de contenidos [52]. HTML fue empleado como base para desarrollar la interfaz gráfica de usuario del SIV.

El protocolo HTTP fue utilizado para realizar el intercambio de datos entre el servidor del TMC y el *Smartphone* del usuario viajero, los equipos del usuario empresa de transporte, y el equipo ubicado en las estaciones de parada.

- **NodeJS**

NodeJS es un entorno de ejecución de JavaScript orientado a eventos asíncronos [53], NodeJS está diseñado para crear aplicaciones “*network*” escalables y está construido con V8 (motor de *JavaScript* de *Chrome*). Otra característica de vital importancia es que permite establecer y gestionar múltiples conexiones al mismo tiempo y gracias a esto, no se generan bloqueos en los procesos.

El diseño de NodeJS está inspirado en sistemas como el *Event Machine* de Ruby o el *Twisted* de Python. Sin embargo, NodeJS presenta un bucle de eventos como una construcción en tiempo de ejecución en lugar de una biblioteca. Este bucle de eventos es invisible para el usuario. Otra característica especial de NodeJS es que está diseñado para simplificar la comunicación [53].

Teniendo en cuenta las facilidades que brinda NodeJS para el desarrollo de aplicaciones escalables y, además, las funcionalidades requeridas en el sistema a diseñar, esta herramienta fue usada para crear el servidor web que forma parte del TMC. En dicho módulo (TMC) es donde las solicitudes de los usuarios del sistema son procesadas y también se realiza el procesamiento y manejo de los datos al establecer comunicación con la base de datos.

Por otra parte, NodeJS fue usado para crear el módulo *Dataset Manager* que permite la lectura del *dataset* y procesamiento de los datos para simular la ocurrencia de eventos en un momento específico a partir del *n*-ésimo registro.

- **ReactJS**

ReactJS es una librería open source de *JavaScript* que ayuda a crear interfaces de usuario interactivas de forma sencilla [54]. El desarrollador, simplemente diseña vistas simples para cada estado necesario en la aplicación, y ReactJS se encarga de actualizar y representar gráficamente (o “renderizar”) de manera eficiente los componentes correctos cuando los datos cambien, generando vistas declarativas que además de hacer que el código sea predecible, facilita la depuración del mismo.

ReactJS está basado en componentes, esta característica permite la creación de componentes encapsulados que manejan su propio estado y posterior a ello, la conversión de los mismos en interfaces de usuario complejas.

ReactJS fue usada para crear las diferentes interfaces de usuario. Dichas interfaces forman parte del TMC. Estas permiten interactuar de forma amigable a los diferentes tipos de usuario para solicitar los datos requeridos.

- **Firebase**

Firebase es una plataforma adquirida y mantenida por Google para la creación de aplicaciones web y móvil [55], proporciona un SDK para interactuar con la plataforma y agilizar el desarrollo de soluciones sin renunciar a una alta calidad. Dispone de varios productos en tres categorías, compilación, lanzamiento y supervisión y productos de participación.

Los productos de compilación permiten acelerar el desarrollo de apps con una infraestructura de desarrollo del lado del servidor completamente administrada. Entre los productos más populares están *Cloud Firestore*, *Authentication*, *Hosting*, *Cloud Storage* y *Realtime Database*.

- **Mongo DB Atlas**

MongoDB es una base de datos distribuida, basada en documentos y de uso general. Esta base de datos es no relacional y utiliza documentos similares a una estructura

JSON. Una base de datos Mongo está compuesta por colecciones y estas a su vez están compuestas por documentos.

MongoDB fue elegida debido a su alta flexibilidad y la posibilidad de gestionar sistemas que evolucionen continuamente sin tener un gran impacto. A medida que se requiera actualizar la estructura de los documentos, es posible hacerlo sin tener que actualizar documentos ya existentes. Adicionalmente, Mongo DB Atlas tiene ciertas versiones de uso gratuito, por lo cual no se requiere el pago de licencias para su uso [56].

La base de datos usada en el proyecto se encuentra en el servicio de base de datos en la nube Mongo DB Atlas en los clusters ubicados en Virginia, USA, tal como se muestra en la **Figura 12**.

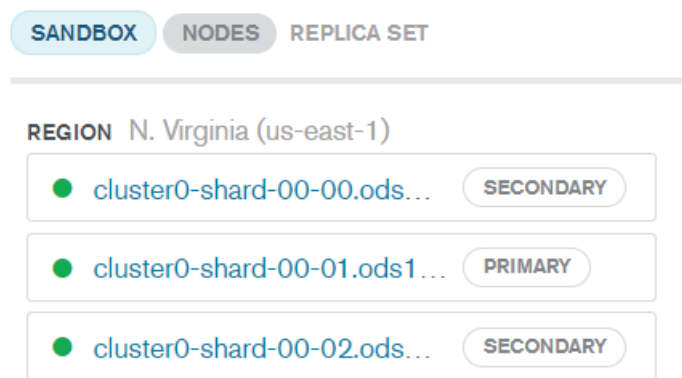


Figura 12. Ubicación de la base de datos (elaboración propia).

5.1.2. Detalles importantes por considerar en cada módulo

Cada uno de los módulos que componen el sistema son importantes para el correcto funcionamiento del SIV, sin embargo, es el TMC el que se encarga de gestionar, procesar y entregar la información cada vez que los usuarios realizan una solicitud. A continuación, se describen algunos detalles importantes del funcionamiento de los módulos del sistema.

TMC

Este módulo es el encargado recibir, procesar y almacenar los datos del sistema. Una de las funciones más importantes es la gestión de los datos de tránsito de los vehículos. También se encarga de atender las solicitudes de cada uno de los usuarios del sistema.

Para recibir los datos del tránsito de los vehículos, el TMC cuenta con el sub-módulo *Transit Center Information Services*, el cual tiene un *websocket* abierto para recibir los datos de tránsito de los vehículos, en ese sub-módulo se valida si los datos que llegan al *websocket* corresponde al hardware serial de los vehículos registrados en el sistema y en caso de que así sea, se almacena en la base de datos cada uno de los registros de los vehículos. Para simular que hay vehículos en movimientos fue creado un módulo denominado *DatasetManager*. El *websocket*

está preparado para recibir los datos enviados desde el *DatasetManager* como si se tratara de vehículos reales en movimiento.

El TMC también hace uso de otro sub-módulo denominado Pre-trip Travel Information, el cual, mediante peticiones realizadas por el usuario viajero, antes del viaje y teniendo como referencia el punto de inicio y el punto de destino, observa cuales son las rutas disponibles que cumplen con dichas condiciones, las muestra y las relaciona con los vehículos en movimiento existentes.

Por otra parte, el sub-módulo Vehicle Management se encarga de gestionar todos los datos en línea suministrados por los vehículos (o en el caso particular de este trabajo, los datos provenientes del *dataset*), almacenándolos y administrándolos para el uso en el sistema.

Al interior de este módulo también se tiene una interfaz web (Interfaz de Usuario o UI por su sigla en inglés), desarrollada con ReactJS, esta interfaz se conoce comúnmente como *frontend* [57] y es la parte del sistema visible al usuario, es importante tener en cuenta que para acceder a todas las funcionalidades del SIV es necesario iniciar sesión, en esta parte es donde fue usado el servicio de autenticación de *firebase* el cual se encarga de registrar mediante correo electrónico a cada uno de los usuarios, también almacena los usuarios en la base de datos y asigna por defecto el rol viajero *TRAVELER*, como se observa en la **Figura 13**.

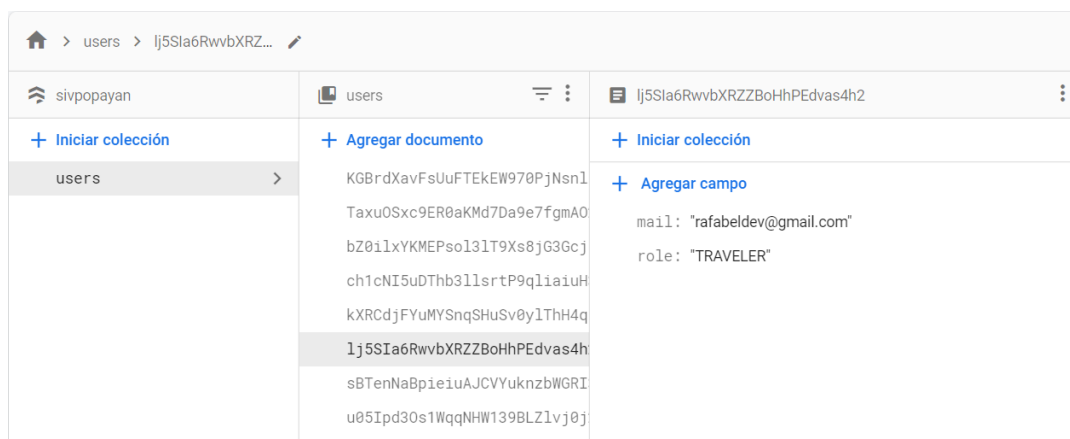


Figura 13. Colección users en Firebase (elaboración propia).

En el caso que un usuario registrado requiera cambiar de rol a empresa de transporte y acceder a todas las funcionalidades que este rol permite, es posible cambiando el valor del campo *role* por *BUSINESS*.

Todas las acciones que realiza el usuario desde el *frontend* son enviadas al servidor web, que fue desarrollado con NodeJS. Es en el servidor donde las solicitudes de los usuarios son procesadas y resueltas, finalmente el servidor se conecta con la base de datos (MongoDB) para almacenar los datos relevantes del sistema y poderlos consultar posteriormente para resolver cada una de las solicitudes de los usuarios.

Es importante tener en cuenta que el TMC se aloja en servidores en la nube por lo tanto para acceder al sistema se requiere de una conexión a internet, es decir que los dispositivos de los usuarios viajeros, empresa de transporte y los dispositivos ubicados en las estaciones necesitan una conexión a internet.

Firestore

El uso de *Firebase* en este proyecto está limitado a autenticar los usuarios registrados mediante el uso de *Firebase Authentication* utilizando el correo electrónico y el servicio de *Firestore Database* para almacenar los usuarios registrados y su rol.

Cuando un usuario se registra en el sistema, *Firebase Authentication* almacena el correo electrónico y la contraseña y luego almacena al nuevo usuario en *Firestore Database*, en la colección llamada *users*.

Firebase también permite enviar correos electrónicos de recuperación en el caso que la contraseña sea olvidada por los usuarios.

Dataset Manager

Este módulo permite leer y procesar un *dataset* generado por otro grupo de trabajo de grado denominado “*Development Validation of a Fleet Management and Control System, Based on Intelligent Transportation Systems (Its) Services and Long-Range Technology (Lora)*”, para crear una simulación a partir del enésimo registro y por medio de una suscripción al *websocket* habilitado en el TMC enviar los datos del tránsito de cada uno de los vehículos del sistema. Para leer el archivo fue usada la librería *csvtojson* [58], que permite leer el *dataset* y llevarlo a una estructura *JSON*. Luego de esto es posible establecer el momento en el que se desea iniciar la simulación y el número de registro desde donde inicia la simulación. Una vez establecidos estos parámetros es posible iniciar una rutina de iteración por cada uno de los objetos *JSON* y de acuerdo con la secuencia en que ocurrieron los eventos del *dataset* y el momento de inicio de ejecución de la simulación se agendan las tareas que permiten enviar los datos de los vehículos al servidor usando un *websocket* llamado “*transit-vehicles*”.

Live Vehicle Data

Este módulo representa a los vehículos de servicio público colectivo que cuentan con un dispositivo capaz de registrar la ubicación, velocidad y pasajeros en su interior, estos dispositivos deben conectarse a un Gateway que tenga conexión a internet para enviar los datos al servidor usando el *websocket* “*transit`vehicles*”.

Es importante tener en cuenta que cada dispositivo usado en los vehículos debe estar registrado en el SIV, de lo contrario los datos son ignorados, por seguridad.

Cloud server

Para desplegar el desarrollo del TMC fue necesario adquirir cierta infraestructura para que sea accesible desde los navegadores de los usuarios a través de internet, por lo tanto, usando la “plataforma como servicio” (PaaS) fue elegido *Heroku* [59], ya que permite desplegar rápidamente aplicaciones construidas en NodeJS en un Cloud Server que no generaba costos adicionales (utilizando un tipo de versión) y el equipo de trabajo tenía experiencia en esta plataforma.

Cluster Mongo DB Atlas

Fue utilizado un servicio de datos en la nube, que tiene una versión gratuita (con bases de datos inferiores a 500 Mb) denominada “MongoDB Atlas” [60]

Al utilizar un servicio de base de datos en la nube, algunas tareas como la realización de copias de seguridad y el mantenimiento se facilitan. Además, el acceso a dicha base de datos desde cualquier equipo con acceso a Internet y los permisos requeridos, es fácil de realizar.

Dispositivo Usuario Viajero

El usuario viajero puede acceder y solicitar información al SIV desde cualquier dispositivo con conexión a internet y un navegador web, se recomienda el uso de un *Smartphone* por su portabilidad. El desarrollo fue realizado de tal forma que se pueda acceder a la información del SIV fácilmente desde múltiples dispositivos, ya que la interfaz de usuario es adaptable a múltiples pantallas.

Dispositivo Empresa de Transporte

El usuario empresa de transporte puede acceder desde cualquier dispositivo con conexión a internet y un navegador web, sin embargo, es recomendable el uso de un PC para una mayor facilidad en las tareas de gestión de vehículos y rutas (ya que se requiere de una pantalla de un tamaño adecuado, para visualizar fácilmente vehículos y rutas en un mapa).

Dispositivo en estaciones

Los usuarios viajeros que frecuentan estaciones de parada tienen la posibilidad de acceder a la información básica de rutas y vehículos cuya trayectoria incluye a la estación seleccionada. Es recomendable que, en las estaciones, la información sea desplegada en pantallas amplias, utilizando, por ejemplo, dispositivos *SmartTV* con una pantalla de mínimo 50", con conexión a internet; o un PC con salida a una pantalla lo suficiente amplia.

5.2. Desarrollo del prototipo en modalidad prueba de concepto

Para desarrollar el prototipo se hizo uso de la metodología *Scrum*, considerando la agilidad que aporta al proyecto, la continua retroalimentación del usuario y la oportunidad para identificar cambios necesarios. Siguiendo la documentación recomendada por la metodología, fue realizado inicialmente un documento de inicio (en el **Anexo B** de este documento se encuentra la documentación realizada sobre la metodología Scrum) el cual además de describir el caso de negocio que guía el proyecto, refiere los roles, épicas del proyecto con su respectiva descripción y priorización y muestra un cronograma general para la realización del mismo.

A continuación, teniendo en cuenta lo desarrollado en el documento de inicio, se realizó un documento de planeación (incluido también en el **Anexo B** de este documento) en el cual son distribuidas cada una de las épicas (del documento de inicio), en historias de usuario (HU, funcionalidad que realiza cada uno de los usuarios del sistema a desarrollar). Las HU fueron distribuidas en *Sprints* o ciclos de desarrollo, comprometiendo para cada uno de los tres ciclos (*Sprints*), cierto número de HU. Luego, en este documento fueron especificadas las tareas que se requieren realizar (por parte de los desarrolladores) para implementar cada una de las HU comprometidas para el *sprint 1*. Finalmente, el documento de planeación presenta un *Sprint Backlog* (cronograma de desarrollo del *Sprint 1*) el cual presenta los responsables, periodo de desarrollo y prioridades de cada una de las HU del *Sprint 1* y las tareas de cada una de las HU.

La asignación de las HU a los diferentes *Sprints* fue realizada de la siguiente forma. En el *Sprint 1* fueron asignadas algunas HU del usuario empresa de transporte y otras del usuario viajero. La funcionalidad seleccionada para el tipo de usuario empresa de transporte fue: adicionar rutas, consultarlas, modificarlas y visualizar la información del vehículo. Para el usuario viajero en el *Sprint 1* la funcionalidad seleccionada para este *Sprint* fue definir el punto de inicio y destino que delimitarían su viaje.

Para el *Sprint 2*, fueron seleccionadas las HU del usuario viajero relacionada con seleccionar la ruta y vehículo de su preferencia (visualizando el tiempo estimado de duración de su viaje y la información del transporte público en las diferentes estaciones; además, este tipo de usuario (usuario viajero) podrá generar indicadores de eventualidades en la vía. Mientras tanto, el usuario empresa de transporte debe puede visualizar reportes generales sobre su empresa y reportes de un vehículo en específico.

Finalmente, para el *Sprint 3* el usuario empresa de transporte, además de las funcionalidades aportadas en los *Sprints* anteriores, puede visualizar los indicadores de eventualidades en la vía. El usuario viajero puede registrarse en el sistema, o solicitar recuperación de cuenta para posteriormente permitir a los usuarios la creación de una nueva contraseña.

A continuación, en la subsección 6.2.1 es posible observar el desarrollo de las historias de usuario con mayor relevancia para el sistema y su visualización a través de las interfaces implementadas. (en el **Anexo C** de este documento se encuentran las carpetas completas referentes al desarrollo del SIV y el Manual de Instalación del sistema)

5.2.1. Desarrollo de las historias de usuario con mayor relevancia en el sistema

Teniendo en cuenta el prototipo planteado que se muestra en la **Figura 10**, se realizó el desarrollo de diferentes HU que permiten al usuario acceder a las funcionalidades que el sistema ofrece. A continuación, son presentadas algunas interfaces de usuario de las historias de usuario más relevantes del sistema. Las HU seleccionadas se relacionan con la funcionalidad más relevante del usuario empresa de transporte y del usuario viajero. Respecto al usuario viajero se seleccionó la funcionalidad pre-viaje, mientras el usuario selecciona origen, destino, rutas posibles, vehículos que siguen dicha ruta, también lo relacionado a la funcionalidad de presentación de información en las estaciones de parada del servicio de transporte colectivo. Respecto al usuario empresa de transporte se seleccionó la funcionalidad relacionada con la gestión de rutas (necesaria para presentar la información relacionada al usuario viajero) y la consulta de información de los vehículos de la empresa.

- **HU4. Empresa de Transporte adiciona rutas.**

Para que el usuario empresa de transporte pueda adicionar una ruta, al ingresar al sistema, accede a una interfaz principal, tal como se muestra en la **Figura 14** donde se listan las rutas, en esta interfaz, en la esquina inferior derecha de la pantalla se encuentra un botón denominado “Crear ruta”.

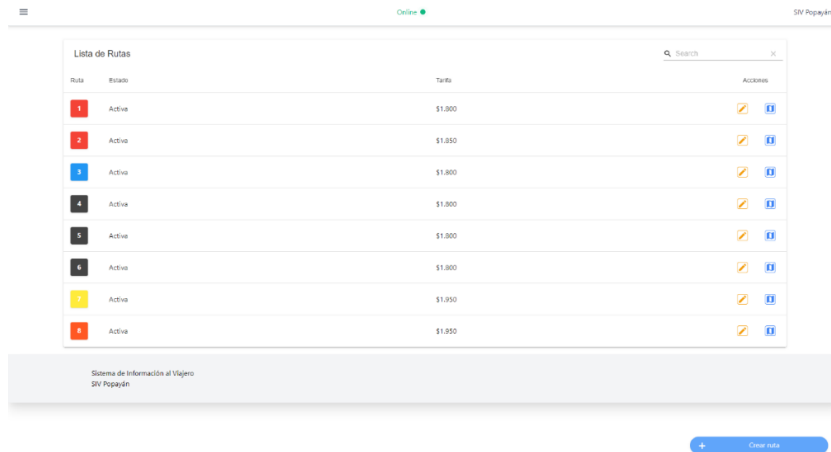


Figura 14. Interfaz principal del usuario empresa de transporte (elaboración propia).

Al presionar el botón “Crear ruta”, el usuario empresa de transporte accede a la siguiente interfaz, la cual se muestra en la **Figura 15**, esta consta de un formulario donde se relacionan el número de ruta, color del trazado y la tarifa asignada, además de ello, se muestra un mapa.

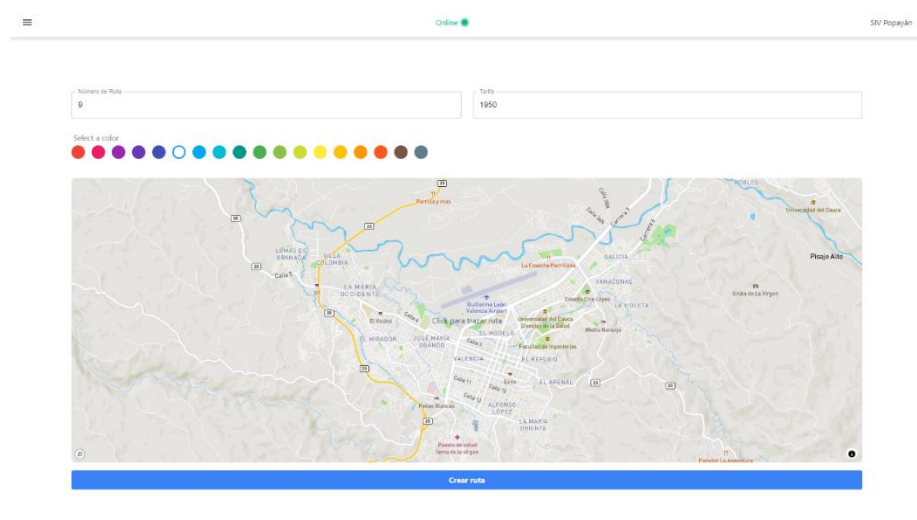


Figura 15. Interfaz de asignación de datos de la ruta (elaboración propia).

Al presionar en algún punto en el mapa que reposa en esta interfaz, el usuario accede al mapa en pantalla completa, en el cual puede realizar el trazado de la ruta haciendo “click” sobre los puntos por los cuales pasa la misma. En la **Figura 16** se puede observar un ejemplo de trazado de ruta.

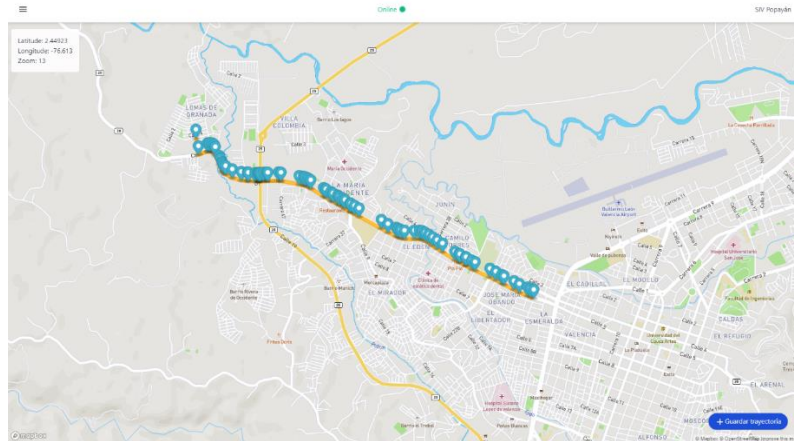


Figura 16. Mapa en pantalla completa para realizar el trazado de ruta (elaboración propia).

Una vez realizado el trazado de ruta, el usuario debe presionar el botón que se encuentra en la esquina inferior derecha denominado “Guardar trayectoria”, de esta forma, el trazado queda almacenado y el usuario es direccionado a la interfaz anterior, con la diferencia de que en el mapa, se muestra la trayectoria determinada en el paso anterior, tal como se muestra en la **Figura 17**.

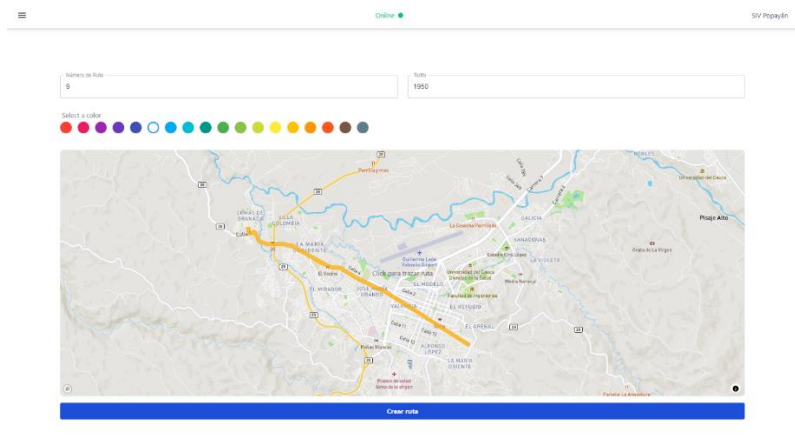


Figura 17. Interfaz de asignación de datos de la ruta con trayectoria (elaboración propia).

En esta interfaz el usuario debe presionar el botón “Crear ruta” que se encuentra al finalizar el formulario, de esta manera, la ruta se adiciona a la lista de rutas que se muestra en la interfaz principal.

- **HU2. Empresa de Transporte consulta rutas.**

Como se había visto en el desarrollo de la HU anterior, la interfaz principal del usuario empresa de transporte es un listado de todas las rutas creadas. Para ver el detalle de cada una de las rutas y su trazado se puede presionar el icono de mapa de cada ruta, el cual tiene un color azul ubicado al finalizar la línea horizontal que relaciona cada una de las mismas, tal como se muestra en la **Figura 18**.

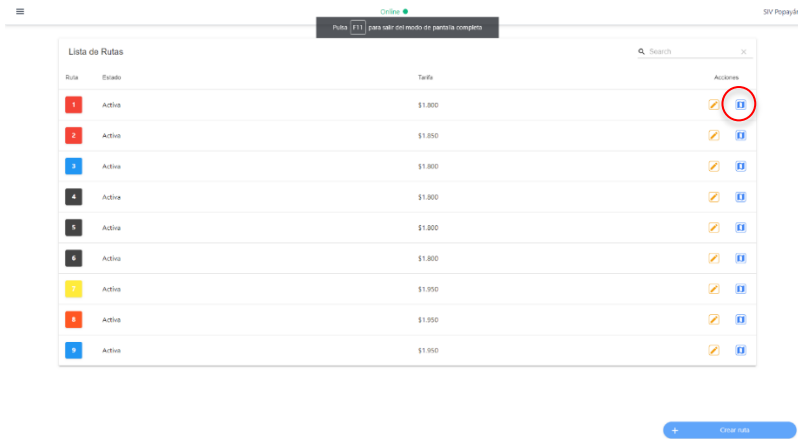


Figura 18. Interfaz principal del usuario empresa de transporte con el icono de mapa (elaboración propia).

Al realizar esta acción, el usuario accede a otra interfaz donde se muestra un mapa en pantalla completa, con el trazado relacionado a la ruta que seleccionó, tal como se muestra en la **Figura 19**.

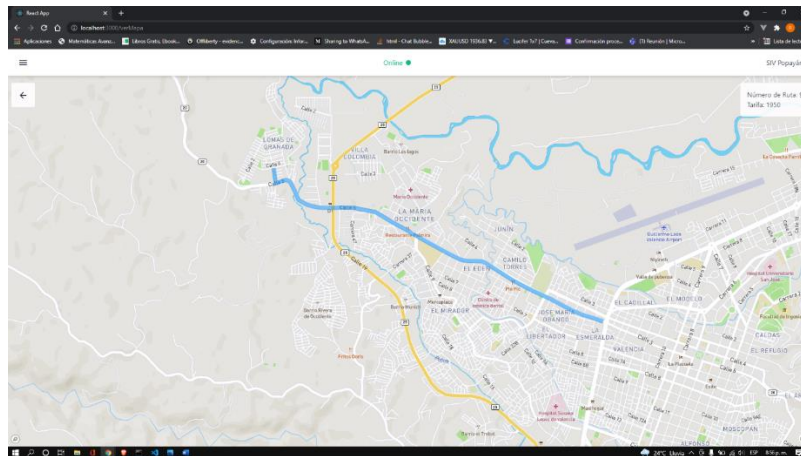


Figura 19. Mapa en pantalla completa con trayectoria de la ruta (elaboración propia).

- HU3. Empresa de transporte modifica rutas.**

Como se había visto en el desarrollo de las interfaces anteriores, cuando el usuario empresa de transporte accede al sistema, la interfaz principal es un listado de todas las rutas creadas. Para poder acceder a la funcionalidad de modificación de las rutas ya establecidas, el usuario debe dar *click* sobre el icono de editar que tiene un color amarillo ubicado de penúltimo en la línea horizontal que describe cada una de las rutas, tal como se muestra en la **Figura 20**.

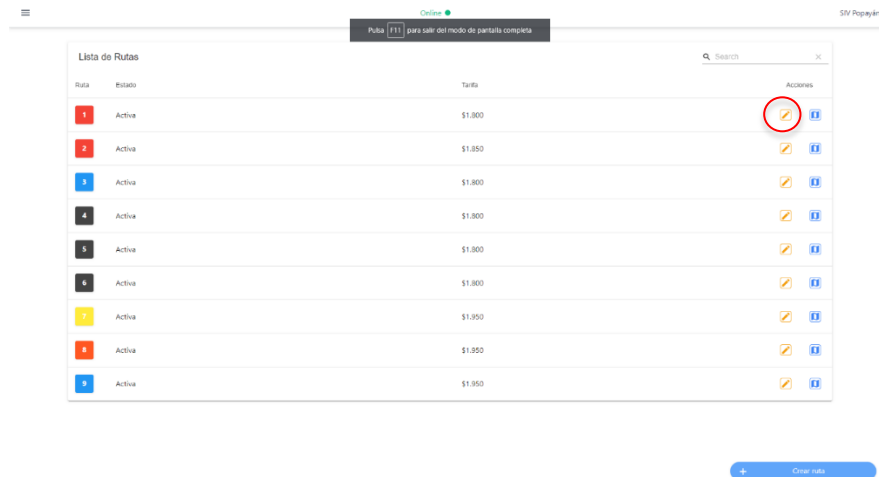


Figura 20. Interfaz principal del usuario Empresa de Transporte con el icono de editar (elaboración propia).

Al presionar el botón editar en cualquiera de las rutas es posible navegar a la interfaz de edición de ruta que se encuentra conformada por un formulario que contiene los campos: número de ruta, tarifa y un mapa. Tal como se observa en la **Figura 21**.

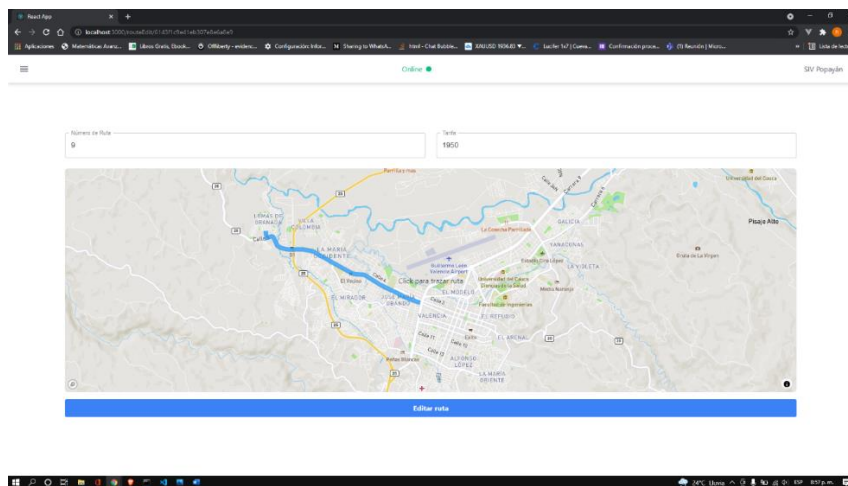


Figura 21. Interfaz de edición de datos de la ruta (elaboración propia).

Para editar el trazo de la ruta se debe hacer “click” sobre cualquier punto del mapa, esto muestra el mapa en pantalla completa con todos los marcadores de los puntos que conforman la ruta, cada marcador permite realizar la función conocida como “*drag and drop*” (arrastrar y soltar) para establecer una nueva posición de dicho marcador. Además, se pueden agregar nuevos marcadores de ser necesario.

Una vez finalizada la edición del trazado, se deben guardar los cambios sobre la trayectoria, para esto, se debe dar presionar el botón “editar trayectoria” que aparece en la esquina inferior derecha tal como se muestra en la **Figura 22**.

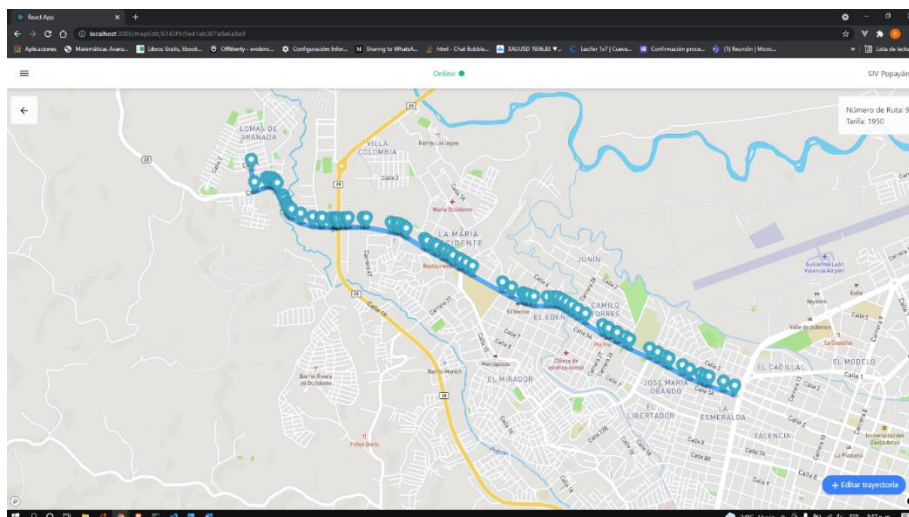


Figura 22. Mapa en pantalla completa con marcadores de edición de trayectoria (elaboración propia).

Posterior a esto, el usuario es redirigido a la interfaz mostrada en la **Figura 20**, actualizando el mapa a la nueva trayectoria trazada, para guardar los cambios realizados en la ruta, debe hacer *click* sobre el botón que aparece al final del formulario denominado “Editar Ruta”, con esta acción la ruta es actualizada en la lista que se encuentra en la interfaz principal.

- **HU5. Empresa de transporte visualiza información de vehículo.**

Desde la interfaz principal (listado de rutas) se tiene un menú de tipo “hamburguesa” (o de elementos ocultos, identificado con el símbolo de tres líneas horizontales) en la esquina superior izquierda que permite navegar entre las distintas secciones de la aplicación. Al presionar el icono de menú tipo “hamburguesa” se despliega el menú de opciones mostrado en la **Figura 23**.

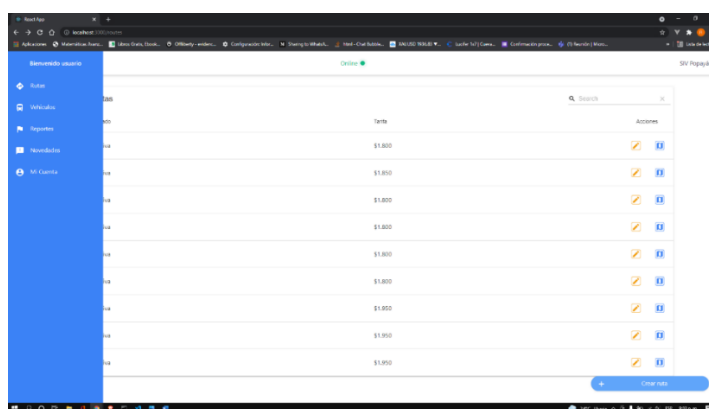


Figura 23. Menú de opciones del usuario empresa de transporte (elaboración propia).

Una vez se muestra el menú es posible presionar sobre la sección de vehículos, que permite navegar a la interfaz mostrada en la **Figura 24**, la cual muestra un listado de los vehículos relacionados con su placa, ruta, y dos botones que direccionan al usuario a las

funciones de editar y ver en mapa. Además, en la esquina inferior derecha, el usuario puede presionar el botón respectivo para registrar nuevos vehículos.

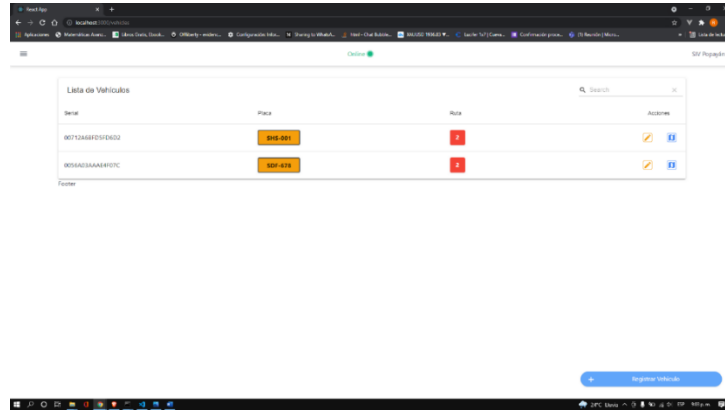


Figura 24. Información de Vehículos (elaboración propia).

- **HU14. Usuario viajero define punto de inicio de viaje.**

El usuario viajero puede modificar en el mapa el punto de inicio de su viaje, en el caso que quiera usar su ubicación por defecto (detectada por geolocalización) puede presionar el botón de la esquina superior derecha del mapa.

Una vez el usuario está de acuerdo con la ubicación seleccionada puede presionar el botón 'Fijar punto de inicio' para continuar, la interfaz mostrada para ello, puede observarse en la **Figura 25**.

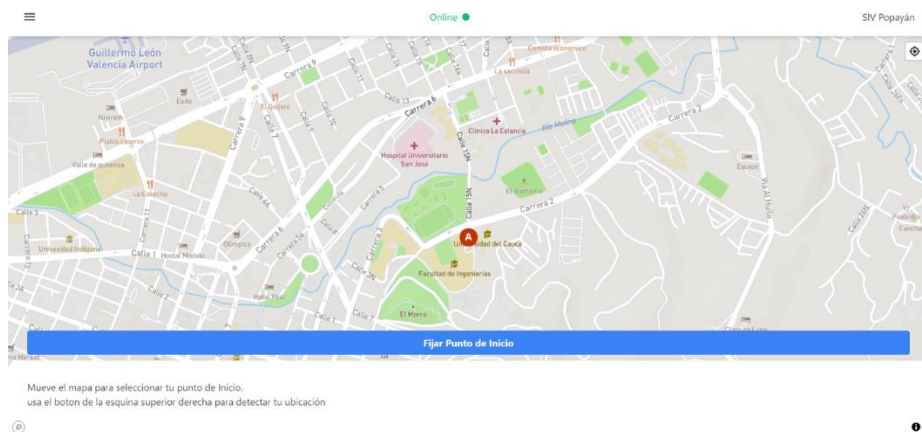


Figura 25. Definición del punto de inicio (elaboración propia).

- **HU15. Usuario viajero modifica punto de destino.**

Una vez se ha establecido el punto de inicio aparece la siguiente interfaz, en la cual se puede modificar el punto destino en el mapa, una vez el usuario este de acuerdo con el

punto de destino puede presionar el botón “Fijar punto de destino”, tal como se puede ver en la **Figura 26**.

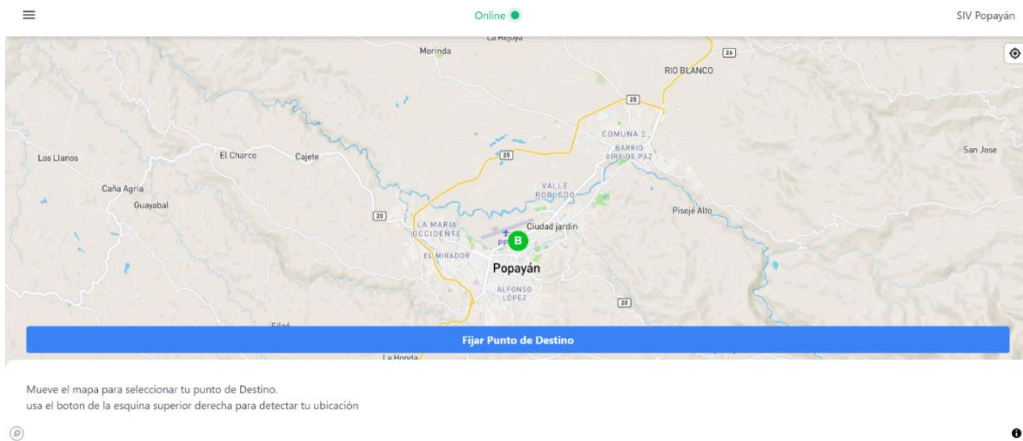


Figura 26. Modificación del punto de destino (elaboración propia).

- **HU16. Usuario viajero selecciona ruta.**

Una vez el usuario ha fijado el punto de inicio y punto de destino, es posible hacer una búsqueda de las rutas que pueden cumplir con ese recorrido, el algoritmo encargado de procesar la solicitud para un viaje toma en cuenta estos dos puntos (inicio, destino), y busca las rutas cuyo recorrido pase a 1 km o menos de los puntos mencionados, esto se puede observar en la **Figura 27**.

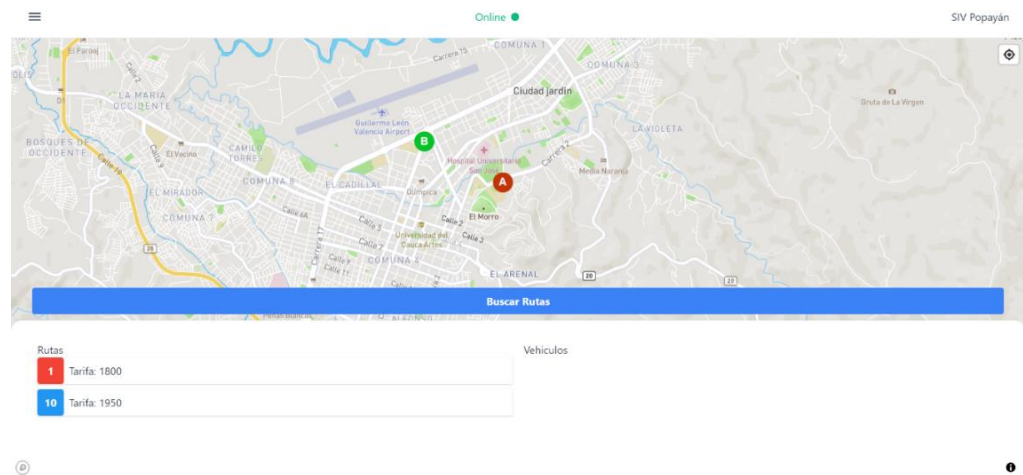


Figura 27. Usuario viajero observa rutas disponibles (elaboración propia).

Una vez al algoritmo procesa la solicitud entrega las rutas que cumplen con los requerimientos del viaje y se muestran en la interfaz (número de la ruta y tarifa).

Si el usuario viajero hace “click” sobre la ruta de su interés puede ver automáticamente su trayectoria en el mapa y dos marcadores que corresponden al punto más cercano entre la ruta y los puntos (inicio, destino), como se ve en la **Figura 28**.

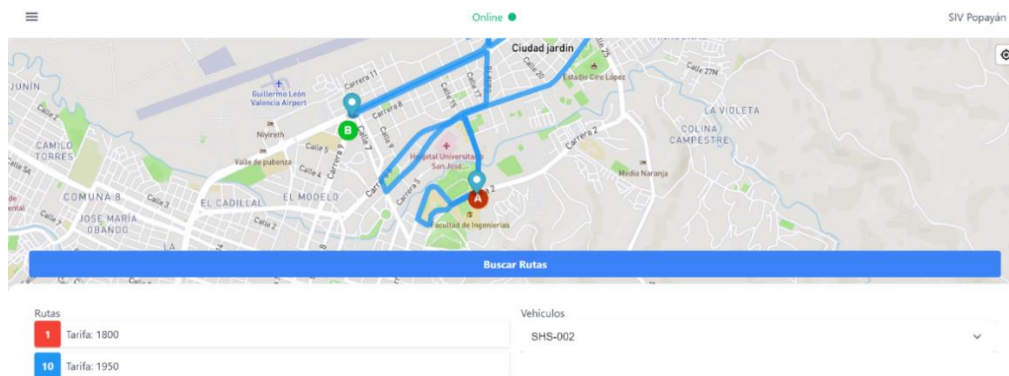


Figura 28. Usuario viajero selecciona ruta (elaboración propia).

- **HU17. Usuario viajero selecciona vehículo.**

Una vez el usuario viajero ha seleccionado una de las rutas ofertadas por el SIV para el viaje requerido, es posible visualizar una lista de vehículos asociados a la ruta en la sección inferior derecha como se muestra en la **Figura 29**.

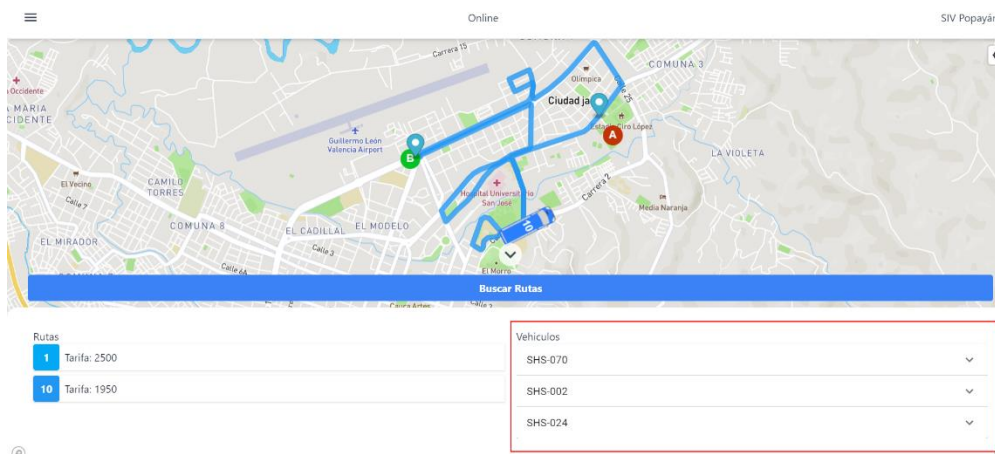


Figura 29. Usuario viajero observa lista de vehículos disponibles (elaboración propia).

Si el usuario viajero hace “click” en uno de los vehículos de la lista es posible observar más información relacionada al vehículo como tiempo de llegada, número de pasajeros, velocidad reportada por el dispositivo al interior del vehículo y la velocidad promedio, como se muestra en la **Figura 30**.

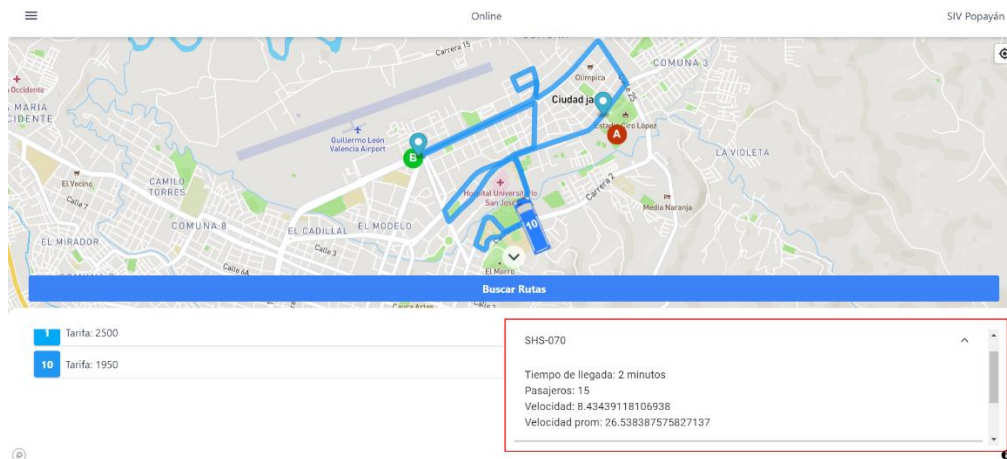


Figura 30. Detalle de vehículo seleccionado (elaboración propia).

Es importante mencionar que el cálculo del tiempo de llegada del vehículo se realizó a partir de los datos recolectados de cada vehículo. Se tuvo en cuenta la última posición del vehículo y el punto más cercano de la ruta, al punto de inicio (de la ruta indicada por el viajero) el cual tiene un marcador (como punto A). Al conocer la posición del vehículo y el punto de recogida, es posible determinar la distancia restante para que el vehículo pase por dicho punto. Adicionalmente, se calcula la velocidad promedio del vehículo, con lo cual se tiene las variables necesarias para encontrar un tiempo aproximado de llegada (ver ecuación 1), el cual se recalcula cada vez que se tienen nuevos datos.

$$t = x/v \quad (1)$$

Donde:

t : tiempo, x : distancia, v : velocidad.

El código encargado de realizar este cálculo se encuentra en el archivo denominado “*ResumeTrip.js*” del **Anexo C**, en las líneas 134-201.

- **HU20. Usuario viajero visualiza información de transporte público en estaciones.**

Los usuarios viajeros pueden visualizar información de transporte público en estaciones. Para permitir esto, previamente una persona encargada (que debe tener el rol de *BUSINESS*) debe acceder al SIV desde el dispositivo ubicado en la estación.

Una vez se ha iniciado sesión, desde la interfaz principal al hacer “*click*” en el menú de tipo “hamburguesa” ubicado en la esquina superior izquierda se despliega el menú de opciones como lo muestra la **Figura 31**.

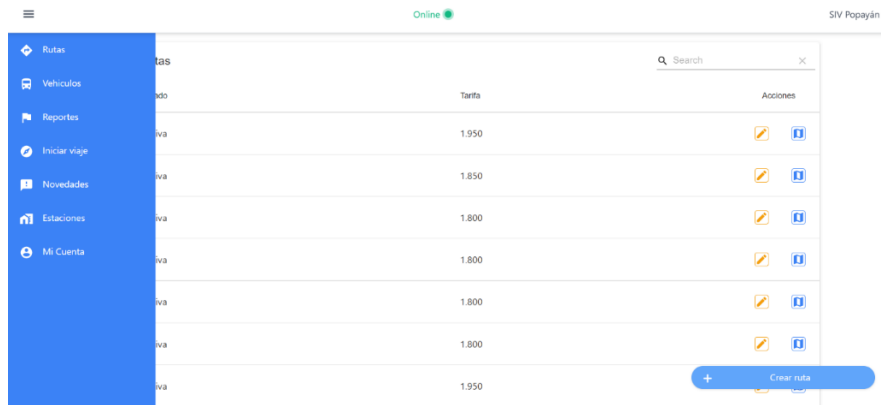


Figura 31. Menú de opciones usuario empresa de transporte (elaboración propia).

Una vez el menú está desplegado, es posible presionar sobre la opción **Estaciones**, la cual permite visualizar todas las estaciones registradas en el sistema en una lista, como lo muestra la **Figura 32**.



Figura 32. Lista de estaciones (elaboración propia).

Desde el listado de estaciones el encargado debe hacer “click” en la estación correspondiente para mostrar la información de rutas y vehículos disponibles, tal como se muestra en la **Figura 33**.

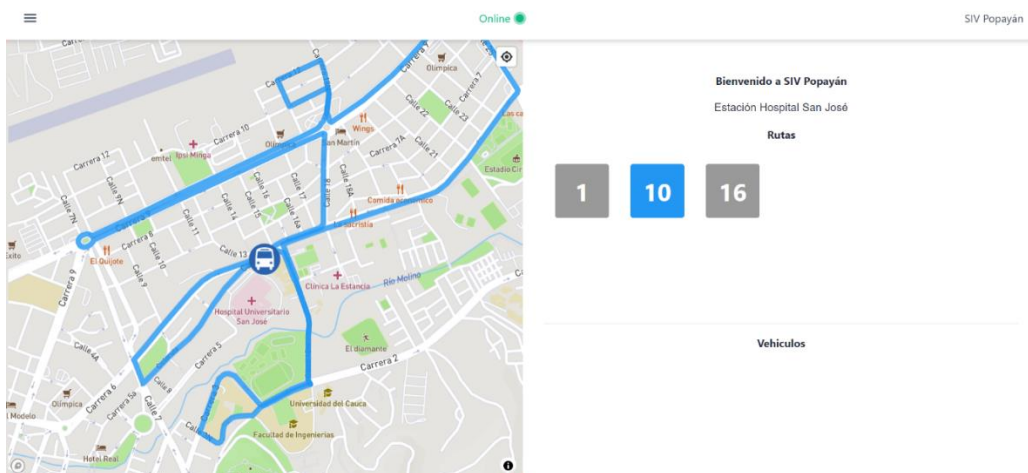


Figura 33. Interfaz SIV para estaciones (elaboración propia).

En esta interfaz es posible visualizar las rutas que pasan por la estación seleccionada, donde es posible ver la ruta resaltada en color y el detalle de los vehículos asociados a la ruta durante 15 segundos, cada 15 segundos la interfaz cambia para mostrar el detalle de la siguiente ruta.

5.2.2. Estructura de la base de datos del sistema

Para el desarrollo del SIV, fue creada una base de datos en *Firebase* con una colección llamada *users* encargada de almacenar los usuarios registrados y sus roles y por otra parte una base de datos MongoDB llamada “*siv*” encargada de almacenar todos los datos esenciales para el correcto funcionamiento del SIV, a continuación, son descritas cada una de las colecciones usadas en la base de datos “*siv*” de MongoDB. (en el **Anexo D** de este documento se encuentran los archivos “*json*” en los cuales se ha exportado la estructura y datos de la base de datos del SIV).

Routes. Esta colección almacena los datos que describe las rutas creadas en el SIV. En la **Figura 34** se relaciona la estructura que deben seguir los documentos de esta colección. Cada documento está compuesto por los siguientes campos:

- *_id*: Identifica cada uno de los registros.
- *status*: Permite habilitar o deshabilitar una ruta.
- *color*: Relaciona un color a la ruta.
- *path*: Es un arreglo de objetos y cada objeto corresponde a un punto de la ruta, a su vez cada punto tiene un identificador y las coordenadas (longitud y latitud) (ver **Figura 35**).
- *name*: Guarda el nombre de la ruta.
- *fare*: Guarda la tarifa de la ruta.
- *org_uid*: Identificador del usuario que crea la ruta.

```
_id: ObjectId("60f48746d4129e691c2d05c8")      ObjectId
status: true                                  Boolean
color: "#03a9f5"                               String
> path: Array                                  Array
  name: "1"                                     String
  fare: 2500                                    Int32
  __v: 1                                       Int32
org_uid: "bZ0ilxYKMEPso13lT9Xs8jG3Gcj1"      String
```

Figura 34. Estructura de la colección Routes (elaboración propia).

```
> path: Array                                  Array
  > 0: Object                                  Object
    id: "41c8b637-67da-450e-9827-172c4fa05f74"  String
    lng: -76.55554971341212                    Double
    lat: 2.4737636963449603                    Double
  > 1: Object                                  Object
    id: "24c366cd-3c8a-4444-bf6d-7ca433a33a6b"  String
    lng: -76.55574228341287                    Double
    lat: 2.473265493419021                    Double
  > 2: Object                                  Object
  > 3: Object                                  Object
  ...
```

Figura 35. Expansión del campo path de la colección Routes (elaboración propia).

- **Vehicles.** Esta colección almacena datos de los vehículos del SIV, cada documento está compuesto por los siguientes campos:
 - *_id*: Permite identificar cada uno de los registros.
 - *hardware_serial*: Permite identificar el dispositivo instalado en cada uno de los vehículos.
 - *placa*: Almacena la placa del vehículo y permite diferenciar los vehículos con un código alfanumérico.

- *route*: Permite establecer una referencia la cual relaciona cada vehículo con un documento de la colección de rutas.

En la **Figura 36** se relaciona la estructura que deben seguir los documentos de esta colección.

```

_id: ObjectId("61368bb079df0021f0bb13dc")      ObjectId
hardware_serial: "0056A03AAAE4F07C"          String
placa: "SDF-678"                               String
route: ObjectId("60f4897ad4129e691c2d05c9")   ObjectId
__v: 0                                          Int32

```

Figura 36. Estructura de la colección *Vehicles* (elaboración propia).

- **Transits.** Esta colección almacena los datos enviados por los vehículos en movimiento, teniendo en cuenta que un nuevo registro es creado, solamente si el *hardware_serial* ha sido registrado previamente en el sistema, se debe tener en cuenta que el *dataset* usado para simular el movimiento de los vehículos usa una red LoRaWAN (el cual fue recolectado por estudiantes de Unicauca, en un trabajo de grado previo). Cada documento contiene los siguientes campos:
 - *_id*: Permite identificar cada uno de los registros.
 - *counter*: Es un campo cuyo valor se crea automáticamente en los dispositivos “Wifi LoRa 32”. Este contador inicializa en 0 cada vez que el dispositivo se reinicia, indicando así el número del paquete enviado desde su reinicio.
 - *payload_raw*: Corresponde a la carga del paquete codificada en Base64.
 - *metadata*: Es una cadena de texto que contiene las diferentes configuraciones usadas por los dispositivos ubicados en cada vehículo para transmitir los paquetes.
 - *confirmed*: Permite conocer si el registro enviado desde del vehículo fue recibido con éxito.
 - *hardware_serial*: EUI “*Extended Unique Identifier*”, es el identificador del dispositivo ubicado en el vehículo para recolectar y enviar los datos.
 - *port*: Es el número de puerto que permite establecer la comunicación entre el vehículo y la red.
 - *app_id*: Permite identificar la aplicación que está enviando los datos.
 - *payload_fields*: Corresponde a la carga útil decodificada, almacena los datos de latitud y longitud enviados por el GPS.
 - *dev_id*: Es el identificador del dispositivo en una plataforma de internet de las cosas (Things Speak).
 - *creation_date*: Almacena la fecha y hora en la que el registro fue creado.
 - *downlink_url*: Corresponde a un link que actúa como end-point para enviar datos a los vehículos.
 - *is_retry*: Almacena un 1 si el mensaje tuvo que ser reenviado, en caso contrario un 0.
 - *velocity*: Almacena la velocidad del vehículo registrada por el dispositivo.
 - *passengers*: Almacena el número de pasajeros a bordo del vehículo.

En la **Figura 37** se relaciona la estructura que deben seguir los documentos de esta colección.

```

_id: ObjectId("614a975b24b2be48088db3ac")      ObjectId
counter: "14"                                 String
payload_raw: "AXMrotJYDto="                  String
metadata: '{"coding_rate": "4/5", "data_rate"  String
confirmed: "VERDADERO"                       String
hardware_serial: "00EB0D71D1A0FAD7"         String
port: "5"                                     String
app_id: "fmcs"                                String
payload_fields: '{"latitude_gps': 2.4488866, 'long" String
dev_id: "heltec_007_cubecell"                 String
creation_date: "2021-09-22T02:39:23.058Z"    String
downlink_url: "https://integrations.thethingsnet" String
is_retry: "1.0"                              String
velocity: "55.13110369286846"                String
passengers: "0"                               String
_v: 0                                         Int32

```

Figura 37. Estructura de la colección *Transits* (elaboración propia).

- **Stations.** Esta colección almacena datos que describen cada una de las estaciones registradas en el sistema. Cada documento contiene los siguientes campos:
 - *_id*: Permite identificar cada uno de los registros.
 - *name*: Almacena un nombre descriptivo para la estación.
 - *location*: Almacena las coordenadas latitud, longitud de la estación respectivamente en un arreglo.

En la **Figura 38** se relaciona la estructura que deben seguir los documentos de esta colección.

```

_id: ObjectId("61ae7dc3a685042dcb8120f0")      ObjectId
name: "Estación Hospital San José"             String
location: Array                               Array
  0: 2.4512                                    Double
  1: -76.5995                                 Double

```

Figura 38. Estructura de la colección *Stations* (elaboración propia).

- **Events.** Esta colección almacena las eventualidades registradas por los viajeros. En la **Figura 37** se relaciona la estructura que deben seguir los documentos de esta colección. Cada documento está compuesto por los siguientes campos:
 - *_id*: Se utiliza para identificar cada uno de los registros
 - *location*: Guarda las coordenadas (*longitud* y *latitud*) de la eventualidad (ver **Figura 40**).
 - *type*: Almacena el tipo de eventualidad que puede ser “obra en la vía”, “accidente” o “tráfico lento”.
 - *creation_date*: Almacena la fecha de creación de la eventualidad.

```

_id: ObjectId("61f455500fe982407cdc82")
location: Array
  type: "Obra"
  creation_date: "2021-12-02T02:46:43.058Z"
  __v: 0

```

ObjectId
 Array
 String
 String
 Int32

Figura 39. Estructura de la colección *Events* (elaboración propia).

```

_id: ObjectId("61f455500fe982407cdc82")
location: Array
  0: 2.4511
  1: -76.59
  type: "Obra"
  creation_date: "2021-12-02T02:46:43.058Z"
  __v: 0

```

Figura 40. Estructura del campo *location* de la colección *Events* (elaboración propia).

Por último, la base de datos que fue creada en *Firebase* tiene una colección llamada *users* para almacenar cada uno de los usuarios registrados, cada documento está compuesto por los siguientes campos:

- *mail*: Es el correo electrónico del usuario registrado.
- *role*: Almacena el rol del usuario registrado, por defecto todo nuevo usuario es creado con el rol viajero “*TRAVELER*” y para cambiar de rol a usuario empresa de transporte, se debe hacer manualmente cambiando el valor de este campo a “*BUSINESS*”.

En la **Figura 41** relaciona la estructura que deben seguir los documentos de esta colección.

lJ5Sla6RwvbXRZZBoHhPEdvas4h2
⋮

[+ Iniciar colección](#)

[+ Agregar campo](#)

mail: "rafabeldev@gmail.com"

role: "TRAVELER"

Figura 41. Estructura de la colección *users* (elaboración propia).

5.2.3. Sub-módulos funcionales del Módulo TMC del prototipo

El desarrollo de las HU presentadas en la sección 6.2.2 fue realizado teniendo en cuenta los tres sub-módulos funcionales del TMC explicados anteriormente, que son:

- Pre-trip Travel Information.
- Vehícles Management.
- Transit Center Information Services.

El desarrollo de estos tres sub-módulos, con unas interfaces de entrada y salida claras, constituye uno de los aportes más significativo del desarrollo del SIV propuesto. Lo anterior debido a que la funcionalidad que presta cada uno de estos sub-módulos puede ser utilizada por otros servicios de movilidad que se desarrollen posteriormente.

Para interactuar con el TMC cada sub-módulo cuenta con una interfaz clara y definida usando el protocolo HTTP para el intercambio de datos. A continuación, se muestran algunos de los servicios más importantes de cada sub-módulo, la documentación detallada con ejemplos de las entradas y salidas para cada servicio se encuentra en el **Anexo E**.

El primer sub-modulo, Pre-trip Travel Information es utilizado por el usuario empresa de transporte para gestionar las rutas que servirán para proporcionar posteriormente información al viajero previa al viaje y obtener datos desde las estaciones y los dispositivos usados por el usuario viajero. A continuación, se listan los servicios más importantes con sus respectivos ejemplos de entrada y salida.

- Crear Ruta

Permite al **usuario empresa de transporte** crear ruta.

Endpoint: <https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/routes/new>

Método	Entrada	Respuesta
POST	<pre>body: { "name": "101", "org_uid": "asdf", "fare": 1900, "status": true, "path": [[-1.55, 72.656], [-2.55, 72.659]] }</pre>	<pre>{ "ok": true, "msg": "route created", "routeCreated": { "status": true, "color": "#444444", "path": [[-1.55, 72.656], [-2.55, 72.659]] }, "_id": "620fc6977cce510016b1529f", "name": "104", "fare": 1900, "org_uid": "asdf", "__v": 0 }, "routeToken": { "path": "/new", "stack": [{ "name": "create", "keys": [], "regex": { "fast_star": false, "fast_slash": false } }] }</pre>

		<pre> "method": "post" }], "methods": { "post": true } } </pre>
--	--	--

- Obtener rutas

Retorna una lista de las rutas registradas en el SIV.

Endpoint: <https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/routes/>

Método	Entrada	Respuesta
GET	body: {}	<pre> { "ok": true, "routes": [{ "status": true, "color": "#f44336", "path": [{ "id": "41c8b637-67da-450e-9827-172c4fa05f74", "lng": -6.55554971341212, "lat": 2.4737636963449603 }, ...], "_id": "60f48746d4129e691c2d05c8", "name": "1", "fare": 2500, "_v": 1, "org_uid": "bZ0ilxYKMEPsol31T9Xs8jG3Gcj1" }, ...] } </pre>

- Obtener una ruta

Retorna una ruta cuyo id coincida en el parámetro **route_id**.

Endpoint: https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/routes/:route_id

Método	Entrada	Respuesta
GET	body: {}	<pre> { "ok": true, "route": { "status": true, "color": "#f44336", "path": [{ "id": "41c8b637-67da-450e-9827-172c4fa05f74", "lng": -76.55554971341212, "lat": 2.4737636963449603 }, ...], "_id": "60f48746d4129e691c2d05c8", "name": "1", "fare": 2500, } </pre>

		<pre> "_v": 1, "org_uid": "bZ0ilxYKMEPsol31T9Xs8jG3Gcj1" } } </pre>
--	--	---

- Actualizar ruta

Actualiza una ruta cuyo **id** coincida con el parámetro **route_id** y retorna la ruta actualizada.

Los campos actualizables son:

- name
- fare
- path
- color
- status

Endpoint: https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/routes/:route_id

Método	Entrada	Respuesta
PUT	<pre> body: { "color": "#03a9f5" } </pre>	<pre> { "ok": true, "msg": "route updated", "x": { "status": true, "color": "#03a9f5", "path": [{ "id": "41c8b637-67da-450e-9827-172c4fa05f74", "lng": -76.55554971341212, "lat": 2.4737636963449603 }, ...], "_id": "60f48746d4129e691c2d05c8", "name": "1", "fare": 2500, "_v": 1, "org_uid": "bZ0ilxYKMEPsol31T9Xs8jG3Gcj1" } } </pre>

El segundo sub-modulo, TransitInformationService gestiona los datos relacionados al tránsito de los vehículos registrados en el SIV y los posibles eventos que pueden llegar a afectar el tránsito cómo (Obra en la vía, Accidente, tráfico lento). A continuación, se listan algunos de los servicios más importantes.

- Almacenar reportes del tránsito de vehículos

Usando el protocolo de comunicación websocket, fue implementado un servicio de escucha que permite recibir los datos enviados por los vehículos y almacenarlos.

Solo son almacenados los datos, si el reporte proviene de un vehículo con un hardware_serial (identificador del dispositivo ubicado cada vehículo) registrado en el SIV.

Si se quiere recibir datos de un vehículo específico se debe realizar una subscripción usando como nombre de evento el **hardware_serial** asociado al vehículo.

Endpoint: <https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/>

- Obtener reportes del tránsito de vehículos

Retorna una lista de todos los registros del tránsito de los vehículos registrados en el SIV en un intervalo de tiempo [initialDate, endDate].

Endpoint: <https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/reports/>

Método	Entrada	Respuesta
POST	<pre>body: { "initialDate": "2021-11-22T22:47:00.058Z", "endDate": "2021-11-22T22:47:20.058Z" }</pre>	<pre>{ "ok": true, "transits": [{ "_id": "619c1df327f2a45ef86b6d70", "counter": "2098", "payload_raw": "AXNmSdJXL0U=", "metadata": '{"coding_rate': '4/5', 'data_rate': 'SF7BW125', 'frequency': 903.9, 'gateways': [{'channel': 0, 'gtw_id': 'eui-a840411d1fb841f1', 'rf_chain': 0, 'rsssi': -90, 'snr': 9, 'time': '2020-10-28T01:57:01.267936Z', 'timestamp': 2460984523}], 'modulation': 'LORA', 'time': '2020-10-28T01:57:01.413798595Z'}", "confirmed": "VERDADERO", "hardware_serial": "00712A6BFD5FD6D2", "port": "6", "app_id": "fmcs", "payload_fields": '{"latitude_gps': 2.4340041, 'longitude_gps': -76.6038395}", "dev_id": "heltec_006", "creation_date": "2021-11-22T22:47:15.071Z", "downlink_url": "https://integrations.thethingsnetwork.org/ttn-eu/api/v2/down/fmcs/upload?key=ttn-account-v2.XkqOjgMkLfJkIoEo5R35wWh-ERBo8wb38S6GVn4JZ_c", "is_retry": "", "velocity": "43.57022385883318", "passengers": "14", "__v": 0 }, ...] }</pre>

- Crear evento

Permite crear el reporte de una eventualidad en la vía.

Endpoint: <https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/events/>

Método	Entrada	Respuesta
POST	<pre>body: { "type": "Accidente", "location": [2.4513,- 76.596], "creation_date": "2022-01-28T02:46:43.058Z" }</pre>	<pre>{ "ok": true, "msg": "event created", "eventCreated": { "location": [2.4513, -76.596], "_id": "62128a199a8465617cbdf523", "type": "Accidente", "creation_date": "2022-01-28T02:46:43.058Z", "__v": 0 } }</pre>

- Obtener eventos filtrados

Retorna una lista de eventos en la vía del tipo especificado en el parámetro *type*, en un intervalo de tiempo que va desde la fecha especificada en el parámetro **initialDate** hasta la fecha actual.

Si el parámetro *type* = *null* trae los eventos de todo tipo.

Endpoint: <https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/events/period/>

Método	Entrada	Respuesta
POST	<pre>body: { "initialDate": "2021-11-01T02:46:43.058Z", "type": null }</pre>	<pre>{ "ok": true, "events": [{ "location": [2.442764238856114, -76.60746703955535], "_id": "61f73ca4fc62190016db198a", "type": "Accidente", "updatedAt": "2022-01-31T01:34:28.615Z", "__v": 0, "creation_date": "Sun Jan 30 2022 20:34:28 GMT-0500 (hora estándar de Colombia)" }, { "location": [2.4513, -76.596], "_id": "62128a199a8465617cbdf523", "type": "Accidente", "creation_date": "2022-01-28T02:46:43.058Z", "__v": 0 }, ...] }</pre>

El tercer sub-módulo VehiclesManagement, es el encargado de gestionar los datos de los vehículos registrados en el SIV. A continuación, se listan algunos de sus servicios más importantes.

- Crear vehículo

Permite al **usuario empresa de transporte** crear un vehículo.

Endpoint: <https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/vehicles/>

Método	Entrada	Respuesta
POST	<pre>body: { "placa": "SHS-024", "hardware_serial": "00AABB601", "route": "615221a1c6c2b91908d2a82" }</pre>	<pre>{ "ok": true, "msg": "vehicle created", "vehicleCreated": { "_id": "6212a242bfeedd001699c539", "hardware_serial": "00AABB601", "placa": "SHS-024", "route": "615221a1c6c2b91908d2a826" }, "__v": 0 }</pre>

- Obtener vehículos

Retorna una lista de todos los vehículos registrados en el SIV, con data de su respectiva ruta asociada.

Endpoint: <https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/vehicles/>

Método	Entrada	Respuesta
GET	<pre>body: {}</pre>	<pre>{ "ok": true, "vehicles": [{ "_id": "61fae2f6e506af0016c92a71", "hardware_serial": "00923D037D73DE54", "placa": "SHS-001", "route": { "status": true, "color": "#2196f3", "path": [{ "id": "fef302d6-a961-4316-b10a-19e319e20838", "lng": -76.59803073893005, "lat": 2.4472156846919972 }, ...], "__v": 0 }, "__v": 0 }, { "_id": "61fb4940c40dbd0016d92da5", "hardware_serial": "0056A03AAAE4F07C", "placa": "SHS-002", "route": { "status": true, "color": "#2196f3", "path": [</pre>

		<pre> "id": "fef302d6-a961-4316- b10a-19e319e20838", "lng": -76.59803073893005, "lat": 2.4472156846919972 }, ...], "_id": "615221a1c6c2b91908d2a826", "name": "10", "fare": 1950, "__v": 0 }], "__v": 0 } </pre>
--	--	---

- Actualizar vehículos

Actualiza un vehículo cuyo id coincida con el parámetro **vehicle_id** y retorna el vehículo actualizado.

Los campos actualizables son:

- ruta
- hardware_serial
- placa

Endpoint: https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/vehicles/:vehicle_id

Método	Entrada	Respuesta
PUT	<pre> body: { "placa": "SHS-070", "hardware_serial": "00BA51454A3204B6F" } </pre>	<pre> { "ok": true, "msg": "vehicle updated", "vehicleSaved": { "_id": "61fae2f6e506af0016c92a71" }, "hardware_serial": "00BA51454A3204B6F", "placa": "SHS-070", "route": "615221a1c6c2b91908d2a826", "__v": 0 } </pre>

- Obtener vehículos por ruta

Retorna una lista con los vehículos asociados al id de ruta que coincida con el parámetro **route_id**.

Endpoint: https://siv-backend-popayan.herokuapp.com/api/:vehicle_id

Método	Entrada	Respuesta
GET	<pre> body: {} </pre>	<pre> { "ok": true, "vehicles": [{ "_id": "61fae2f6e506af0016c92a71", </pre>

		<pre> "hardware_serial": "00BA51454 A3204B6F", "placa": "SHS-070", "route": "615221a1c6c2b91908d 2a826", "__v": 0 }, { "_id": "61fb4940c40dbd0016d92 da5", "hardware_serial": "0056A03AA AE4F07C", "placa": "SHS-002", "route": "615221a1c6c2b91908d 2a826", "__v": 0 }, { "_id": "6212a242bfeedd001699c 539", "hardware_serial": "00AABB601 ", "placa": "SHS-024", "route": "615221a1c6c2b91908d 2a826", "__v": 0 }] } </pre>
--	--	---

Capítulo 6

6. Pruebas diseñadas y resultados de validación obtenidos.

6.1. Diseño de pruebas

Con el fin de validar la funcionalidad del SIV desarrollado, fue diseñado el siguiente plan de pruebas, incluyendo las HU más relevantes del mismo, comprobando de esta manera el correcto funcionamiento del sistema.

Considerando el nivel de desarrollo del SIV (TRL nivel 3, prueba de concepto) no se realizó un experimento específico para verificar la funcionalidad del sistema. Tampoco se realizaron pruebas no funcionales del sistema relacionadas con la escalabilidad o el rendimiento, ya que el nivel de desarrollo aún es bajo para este tipo de pruebas.

Las pruebas realizadas estuvieron enfocadas a verificar la correcta funcionalidad del sistema, para cada uno de los usuarios, y a mejorar la usabilidad de cada una de las HU. Para esto, el prototipo se presentó a personas que desconocían el desarrollo del sistema, aportando opciones de mejora ante la usabilidad y accesibilidad del mismo.

Se debe tener en cuenta que para el cumplimiento del objetivo específico 3 del trabajo de grado en la HU17 se utilizó el *dataset* que se menciona en los capítulos 5 y 6 (de un entregable de un trabajo de grado previo) para poder presentar el desplazamiento de los vehículos de transporte público por ciertas rutas. Dicho *dataset* contiene algunos recorridos vehiculares realizados en la ciudad de Popayán en el año 2021. La integración desarrollada para dicho *dataset* permitió visualizar en el SIV el desplazamiento de los vehículos, como si se estuviera realizando en línea.

A continuación, se presentan las pruebas realizadas en ciertas HU del SIV.

6.1.1. Pruebas relacionadas con la HU4 denominada “Empresa de transporte adicionales rutas”

Prueba 1 de la HU4. Crear una nueva ruta.

Descripción: En el menú principal de un usuario empresa de transporte, seleccionando la opción administrar rutas, realizar la creación de una nueva ruta.

Precondición: Iniciar sesión como usuario empresa de transporte.

Datos de entrada: Número de ruta, tarifa, color, trayectoria.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **rutas**.
3. Presionar el botón “Crear ruta”.

4. Completar el formulario con los datos de la ruta, (número de ruta, tarifa, color).
5. Hacer *click* en el mapa para trazar la ruta.
6. Hacer *click* en el mapa por los puntos que conforman la trayectoria de la ruta, es recomendable hacer un acercamiento en el mapa para que la trayectoria de la ruta coincida con las vías existentes.
7. Presionar el botón “Guardar trayectoria”, luego que ha sido definida.

Resultado esperado: Mensaje de creación de ruta exitoso.

Prueba 2 de la HU4. Verificar que no permite crear ruta con el mismo número

Descripción: En el menú principal de un usuario empresa de transporte, seleccionando la opción administrar rutas, al intentar la creación de una nueva ruta, **con un mismo número ya creado**, no lo debe permitir.

Precondición: Iniciar sesión como usuario empresa de transporte. Además, una ruta creada con el mismo número que se va a intentar crear.

Datos de entrada: Número de ruta, tarifa, color, trayectoria.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **rutas**.
3. Presionar el botón “Crear ruta”.
4. Completar el formulario con los datos de la ruta, (número de ruta, el cual debe completarse con un número de una ruta ya creada, una tarifa, y un color).
5. Hacer *click* en el mapa para trazar la ruta.
6. Hacer *click* en el mapa por los puntos que conforman la trayectoria de la ruta, es recomendable hacer un acercamiento en el mapa para que la trayectoria de la ruta coincida con las vías existentes.
7. Presionar el botón “Guardar trayectoria”, luego que ha sido definida.

Resultado esperado: El sistema no debe permitir la creación de la ruta, ya que no se puede asignar el mismo número a dos rutas diferentes

Prueba 3 de la HU4. Verificar que no permite crear ruta sin trayectoria previa.

Descripción: En el menú principal de un usuario empresa de transporte, seleccionando la opción administrar rutas, al intentar la creación de una nueva ruta, **sin definir una trayectoria**, no lo debe permitir.

Precondición: Iniciar sesión como usuario empresa de transporte.

Datos de entrada: Número de ruta, tarifa, color.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **rutas**.
3. Presionar el botón “Crear ruta”.
4. Completar el formulario con los datos de la ruta, (número de ruta, tarifa, color).
5. Presionar el botón “Guardar trayectoria”, luego que ha sido definida.

Resultado esperado: El sistema no debe permitir la creación de la ruta, ya que no se puede crear una ruta sin trayectoria.

6.1.2. Pruebas relacionadas con la HU2 denominada “Empresa de transporte consulta rutas”

Prueba 1 de la HU2. Consultar rutas.

Descripción: Desde el menú principal de un usuario empresa de transporte debe existir una opción para administrar rutas, desde la cual sea posible realizar la consulta de rutas.

Precondición: Iniciar sesión como usuario empresa de transporte.

Datos de entrada: No aplica.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **rutas**.
3. (Opcional) Luego de entrar en la sección de rutas es posible ver una tabla con todas las rutas disponibles con datos como (número de ruta, estado y tarifa), también es posible ver la trayectoria en el mapa o editar cada una de las rutas.

Resultado esperado: Visualizar las rutas existentes.

6.1.3. Pruebas relacionadas con la HU3 denominada “Empresa de transporte modifica rutas”

Prueba 1 de la HU3. Editar una ruta

Descripción: Desde el menú principal de un usuario empresa de transporte, debe existir una opción para administrar rutas, desde la cual sea posible editar las rutas existentes.

Precondición: Iniciar sesión como usuario empresa de transporte, seleccionar ruta a editar.

Datos de entrada: Número de ruta, tarifa, color, trayectoria.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **rutas**.
3. Hacer *click* en el botón editar de la ruta que se desea editar. Desde la tabla de rutas, existe una columna llamada opciones, donde la primera opción permite abrir la interfaz de modificación de ruta.
4. Editar los valores que se desean modificar, (número de ruta, tarifa, color, trayectoria).
5. (Opcional) En el caso que se desee modificar la trayectoria se debe hacer *click* en el mapa.
6. Hacer *click* en el botón “Editar ruta”.

Resultado esperado: Mensaje de modificación de ruta exitoso.

6.1.4. Pruebas relacionadas con la HU5 denominada “Empresa de transporte visualiza información de vehículo.”

Prueba 1 de la HU5. Ver vehículos existentes.

Descripción: Desde el menú principal debe existir una opción para administrar vehículos, desde la cual pueda visualizar información de los vehículos existentes.

Precondición: Iniciar sesión como usuario empresa de transporte.

Datos de entrada: No aplica.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **vehículos**.
3. (Opcional) Luego de entrar en la sección de **vehículos** es posible ver una tabla con todos los vehículos registrados en el sistema con datos como (serial, placa y número de ruta), también es posible ver su ubicación en el mapa o editar cada uno de los vehículos.

Resultado esperado: Visualizar los vehículos existentes.

6.1.5. Pruebas relacionadas con la HU14 denominada “Usuario viajero define punto de inicio de viaje.”

Prueba 1 de la HU14. Definir punto de inicio

Descripción: Desde el menú principal del usuario viajero, debe existir una opción para **iniciar viaje**, desde la cual pueda definir su punto de inicio de viaje.

Precondición: Iniciar sesión como usuario viajero.

Datos de entrada: latitud, longitud.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **iniciar viaje**.
3. Mover el mapa para definir el punto de inicio del viaje, en el caso que el dispositivo cuente con gps y desee usar la ubicación actual, puede hacer *click* en el botón de geolocalización ubicado en la esquina superior izquierda del mapa.
4. Una vez definido el punto de inicio, hacer *click* en el botón “Fijar punto de inicio”

Resultado esperado: En el caso que el punto de inicio se fije correctamente, es posible continuar para definir el punto de destino.

6.1.6. Pruebas relacionadas con la HU15 denominada “Usuario viajero modifica el punto de destino.”

Prueba 1 de la HU15. Definir punto de destino

Descripción: Desde el menú principal del usuario viajero debe existir una opción para **iniciar viaje**, desde esta opción se le permite definir el punto de inicio de su viaje (descrito en la historia de usuario anterior), posterior a esto, puede definir el punto de destino en el cual finaliza su viaje.

Precondición: Iniciar sesión como usuario viajero, luego iniciar viaje, posteriormente fijar punto de inicio.

Datos de entrada: latitud, longitud.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **iniciar viaje**.
3. Mover el mapa para definir el punto de inicio del viaje, en el caso que el dispositivo cuente con gps y desee usar la ubicación actual, puede hacer *click* en el botón de geolocalización ubicado en la esquina superior izquierda del mapa.
4. Una vez definido el punto de inicio en el mapa, hacer *click* en el botón “Fijar punto de inicio”
5. Mover el mapa para definir el punto de destino del viaje, en el caso que el dispositivo cuente con gps y desee usar la ubicación actual, puede hacer *click* en al botón de geolocalización ubicado en la esquina superior izquierda del mapa.
6. Una vez definido el punto de destino en el mapa, hacer *click* en el botón “Fijar punto de Destino”

Resultado esperado: En el caso que el punto de destino se fije correctamente, es posible continuar y visualizar las rutas disponibles para definir otros parámetros previos al viaje.

6.1.7. Pruebas relacionadas con la HU16 denominada “Usuario viajero selecciona ruta.”

Prueba 1 de la HU16. Ver y seleccionar ruta de preferencia.

Descripción: Luego que el usuario viajero defina el punto de inicio y punto de destino de su viaje, es posible visualizar las rutas sugeridas que incluyan dentro de su recorrido los puntos definidos o puntos cercanos a este, posterior a esto, puede seleccionar la ruta que más se ajuste a sus necesidades.

Precondición: Iniciar sesión como usuario viajero, luego iniciar viaje, posteriormente fijar punto de inicio, luego fijar punto de destino.

Datos de entrada: No aplica.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **iniciar viaje**.
3. Mover el mapa para definir el punto de inicio del viaje, en el caso que el dispositivo cuente con gps y desee usar la ubicación actual, puede hacer *click* en el botón de geolocalización ubicado en la esquina superior izquierda del mapa.
4. Una vez definido el punto de inicio en el mapa, hacer *click* en el botón “Fijar punto de inicio”
5. Mover el mapa para definir el punto de destino del viaje, en el caso que el dispositivo cuente con gps y desee usar la ubicación actual, puede hacer *click* en el botón de geolocalización ubicado en la esquina superior izquierda del mapa.
6. Una vez definido el punto de destino en el mapa, hacer *click* en el botón “Fijar punto de Destino”.
7. Hacer *click* en una de las rutas presentadas (número de ruta, tarifa).

Resultado esperado: Hacer *click* en una de las rutas se debe mostrar la trayectoria de la ruta y los puntos más cercanos al punto A y B respecto a la ruta.

Prueba 2 de la HU16. Solicitar rutas disponibles.

Descripción: Después que el usuario viajero defina su punto de inicio y punto de destino, este puede solicitar las rutas que cuya trayectoria satisface el viaje objetivo del viajero. Con el fin de verificar la correcta presentación de dos o más rutas disponibles, si las hay.

Precondición: Iniciar sesión como usuario viajero, luego iniciar viaje, posteriormente fijar punto de inicio, luego fijar punto de destino.

NOTA: Para realizar esta prueba se debe tener en cuenta que las coordenadas usadas como punto de inicio y punto de destino deben estar dentro del área de cobertura de las rutas registradas en el SIV.

Datos de entrada: No aplica.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **iniciar viaje**.
3. Mover el mapa para definir el punto de inicio del viaje, en el caso que el dispositivo cuente con gps y desee usar la ubicación actual, puede hacer *click* en el botón de geolocalización ubicado en la esquina superior izquierda del mapa.
4. Una vez definido el punto de inicio en el mapa, hacer *click* en el botón “Fijar punto de inicio”
5. Mover el mapa para definir el punto de destino del viaje, en el caso que el dispositivo cuente con gps y desee usar la ubicación actual, puede hacer *click* en el botón de geolocalización ubicado en la esquina superior izquierda del mapa.
6. Una vez definido el punto de destino en el mapa, hacer *click* en el botón “Fijar punto de Destino”.
7. Hacer *click* en el botón buscar rutas y ver el listado de rutas disponibles.

Resultado esperado: Obtener la correcta visualización de al menos dos rutas disponibles que cumplan con las condiciones de punto de inicio y punto de destino.

Prueba 3 de la HU16. Solicitar rutas disponibles.

Descripción: Teniendo en cuenta que el usuario viajero puede definir puntos de inicio y destino que no se encuentren dentro de la cobertura abarcada por las rutas, se realiza esta prueba de funcionamiento, definiendo ubicaciones fuera del área cubierta por las diferentes rutas.

Precondición: Iniciar sesión como usuario viajero, luego iniciar viaje, posteriormente fijar punto de inicio, luego fijar punto de destino.

Datos de entrada: No aplica.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **iniciar viaje**.

3. Mover el mapa para definir el punto de inicio del viaje, en este caso en particular debemos poner un punto de inicio fuera del alcance de las rutas.
4. Una vez definido el punto de inicio en el mapa, hacer *click* en el botón “Fijar punto de inicio”
5. Mover el mapa para definir el punto de destino del viaje, en el caso que el dispositivo cuente con gps y desee usar la ubicación actual, puede hacer *click* en el botón de geolocalización ubicado en la esquina superior izquierda del mapa, en este caso podemos poner un punto dentro o fuera del alcance de las rutas, ya que es suficiente con que el punto de inicio cumpla con dicha condición.
6. Una vez definido el punto de destino en el mapa, hacer *click* en el botón “Fijar punto de Destino”.
7. Hacer *click* en el botón buscar rutas y ver el listado de rutas disponibles.

Resultado esperado: El sistema debe informar al usuario que no existen rutas que cumplan con dichas condiciones.

Prueba 4 de la HU16. Solicitar rutas disponibles.

Descripción: Verificar que cuando una ruta es cubierta por más de un vehículo es posible ver la información de cada uno de ellos como número de pasajeros a bordo, velocidad, y una estimación del tiempo de llegada, también sus respectivas posiciones en el mapa.

Precondición: Iniciar sesión como usuario viajero, luego desde el menú hacer *click* en la opción **Iniciar viaje**, luego establecer punto de inicio y punto destino y por último haber seleccionado una ruta, por último, para ver el movimiento de los vehículos es importante ejecutar el módulo *datasetManager* encargado de realizar la simulación del tránsito de vehículos a partir de un *dataset*.

Datos de entrada: Id de la ruta seleccionada (se obtiene al hacer *click* en la ruta deseada).

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **Iniciar viaje**.
3. Mover el mapa para ubicar el marcador en el punto de inicio.
4. Hacer *click* en el botón **Fijar punto de Inicio**.
5. Mover el mapa para ubicar el marcador en el punto de destino.
6. Hacer *click* en el botón **Fijar punto de Destino**.
7. Hacer *click* sobre la ruta deseada.
8. Ejecutar el módulo *datasetManager* para simular el movimiento de los vehículos.

Resultado esperado: Si la ruta tiene más de un vehículo, en el mapa debe ser visible todos los vehículos asociados que se encuentran en movimiento y también ver el detalle de cada vehículo en una lista.

Prueba 5 de la HU16. Visualizar la indisponibilidad de vehículos.

Descripción: Teniendo en cuenta que se puede presentar el caso que un usuario viajero elija una ruta y esta no tenga vehículos disponibles, se realiza esta prueba de funcionamiento permitiendo identificar este caso en particular.

Precondición: Iniciar sesión como usuario viajero, luego desde el menú hacer *click* en la opción **Iniciar viaje**, luego establecer punto de inicio y punto destino y por último haber seleccionado una ruta, por último, para ver el movimiento de los vehículos es importante ejecutar el módulo *datasetManager* encargado de realizar la simulación del tránsito de vehículos a partir de un *dataset*.

Datos de entrada: Id de la ruta seleccionada (se obtiene al hacer *click* en la ruta deseada).

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **Iniciar viaje**.
3. Mover el mapa para fijar el punto de origen.
4. Mover el mapa para fijar el punto de destino.
5. Hacer *click* en el botón **Buscar Rutas**.
6. Hacer *click* sobre la ruta que más le resulte.

Resultado esperado: Visualizar un mensaje que indique que no hay vehículos disponibles para la ruta seleccionada.

6.1.8. Pruebas relacionadas con la HU17 denominada “Usuario viajero selecciona vehículo”

Prueba 1 de la HU17. Ver y seleccionar vehículo de preferencia.

Descripción: Luego de definir el punto de inicio y punto de destino de un viaje y establecer la ruta deseada, es posible visualizar los vehículos asociados a cada una de las rutas que cumplen con las condiciones del viaje y ver más información relacionada al tránsito de cada vehículo al hacer “*click*” en alguno de los vehículos de la lista.

Precondición: Iniciar sesión como usuario viajero, luego iniciar viaje, posteriormente fijar punto de inicio, luego fijar punto de destino, y por último seleccionar una ruta con vehículos asociados.

Para ver el movimiento de los vehículos es importante ejecutar el módulo *datasetManager* encargado de realizar la simulación del tránsito de vehículos a partir de un *dataset*.

Datos de entrada: No aplica.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **iniciar viaje**.
3. Mover el mapa para definir el punto de inicio del viaje, en el caso que el dispositivo cuente con gps y desee usar la ubicación actual, puede hacer *click* en el botón de geolocalización ubicado en la esquina superior izquierda del mapa.
4. Una vez definido el punto de inicio en el mapa, hacer *click* en el botón “Fijar punto de inicio”
5. Mover el mapa para definir el punto de destino del viaje, en el caso que el dispositivo cuente con GPS y desee usar la ubicación actual, puede hacer *click* en el botón de geolocalización ubicado en la esquina superior izquierda del mapa.

6. Una vez definido el punto de destino en el mapa, hacer *click* en el botón “Fijar punto de Destino”.
7. Hacer *click* en una de las rutas presentadas (número de ruta, tarifa).
8. Hacer *click* en uno de los vehículos de la lista de vehículos presentada (placa).

Resultado esperado: Hacer “*click*” en uno de los vehículos debe ser posible ver el tiempo de llegada del vehículo al punto de recogida, número de pasajeros en el vehículo y su velocidad.

7.1.9. Pruebas relacionadas con la HU20 denominada “Usuario viajero visualiza información de transporte público en estaciones”

Prueba 1 de la HU20. Ver información de las estaciones existentes.

Descripción: Desde el menú principal del Usuario Viajero debe existir una opción para visualizar un listado de las estaciones existentes.

Precondición: Iniciar sesión como usuario empresa de transporte.

Datos de entrada: No aplica.

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en al menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **Estaciones**.

Resultado esperado: Visualizar las estaciones existentes.

Prueba 2 de la HU20. Ver ubicación de las estaciones existentes.

Descripción: Se debe permitir al usuario viajero visualizar la ubicación de la estación en el mapa.

Precondición: Iniciar sesión como usuario empresa de transporte y desde el menú hacer *click* en la opción **Estaciones**.

Datos de entrada: Id de la estación seleccionada (se obtiene al hacer *click* en la estación deseada).

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en al menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **Estaciones**.
3. Hacer *click* en sobre una de las estaciones listadas.

Resultado esperado: Visualizar la ubicación de la estación en el mapa.

Prueba 3 de la HU20. Ver rutas que pasan por la estación seleccionada.

Descripción: El usuario viajero puede seleccionar una de las estaciones existentes y posteriormente visualizar las rutas cuya trayectoria incluye la estación seleccionada.

Precondición: Iniciar sesión como usuario empresa de transporte y desde el menú hacer *click* en la opción **Estaciones**, luego hacer *click* sobre la estación deseada.

Datos de entrada: Id de la estación seleccionada (se obtiene al hacer *click* en la estación deseada).

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **Estaciones**.
3. Hacer *click* en sobre una de las estaciones listadas.

Resultado esperado: Visualizar las rutas cuya trayectoria incluye la estación seleccionada.

Prueba 4 de la HU20 Ver vehículos que pasan por la estación seleccionada.

Descripción: El usuario viajero puede seleccionar una de las estaciones existentes y posteriormente visualizar información de los vehículos asociados a las rutas que pasan por la estación.

Precondición: Iniciar sesión como usuario empresa de transporte y desde el menú hacer *click* en la opción **Estaciones**, luego hacer *click* sobre la estación deseada.

Para ver el movimiento de los vehículos es importante ejecutar el módulo *datasetManager* encargado de realizar la simulación del tránsito de vehículos a partir de un *dataset*.

Datos de entrada: Id de la estación seleccionada (se obtiene al hacer *click* en la estación deseada).

Pasos para reproducir prueba

1. Hacer *click* en el menú principal, ubicado en la esquina superior izquierda.
2. Hacer *click* en la opción **Estaciones**.
3. Hacer *click* en sobre una de las estaciones listadas.

Resultado esperado: Visualizar información de los vehículos asociados a las rutas cuya trayectoria incluye la estación seleccionada, cada vehículo debe mostrar el tiempo de llegada a la estación, velocidad, placa y número de pasajeros.

6.2. Resultados de validación obtenidos

Una vez diseñadas y planeadas las pruebas, éstas fueron ejecutadas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

6.2.1. Pruebas relacionadas con la HU4 denominada “Empresa de transporte adicionales rutas”

Prueba 1 de la HU4. Crear una nueva ruta.

Resultado obtenido: Es posible observar en la **Figura 42** que al ejecutar esta prueba se obtuvo un resultado exitoso y se pudo comprobar en la interfaz que el proceso de creación de ruta se hizo correctamente.

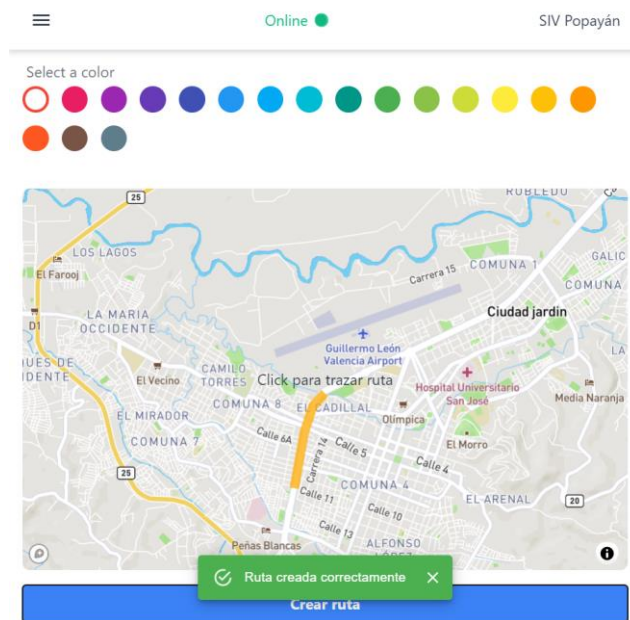


Figura 42. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU4 (elaboración propia).

Prueba 2 de la HU4. Verificar que no permite crear ruta con el mismo número

Resultado obtenido: Se puede observar en la **Figura 43** las rutas que se tenían registradas previamente.

Ruta	Estado	Tarifa	Acciones
1	Activa	1.950	[Iconos]
2	Activa	1.850	[Iconos]
3	Activa	1.800	[Iconos]
4	Activa	1.800	[Iconos]
5	Activa	1.800	[Iconos]

Figura 43. Resultado obtenido de las rutas registradas en la prueba 2 de la HU4 (elaboración propia).

Teniendo en cuenta esta información, es posible crear una ruta relacionándola con el mismo número de alguna de las rutas ya creadas, en este caso fue elegida la ruta 2, tal como se observa en la **Figura 44**.

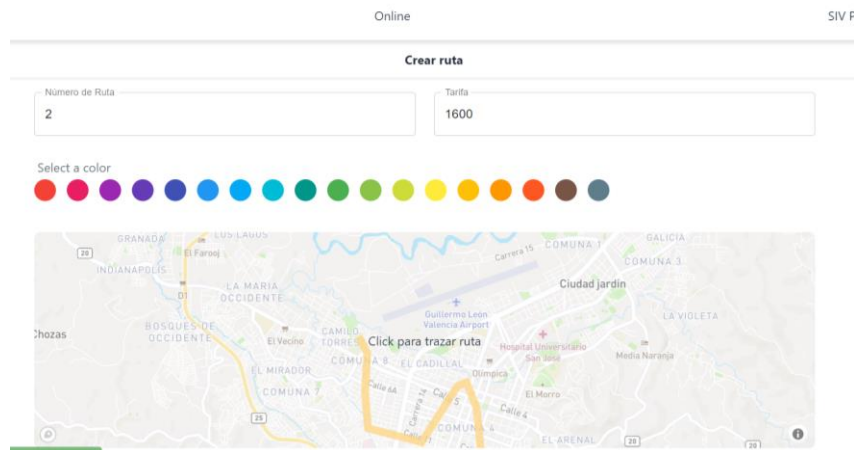


Figura 44. Resultado obtenido de la selección de ruta en la prueba 2 de la HU4 (elaboración propia).

Posterior a esto, al presionar sobre el botón “crear ruta” el sistema inicialmente permitió crear la ruta, sin identificar que este número de ruta ya se encontraba asignado a una ruta anteriormente registrada, tal como se evidencia en la **Figura 45**. Este resultado obtenido no era el esperado, debido a que en el contexto real, los números de ruta en cada empresa de trabajo deben ser únicos ya que esto puede ocasionar confusión entre los viajeros.

60	Activa	2.000		
101	Activa	1.900		
1	Activa	1.500		
2	Activa	1.600	 Crear ruta	

Figura 45. Resultado final obtenido de la prueba 2 de la HU4 (elaboración propia).

Considerando esto, se realizaron los ajustes respectivos en la HU4.

Prueba 3 de la HU4. Verificar que no permite crear ruta sin trayectoria previa.

Resultado obtenido: Inicialmente para esta prueba, se ingresaron los datos de la ruta sin tener en cuenta la trayectoria que sigue la misma, tal como se muestra en la **Figura 46**.

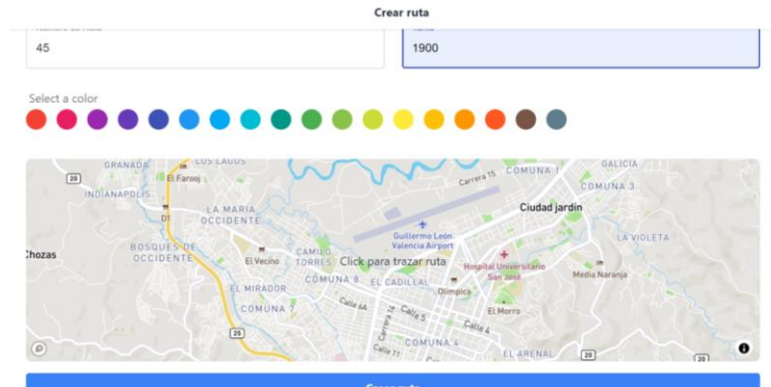


Figura 46. Resultado obtenido del ingreso de datos de la prueba 3 de la HU4 (elaboración propia).

Posteriormente, fue presionado el botón “Crear ruta” y el sistema permitió el registro de la ruta normalmente, tal como se evidencia en la **Figura 47**. El resultado obtenido no era el que se esperaba, debido a que una ruta debe ir descrita por su trayectoria, de lo contrario no aportaría información importante para el viajero.







1	Activa	1.500		
2	Activa	1.600		
45	Activa	1.900		

Figura 47. Resultado final obtenido por la prueba 3 de la HU4 (elaboración propia).

Considerando esto, se realizaron los ajustes respectivos en la HU4.

Después de realizar las tres (3) pruebas descritas para la HU4 y realizar algunos ajustes, se concluyó que el prototipo del SIV permite la creación de rutas al usuario empresa de transporte de forma adecuada.

Se identificó que el registro de dos o más rutas con el mismo número, no era conveniente permitirlo, ya que en un entorno de producción puede causar confusión entre los usuarios que opten por este servicio de transporte. Por lo anterior, fue ajustado el prototipo del SIV para no limitar dicho aspecto al crear una ruta.

Otro aspecto que fue identificado en el prototipo del sistema, estaba relacionado con el registro de rutas sin una trayectoria asociada al mismo. Fue considerado pertinente no permitirlo para que los datos de la ruta estén completos al momento de su creación.

Fue identificada una posible mejora, para una nueva versión del prototipo, realizando la inactivación automática de una ruta, que no tenga asignado ningún vehículo. De esa forma, no se ofertaría a los usuarios viajeros rutas que no estén siendo atendidas por ciertos vehículos.

6.2.2. Pruebas relacionadas con la HU2 denominada “Empresa de transporte consulta rutas”

Prueba 1 de la HU2. Consultar rutas.

Resultado obtenido: Se puede observar en la **Figura 48** que al ejecutar esta prueba se obtuvo un resultado exitoso y fue posible consultar la información de todas las rutas del sistema.

The screenshot shows a web application interface for managing routes. At the top, there is a status indicator 'Online' with a green dot and the text 'SIV Popayán'. Below this is a search bar labeled 'Lista de Rutas' with a search icon and a close button. The main content is a table with the following data:

Ruta	Estado	Tarifa	Acciones
1	Activa	1.800	[Edit] [Share]
2	Activa	1.850	[Edit] [Share]
3	Activa	1.800	[Edit] [Share]
4	Activa	1.800	[Edit] [Share]
5	Activa	1.800	[Edit] [Share]
6	Activa	1.800	[Edit] [Add]

Figura 48. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU2 (elaboración propia).

El desarrollo de la prueba de esta HU 2, permitió verificar que el sistema efectivamente presenta al usuario empresa de transporte las diferentes rutas que ha creado, aportando información relevante de cada una de ellas, listándolas por orden de creación.

Uno de los aportes o mejoras que fueron incluidos al sistema respecto a esta HU 2, fue la opción de organizar dichas rutas por precio o número, ya que esto podría facilitar la visualización y accesibilidad de la aplicación.

6.2.3. Pruebas relacionadas con la HU3 denominada “Empresa de transporte modifica rutas”

Prueba 1 de la HU3. Editar una ruta

Resultado obtenido: Para esta prueba se ingresó con un rol de empresa y fue seleccionada una ruta ya registrada con el fin de modificar el valor de la tarifa y su trayectoria, como se puede apreciar en la **Figura 49**. Una oportunidad de mejora identificada en esta HU3, fue que al realizar el cambio de color de la ruta era conveniente previsualizar como afectaría el cambio de color sobre el trazo en el mapa.

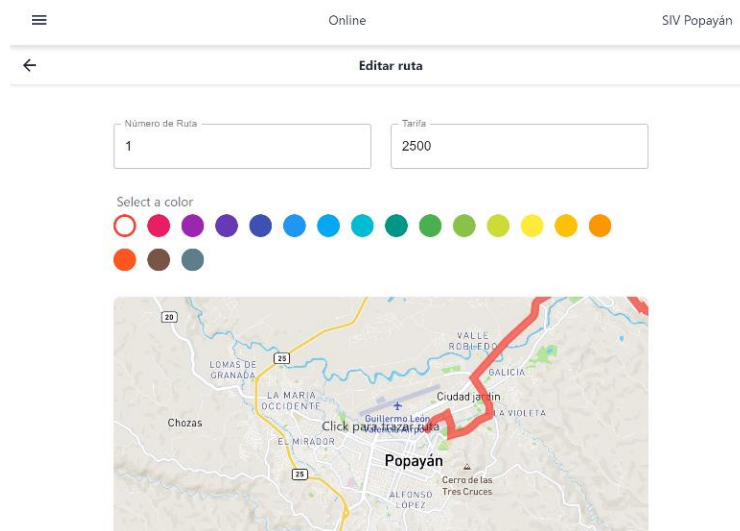


Figura 49. Resultado obtenido en el inicio de la prueba 1 de la HU3 (elaboración propia).

En la **Figura 50** se observa la confirmación que se obtuvo al modificar la ruta.

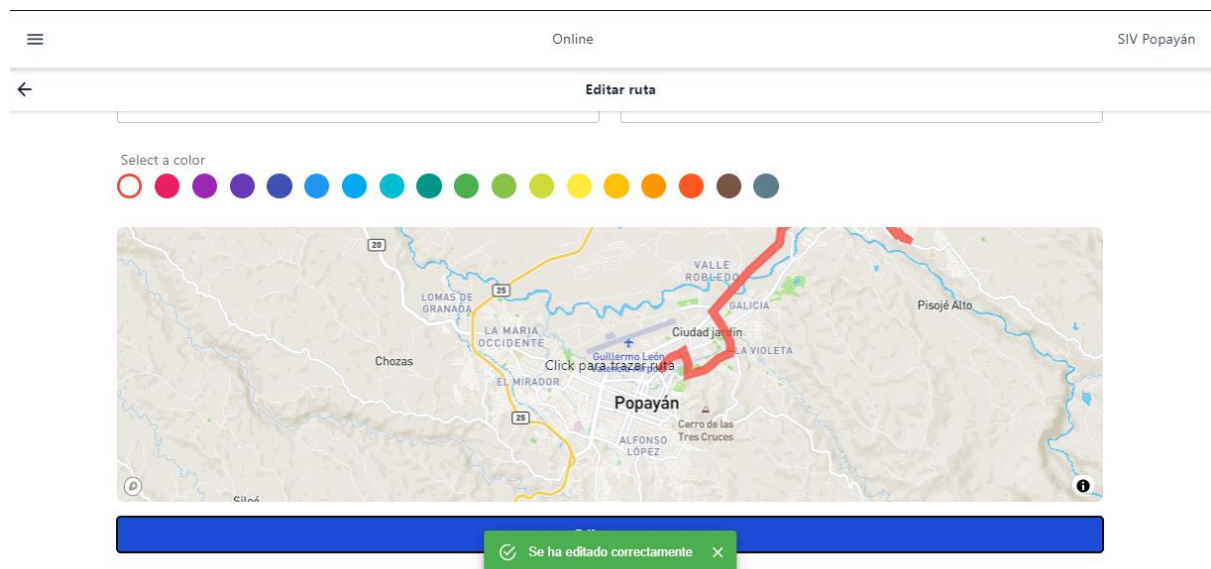


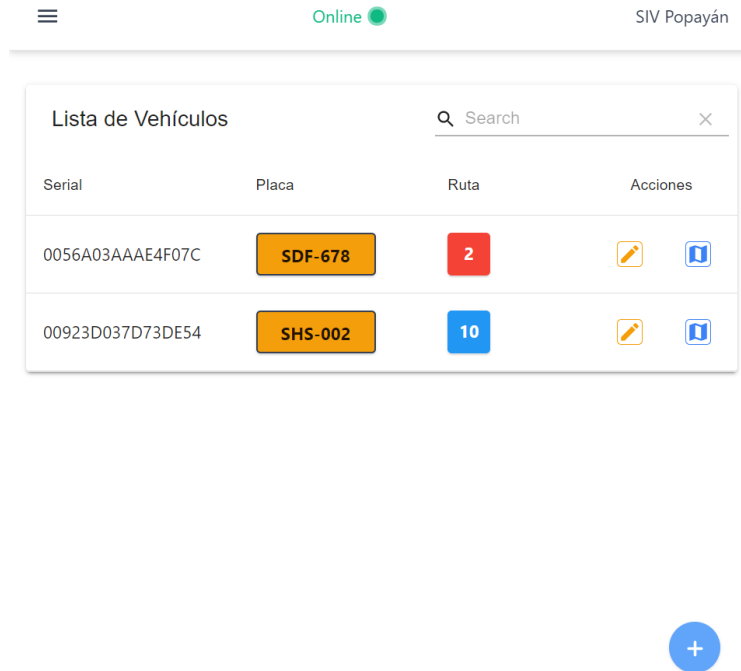
Figura 50. Resultado obtenido final de la prueba 1 de la HU 3 (elaboración propia).

El desarrollo de la prueba de esta HU 3, permitió verificar que el sistema realiza correctamente la modificación de la ruta e informa al usuario al respecto. Como mejora fue implementada la visualización inmediata del cambio de color de la ruta para que el usuario empresa de transporte pueda visualizar el trazo de la ruta sobre el mapa con determinado color.

6.2.4. Pruebas relacionadas con la HU5 denominada “Empresa de transporte visualiza información de vehículo.”

Prueba 1 de la HU5. Ver vehículos existentes.

Resultado obtenido: Tal como se observa en la **Figura 51**, al ejecutar esta prueba se obtuvo un resultado exitoso y fue visualizada la información de todos los vehículos registrados en el sistema.



The screenshot shows a web application interface for vehicle management. At the top, there is a navigation bar with a menu icon, the status 'Online' with a green dot, and the location 'SIV Popayán'. Below this is a search bar labeled 'Lista de Vehículos' with a search icon and a close button. The main content is a table with the following data:

Serial	Placa	Ruta	Acciones
0056A03AAAE4F07C	SDF-678	2	[Edit] [Map]
00923D037D73DE54	SHS-002	10	[Edit] [Map]

Below the table, there is a blue circular button with a white plus sign.

Figura 51. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU5 (elaboración propia).

Fue verificado mediante esta prueba de la HU5, que el sistema permite al usuario empresa de transporte visualizar la información de todos los vehículos que ha registrado en el sistema, relacionándolos con un serial, una placa, la ruta asignada y su ubicación en mapa. Por medio de estos parámetros que describen el vehículo, es posible estimar el tiempo del viaje, información importante para ofrecer el servicio al usuario viajero y gestionar los vehículos pertenecientes a su empresa.

Una mejora que se le puede hacer al sistema es que en el mapa se muestre además de la ubicación del vehículo el trazado de la ruta asignada, para que pueda verificarse el cumplimiento de esta.

6.2.5. Pruebas relacionadas con la HU14 denominada “Usuario viajero define punto de inicio de viaje.”

Prueba 1 de la HU14. Definir punto de inicio

Resultado obtenido: Al ejecutar esta prueba, tal como se observa en la **Figura 52**, fue obtenido un resultado exitoso y fue visualizado el punto de inicio mediante un marcador definido como punto "A".

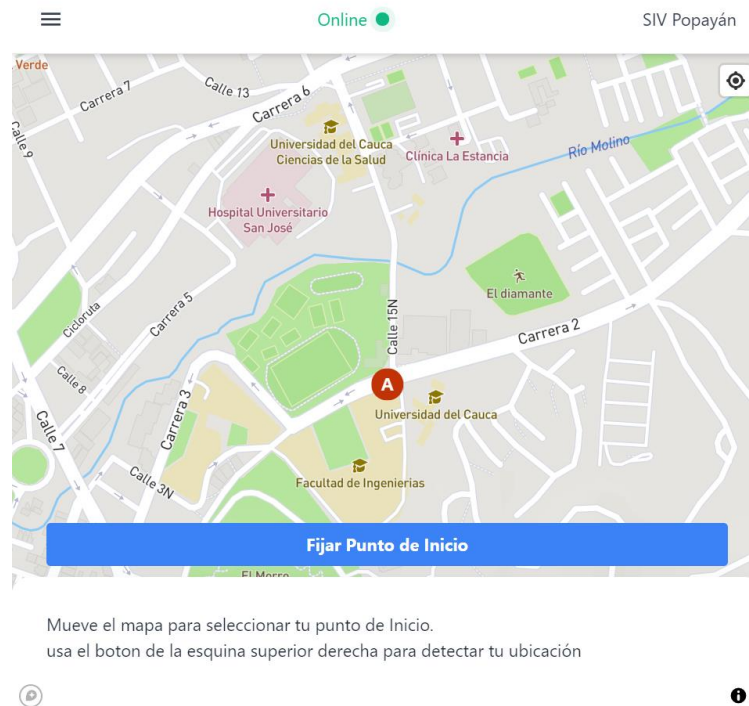


Figura 52. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU14 (elaboración propia).

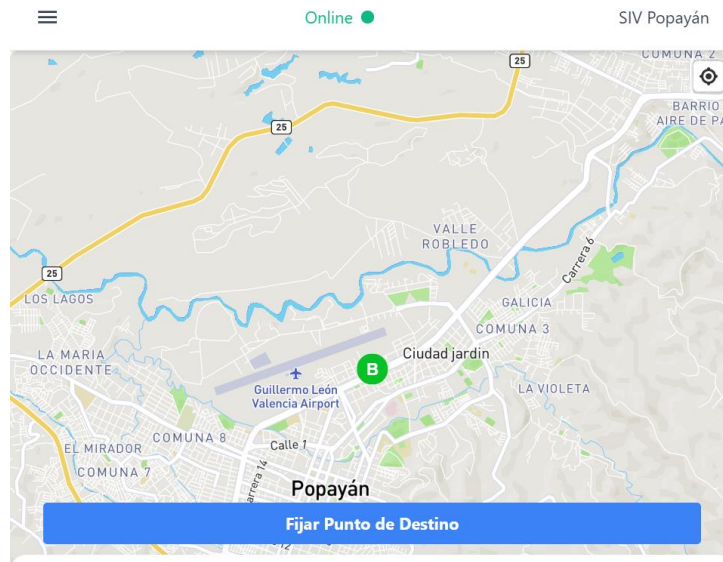
Fue verificado mediante esta prueba de la HU14, que el usuario viajero puede definir adecuadamente el punto de inicio de su viaje. Esto es muy importante, ya que permite la asociación del viaje con la ruta a ofrecer. Además, permite fijar dicho punto de inicio de viaje, según la ubicación actual del GPS del dispositivo que está utilizando, facilitando dicha acción.

Para mejorar la funcionalidad del sistema, se sugiere como mejora posterior, una opción de búsqueda de sitios frecuentemente utilizados como puntos de inicio. Esto facilita la ubicación del punto, teniendo en cuenta que muchas personas no logran ubicarse a través de un mapa. Además, las personas frecuentemente realizan los mismos viajes día a día, iniciando su viaje desde un grupo reducido de sitios.

6.2.6. Pruebas relacionadas con la HU15 denominada “Usuario viajero modifica el punto de destino.”

Prueba 1 de la HU15. Definir punto de destino

Resultado obtenido: Como se puede observar en las **Figura 53** y **Figura 54**, al ejecutar esta prueba se obtuvo un resultado exitoso y fue visualizado el punto de destino mediante un marcador definido como punto “B”. Posteriormente también fueron obtenidas las rutas disponibles.



Mueve el mapa para seleccionar tu punto de Destino.
 usa el boton de la esquina superior derecha para detectar tu ubicación

Figura 53. Resultado obtenido de la prueba 1 fijando punto de destino de la HU15 (elaboración propia).

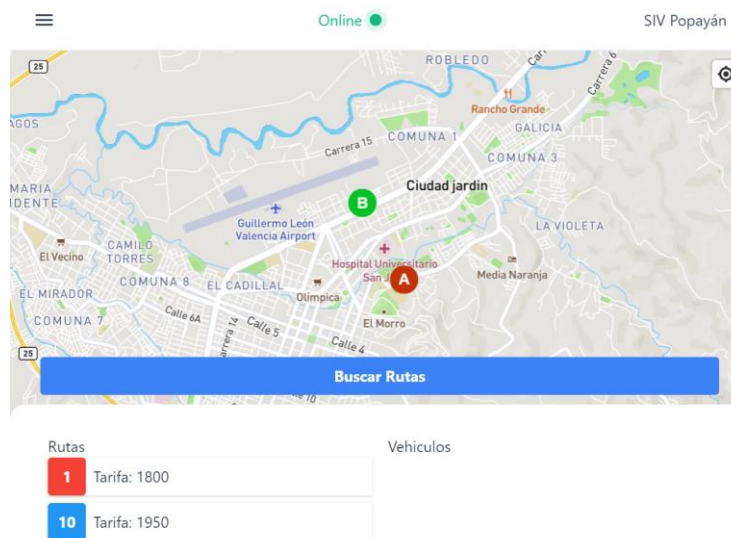


Figura 54. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU15 buscando rutas (elaboración propia).

Mediante esta prueba de la HU15, se validó que el usuario usuario viajero pudiera definir el punto de destino de su viaje. Esto es muy importante debido a que permite la definición completa del viaje que desea realizar y la asociación con las rutas que se ofrecen.

Para mejorar la funcionalidad del sistema, se sugiere como mejora posterior, una opción de búsqueda de sitios frecuentemente utilizados como puntos de destino, por las razones

presentadas en la prueba anterior (respecto a la dificultad de algunos usuarios de ubicarse en un mapa y considerando que los usuarios frecuentemente realizan viajes muy similares).

6.2.7. Pruebas relacionadas con la HU16 denominada “Usuario viajero selecciona ruta.”

Prueba 1 de la HU16. Ver y seleccionar ruta de preferencia.

Resultado obtenido: En la **Figura 55** se observa que al ejecutar esta prueba fue obtenido un resultado exitoso y fue posible visualizar la trayectoria de la ruta, con marcadores en los puntos más cercanos entre la ruta y el punto A (punto de inicio marcado por el usuario) y el Punto B (punto de destino marcado por el usuario).

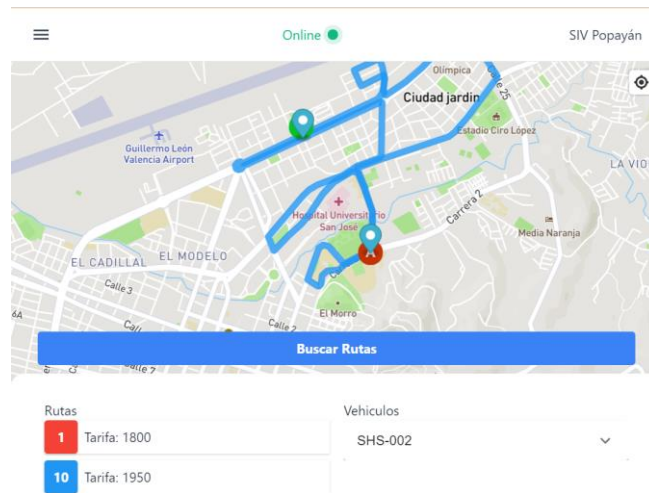


Figura 55. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU16 (elaboración propia).

Prueba 2 de la HU16. Solicitar rutas disponibles.

Resultado obtenido: En la **Figura 56** se observa que al ejecutar esta prueba se obtuvo un resultado exitoso, debido a que el sistema presentó dos rutas que cumplen con los puntos de inicio y destino que ingresó el usuario viajero.

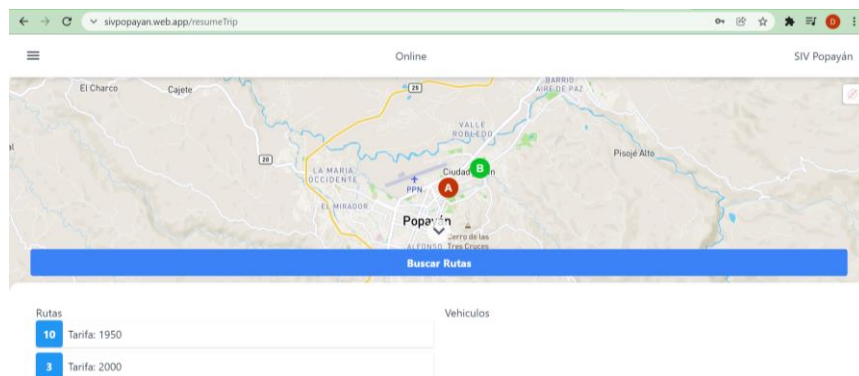


Figura 56. Resultado obtenido de la prueba 2 de la HU16 (elaboración propia).

Prueba 3 de la HU16. Solicitar rutas disponibles.

Resultado obtenido: Se puede observar en la **Figura 57** que, inicialmente, aunque el sistema no mostraba ninguna ruta disponible para estas condiciones, no estaba informando al usuario viajero lo sucedido, únicamente informaba que el sistema se encontraba en la búsqueda de las mismas.

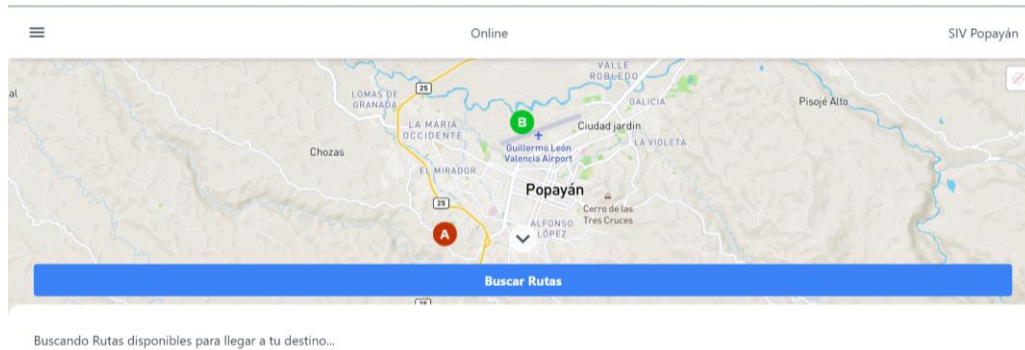






Figura 57. Resultado obtenido de la prueba 3 de la HU16 (elaboración propia).

Se identificó como oportunidad de mejora un mensaje al usuario en estos casos.

Prueba 4 de la HU16. Solicitar rutas disponibles.

Resultado obtenido: Al realizar esta prueba, el sistema contaba con dos vehículos registrados asociados a la ruta 10, tal como lo muestra la **Figura 58**.

Serial	Placa	Ruta	Acciones
00923D037D73DE54	SHS-001	10	 
0056A03AAAE4F07C	SHS-002	10	 

[+ Registrar Vehículo](#)

Figura 58. Resultado obtenido de la prueba 4 de la HU16 (elaboración propia).

Por lo tanto, al realizar un viaje seleccionando la ruta 10 es posible observar a dos vehículos en movimiento como lo muestra la **Figura 59**.

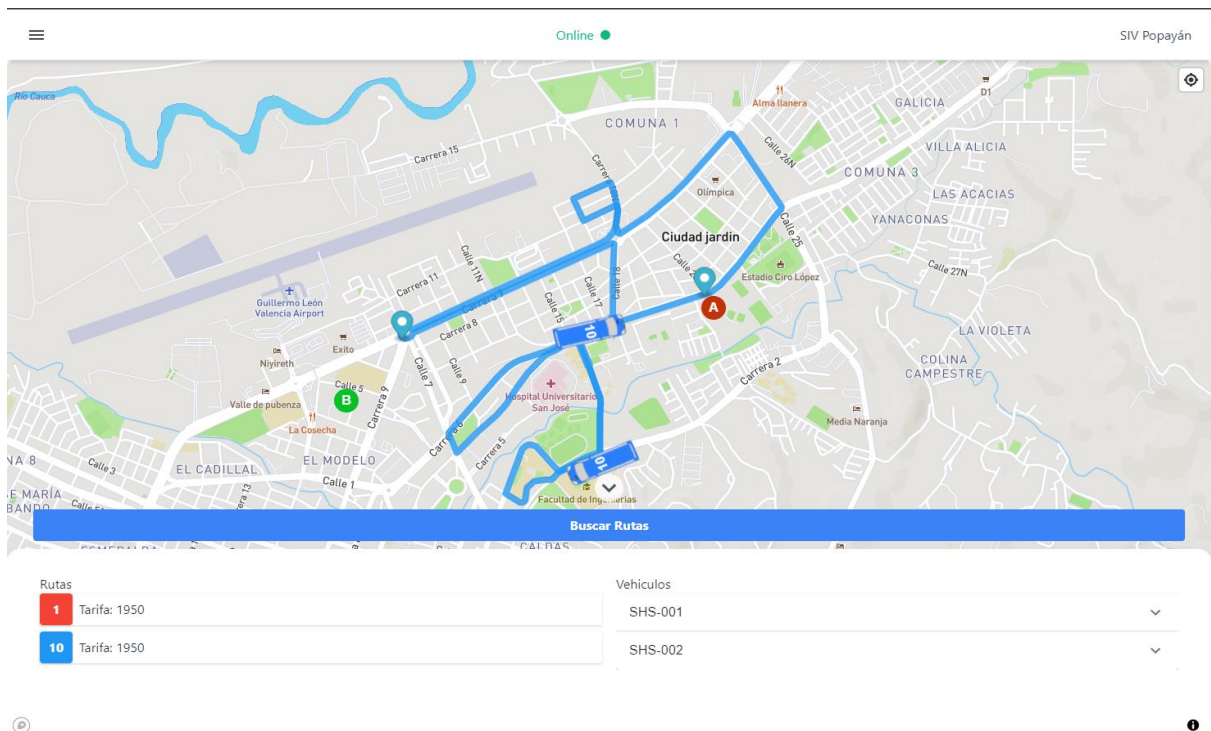


Figura 59. Resultado obtenido de la prueba 4, vehículos realizando ruta, de la HU16 (elaboración propia).

Prueba 5 de la HU16. Visualizar la indisponibilidad de vehículos.

Resultado obtenido: Para esta prueba se inició sesión en la plataforma con un rol viajero seleccionando la opción de **Iniciar viaje**, donde se encontró un mapa para fijar un punto de origen y destino moviendo el mapa; al tener estos puntos establecidos fue posible consultar las rutas con la posibilidad de seleccionar la ruta deseada.

Como se puede apreciar en la **Figura 60**, la selección se hizo sobre la ruta 1 de color rojo. En la sección derecha donde deben listarse los vehículos, no hubo vehículos disponibles que estuvieran asociados a la ruta, por lo tanto, como resultado se obtuvo una lista vacía para indicar al viajero que no hay vehículos disponibles.

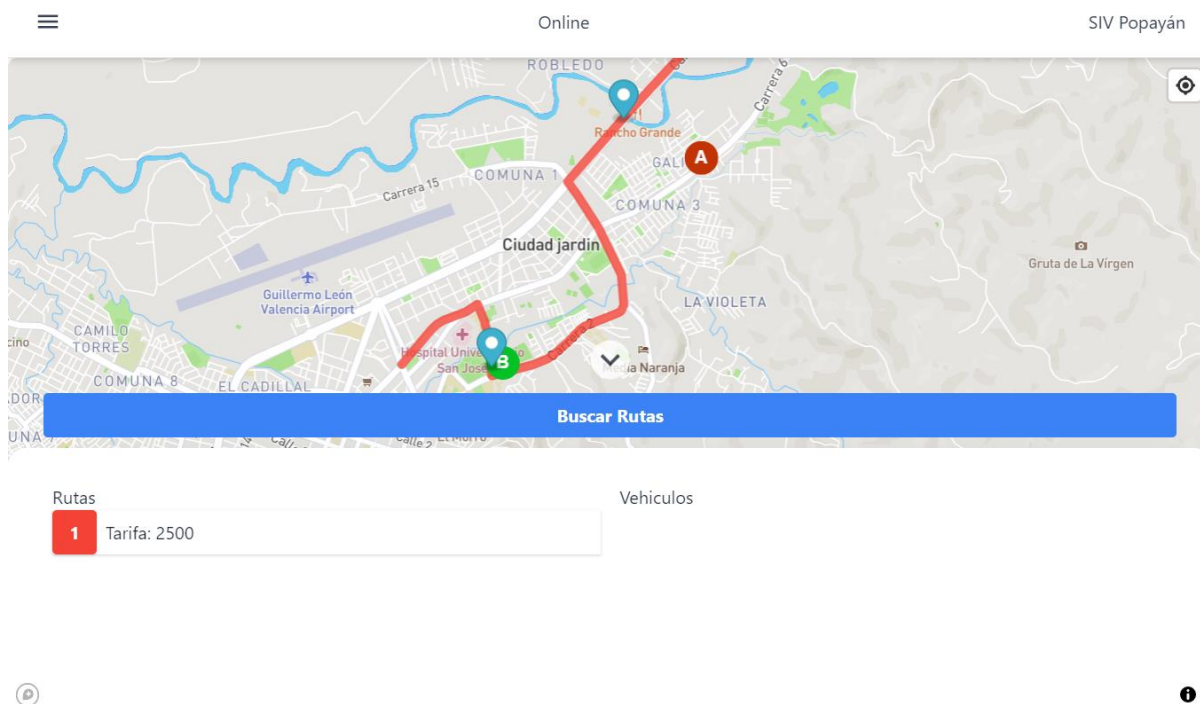


Figura 60. Resultado obtenido de la prueba 5 de la HU16 (elaboración propia).

Se identificó como oportunidad de mejora un mensaje al usuario en estos casos.

Con las cinco (5) pruebas realizadas para la HU16, fue verificado que el sistema permite al usuario viajero observar las rutas que cumplen con los parámetros del viaje que ha descrito. Posteriormente a esto, puede seleccionar una de estas y ver el trazado en mapa para poder seleccionar la que cumpla sus necesidades con mayor eficacia.

Se encontró que cuando el sistema no tiene dentro de sus registros rutas que cumplan con los parámetros que describen al viaje, este no informa al usuario, lo cual puede causar confusión en el uso del sistema y deja la posibilidad abierta de que el usuario continúe esperando los resultados esperados.

Por otra parte, para el caso en el que existen rutas que cumplen con el recorrido, pero no hay vehículos disponibles para la ruta seleccionada, se identificó una oportunidad de mejora, presentando un mensaje claro al usuario viajero que indique lo que se presenta (que no hay vehículos para la ruta seleccionada).

6.2.8. Pruebas relacionadas con la HU17 denominada “Usuario viajero selecciona vehículo.”

Prueba 1 de la HU17. Ver y seleccionar vehículo de preferencia.

Resultado obtenido: Para esta prueba se inició sesión en la plataforma con un rol viajero, luego de **Iniciar viaje**, y definir los puntos de inicio y punto de destino fue seleccionada la ruta 10 y en la sección inferior derecha fue seleccionado el vehículo con placa SHS-070, luego fue posible observar detalles del vehículo seleccionado como tiempo de llegada, número de pasajeros en el vehículo y velocidad como se observa en la **Figura 61**.

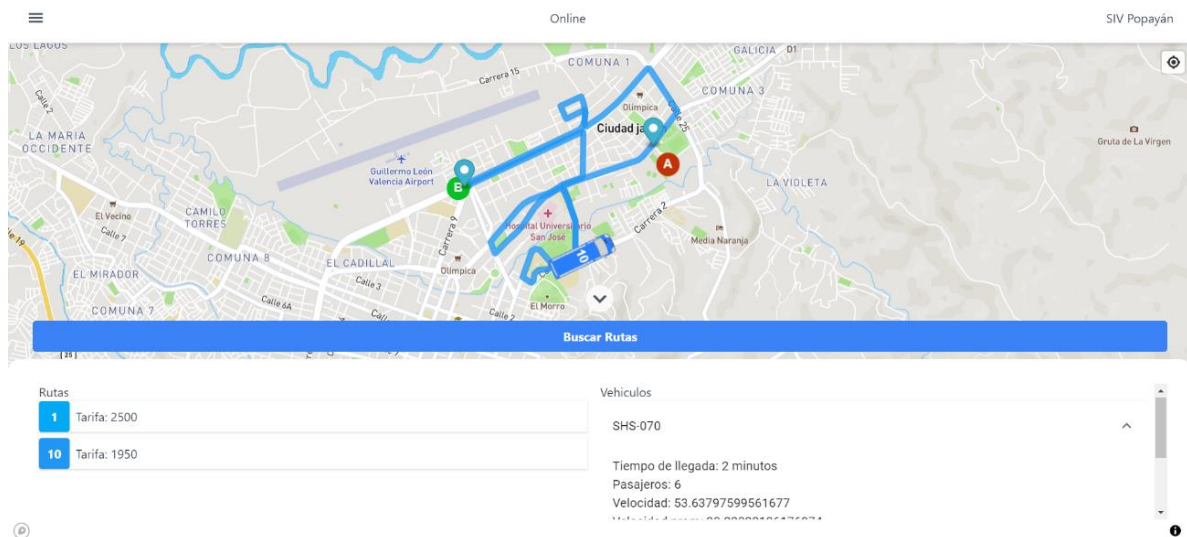


Figura 61. Resultado obtenido de la prueba 1 de la HU17 (elaboración propia).

6.2.9. Pruebas relacionadas con la HU20 denominada “Usuario viajero selecciona ruta.”

Prueba 1 de la HU20. Ver información de las estaciones existentes.

Resultado obtenido: Como usuario viajero, luego de hacer *click* en el menú principal y luego en la opción de estaciones, fue posible visualizar las estaciones registradas en el sistema con sus respectivas coordenadas, como se muestra en la **Figura 62**.

Estaciones de parada SIV Popayán

Estación Hospital San José	Coordenadas: [2.4512, -76.5995]
Estación Carlos Albán	Coordenadas: [2.44843, -76.603466]

Figura 62. Resultado obtenido de la Prueba 1 de la HU20 (elaboración propia).

Prueba 2 de la HU20. Ver ubicación de las estaciones existentes.

Resultado obtenido: Como usuario empresa de transporte, luego de hacer *click* en el menú principal y luego en la opción de estaciones, se hizo *click* en la estación llamada “Estación Hospital San José” con coordenadas de latitud y longitud 2.04512 N y -76.5995 respectivamente, lo que permitió ver la ubicación de la estación en el mapa, tal y como se muestra en la **Figura 63**.

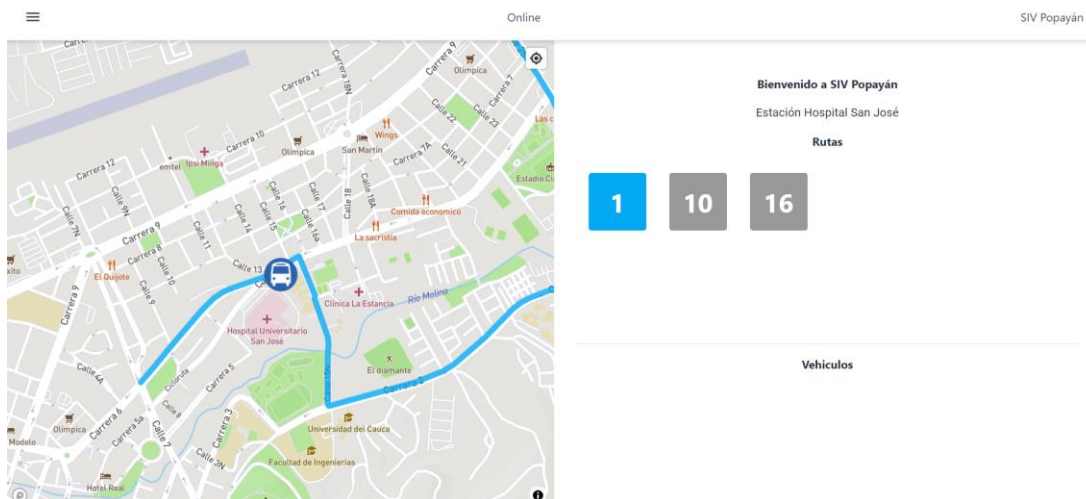


Figura 63. Resultado obtenido de la prueba 2 de la HU20 (elaboración propia).

Prueba 3 de la HU20. Ver rutas que pasan por la estación seleccionada.

Resultado obtenido: Luego que el usuario empresa de transporte seleccionó la estación “Estación Hospital San José” fue posible visualizar las rutas que deben pasar por la estación seleccionada, como se muestra en el recuadro rojo ubicado en la sección derecha de la **Figura 64**.

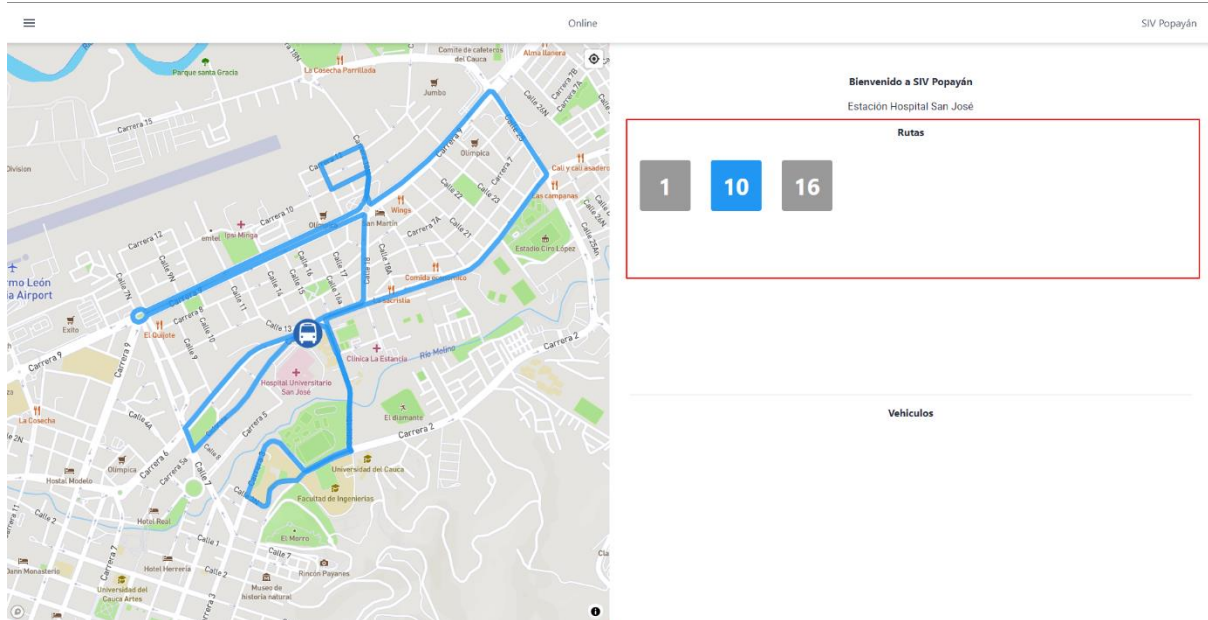


Figura 64. Resultado obtenido de la prueba 3 de la HU20 (elaboración propia).

En la prueba fue posible visualizar cada una de las rutas que pasa por la estación seleccionada y se puede observar durante 15 segundos la trayectoria de cada una de las rutas en el mapa en la zona izquierda de la interfaz y en la zona derecha se resalta la ruta con su color respectivo.

Prueba 4 de la HU20 Ver vehículos que pasan por la estación seleccionada.

Resultado obtenido: Luego que el usuario empresa de transporte seleccionó la estación “Estación Hospital San José” fue posible visualizar en la zona inferior derecha de la interfaz los vehículos de la ruta 10, ya que está es una de las rutas que tiene vehículos registrados en el SIV y en su recorrido pasa por la estación seleccionada.

Cómo se observa en la **Figura 65**, fue posible visualizar en la sección izquierda de la interfaz, la ubicación del vehículo en el mapa y en la zona inferior derecha datos como tiempo de llegada del vehículo, número de pasajeros, velocidad y velocidad promedio.

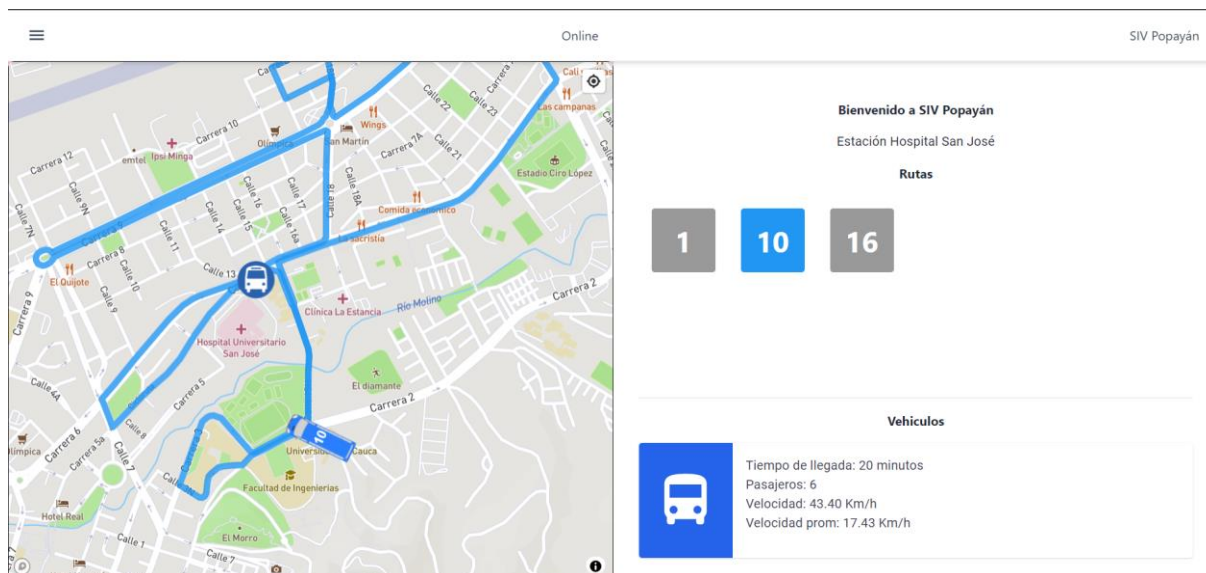


Figura 65. Resultado obtenido de la prueba 4 de la HU20 (elaboración propia).

6.3. Discusión de resultados obtenidos

La arquitectura ITS diseñada para el SIV, fue basada en arquitecturas internacionales existentes (ARC-IT y FRAME), las cuales fueron tomadas como referencia y adecuadas a las necesidades de los usuarios del sistema contextualizados en una ciudad intermedia. Por lo que, puede ser empleada para el diseño de sistemas similares, contribuyendo a futuras investigaciones en el área.

Posteriormente a la adaptación de la arquitectura y basándose en la misma, se diseñó un prototipo SIV, proponiendo tecnologías y dispositivos específicos que se adaptan a las necesidades del entorno y aportan efectividad al sistema. Para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo, fue diseñado un plan de pruebas, el cual posteriormente a su implementación arrojó buenos resultados y aportó algunos cambios que fueron ajustados al sistema, con la finalidad de aportar funcionalidad y usabilidad al SIV; Un claro ejemplo de lo mencionado anteriormente fue la modificación realizada para que el sistema presente un mensaje aclarando que no hay vehículos que cubran cierta ruta, buscando con ello mejorar la experiencia de los usuarios que lo empleen. Otros ajustes importantes están relacionados con el proceso de obtener las rutas que son útiles al usuario, a partir de un punto de partida y un punto de destino. Dicho proceso fue ajustado continuamente, buscando mejorar considerablemente su usabilidad y presentación de información.

Es importante aclarar que el prototipo desarrollado tuvo en cuenta funcionalidades para dos tipos de usuario denominados “Usuario Viajero” y “Usuario Empresa de Transporte”. Teniendo en cuenta el alcance objetivo del proyecto, no se desarrollaron funcionalidades para un usuario “Administrador”, debido a que esto elevaría la complejidad del mismo.

La aplicación de la metodología de desarrollo Scrum, fue bastante útil para identificar la funcionalidad requerida para cada uno de los usuarios del SIV. Luego, proceder a identificar la funcionalidad en épicas y luego más detalladamente, en Historias de Usuario. Dichas Historias de Usuarios fueron asignadas a diferentes ciclos de desarrollo y seguimiento denominados Sprints. Toda la documentación relacionada con el uso de la metodología de desarrollo puede ser revisada en el **Anexo B** de este documento.

En el desarrollo del SIV se buscó la integración con otros trabajos relacionados, por lo cual se tuvo en cuenta el desarrollo previo de otro trabajo de grado relacionado (desarrollado en la FIET en 2021), en el cual se recolectaron datos sobre trayectos vehiculares realizados en la ciudad de Popayán. Dicho trabajo generó como uno de sus entregables un *dataset* con los datos de los trayectos vehiculares realizados, indicando posición (latitud, longitud), vehículo que lo realiza, fecha, hora, entre otros. Dicho *dataset* fue utilizado como fuente de datos para este trabajo, por lo cual fue requerido de un módulo de integración, que permitiera utilizar los trayectos realizados para presentarlos en el SIV.

Aunque fueron realizadas pruebas de operación del prototipo del SIV propuesto, es muy compleja la comparación con otros SIV identificados en la literatura, ya que no es posible identificar parámetros claros o métricas que permitan dicha comparación. Una vez se incrementa en nivel de desarrollo (TRL) del SIV (en trabajos futuros), se podrán programar experimentos de operación, y pruebas no funcionales (de escalabilidad y/o rendimiento) que permitan generar métricas de comparación con otros sistemas similares. Sin embargo, se resalta que el prototipo desarrollado, al estar basado en una arquitectura ITS de referencia, facilita la interoperabilidad con otros servicios de movilidad desarrollados para la ciudad.

Dicha interoperabilidad se facilitó mediante el desarrollo de los 3 sub-módulos presentados en la sección 6.2.3, los cuales distribuyen las funcionalidades necesarias para el funcionamiento del SIV y cuentan con interfaces de comunicación claras para interactuar con ellos, esto permite que otros sistemas puedan acceder a la información registrada en el SIV y así plantear una base para la creación y/o expansión de un sistema eficaz, escalable y adaptable a otros servicios de movilidad. El **Anexo E** de este trabajo detalla los sub-módulos funcionales desarrollados, que pueden utilizarse en otros futuros trabajos de investigación relacionados. Otro resultado del trabajo que puede utilizarse en trabajos futuros relacionados, es el **Anexo D**, en el cual encuentran las colecciones relacionadas con la base de datos del SIV. Este diseño de la base de datos puede ser una referencia adecuada para futuros desarrollos.

Fue identificado también, mediante el análisis de los resultados, que es muy importante considerar la movilidad multimodal, es decir evaluar que otros medios de transporte (diferentes al colectivo) puede utilizar el usuario para complementar o modificar su viaje. Es decir, si el punto de inicio y/o punto de destino que define el usuario, están relativamente alejados de los puntos de parada de cualquiera de las rutas que le servirían al usuario, se debería evaluar que otro medio de transporte puede utilizar el usuario, ya sea para llegar a un punto de parada de la ruta, o para cubrir la totalidad de su viaje. Esto podría evaluarse para un trabajo futuro.

Con el objetivo de validar el TRL del SIV alcanzado con el desarrollo del proyecto, fue diligenciada una herramienta de cálculo de TRL, la cual ha sido utilizada en proyectos de investigación en la Universidad del Cauca en los últimos años. El nivel calculado con dicha herramienta fue Nivel 3, lo cual concuerda con lo inicialmente planeado. La herramienta diligenciada puede revisarse en el **Anexo F**. Herramienta de medición de TRL diligenciada.

Finalmente, también se resalta el desarrollo de funcionalidad para el usuario viajero que hace uso solamente de las estaciones de parada, ya que no es un usuario asiduo de aplicaciones web. Para dicho usuario, el SIV desarrollado también consideró la generación adecuada de información, sobre las rutas que llegan a dicho punto de parada y los tiempos estimados de llegada de los vehículos que cubren cada una de dichas rutas. Se desarrollaron las interfaces de usuario para dichos puntos de parada, de tal forma que se facilitara su revisión en dispositivos de visión amplia.

6.4. Trabajos futuros

Teniendo en cuenta el nivel de madurez del presente trabajo (TRL nivel 3), se propone llevar al SIV a niveles de madurez más altos, y así fortalecer los sistemas de transporte público colectivo, fomentando su uso y creando un impacto positivo sobre las problemáticas planteadas en movilidad.

Como fue revisado en la sección 6.3. el transporte multimodal es conveniente considerarlo en futuros proyectos de información al usuario, ya que al considerar otros medios de transporte (diferentes al colectivo) que puede utilizar el usuario, es posible complementar o modificar su viaje. La información que se suministre un sistema de información multimodal podría abarcar toda la ruta que requiere el usuario, y no solamente la parte que cubriría el transporte público “colectivo”. Los sistemas de alquiler de bicicletas son un sistema que puede complementar adecuadamente el transporte público colectivo.

El desarrollo de otros sistemas que aporten a mejorar la movilidad de la ciudad, con base a la información que proporciona el SIV del sistema de transporte público colectivo, representan una buena oportunidad para trabajos futuros. La información sobre el desplazamiento de los vehículos colectivos puede aportar en soluciones relacionadas con el control y gestión de tráfico en la ciudad.

Finalmente, se plantea el uso de algoritmos de *Machine Learning* para aprovechar los datos registrados en el SIV, y expandir las funcionalidades que el sistema puede ofrecer. El mejoramiento de rutas, frecuencias, y estaciones de parada en el transporte público “colectivo” podría ser abordado por proyectos que podrían proponerse en un corto plazo, al respecto del aprovechamiento de la información generada por el SIV.

Capítulo 7

7. Conclusiones

Este trabajo se enfocó en buscar una solución a parte de los diversos problemas de movilidad que puede llegar a presentar una ciudad intermedia en cuanto al uso del servicio público colectivo, fortaleciendo la información relacionada con este tipo de servicio a los diferentes actores que intervienen en la prestación y consumo del servicio. Para esto fue propuesto un Sistema de Información al Viajero (SIV).

El SIV desarrollado se integró a los datos de trayectos vehiculares que fue proveída por un trabajo de investigación previo de pre-grado (de la FIET), esto con el objetivo de utilizar datos reales de viajes realizados en vehículos por las vías de la ciudad de Popayán. Con esto se verificó que es posible integrar e interoperar diferentes ITS si están desarrollados con una arquitectura ITS de referencia.

El SIV desarrollado, siguiendo estrictamente la metodología de desarrollo ágil Scrum, fue puesto en producción en servidores en la nube. Además, fueron diseñadas pruebas de operación del SIV, con el objetivo de verificar la correcta operatividad e identificar oportunidades de mejora. Los resultados de las pruebas fueron satisfactorios y permitieron encontrar mejoras que fueron implementadas.

El SIV desarrollado permite el manejo de datos en línea de los vehículos de transporte público colectivo lo que asegura que el usuario viajero puede acceder a información relevante y actualizada que le permite planear su viaje y reducir la incertidumbre en los tiempos de espera.

El usuario viajero que no utilice una aplicación web, para acceder a la funcionalidad del SIV, puede verse beneficiado también, accediendo a la información que se propone presentar en las estaciones de parada del servicio público colectivo. El SIV desarrollado, además de asistir al usuario viajero, también permite a empresas de transporte gestionar sus rutas y vehículos facilitando labores frecuentes de control, supervisión y manejo de información.

La funcionalidad principal del SIV fue dividida en 3 sub-módulos que tienen una interfaz clara (de entrada y salida de datos) para poder interactuar con futuros desarrollos de movilidad relacionados. Esta posibilidad de interacción y estandarización es uno de los aspectos más importantes que permite el SIV desarrollado.

Referencias:

- [1] A. E. Retallack y B. Ostendorf, “Current Understanding of the Effects of Congestion on Traffic Accidents”, *Int J Environ Res Public Health*, vol. 16, n.o 18, 13 2019, doi: 10.3390/ijerph16183400.
- [2] INRIX, “Traffic Congestion is Growing: So How do we Tackle it?”, Inrix. [En línea]. Disponible: <https://inrix.com/blog/2017/02/congestion-is-growing-so-how-do-we-tackle-it/>, Consultado: 15 de octubre de 2021.
- [3] B. Jiang et al., “Transport and public health in China: the road to a healthy future”, *Lancet*, vol. 390, n.o 10104, pp. 1781-1791, oct. 2017, doi: 10.1016/S0140-6736(17)31958-X.
- [4] Intelligent Transport. “The importance of public transport in Latin America”. [En línea]. Disponible: <https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/19098/importance-public-transport-latin-america/>, Consultado: 16 de octubre de 2021.
- [5] Movilidad Futura S.A.S. “Plan de Movilidad de Popayán - Informe 4: Diagnóstico Parte II”, Movilidad Futura S.A.S, 5, 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.movilidadfutura.gov.co/>, Consultado: 16 de octubre de 2021.
- [6] CONPES, “Sistema Estratégico de Transporte Público de Pasajeros para la ciudad de Armenia”. mar. 16, 2009, [En línea]. Disponible: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3572.pdf>, Consultado: 16 de octubre de 2021.
- [7] CONPES, “Sistema Estratégico de Transporte Público de Pasajeros para el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta”. nov. 24, 2008, [En línea]. Disponible: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3548.pdf>, Consultado: 16 de octubre de 2021.
- [8] CONPES, “Sistema Estratégico de Transporte Público de Pasajeros para la ciudad de Popayán”. ago. 24, 2009. [En línea]. Disponible: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3602.pdf>, Consultado: 16 de octubre de 2021.
- [9] CONPES, “Sistema Estratégico de Transporte Público de Pasajeros para el municipio de Montería”. feb. 01, 2010, [En línea]. Disponible: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3638.pdf>, Consultado: 16 de octubre de 2021.
- [10] CONPES, “Declaración de importancia estratégica del proyecto Sistema Estratégico de Transporte Público del municipio de Neiva”. ago. 02, 2013, [En línea]. Disponible: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3756.pdf>, Consultado: 16 de octubre de 2021.
- [11] O. Kem, F. Balbo, y A. Zimmermann, “Traveler-Oriented Advanced Traveler Information System based on Dynamic Discovery of Resources: Potentials and Challenges”, *Transportation Research Procedia*, vol. 22, pp. 635-644, ene. 2017, doi: 10.1016/j.trpro.2017.03.059.

- [12] T. Toledo y R. Beinhaker, “Evaluation of the Potential Benefits of Advanced Traveler Information Systems”, *Journal of Intelligent Transportation Systems - J INTELL TRANSPORT SYST*, vol. 10, pp. 173-183, oct. 2006, doi: 10.1080/15472450600981033.
- [13] L. Tian, H. Huang, y Y. Xu, “Benefits from an Advanced Traveler Information System: A Cumulative Prospect Theory Model with Heterogeneous Users and Endogenous Market Penetration”, 2015, doi: 10.1061/9780784479292.048.
- [14] WHO. “Global status report on road safety 2018”, sep. 28, 2019. [En línea]. Disponible: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/, Consultado: 28 de septiembre 2021.
- [15] Forensis - Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, “Forensis 2018. Datos para la Vida”. [En línea]. Disponible: <http://www.medicinalegal.gov.co/cifras-estadisticas/forensis>, Consultado: 28 de septiembre 2021.
- [16] INRIX, “Scorecard”, Inrix. [En línea]. Disponible: <http://inrix.com/scorecard/>, Consultado: 28 de septiembre 2021.
- [17] “ISO 14813-1:2015(en), Intelligent transport systems — Reference model architecture(s) for the ITS sector — Part 1: ITS service domains, service groups and services”. [En línea]. Disponible: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14813:-1:ed-2:v1:en>, Consultado: 29 de septiembre 2021
- [18] “GMV. ITS success stories”. [En línea]. Disponible: <https://www.gmv.com/en/Sectors/Transportation/successstories/>, Consultado: 29 de septiembre 2021.
- [19] Inter-American Development Bank, IDB. “Urban Transport Policies in Latin America and the Caribbean: Where We Are, How We Got Here, and What Lies Ahead | Publications”. [En línea]. Disponible: https://publications.iadb.org/publications/english/document/Urban_Transport_Policies_in_Latin_America_and_the_Caribbean_Where_We_Are_How_We_Got_Here_and_What_Lies_Ahead_en_en.pdf, Consultado: 20 de diciembre 2020.
- [20] R. Salazar-Cabrera y A. Pachón de la Cruz, “Public Transport Vehicle Tracking Service for Intermediate Cities of Developing Countries, based on ITS Architecture using Internet of Things (IoT)”, en 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), nov. 2018, pp. 2784-2789, doi: 10.1109/ITSC.2018.8569906.
- [21] COLCIENCIAS, “Anexo 5, Descripción de los contenidos de la propuesta”. 2018, [En línea]. Disponible: https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo_5_2.pdf, Consultado: 20 de diciembre 2020.
- [22] BID. “Evaluación de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles del BID”. [En línea]. Disponible: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/17206/evaluacion-de-la-iniciativa-ciudades-emergentes-y-sostenibles-del-bid>, consultado: 28 de septiembre 2021.
- [23] DNP. “DNP advierte que se avecina colapso de movilidad en las principales capitales”. [En línea]. Disponible: <https://www.dnp.gov.co/Paginas/DNP%20advierte%20que%20se%20avecina%20colapso%2>

Ode%20movilidad%20en%20las%20principales%20capitales.aspx, Consultado: 20 de octubre 2020.

[24] Función Pública. “Decreto 3422 de 2009 - Gestor Normativo Función Pública”. [En línea]. Disponible: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=37515>, Consultado: 28 de septiembre de 2021.

[25] Ministerio de Transporte. “INFORME 10, Arquitectura SINNIT”, Universidad Nacional de Colombia, 2016.

[26] K. Banse, L. F. Herrera, M. Nunez, J. C. Navarro, D. Bermudez, y J. Chavarriaga, “ITS development in Colombia: challenges and opportunities”, en 2018 ICAI Workshops (ICAIW), nov. 2018, pp. i-vi, doi: 10.1109/ICAIW.2018.8554991.

[27] PMI. “PMBOK Guide, Project Management Institute”. [En línea]. Disponible: <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok>, Consultado: 29 de Mayo 2020.

[28] J. Z. Gamboa, “Evolución de las Metodologías y Modelos utilizados en el Desarrollo de Software”, INNOVA Research Journal, vol. 3, n.o 10, pp. 20-33, 2018, doi: <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n10.2018.651>.

[29] G. M. Tridibesh Satpathy, J. D. N. Winfried Hackmann, D. R. Buddy Peacock, y Ruth Kim, A Guide to the SCRUM BODY OF KNOWLEDGE (SBOKTM GUIDE), Third Edition, International Journal of Applied Engineering Research, 13(14), 11479–11483, http://ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n14_17.pdf

[30] K. Schwaber y J. Sutherland, The Scrum Guide, The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game. 2017, Scrum. Org, October, <http://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2016/2016-Scrum-Guide-US.pdf#zoom=100>

[31] Alcaldía de Bogotá. “¿Qué le aporta el Sistema Inteligente de Transporte (SIT) a la movilidad en Bogotá?”, Bogota.gov.co. [En línea]. Disponible: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/que-le-aporta-el-sistema-inteligente-de-transporte-sit-la-movilidad>, consultado: 28 de septiembre de 2021

[32] K. Gharehbaghi y M. Myers, “Intelligent System Intricacies: Safety, Security and Risk Management Apprehensions of ITS”, en 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM), mar. 2019, pp. 37-40, doi: 10.1109/ICITM.2019.8710708.

[33] C. Valencia Romero y L. F. Herrera Quintero, “Solución ITS en el ámbito del servicio de información al viajero: prototipo de geolocalización para sistemas de Transporte Masivo usando IoT”, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá D.C.

[34] PIARC (Asociación Mundial de Carreteras). “Sistemas de Información al Viajero, RNO/ITS”. [En línea]. Disponible: <https://rno-its.piarc.org/es/operaciones-de-la-red/sistemas-de-informacion-al-viajero>, Consultado: 18 de abril 2020.

[35] ARC-IT. “Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation”. [En línea]. Disponible: <https://local.iteris.com/arc-it/index.html>, Consultado: 2 de septiembre 2020.

- [36] ISO. “ISO/TC 22 - Road vehicles”, ISO. [En línea]. Disponible: <http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/committee/04/67/46706.html>, Consultado: 2 de septiembre 2020.
- [37] ISO. “ISO/TC 204 Intelligent transport systems, ISO 14813-6:2017”, ISO, sep. 29, 2019. [En línea]. Disponible: <http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/06/91/69109.html>, Consultado: 2 de septiembre 2020.
- [38] FRAME Forum. “FRAME ARCHITECTURE”. [En línea]. Disponible: <https://frame-online.eu/>, Consultado: 2 de septiembre 2020.
- [39] Colciencias, “NIVELES DE MADUREZ TECNOLÓGICA”, 2016, [En línea]. Disponible: <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo-13-niveles-madurez-tecnologica-conv.pdf>
- [40] J. Ruiz-Rosero, G. Ramirez-Gonzalez, y J. Viveros-Delgado, “Software survey: ScientoPy, a scientometric tool for topics trend analysis in scientific publications”. *Scientometrics*, 2019, Springer, doi: 10.1007/s11192-019-03213-w.
- [41] V. T. F. Chow et al., “Utilizing Real-Time Travel Information, Mobile Applications and Wearable Devices for Smart Public Transportation”, en 2016 7th International Conference on Cloud Computing and Big Data (CCBD), nov. 2016, pp. 138-144, doi: 10.1109/CCBD.2016.036.
- [42] G. Suciú, C. Butca, C. Dobre, y C. Popescu, “Smart City Mobility Simulation and Monitoring Platform”, en 2017 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), may 2017, pp. 685-689, doi: 10.1109/CSCS.2017.105.
- [43] D. Vakula y B. Raviteja, “Smart public transport for smart cities”, en 2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), dic. 2017, pp. 805-810, doi: 10.1109/ISS1.2017.8389288.
- [44] M. Azees, P. Vijayakumar, y L. Jegatha Deborah, “Comprehensive survey on security services in vehicular ad-hoc networks”, *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 10, n.o 6, pp. 379-388, 2016, doi: 10.1049/iet-its.2015.0072.
- [45] A. Gal, A. Mandelbaum, F. Schnitzler, A. Senderovich, y M. Weidlich, “Traveling time prediction in scheduled transportation with journey segments”, *Information Systems*, vol. 64, pp. 266-280, mar. 2017, doi: 10.1016/j.is.2015.12.001.
- [46] M. Dotoli, H. Zgaya, C. Russo, y S. Hammadi, “A Multi-Agent Advanced Traveler Information System for Optimal Trip Planning in a Co-Modal Framework”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, n.o 9, pp. 2397-2412, sep. 2017, doi: 10.1109/TITS.2016.2645278.
- [47] A. Stelzer, F. Englert, S. Hörold, y C. Mayas, “Improving service quality in public transportation systems using automated customer feedback”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 89, pp. 259-271, may 2016, doi: 10.1016/j.tre.2015.05.010.

- [48] A. O’Sullivan, F. C. Pereira, J. Zhao, y H. N. Koutsopoulos, “Uncertainty in Bus Arrival Time Predictions: Treating Heteroscedasticity With a Metamodel Approach”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 17, n.o 11, pp. 3286-3296, nov. 2016, doi: 10.1109/TITS.2016.2547184.
- [49] ISO. “ISO 14813-5:2020”. [En línea]. Disponible: <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/07/37/73746.html>, Consultado: 2 de septiembre 2020.
- [50] FRAME. “The Browsing Tool | FRAME ARCHITECTURE”. [En línea]. Disponible: <https://frame-online.eu/frame-architecture/the-browsing-tool>, Consultado: 6 de noviembre 2020.
- [51] ARC-IT. “Physical View - ARC IT”. [En línea]. Disponible: <https://local.iteris.com/arc-it/html/viewpoints/physical.html>, Consultado: 6 de noviembre 2020.
- [52] “Generalidades del protocolo HTTP”. [En línea]. Disponible: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP/Overview>, Consultado: 10 de noviembre 2020.
- [53] NodeJS. “Acerca de Node.js”. Disponible: <https://nodejs.org/es/>, Consultado: 11 de noviembre 2021.
- [54] ReactJS. “Acerca de ReactJS”. Disponible: <https://es.reactjs.org/>, Consultado 11 de noviembre 2021.
- [55] Firebase. “Firebase”. [En línea]. Disponible: <https://firebase.google.com/>, Consultado 12 de enero 2022.
- [56] MongoDB. “Manual de uso MongoDB”. [En línea]. Disponible: <https://docs.mongodb.com/manual/>, Consultado: 12 de enero 2022.
- [57] ScienceDirect. “Web User Interface”. [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/web-user-interface/>, Consultado: 12 de enero 2022.
- [58] NPMJS. “CSVTOJSON”. [En línea]. Disponible: <https://www.npmjs.com/package/csvtojson/>, Consultado: 12 de enero 2022.
- [59] Heroku. “The Heroku Platform”. [En línea]. Disponible: <https://www.heroku.com/platform/>, Consultado: 12 de enero 2022.
- [60] MongoDB. “Mongo DB Quick Start”. [En línea]. Disponible: https://docs.atlas.mongodb.com/reference/atlas-operator/ak8so-quick-start/?utm_campaign=kubernetes&utm_source=website&utm_medium=cloud_login, Consultado: 12 de enero 2022.

Sistema de Información al Viajero (SIV) de transporte público colectivo, basado en servicios de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)



Anexos

Proyecto de Trabajo de Grado

Dania Marcela Angarita Medina

Rafael Alejandro Belalcázar Burbano

Director: MSc. Ricardo Salazar C.

Co-Director: PhD. Gustavo Adolfo Ramírez G.

Asesor: PhD. Álvaro Pachón de la Cruz

Departamento de Telemática

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Universidad del Cauca

Popayán, Cauca, mayo de 2022

Anexo A

El anexo A presenta el artículo desarrollado durante la elaboración del trabajo de grado, presentado a la revista IEEE Latinoamérica.

Dania Marcela Angarita, Rafael Alejandro Belalcázar, Ricardo Salazar Cabrera, Álvaro Pachón de la Cruz. Traveler Information System for “Collective” Transit Service, based on Intelligent Transportation.

El artículo presenta un resumen de los métodos, resultados, y conclusiones obtenidas en el desarrollo del trabajo de grado.

Estado: Sometido a la revista para evaluación.

Disponible en el siguiente URL:

<https://drive.google.com/drive/folders/1lbweo64AQST8kZKRDTm8w7vDjxGCjnYa?usp=sharing>

Anexo B

El anexo B presenta la documentación del proyecto relacionada con la metodología seleccionada para el desarrollo del proyecto denominada *Scrum* (documentos de inicio, documento de planeación, documentos de resultados de los *Sprints* y planeación del siguiente)

En el documento de inicio se encuentra un estudio previo del sistema a diseñar, planteando un caso de negocio para el mismo. Posteriormente, identificando los roles en el desarrollo de este y las épicas en las cuales se divide, adicionalmente se puede encontrar el *Backlog* priorizado (priorización de épicas) y el cronograma del mismo.

En el documento de planeación se definen las historias de usuario (HU) y se asignan entre los tres *Sprints* determinados para el desarrollo del SIV. Finalmente, en el documento se definen las tareas a realizar para el *Sprint* 1 y se realiza el *Sprint Backlog* del *Sprint* 1.

Finalmente, en los documentos de los resultados y planeación de los *Sprints*, se documenta el avance de las tareas realizadas en cada uno de los *Sprints* y se realiza la asignación de las tareas para el siguiente *Sprint*, priorizándolas y planeándolas dentro de un cronograma (*Sprint Backlog*). Este anexo está disponible en el siguiente enlace de google drive:

https://drive.google.com/drive/folders/1bNi_Dy1sXxdVNHJznz-3vpXGoOqo_2S

Anexo C

El anexo C presenta las carpetas que contienen los documentos de desarrollo del sistema, estas carpetas fueron divididas en *siv-backend* y *siv-client*, para organizar mejor la información.

En la carpeta *siv-backend* se encuentra un proyecto realizado en Node JS con el código fuente de los submódulos Transit Center Information Services, Vehicles Management y Pre-trip Travel Information, cada submódulo por medio de una interfaz clara y definida se encarga de recibir las solicitudes del cliente, interactuar con la base de datos y finalmente entregar la información solicitada en formato JSON.

En la carpeta *siv-client* se encuentra un proyecto realizado en React JS con el código fuente relacionado a la interfaz gráfica de usuario y al manejo de las interacciones entre los dispositivos y los usuarios que solicitan información, también se procesa la respuesta de cada solicitud y finalmente muestra los resultados gráficamente.

Por otra parte, en la carpeta *datasetManager*, se encuentra el módulo encargado de realizar la simulación del movimiento de vehículos a partir de un *dataset* en formato .csv.

Teniendo en cuenta que el sistema puede servir como base para el desarrollo de otros sistemas o recibir aportes para la consolidar un proyecto de mayor madurez, se anexa el código fuente del SIV desarrollado.

El manual de instalación para ejecutar el SIV en un entorno local se encuentra en el archivo README.md del repositorio.

Disponibles en:

<https://gitlab.com/rafabelalcazar/siv-popayan>

Anexo D

El anexo D presenta la base de datos utilizada para el desarrollo del sistema.

La base de datos fue exportada por colecciones donde cada una de ellas corresponde con un archivo JSON; a continuación, se hace una descripción general de cada uno de los archivos.

events: Almacena eventualidades en la vía que pueden ser de tipo accidente, obra en la vía o tráfico pesado, la hora del reporte de la eventualidad y sus coordenadas.

routes: Almacena las rutas registradas en el SIV.

stations: Almacena las estaciones de parada registradas en el SIV.

transits: Almacena la información relacionada al tránsito de los vehículos registrados en el SIV.

vehicles: Almacena los vehículos registrados en el sistema.

Los archivos están disponibles en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/1RW4BcA5NWbTr7rkSygsxDy9GLcYgrCty?usp=sharing>

Anexo E

El anexo E contiene la documentación detallada para interactuar con el TMC, y específicamente con cada uno de los sub-módulos que lo componen, a continuación, se describen cada uno de los sub-módulos y sus interfaces.

Pre-Trip Travel Information. Este sub-módulo es el encargado de gestionar la información previa al viaje, para ello permite realizar la gestión de rutas al usuario empresa de transporte; y por otra parte proporciona información de rutas al viajero en estaciones y en el dispositivo usado por el usuario viajero cada que este lo requiera. Para interactuar con este módulo se implementó una API (*Application Programming Interface*) que entrega la respuesta a cada una de las solicitudes HTTP.

Transit Center Information Services. Este sub-módulo gestiona la información relacionada al tránsito de los vehículos registrados en el SIV y los posibles eventos que pueden llegar a afectar el tránsito (cómo obra en la vía, accidente, tráfico lento). Para interactuar con este módulo se implementó una API (*Application Programming Interface*) que entrega la respuesta a cada una de las solicitudes HTTP y por otra parte un websocket para recibir la información de los vehículos en línea y entregar esta información actualizada a la interfaz del usuario, cuando se requiera.

Vehicles Management. Este sub-módulo es el encargado de gestionar la información de los vehículos registrados en el SIV. Para interactuar con este módulo se implementó una API (*Application Programming Interface*) que entrega la respuesta a cada una de las solicitudes HTTP.

La documentación detallada para interactuar con cada submódulo se encuentra disponible en:

<https://documenter.getpostman.com/view/6989763/UVkjuHxE#0d92aff9-973e-4c88-b1bc-55ae45635b5b>

Anexo F

El anexo F presenta la herramienta diligenciada para la medición del TRL del SIV.

El documento diligenciado se encuentra disponible en:

https://drive.google.com/drive/folders/1eFu0g881CvWEIazNS6yHAz-PY6bfY_yF?usp=sharing