



UNIVERSIDAD EAN

PROYECTO INTEGRADOR

MISITVA: PROTOTIPO PARA LA GESTIÓN DE NAVEGACIÓN EN EL SISTEMA
INTEGRADO DE TRANSPORTE DEL VALLE DE ABURRÁ

AUTORES:

ALEJANDRO VARELA MURILLO

SEBASTIÁN QUICENO MARÍN

TUTOR:

DIANA MARIA GRAJALES MEDINA

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ, D.C, 19 DE MAYO DE 2025

Tabla de Contenidos

TABLA DE CONTENIDOS	2
TABLA DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	11
GENERAL	11
ESPECÍFICOS.....	11
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	12
JUSTIFICACIÓN	13
ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	14
COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA	14
RESTRICCIONES	15
REQUISITOS FUNCIONALES.....	16
<i>Acceso y Roles</i>	16
<i>Gestión de Vehículos</i>	16
<i>Gestión de Rutas</i>	16
<i>Gestión de Estaciones</i>	16
<i>Monitoreo</i>	16
<i>Historiales</i>	17
<i>Alertas</i>	17
REQUISITOS NO FUNCIONALES.....	17
<i>Rendimiento</i>	17
<i>Seguridad</i>	17
<i>Interfaz</i>	18

MARCO DE REFERENCIA.....	19
ORIGEN	19
VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE FLOTA	20
TELEMÁTICA	21
TRANSPORTE PÚBLICO DE PERSONAS.....	21
SITVA.....	22
<i>Metro</i>	22
<i>Los Cables</i>	22
<i>Tranvía</i>	22
<i>Metrolús</i>	23
<i>Buses Alimentadores y Rutas Integradas</i>	23
GEODESIA ESPACIAL	24
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS).....	24
INTERNET OF THINGS (IoT).....	24
ANÁLISIS DE RESTRICCIONES.....	25
TECNOLÓGICAS Y TÉCNICAS	25
<i>Sistema de Posicionamiento Global</i>	25
<i>Latencia de la Trasmisión de Datos</i>	26
<i>Almacenamiento y Procesamiento</i>	28
LEGALES Y REGULATORIAS	30
<i>Protección de Datos Personales</i>	30
<i>Comercio Electrónico y Protección al Consumidor</i>	31
<i>Movilidad y Transporte</i>	31
SOCIOCULTURALES.....	32
<i>Alfabetización Digital</i>	32
<i>Seguridad</i>	32
PRESUPUESTALES	33
METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	34
FASES DEL DESARROLLO DEL PROTOTIPO	35
1. <i>Levantamiento de Requisitos</i>	35

2. <i>Desarrollo de la Encuesta</i>	35
3. <i>Diseño Conceptual</i>	37
4. <i>Diseño del Prototipo</i>	38
5. <i>Desarrollo del Software</i>	39
6. <i>Debugging (Depuración)</i>	40
7. <i>Despliegue</i>	40
DISEÑO MUESTRAL PARA LA ENCUESTA.....	40
DISEÑO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN	40
ESTUDIO DISPOSITIVOS DE RASTREO	41
HALLAZGOS	43
RESULTADOS DE LA ENCUESTA.....	43
ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
PROTOTIPO	52
ANÁLISIS DE COSTOS	60
CRONOGRAMA DEL PROYECTO	61
COSTOS DIRECTOS	62
COSTOS INDIRECTOS	62
COSTOS FIJOS.....	63
CONCLUSIONES	66
REFERENCIAS	68

Tabla de Figuras

FIGURA 1	20
FIGURA 2	23
FIGURA 3	27
FIGURA 4	27
FIGURA 5	28
FIGURA 6	37
FIGURA 7	38
FIGURA 8	39
FIGURA 9	43
FIGURA 10	44
FIGURA 11	44
FIGURA 12	45
FIGURA 13	45
FIGURA 14	46
FIGURA 15	46
FIGURA 16	47
FIGURA 17	47
FIGURA 18	48
FIGURA 19	48
FIGURA 20	49
FIGURA 21	49
FIGURA 22	50
FIGURA 23	50
FIGURA 24	53
FIGURA 25	54
FIGURA 26	55
FIGURA 27	56
FIGURA 28	57
FIGURA 29	58

FIGURA 30	59
FIGURA 31	60

Índice de Tablas

TABLA 1	41
TABLA 2	42
TABLA 3	61
TABLA 4	64

Resumen

Teniendo en cuenta el número de usuarios que se movilizan diariamente en el sistema integrado de transporte de Medellín, se propone el prototipo de una herramienta que permita; haciendo uso de tecnologías avanzadas y alcanzables de geolocalización, el monitoreo en tiempo real de algunos de los vehículos que componen el Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA) (buses alimentadores y rutas integradas, Metro, Metroplús y tranvías). La información recopilada por la herramienta será de utilidad para operadores y usuarios del sistema de transporte masivo.

La información de geolocalización puede ser utilizada por los usuarios para la planificación de sus viajes, por los operadores para el ajuste de frecuencias y rutas con el fin de brindar al usuario un sistema más fiable y oportuno.

Además de la geolocalización de los vehículos, el prototipo propone: brindar la información en tiempo real de la ocupación de un vehículo; conociendo la densidad ocupacional de los vehículos, el operador podrá ajustar las frecuencias de las rutas para que influyan positivamente en el usuario reduciendo los intervalos de tiempo entre salida y salida de una ruta en horarios de alta ocupación aminorando de esta forma los tiempos de espera y ofreciendo vehículos con mejores ocupaciones.

La metodología de investigación utilizada para el desarrollo de este proyecto es mixta, tomando muestras de encuestas, integrando la data numérica con interpretaciones cualitativas con el fin de concluir necesidades y oportunidades para la implementación o no de una herramienta de gestión de tráfico.

Introducción

El Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA) se compone de distintas modalidades de transporte público como lo son el metro, los buses y rutas alimentadoras, tranvías, Metroplús y cables. Este sistema tiene como objetivo mejorar la movilidad y la calidad de vida de los habitantes del área metropolitana del Valle de Aburrá proporcionando una red férrea de 31,3 kilómetros con 27 paradas y una flota de 80 trenes; 12,6 kilómetros de cable y una flota de 362 telecabinas; el Metroplús recorre tres líneas distintas que abarcan 27 kilómetros de recorrido apoyándose en 31 vehículos articulados y 57 padrones; el tranvía recorre 4,3 kilómetros a lo largo de 9 paradas con una flota de 12 tranvías y por último, las rutas integradas que comprenden 33 rutas distintas apoyadas en una flota de 370 vehículos tipo bus. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019)

La red completa proporciona a los usuarios la facilidad de desplazarse desde un punto A hasta un punto B dentro del área de operación que el sistema proporciona haciendo uso de los distintos vehículos.

Como usuarios de sistemas masivos de transporte, logramos identificar que hoy en día no existe una herramienta que facilite la información en tiempo real de los vehículos que componen el SITVA, vemos la oportunidad de proponer una herramienta para que los actores involucrados conozcan en tiempo real la geolocalización de los vehículos con el fin de planificar sus viajes pudiendo hacer un estimado preciso del tiempo de desplazamiento entre distintos puntos así como la ocupación del vehículo específico donde se planea el trayecto.

Teniendo como referencia herramientas implementadas exitosamente como el MTA Bus Time, que fue lanzada en enero 2011 por el Metropolitan Transportation Authority (MTA) en

Nueva York, cuyo objetivo es servir el área metropolitana mayormente poblada en los Estados Unidos (Statista, 2023). MTA Bus Time rastrea todos los buses del sistema y proporciona la hora estimada de llegada a la próxima parada, esto ha ayudado en la planificación de viajes eficazmente a más de dos millones de usuarios diariamente.

En Bogotá, bajo la alcaldía de Claudia López, el 16 de diciembre del año 2020 se anunció la actualización de la aplicación TransMiApp teniendo como principal mejora la consulta en tiempo real de dónde está el bus y el tiempo aproximado de llegada, tanto para vehículos troncales como zonales (Bogotá, 2020).

Objetivos

General

Desarrollar una interfaz de usuario interactiva que simule la navegación en tiempo real la geolocalización y ocupación de los vehículos que componen la flota de vehículos SITVA con el objetivo de optimizar la frecuencia de los servicios y reducir los tiempos de espera de los usuarios del sistema de transporte masivo.

Específicos

1. Analizar los datos de movilidad del Área Metropolitana del Valle de Aburrá con el fin de encontrar soluciones para que el usuario reduzca los tiempos de espera y hacer una planificación más precisa de su viaje.
2. Desarrollar una interfaz de usuario interactiva que simule la navegación de los usuarios dentro del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA) demostrando funcionalidades de geolocalización de los buses en relación con el usuario las paradas.
3. Aplicar una encuesta a la ciudadanía Medellinense para conocer las tendencias respecto a la movilidad dentro del área metropolitana, percepciones y experiencias con el sistema de transporte masivo. Los resultados de la encuesta validarán la necesidad o deseo de la ciudadanía para adoptar herramientas como la que se propone en este proyecto.

Definición Del Problema

Para el año 2021 el Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA) transportó alrededor de 328.450.000 pasajeros. Según la encuesta Origen-Destino 2022 de METROPOL, el tiempo promedio de viaje en el área metropolitana del valle de Aburrá es de 44 minutos, acotando los datos y remitiéndose a los tiempos de viaje haciendo uso del transporte público colectivo (TPC) y el sistema masivo, los tiempos de viaje se incrementan a 53 y 62 minutos respectivamente.

Teniendo en cuenta las premisas del párrafo anterior, se puede concluir que los usuarios que se desplazan haciendo uso del transporte público colectivo y el sistema masivo, en el que se incluyen los buses alimentadores del sistema SITVA; son susceptibles de mejorar sus tiempos de desplazamiento usando el eventual prototipo de la herramienta de geolocalización y ocupación que se analizará en este documento y que permitirá plantear la siguiente hipótesis:

¿Permitirá el desarrollo de una herramienta de geolocalización y ocupación de algunos vehículos que componen el Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburra (SITVA) mejorar los tiempos de desplazamiento del usuario externo y la toma de decisiones del usuario interno?

Justificación

De los usuarios movilizados en el área metropolitana para el año 2021, SITVA tuvo una participación del 64,7%, teniendo en cuenta esta cifra y la relación con el número de habitantes dentro del valle de Aburrá (alrededor de 4 millones de habitantes), se hace oportuno proponer soluciones que involucren tecnologías alcanzables para aumentar la eficiencia del sistema masivo de transporte con el fin de brindar al usuario externo un servicio fiable, eficiente y oportuno.

En el lado del cliente interno, se pretende brindar herramientas para la toma de decisiones corporativas que impacten positivamente al cliente externo mejorando y adaptando las frecuencias de las rutas alimentadoras utilizando los datos proporcionados por el eventual prototipo.

Análisis de Requerimientos

Comportamiento del Sistema

La plataforma del sistema de gestión se compone de una base de datos que contiene los datos de los vehículos tipo bus que hacen parte de la red SITVA, las rutas y paraderos. Los datos de cada vehículo deben contener su capacidad máxima, número de asientos, equipamientos para asistir pasajeros con movilidad reducida y ruta a la que sirve.

Los dispositivos empleados para la geolocalización de los vehículos deberán transmitir datos que sean confiables y continuos con el fin de hacer estimaciones de tiempo precisas y oportunas tanto para el cliente externo como para el cliente interno.

La información de ocupación real en conjunto con la distribución de los vehículos a lo largo de la ruta, y la demanda del servicio son datos clave para que el prestador del servicio ajuste las frecuencias en una ruta específica y el cliente externo vea reflejado este ajuste en una disminución del tiempo de espera para abordar el vehículo.

Los requisitos funcionales y no funcionales contemplados para el desarrollo de este prototipo de gestión deben acotarse y definirse dentro de los estándares sugeridos y utilizados en la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y su norma ISO/IEC 25010.

La selección de las tecnologías para el desarrollo e implementación del prototipo se hace teniendo en cuenta los factores técnicos como precisión, disponibilidad y fiabilidad. La precisión de los distintos rastreadores oscila entre ± 2.5 a 10 metros, la elección de este dependerá de los

recursos económicos para el proyecto, así como la posibilidad de acceder a la parte eléctrica de los vehículos para acoplar un rastreador integrado al vehículo.

Las APIs de Google Maps permitirán la integración de los mapas cargados en el mencionado servidor con el prototipo de este proyecto.

Restricciones

Teniendo en cuenta el alcance de este proyecto, el factor tiempo es uno de lo más restrictivos, el desarrollo del estudio para la elaboración de la documentación técnica que sirva como sustento para demostrar la viabilidad o no del sistema propuesto supone un desafío para el equipo de trabajo. Implícitamente a la calidad de la documentación, los stakeholders verán o no los beneficios que supondría la adopción de la herramienta propuesta, por consiguiente, la emisión de recursos para la adquisición, instalación y puesta en marcha de los equipos que soportarían los datos para el correcto, confiable y oportuno funcionamiento de la herramienta de gestión.

Los recursos económicos suponen también una restricción, las rutas integradas y buses alimentadores ofrecen 33 servicios (rutas) operador por una flota de 370 vehículos (Metropol, 2019); esto implica que se deben adquirir e instalar 370 dispositivos que proporcionen datos en tiempo real de geolocalización, así como información de ocupación al interior de cada vehículo.

Requisitos Funcionales

Acceso y Roles

- Permitir el acceso a la herramienta y funcionalidades de acuerdo con el tipo de usuario o administrador.

Gestión de Vehículos

- Registrar, editar y eliminar vehículos de la base de datos.
- Asociación de los dispositivos de geolocalización y capacidad a cada vehículo.
- Disponibilidad de equipamiento de movilidad reducida (EMR).
- Asignar rutas a los vehículos.

Gestión de Rutas

- Asignar paradas a las rutas.
- Asignar vehículos a las rutas.

Gestión de Estaciones

- Asignar rutas a las estaciones.

Monitoreo

- Monitoreo en tiempo real de la geolocalización de cada vehículo.
- Visualización de la ocupación de un vehículo en tiempo real.

Historiales

- Generación de reportes cuando se evidencie periodos de tiempo con una ocupación por encima del promedio.
- Generación de reportes cuando el tiempo promedio para cada ruta se exceda.

Alertas

- Alertas cuando la ocupación de un vehículo esté por encima de un rango predeterminado.
- Alertas cuando la posición de un vehículo no varíe en un rango de tiempo específico.

Requisitos No Funcionales

Rendimiento

- El rendimiento del aplicativo debe cumplir con la norma ISO 25010 en cuanto a la cantidad y el tipo de recurso utilizado para ciertas condiciones.
- La actualización de los datos relevantes como geolocalización y capacidad de un vehículo debe tener una latencia máxima de cinco segundos.

Seguridad

- El aplicativo debe encriptar la información sensible de los usuarios registrados en la herramienta.

Interfaz

- El aplicativo debe ser compatible con dispositivos móviles con sistema operativo iOS y Android.
- La interfaz de mapas se desarrollará utilizando API en la plataforma de Google Maps.

Marco de Referencia

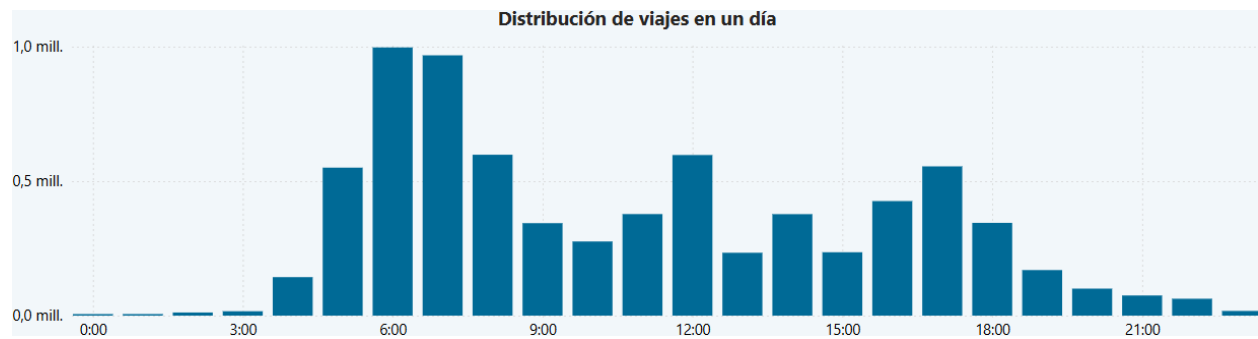
Origen

La gestión y monitoreo de las actividades del sector transporte tiene un impacto importante a nivel global que pueden desencadenar importantes desarrollos a nivel económico y social (Saghaei, 2016). El desarrollo de una herramienta de gestión de flota permitiría que el objetivo y la misión específica de un vehículo de transporte masivo se vea optimizado teniendo en cuenta información precisa de localización y ocupación dentro del vehículo.

Los patrones de toma de decisiones involucran contextos y dependen de las situaciones, las circunstancias, metas, propósitos y resultado esperados, por este motivo, se resalta que las decisiones adecuadas en un contexto específico podrán no serlo en otro (Salinas y Rodríguez, 2011). Teniendo en cuenta los picos de ocupación del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá mostrados en la figura 1, se puede concluir que el sistema y frecuencia no deberían ser estáticos durante el transcurso del día, sino que se deben adaptar y dinamizar para suplir la necesidad de bienestar del usuario y la optimización del vehículo por parte del prestador del servicio.

Figura 1

Distribución de viajes en el SITVA en un periodo de 24 horas



Nota. Tomado de Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Ventajas de los Sistemas de Gestión de Flota

En el año 2016 Hamed Saghaei destacó algunas de las ventajas de los sistemas de gestión de flota que incorporan el monitoreo en tiempo real de la posición geolocalizada de vehículos.

Con el fin de ahondar en este marco teórico, a continuación, se enumeran las ventajas:

1. Gestión del consumo de combustible basado en reportes diarios mensuales y anuales de un vehículo o una flota de vehículos.
2. Gestión eficiente y exacta de la flota de vehículos e incremento de las capacidades de supervisión.
3. Promoción de un sistema eficiente y una reducción considerable de los costos de control y supervisión comparado con sistemas tradicionales.
4. Recepción de información exacta desde la flota de vehículos.
5. Incremento de la eficiencia de los sistemas de gestión de flota.
6. Reducción en las infracciones de tránsito durante los periodos de servicio.

7. Incremento de la satisfacción del cliente y la transparencia del equipo.
8. Posibilidad de evaluar el desempeño de las organizaciones afiliadas.
9. Estandarización de los conceptos implementados.

Telemática

Harris ha descrito la telemática cómo:

La telemática se refiere al uso de la tecnología para recopilar, transmitir y analizar datos de los vehículos. Por lo general, implica la integración de sistemas de seguimiento GPS, sensores y dispositivos telemáticos instalados dentro de los vehículos para recopilar información en tiempo real sobre varios parámetros de rendimiento, como la ubicación, la velocidad, el consumo de combustible y el diagnóstico del motor. Estos sistemas han aumentado significativamente la visibilidad que los administradores de flotas tienen de sus operaciones, lo que les permite monitorear el rendimiento de la flota en tiempo real y tomar decisiones basadas en datos que optimizan las operaciones. (Harris, 2024, p. 2)

Transporte Público de Personas

El concepto de “transporte” hace referencia al traslado de personas y mercancías de un lugar a otro por diversas razones en el menor tiempo posible. En el caso de las personas, destacan los motivos laborales, de estudio o de satisfacción de otras necesidades como el ocio, el acceso a servicios de salud, entre otros. (Koch, 2001, p 287)

SITVA

Es el Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá este se compone por un tren que recorre el área metropolitana, unas líneas de teleférico, un tranvía y autobuses de tránsito. Ver figura 2.

Las áreas de influencia directa del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá abarcan los municipios de Medellín, Caldas, Itagüí, Sabaneta, La Estrella, Copacabana, Girardota, Barbosa y La Ceja.

Metro

Su flota está compuesta por 80 trenes y tiene un recorrido de 31,3 kilómetros a través del Valle de Aburrá movilizado diariamente 800.000 personas a una velocidad promedio de 37 kilómetros por hora. Los 31,3 kilómetros de recorrido se dividen en dos líneas, la línea A cuyo recorrido va de norte a sur y la línea B que recorre el área metropolitana de oriente a occidente. A través del recorrido, el metro tiene 27 paradas. (Metropol, 2025)

Los Cables

Fue diseñado para llegar aquellos puntos del área metropolitana que por topografía no eran accesibles a través del sistema metro. El sistema tiene un total de 12,6 kilómetros de cable repartidos a lo largo de cinco líneas y una flota de 326 telecabinas.

Tranvía

Presta su servicio en una única línea a lo largo de 4,3 kilómetros y nueve paradas. El servicio se presta en una flota de 12 tranvías.

Metroplús

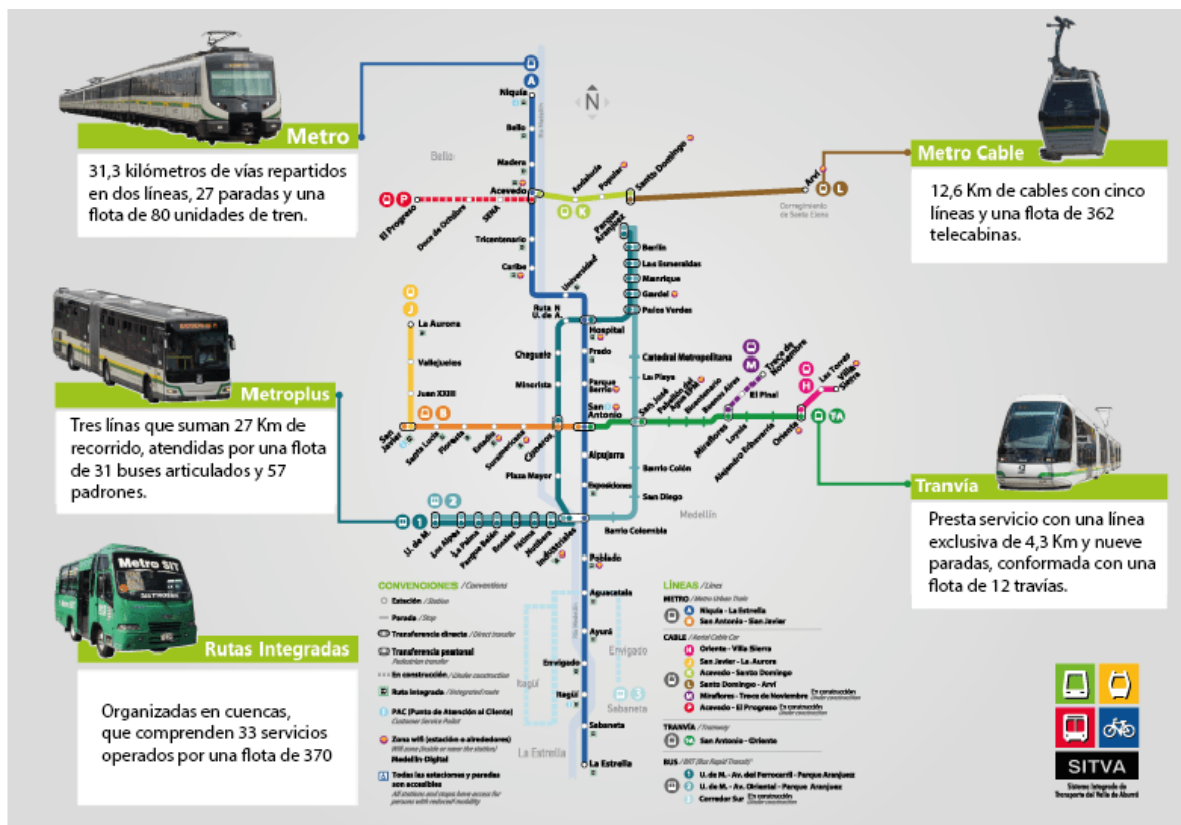
La flota se compone de 31 buses articulados y 57 padrones. Las tres líneas que componen esta parte del sistema recorren un total de 27 kilómetros.

Buses Alimentadores y Rutas Integradas

Complementan el servicio de transporte masivo cubriendo las zonas inaccesibles por las otras partes del sistema. Esta parte del Sistema Integrado de Transporte comprende una flota de 370 vehículos que operan 33 servicios.

Figura 2

Flota vehículos SITVA



Nota. Tomado de Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Geodesia Espacial

Ciencia que se encarga de la recepción y observación de señales provenientes de elementos que no están estáticos en la superficie terrestre. (Peñañiel y Zeyas, 2001)

Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El sistema de posicionamiento global, desarrollado inicialmente como herramienta militar por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para la estimación de posición, velocidad y tiempo.

El sistema utiliza una red de ordenadores y una constelación de 24 satélites para determinar por triangulación la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto sobre la superficie terrestre. (Pozo-Ruz et al., 2000)

Internet of Things (IoT)

El Internet de las cosas es la interconexión de los objetos del mundo físico a través de Internet y los cuales están equipados con sensores, actuadores y tecnología de comunicación. Esta tecnología va encaminada hacia una gran variedad de ámbitos, tales como la industria, la salud y la energía, así como para facilitar el desarrollo de nuevas aplicaciones y la mejora de las aplicaciones ya existentes. (Bonilla-Fabella et al., 2016)

Análisis de Restricciones

Tecnológicas y técnicas

Sistema de Posicionamiento Global

En la actualidad, el método más accesible y preciso para determinar la posición de cualquier objeto sobre el globo terráqueo es el GPS, sin embargo, inherentes al sistema, existen algunas limitantes que afectan la triangulación de la posición. (Peck, 2024)

1. Las condiciones atmosféricas afectan la señal emitida por los satélites cuando estas atraviesan la ionosfera (partículas cargadas) y la troposfera (partículas relacionadas a los fenómenos meteorológicos)
2. Las obstrucciones como montañas, árboles y estructuras altas pueden bloquear las señales emitidas por los satélites originando lecturas tardías o imprecisas. A este fenómeno se le conoce como interferencia de trayectorias múltiples.
3. El número de satélites a la vista del receptor influye en la precisión del computo de la posición. Entre menos satélites estén a la vista del receptor, el calculo de la posición es más complejo especialmente en situaciones donde la señal de los satélites se vea perturbada por obstrucciones.
4. La disposición de los satélites en el espacio también influye en el computo de la posición. Una “buena geometría” se da cuando los satélites están separados los unos de los otros proporcionando una mejor triangulación.

Latencia de la Trasmisión de Datos

Se define latencia como el tiempo que tarda un paquete en ir de un extremo a otro (Roblez y Egas, 2015). El problema que genera la latencia incentiva la creación u optimización de distintas tecnologías para mitigar sus efectos. Muchas aplicaciones hoy en día se soportan en redes celulares como redes de acceso, las cuales influyen en la latencia total.

Para Roblez y Egas (2015), existen cuatro parámetros básicos cuantificables para evaluar una red. Estos son la latencia, pérdida de paquetes, velocidad de trasmisión y jitter.

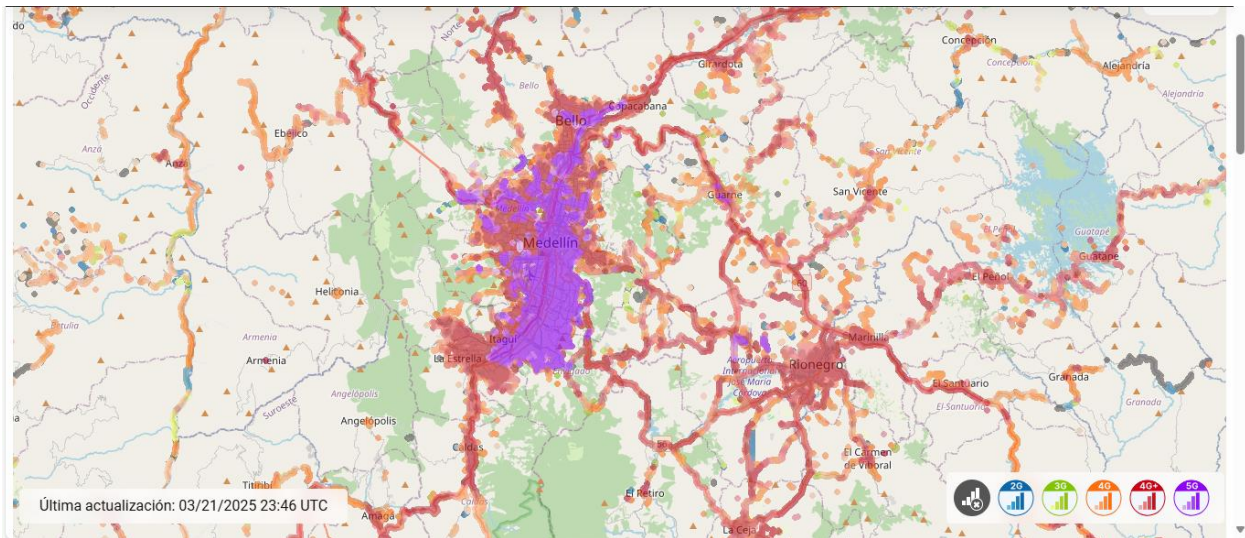
De los cuatro parámetros la latencia es el llamado a combatirse con el fin de proporcionar servicios de calidad a las nuevas aplicaciones o herramientas que van surgiendo.

Las redes celulares se trasforman en redes de acceso para conectarse a internet cuyo rendimiento depende de variables ambientales y de diseño como: propagación en el ambiente (indoor, outdoor, obstáculos), estado de la red (nivel de carga, horas pico) y los tipos de dispositivos y aplicaciones.

Con el fin de mitigar las implicaciones técnicas que puede tener la cobertura en la implementación y despliegue de la herramienta, es necesario conocer las áreas de influencia de cada operador móvil en el casco urbano del valle de Aburrá. Al garantizar una buena cobertura, la latencia es baja lo que se traduce en información fiable, precisa y oportuna a todos los usuarios de la aplicación.

Figura 3

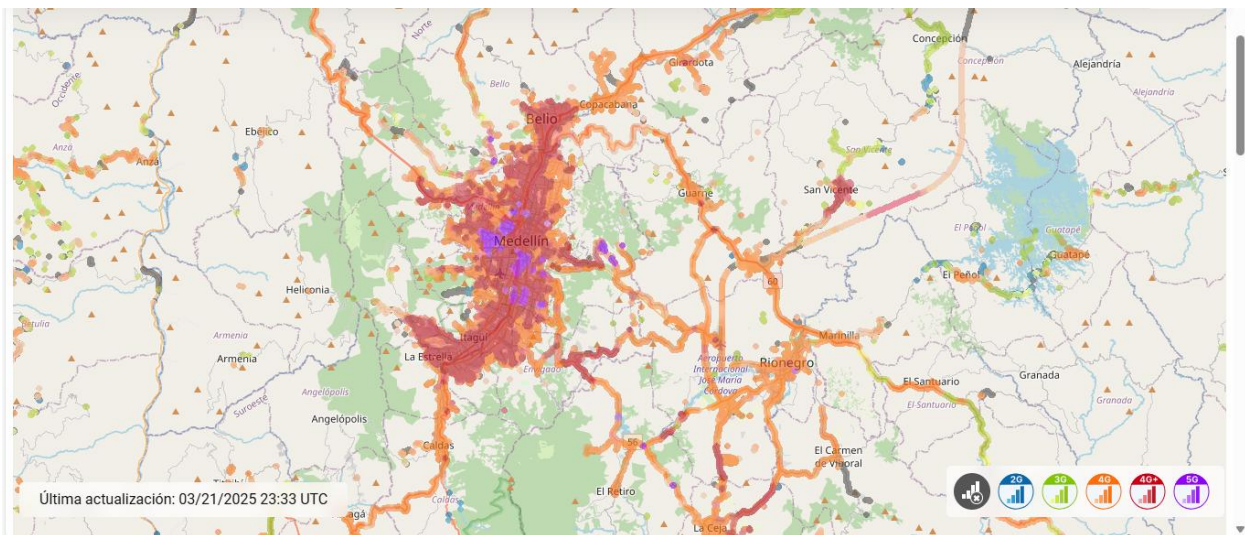
Mapa cobertura valle de Aburrá operador Claro



Nota El gráfico representa la cobertura del operador Claro en el Valle de Aburrá. Los puntos color azul representan cobertura 2G. Los puntos color verde representan cobertura 3G. Los puntos color naranja representan cobertura GG. Los puntos color rojo representan cobertura 4G+. Los puntos color verde representan cobertura 5G. Tomado de nperf.

Figura 4

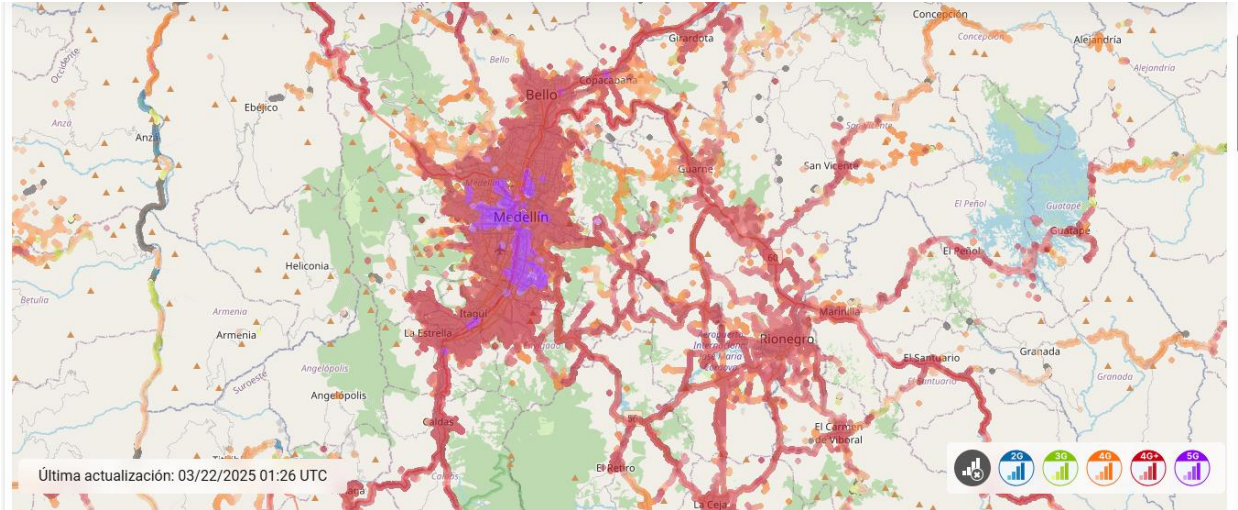
Mapa cobertura valle de Aburrá operador Movistar



Nota El gráfico representa la cobertura del operador Movistar en el Valle de Aburrá. Los puntos color azul representan cobertura 2G. Los puntos color verde representan cobertura 3G. Los puntos color naranja representan cobertura GG. Los puntos color rojo representan cobertura 4G+. Los puntos color verde representan cobertura 5G. Tomado de nperf.

Figura 5

Mapa cobertura valle de Aburrá operador Tigo



Nota El gráfico representa la cobertura del operador Tigo en el Valle de Aburrá. Los puntos color azul representan cobertura 2G. Los puntos color verde representan cobertura 3G. Los puntos color naranja representan cobertura 4G. Los puntos color rojo representan cobertura 4G+. Los puntos color verde representan cobertura 5G. Tomado de nperf.

Almacenamiento y Procesamiento

La cantidad de información generada en un año alrededor del mundo se estima entre tres y cinco zettabytes (Vázquez-Moctezuma, 2015), esto supone un reto para el almacenamiento de esta. La forma o método de almacenamiento depende de las necesidades del usuario, el tamaño de la información, el número de usuario que deben acceder a ella y por supuesto, el presupuesto.

En esta etapa de transición (Vázquez-Moctezuma, 2015), las unidades de disco duro (tradicional y sólido) y las memorias de cambio de fase (PCM) nos ayudan a solventar las necesidades de almacenamiento. El avance tecnológico ha permitido flexibilizar las formas en la que los centros dedicados al almacenamiento se estructuran. Podemos identificar cuatro métodos distintos:

1. Almacenamiento de conexión directa (DAS): Las unidades de disco duro se encuentran conectadas a los servidores o host a través de una interfaz de datos. Este tipo de almacenamiento se caracteriza por su sencillez, bajo grado de complejidad y menor gasto de implementación y mantenimiento
2. Almacenamiento conectado en red (NAS): Este tipo de almacenamiento requiere una conexión LAN o WAN, así como un dispositivo de almacenamiento dedicado a la estructura. La principal bondad de este tipo de almacenamiento es la escalabilidad.
3. Red de almacenamiento (SAN): Su enfoque es el almacenamiento haciendo uso de redes flexibles que a menudo utilizan conexiones de fibra óptica que permiten velocidades superiores de transferencia. Este tipo de almacenamiento ofrece altas velocidades de acceso y transferencia, almacenamiento seguro, respaldo y migración de datos, sin embargo, el presupuesto para su implementación es alto lo que no lo hace viable para organizaciones pequeñas con carteras limitadas.
4. Almacenamiento en la nube: Este tipo de almacenamiento es posible por la implementación de equipos o máquinas virtuales, la estructura física es invisible para los usuarios, sin embargo, el comportamiento es el mismo como si se tuviese un equipo físico real. La elasticidad de su infraestructura es una de las ventajas que presenta, así como la virtualización de las tecnologías han hecho que esta forma de almacenamiento sea rentable y de fácil acceso.

Legales y Regulatorias

El desarrollo de aplicaciones móviles debe estar enmarcado dentro de las leyes y normativas que las regulan. En Colombia existen varias legislaciones que regulan el desarrollo y despliegue de las aplicaciones móviles de acuerdo con el tipo de información que estas manejen. Algunas de las leyes son:

Protección de Datos Personales

La ley 1581 de 2012 es el marco normativo que regula el tratamiento de la información personal en Colombia. El objetivo de esta es desarrollar el derecho constitucional que tienen todas las personas de conocer, actualizar y rectificar la información que se hubiese recogido sobre ellas en bases de datos o archivos. La ley aplica a los datos registrados en cualquier base de datos que los haga susceptibles de tratamiento por entidades de naturaleza pública y privada. La cobertura de esta ley se extiende a todos aquellos datos que se hubiesen recopilado en el territorio nacional o cual el responsable del tratamiento no esté establecido en el territorio colombiano, pero le sea aplicable la legislación colombiana.

El decreto 1074 de 2015 en la sección 2 artículo 2.2.2.25.2.1 define las formas en las que se debe recolectar la información. “La recolección de datos deberá limitarse a aquellos datos personales que son pertinentes y adecuados para la finalidad para la cual son recolectados o requeridos conforme a la normatividad vigente. Salvo en los casos expresamente previstos en la ley, no se podrán recolectar datos personales sin autorización del Titular”

Comercio Electrónico y Protección al Consumidor

La ley 1341 de 2009 es la norma que regula la sociedad de la información y la organización de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones (TIC). Se crea La Agencia Nacional Del Espectro.

En el artículo 3 de la ley 1978 de 2019 que agrega el numeral 10 al artículo 2 de la ley 1341 de 2009, el estado reconoce que el acceso y uso de TIC, así como su despliegue y uso eficiente de la infraestructura, el uso de contenidos y aplicaciones son pilares para la consolidación de las sociedades de la información y el conocimiento.

Movilidad y Transporte

El decreto 1079 de 2015 por el cual se expide el decreto único y reglamentario del sector transporte en su sección 3 artículo 2.2.1.2.3.4, promueve la libre adopción de las tecnologías teniendo en cuenta recomendaciones, conceptos y normativas de los organismos internacionales que fomenten la eficiente prestación de servicios, contenidos y aplicaciones que usen tecnologías de la información y las telecomunicaciones. Además, garantizar la libre iniciativa privada, libre competencia y una adopción armónica con el desarrollo ambiental y sostenible.

El mismo decreto en la sección 4, artículo 2.2.1.6.4.1 se mencionan los requerimientos para la obtención y mantenimiento de las habilitaciones para la prestación del servicio público terrestre automotor especial y se especifica que se debe presentar una estructura de tecnología e informática que garantice la adecuada prestación del servicio de transporte.

Socioculturales

Alfabetización Digital

El uso de herramientas tecnológicas supone un reto para algunas generaciones. Los pasos agigantados de la civilización en materia tecnológica se contrastan con el envejecimiento poblacional y suponen una amenaza de exclusión a los grupos o sectores sociales que no accedan a la tecnología (Castells, 1996). Solo en Medellín, el Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2018 arrojó que la población mayor a 60 años es del 22,4%, esto podría desencadenar que en casi un cuarto de la población Medellinense la herramienta que se propone no tenga un impacto tangible. Para contrarrestar la amenaza, el desarrollo de la aplicación debe contemplar una interfaz, herramientas y características lo suficientemente sencillas e intuitivas con el fin de facilitar su uso a cualquier grupo de personas sin que el factor generacional sea una limitante o un impedimento.

Seguridad

La percepción de seguridad también supone una preocupación en la implementación y despliegue de la herramienta. Tomando los datos de la encuesta desarrollada en las primeras fases del proyecto, se identifica una sensación de inseguridad una vez las personas se encuentran en las paradas de las rutas integradas por el 41,2% de los encuestados. Relacionando los datos de la encuesta con aquellos obtenidos en portales gubernamentales, se evidencia que la sensación de inseguridad es un reflejo de los índices de criminalidad que involucran delitos como el hurto a personas. Según la encuesta de Convivencia y Seguridad Ciudadana (ECSC) del año 2021, el 3,2% de la población (cerca de tres millones de personas) de 15 años o más sufrieron hurto al menos una vez en el año. Del 3,2% de la población víctima de hurto a personas, el 81,9% de estos hurtos tuvieron como objetivo el teléfono celular.

Presupuestales

El presupuesto para el desarrollo, implementación y despliegue del prototipo es limitado, teniendo en cuenta los costos de los rastreadores, contratación de planes móviles, servicios de alojamiento de información en la nube y servidores o máquinas virtuales, se podría exceder el presupuesto planificado para este proyecto.

A nivel país, El MinTIC propone al sector privado hacer inversiones con el fin de cerrar las brechas digitales (MinTIC, 2025), esto podría impulsar el desarrollo, implementación y despliegue de este tipo de iniciativas que tiene como propósito entregar a la ciudadanía herramientas para mejorar su calidad de vida en aspectos como la movilidad.

Para mitigar la amenaza de exceder el presupuesto, se hace necesaria una investigación en el mercado identificando las opciones que más se ajusten a la cartera del proyecto. Un análisis juicioso y metódico de las distintas tecnologías de rastreo daría la posibilidad de entregar un producto no solo económico, sino también lo suficientemente preciso, continuo y fiable para todos aquellos interesados en el proyecto.

Metodología para la Selección y Desarrollo de la Solución

Para la selección de este proyecto, se tuvieron en cuenta factores cualitativos fundamentados en experiencias con sistemas similares adoptados en otras ciudades del mundo como el MTA Bus Time en Nueva York, Estados Unidos y TransMiApp en Bogotá, Colombia. TransMiApp es la aplicación oficial de TRANSMILENO S.A. (Transmilenio, 2025) la cual tiene como criterio de servicio brindar a los usuarios una herramienta para la planificación de viajes, información de rutas, horarios, paraderos y recorridos del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá. TransMiApp permite ubicar el origen y el destino sugiriendo trayectos en Troncal, Zonal y recorridos a pie calculando el tiempo de desplazamiento y mostrando al usuario los paraderos para abordar el servicio.

El MTA Bus Time es una herramienta implementada por el Metropolitan Transportation Authority (MTA) en el año 2011 (MTA, 2011) y que a hoy sirve a cerca de 15.3 millones de personas a lo largo de 5000 millas cuadradas alrededor de la ciudad de Nueva York, Long Island, el sureste del estado de Nueva York y Connecticut (MTA, 2025)

Apoyando la selección del proyecto y el desarrollo de la solución, se aplicó una encuesta escrita y estructurada (compuesta de una lista de preguntas que se formulan a todos por igual) (Caballero, 2017) con el fin de conocer la experiencia de la ciudadanía del valle de Aburrá respecto a la movilidad haciendo uso de los sistemas de transporte masivo y el Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA). Al aplicar la encuesta, se recopilan datos para fundamentar nuestra metodología mixta abogando a datos cualitativos como percepciones de seguridad, eficiencia, ocupación y confiabilidad del servicio, así como datos cuantitativos como

el número de personas que hacen uso de las rutas alimentadoras, frecuencia de utilización y tiempos de espera.

Fases del Desarrollo del Prototipo

1. Levantamiento de Requisitos

Con el fin de conocer las funcionalidades esperadas en el aplicativo, se realizaron búsquedas de soluciones similares que ya hubiesen sido desarrolladas y satisfactoriamente implementadas. En esta primera fase, se ahondó en las funcionalidades de dos aplicaciones de características similares que hoy en día apoyan la planificación de viajes en usuarios de medios de transporte masivos. Las aplicaciones consultadas fueron MTA Bus Time y TransMiApp. Teniendo en cuenta la información en los portales web oficiales de cada una de las herramientas, se listó una lista de características y funcionalidades que aplicaciones de este tipo deben implementar como lo son:

1. Visualización de ruta en un mapa con su respectivo recorrido.
2. Información de las rutas, sus horarios, lugares de origen y destino.
3. Búsqueda de recorridos filtrados por lugar de origen o destino.
4. Visualización geolocalizada de los buses de interés en tiempo real.

2. Desarrollo de la Encuesta

Para conocer las percepciones de los ciudadanos sobre Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá, así como sus expectativas de una propuesta para el mejoramiento de su experiencia con el sistema, se desarrolla y se aplica una encuesta estructurada. Las preguntas de la encuesta se listan a continuación:

1. ¿Cuál es su género?
2. ¿Cuál es su edad?
3. ¿Utiliza el transporte público para sus desplazamientos?
4. Si hace uso del transporte público, ¿cuál medio utiliza? Marque aquellas opciones que le apliquen.
5. ¿Sabe qué es el Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA)?
6. ¿Cuál es el motivo para hacer uso del transporte público?
7. ¿Utiliza las rutas alimentadoras para conectar con otros medios integrados al SITVA?
8. Si la respuesta anterior fue "Sí", ¿cuánto es el tiempo de espera promedio por el bus alimentador?
9. Si hace uso de las rutas alimentadoras, ¿cuántos días en la semana hace uso de ellas?
10. Si usted es usuario de las rutas alimentadoras, ¿cómo percibe la ocupación una vez está dentro del bus alimentador?
11. ¿Con qué frecuencia desiste de esperar el bus alimentador por agotamiento del tiempo de espera o sobreocupación del vehículo que llega?
12. ¿Ha tenido sensación de inseguridad estando en las paradas de las rutas alimentadoras?
13. ¿Posee un celular con conectividad a internet?
14. En caso de que la respuesta anterior haya sido "Sí", ¿utiliza usted aplicaciones móviles para la planificación de sus viajes?

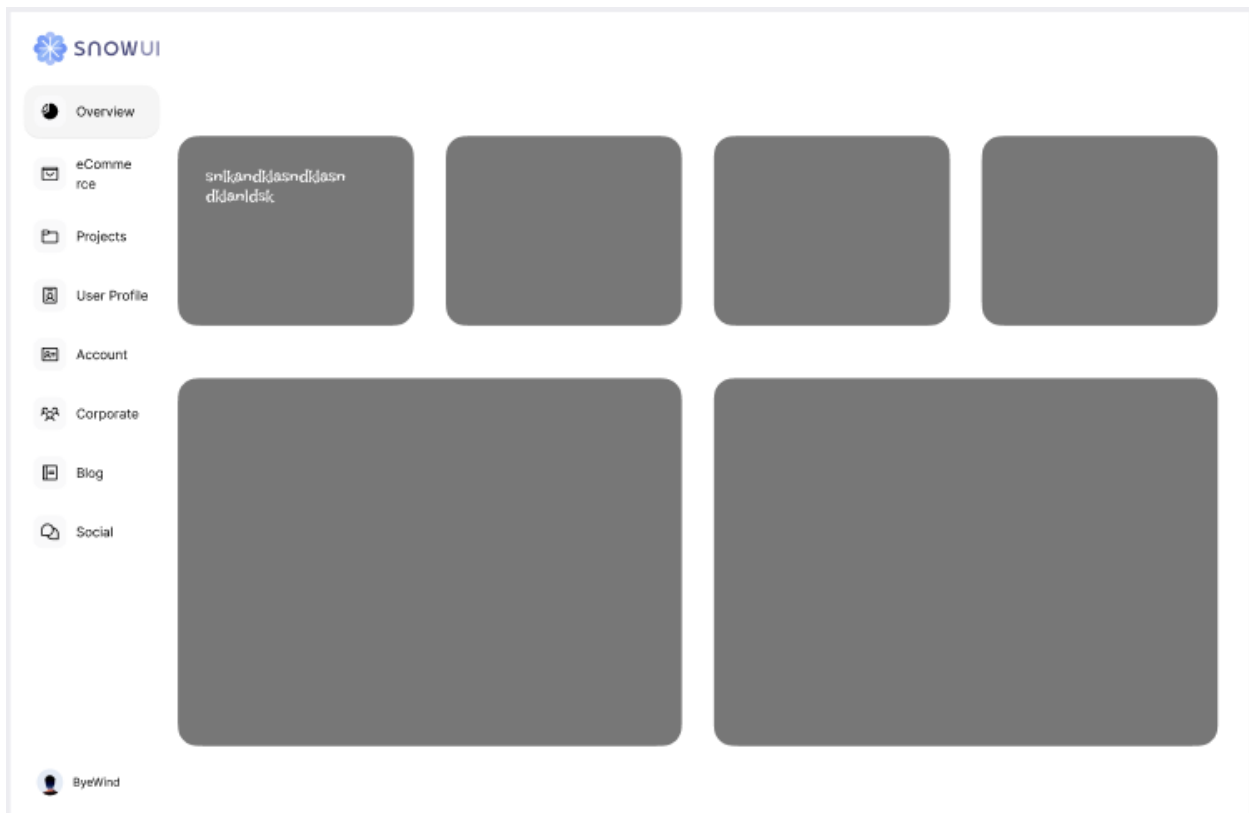
15. ¿Le interesaría una herramienta que le permitiese monitorear la posición exacta de un bus alimentador con el fin de planificar más precisamente un viaje?

3. *Diseño Conceptual*

Habiendo recolectado los resultados de la encuesta y teniendo en cuenta las funcionalidades e interfaces de usuario de aplicaciones pares, se hacen los bosquejos de las páginas o frameworks del usuario como aplicativo móvil y del administrador como dashboard en un navegador web.

Figura 6

Bosquejo Dashboard Adminitrador



Nota Elaboración propia

Figura 7

Bosquejo Interfaz Usuario



Nota Elaboración propia

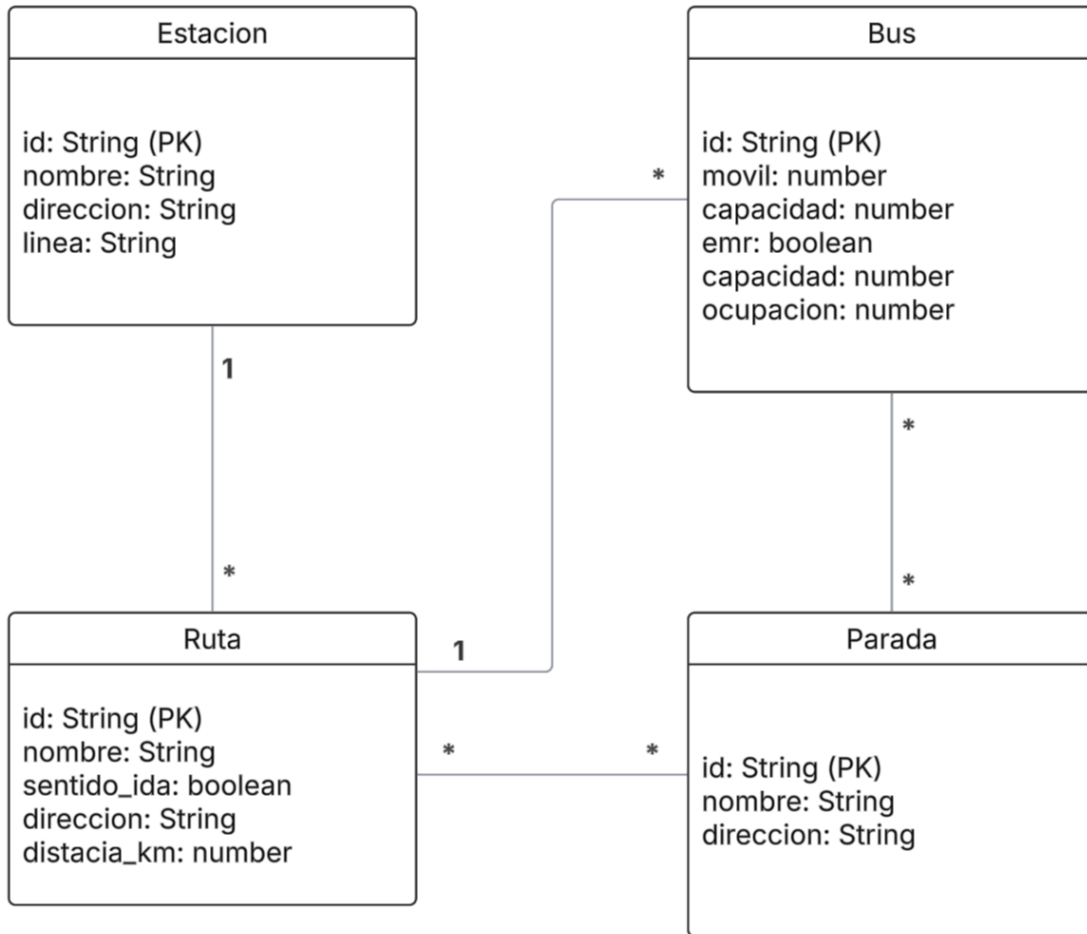
4. Diseño del Prototipo

Habiendo definido los requisitos y teniendo como referencia los bosquejos en la fase anterior, se comienza con el desarrollo de las Interfaces de Usuario (UI) y con la Experiencia de Usuario (UX) en la herramienta Figma. En esta fase se desarrollan las distintas páginas o

frameworks del aplicativo y se da comienzo al desarrollo de las bases de datos que alimentaran el aplicativo.

Figura 8

Diagrama de Relaciones Base de Datos



Nota Elaboración propia

5. *Desarrollo del Software*

Utilizando MySQL como gestor de base de datos, las librerías de React Native y la herramienta Ionic Framework, se desarrollan las funcionalidades primarias del aplicativo.

6. *Debugging (Depuración)*

Se interactúa con las primeras versiones del aplicativo con el fin de corregir los errores de sintaxis o semántica que este pudiese tener. El objetivo principal de esta fase tiene como propósito responder el porqué de los errores y encontrar las posibles soluciones.

7. *Despliegue.*

En esta fase se tiene como objetivo que un grupo de personas interactúen con el aplicativo con el fin de conseguir retroalimentaciones, listar posibles mejoras en el aplicativo y hallar errores que no hubiesen sido identificados en la fase anterior. En esta fase definimos que las personas ajenas al desarrollo de la solución se involucren con la manipulación de esta con el fin de conseguir comentarios objetivos sin sesgos emocionales.

Diseño Muestral para la Encuesta

La población objeto de estudio con la que se fundamentó el estudio fue delimitada a ciudadanos que residen en el valle de Aburrá.

Diseño del Instrumento de Investigación

Con el fin de seleccionar el instrumento de investigación, se tuvieron en cuenta variables intrínsecas a este proyecto como el presupuesto, tiempo y la cobertura. Se selecciona como instrumento para recopilar información una encuesta escrita y estructurada aplicada por internet. La selección de este tipo de encuesta se da teniendo en cuenta las ventajas y desventajas mencionadas por Hernández et al 2009 y que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1

Ventajas y desventajas de las encuestas por internet

Ventajas e inconvenientes de la encuesta por internet	
Ventajas	Inconvenientes
-La falta de intermediario entre el cuestionario y el entrevistado hace que los sondeos sean más objetivos. -Se evita que el entrevistador condicione al entrevistado. -Rapidez en la recogida y análisis de datos. -Amplia cobertura -El ahorro de tiempo -Los bajos costos -La utilización de medios audiovisuales durante la encuesta.	-No todo el mundo tiene ese acceso, y a lo mejor los que sí lo tienen no forman parte de la muestra. -Se puede mentir muy fácilmente con datos nulos. -Si no se garantiza el anonimato pueden darse bajas tasas de respuesta. -La dificultad en controlar la selección de informantes (por ejemplo, evitar que la misma persona conteste varias veces a la encuesta asegura que la persona que respondió sea la adecuada y la verdadera).

Nota Tomado de Hernández, M. A., Cantín, S., López, N., y Rodríguez, M. (2009). Estudio de encuestas. Recuperado de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24005w/Estudio_cuentas_S13.pdf

Estudio Dispositivos de Rastreo

El estudio de las distintas opciones de rastreadores se enfoca en las variables presupuestales y técnicas. En la tabla 2 se hace una comparativa de las distintas alternativas contempladas para esta fase del proyecto. El presupuesto es la variable que más limita la selección de la tecnología a utilizar, sin embargo, se deben contemplar las variables técnicas como la precisión, disponibilidad y continuidad del rastreador con el fin de que la tecnología seleccionada no comprometa la información que los usuarios desean recibir.

La cobertura de los operadores móviles en Colombia desempeña un papel determinante en la selección del dispositivo, según información del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (MinTIC), el país está en una etapa de transición tecnológica de redes 2G y 3G a redes 4G (MinTIC, 2020) por lo que el dispositivo seleccionado debe contar con soporte 4G con el fin de evitar que los dispositivos se vuelvan obsoletos en un periodo de tiempo corto.

Tabla 2

Comparación Dispositivos

Característica	Teltonika	Motorola G34
Tipo de Dispositivo	Rastreador GPS vehicular	Smartphone
Conectividad	4G	4G/5G + WiFi
Precisión GPS	± 2.5 metros	± 5 - 10 metros
Batería Interna	170 mAh	5000 mAh
Autonomía	Conectado al vehículo	48 horas
Alimentación	12V/24V del vehículo	USB-C
Costo Aproximado	COP 500.000	COP 450.000

Nota Elaboración propia

Hallazgos

Resultados de la Encuesta

La encuesta contiene 15 preguntas y fue realizada a 141 habitantes del valle de Aburrá con el fin de conocer su método de desplazamiento, percepción del sistema integrado de transporte en cuanto a ocupación, alcance y calidad del servicio representado en tiempo de espera.

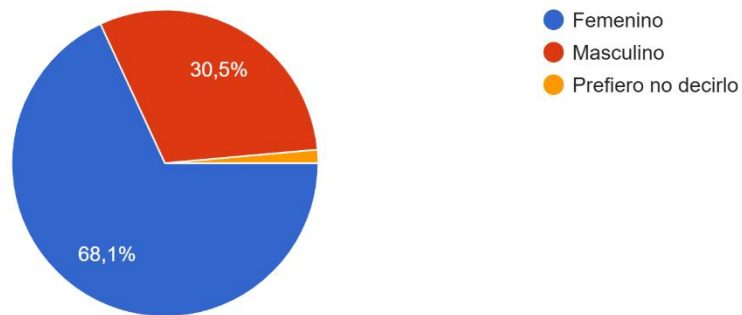
A continuación, se muestran los resultados.

Figura 9

Resultados encuesta

¿Cuál es su género?

141 respuestas



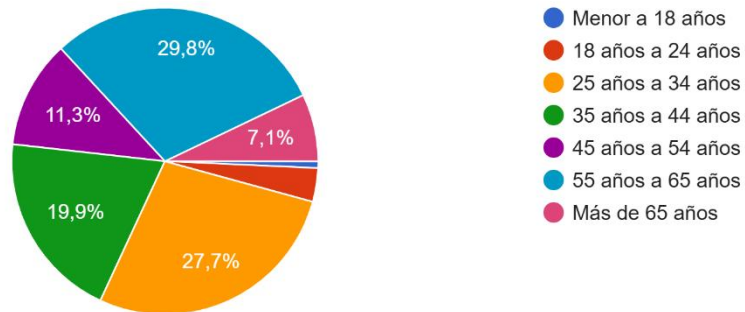
Nota Elaboración propia

Figura 10

Resultados encuesta

¿Cuál es su edad?

141 respuestas



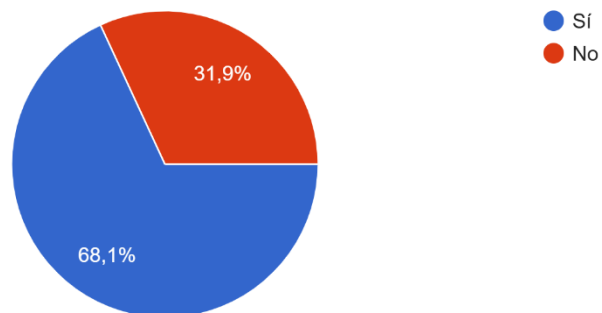
Nota Elaboración propia

Figura 11

Resultados encuesta

¿Utiliza el transporte público para su desplazamiento?

141 respuestas



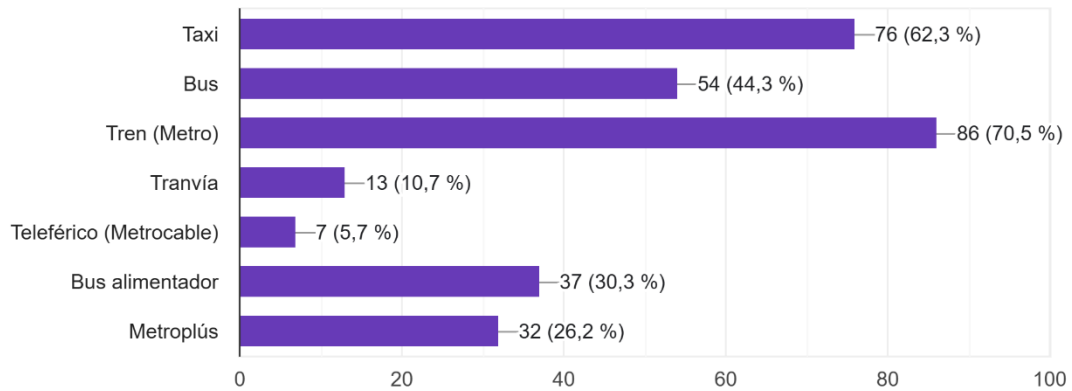
Nota Elaboración propia

Figura 12

Resultados encuesta

Si hace uso del transporte público, ¿cuál medio utiliza? Marque aquellas opciones que le apliquen.

122 respuestas



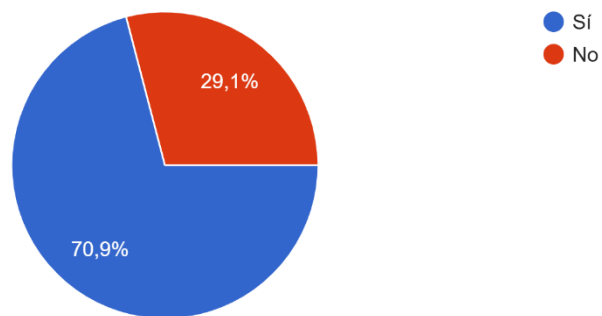
Nota Elaboración propia

Figura 13

Resultados encuesta

¿Sabe qué es el Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA)?

141 respuestas



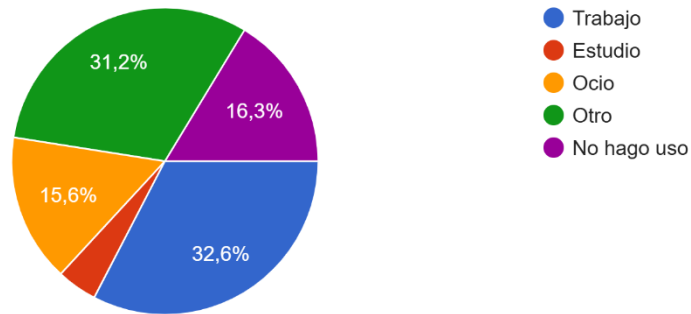
Nota Elaboración propia

Figura 14

Resultados encuesta

¿Cuál es el motivo para hacer uso del transporte público?

141 respuestas



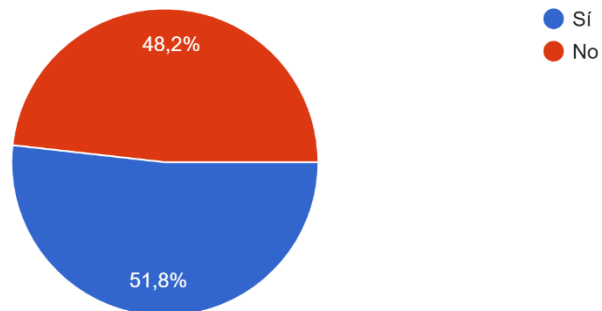
Nota Elaboración propia

Figura 15

Resultados encuesta

¿Utiliza las rutas alimentadoras para conectar con otros medios integrados al SITVA?

141 respuestas



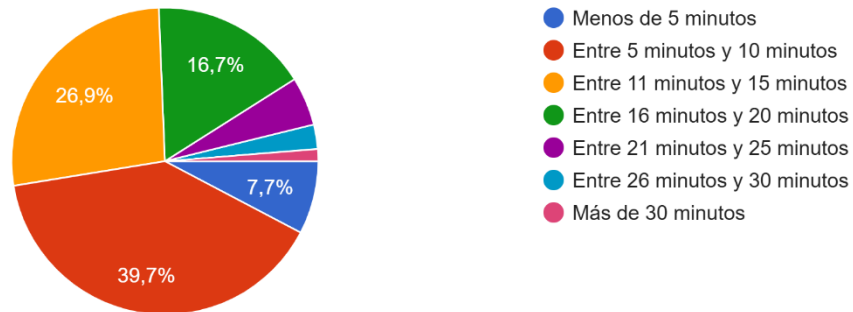
Nota Elaboración propia

Figura 16

Resultados encuesta

Si la respuesta anterior fue "Sí", ¿cuánto es el tiempo de espera promedio por el bus alimentador?

78 respuestas



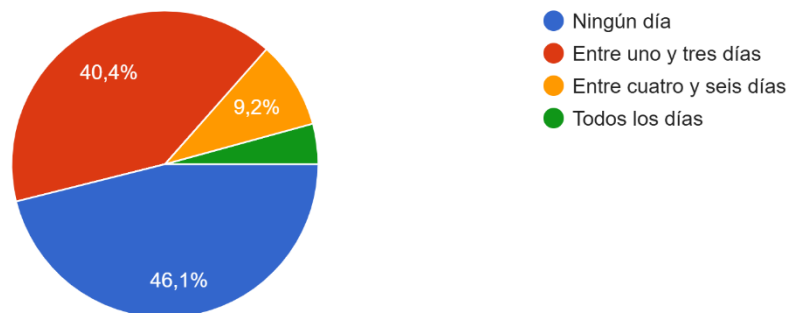
Nota Elaboración propia

Figura 17

Resultados encuesta

Si hace uso de las rutas alimentadoras, ¿cuántos días en la semana hace uso de ellas?

141 respuestas



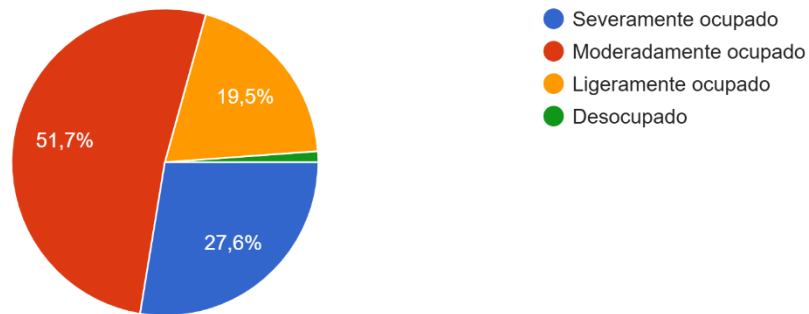
Nota Elaboración propia

Figura 18

Resultados encuesta

Si usted es usuario de las rutas alimentadoras, ¿cómo percibe la ocupación una vez está dentro del bus alimentador?

87 respuestas



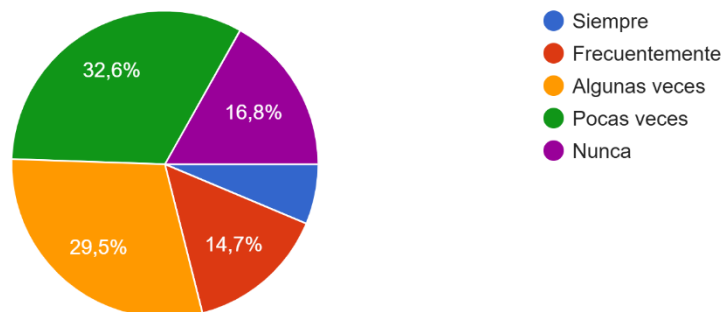
Nota Elaboración propia

Figura 19

Resultados encuesta

¿Con qué frecuencia desiste de esperar el bus alimentador por agotamiento del tiempo de espera o sobreocupación del vehículo que llega?

95 respuestas



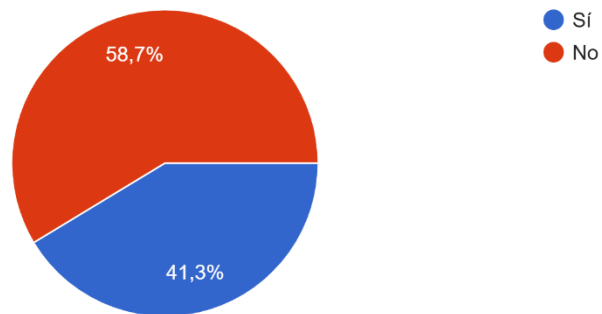
Nota Elaboración propia

Figura 20

Resultados encuesta

¿Ha tenido sensación de inseguridad estando en las paradas de las rutas alimentadoras?

104 respuestas



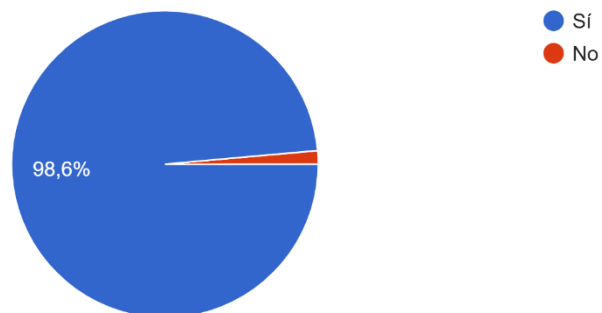
Nota Elaboración propia

Figura 21

Resultados encuesta

¿Posee un celular con conectividad a internet?

141 respuestas



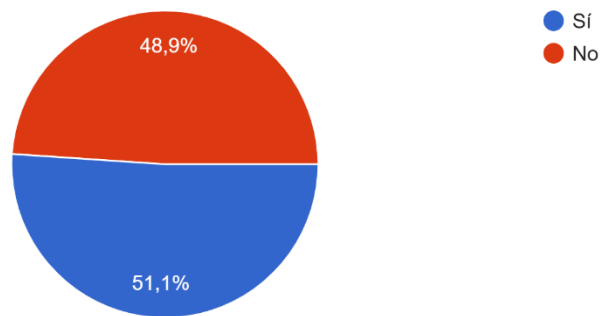
Nota Elaboración propia

Figura 22

Resultados encuesta

En caso de que la respuesta anterior haya sido "Sí", ¿utiliza usted aplicaciones móviles para la planificación de sus viajes?

141 respuestas



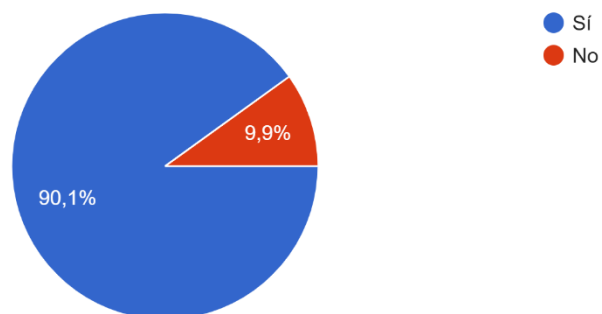
Nota Elaboración propia

Figura 23

Resultados encuesta

¿Le interesaría una herramienta que le permitiese monitorear la posición exacta de un bus alimentador con el fin de planificar más precisamente un viaje?

141 respuestas



Nota Elaboración propia

Análisis de Resultados

El análisis de resultados refleja que el género femenino tuvo una mayor participación en la encuesta con un 68%. Mas de un cuarto de los participantes tiene entre 55 y 65 años y otro cuarto entre los 25 a 34 años. El 68,1% de los encuestados es usuario del transporte público siendo el Metro el medio de transporte más utilizado. Las rutas alimentadoras son utilizadas por más de la mitad de los encuestados (51,8%) resultado que evidencia que hay una alta participación de estas en la movilidad dentro del área metropolitana. El 52,6 de los usuarios esperan el sistema por más de diez minutos y el 16,8% nunca desiste de esperar el servicio.

La propuesta de una aplicación que permitiese el monitoreo en tiempo real de las rutas alimentadoras tuvo una recepción positiva con el 90,1%. El 98,6% de los encuestados tiene un teléfono celular con capacidad de navegar en internet, factor impulsa el desarrollo de la herramienta como aplicación móvil.

En relación con el marco teórico, en el cual se exponen las ventajas de los sistemas que gestionan vehículos, la relevancia de la tecnología GPS, la telemática en el transporte público además de exponer herramientas desarrolladas e implementadas como TransMiApp y MTA Bus Time, se sustenta la hipótesis del proyecto: la geolocalización y monitoreo en tiempo real puede brindar al usuario una mejor experiencia con el sistema de transporte masivo, así como aumentar la eficiencia de este.

Los hallazgos de la encuesta respaldan la hipótesis. El 90,1% de los encuestados desea una herramienta para el monitoreo de los buses alimentadores o de las rutas integradas. El 52,6% se ve en la obligación de esperar por más de 10 minutos las rutas integradas y el 50,6% desiste de esperar por el alimentador entre algunas veces y siempre. Además, la percepción de inseguridad

en los paraderos se puede contrastar con el hecho de que el 3,2% de la población (cerca de tres millones de personas) de 15 años o más han sido víctimas de robo, siendo el celular el elemento que más reincide en los robos con el 81,9%.

La herramienta propuesta cubre todos los vehículos denominados como rutas integradas o buses alimentadores (370 vehículos), integra la geolocalización de estos, así como la ocupación de estos (valor agregado). La herramienta además es una solución híbrida ya que impacta a los usuarios del sistema de transporte, así como a los operadores de este.

El diferenciador clave con respecto las herramientas analizadas en el proceso de investigación que se centran solo en la ubicación del vehículo, MiSITVA incorpora la capacidad de informar la ocupación dentro del vehículo lo que brindaría al operador del sistema el dinamismo de las rutas lo que resultaría en un diferenciador respecto a las herramientas pares.

Prototipo

Figura 24

Splash Bienvenida



Nota Elaboración propia

Figura 25

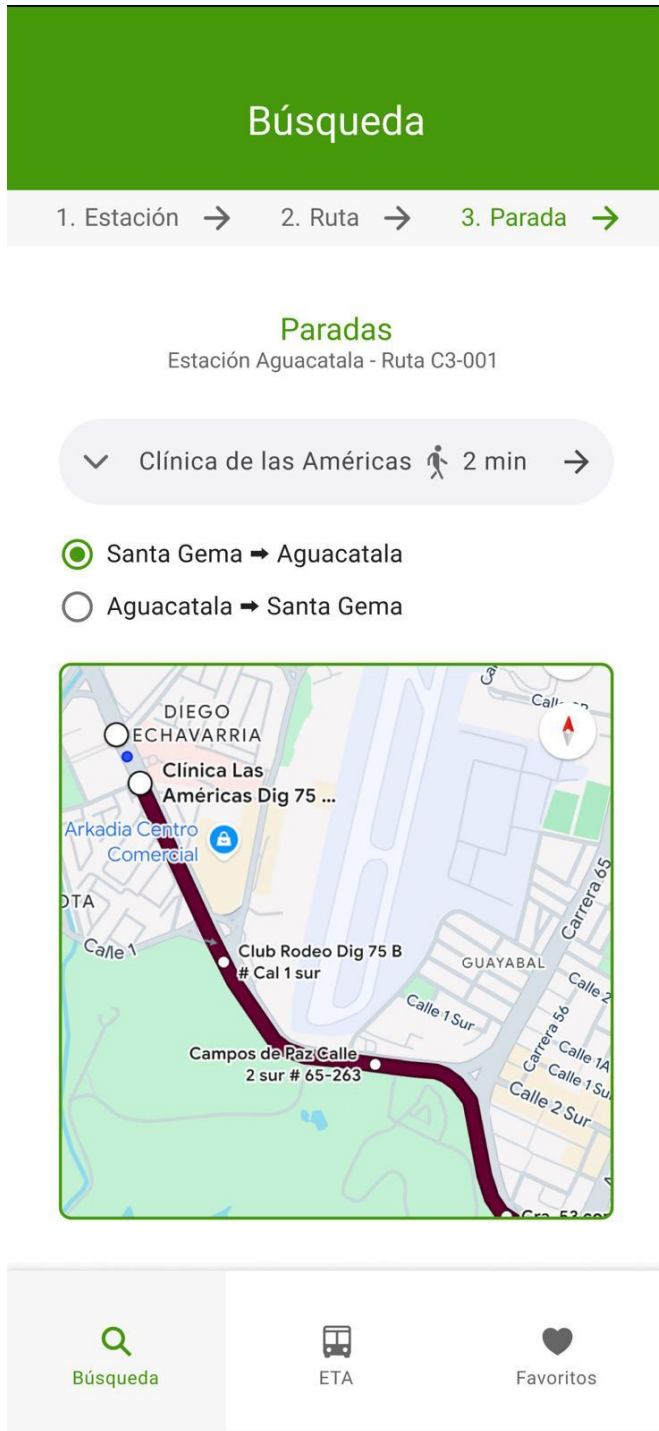
ETA Ruta



Nota Elaboración propia

Figura 26

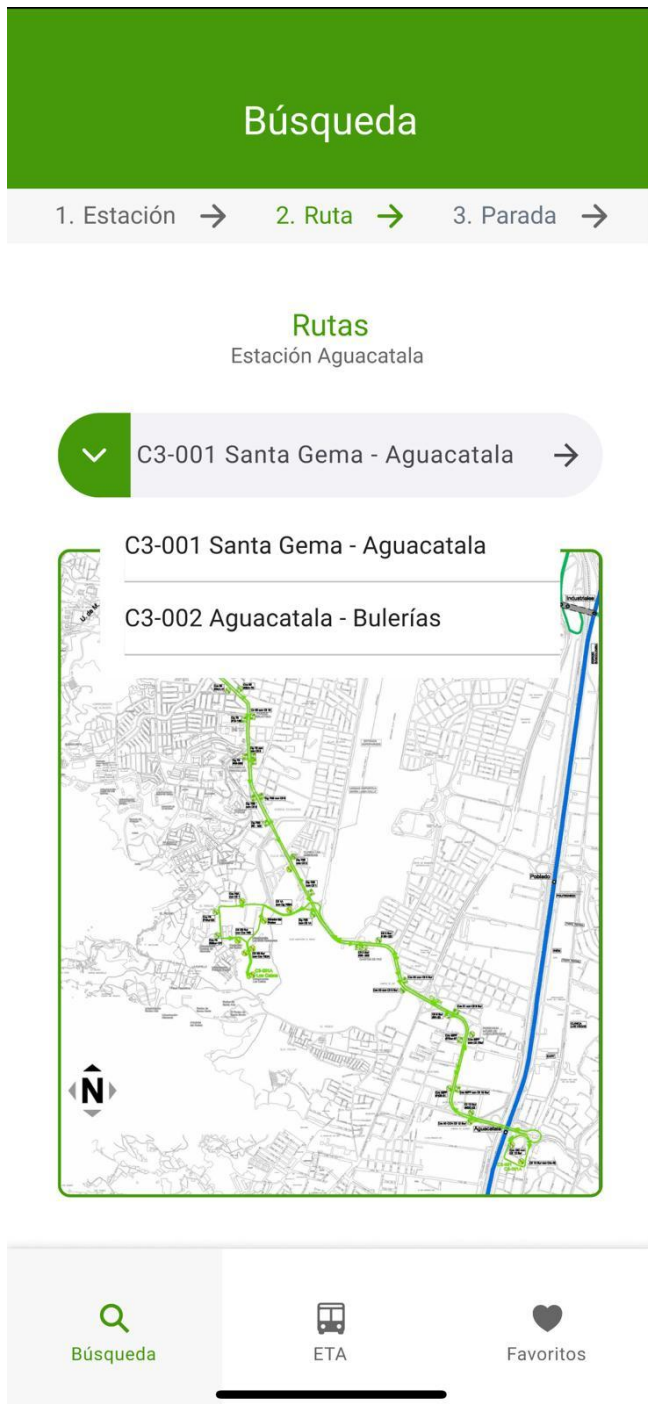
Dirección de la ruta



Nota Elaboración propia

Figura 27

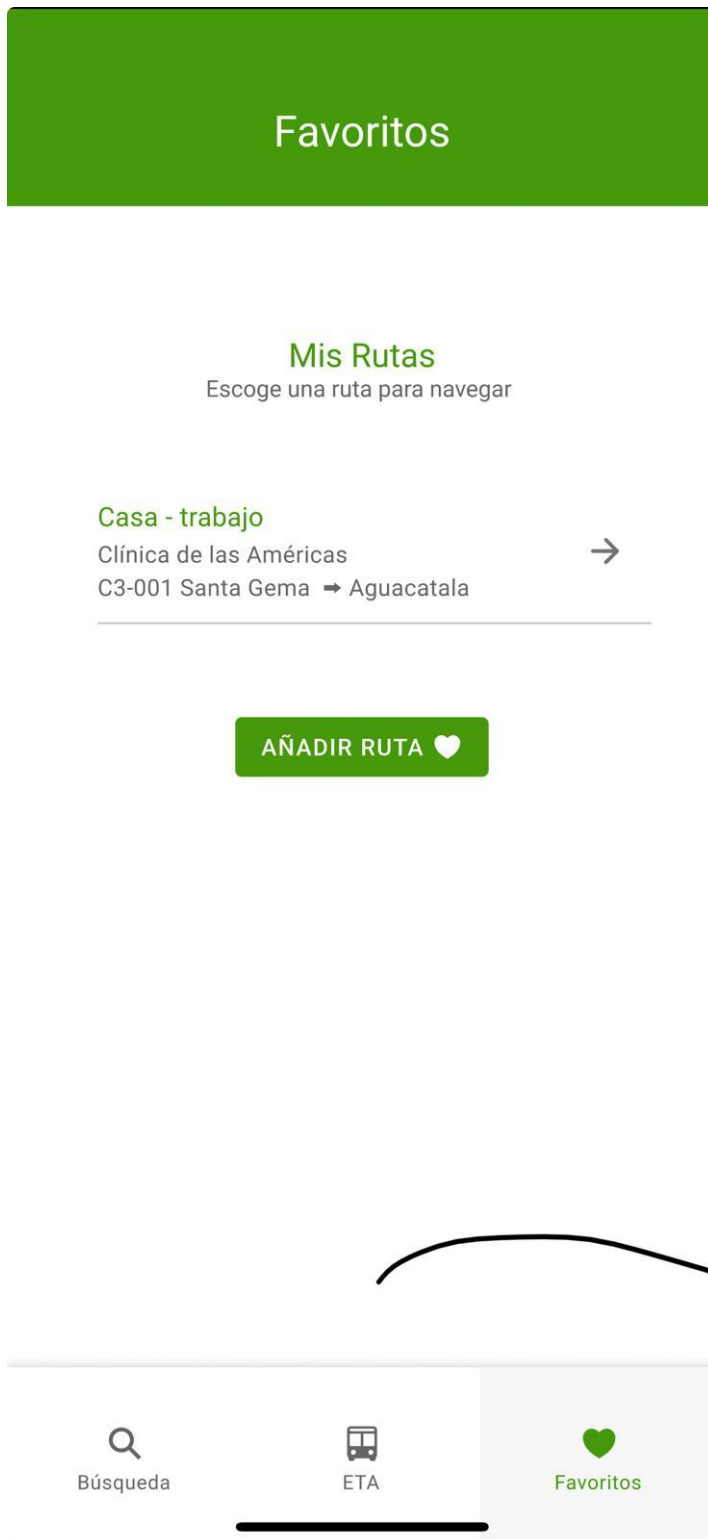
Búsqueda ruta



Nota Elaboración propia

Figura 28

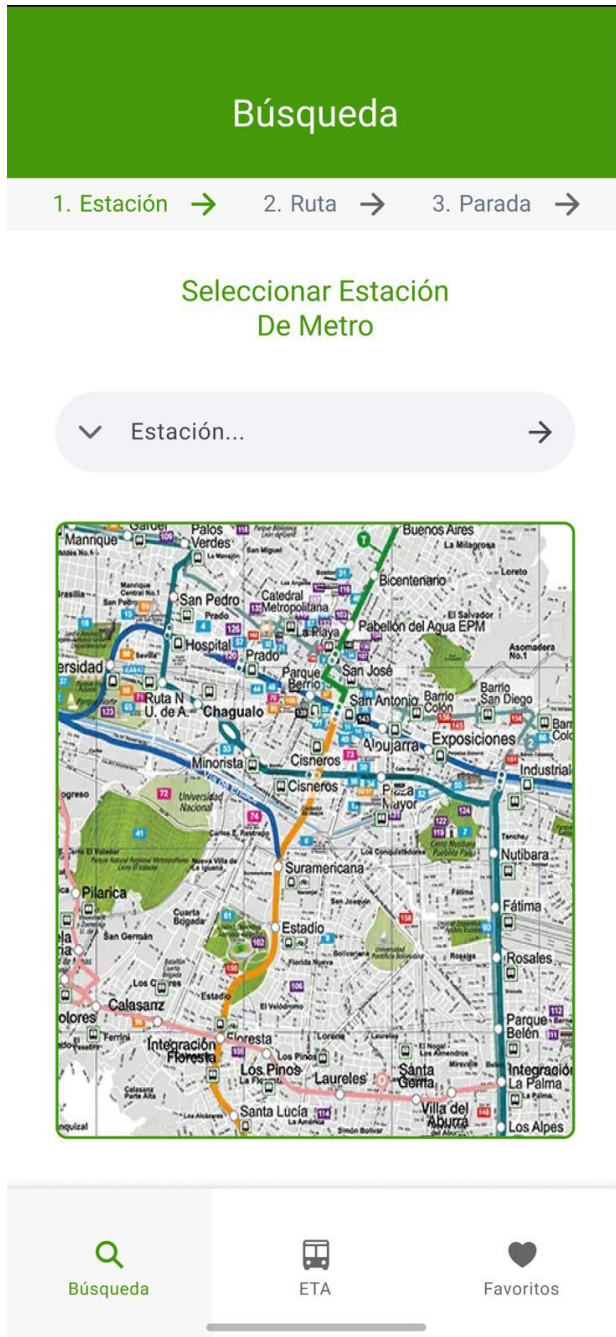
Favoritos



Nota Elaboración propia

Figura 29

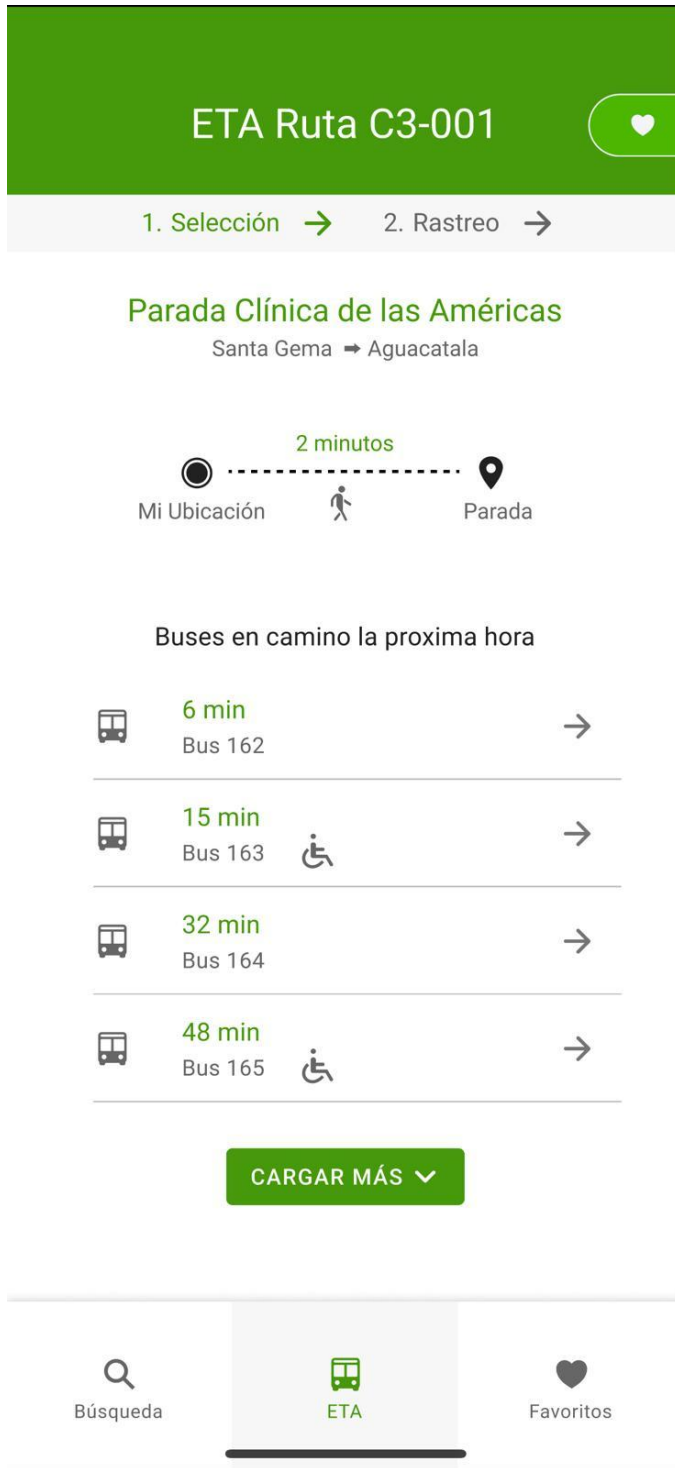
Selección estación



Nota Elaboración propia

Figura 30

Indicaciones hacia la parada



Nota Elaboración propia

Análisis de Costos

El presupuesto para la investigación, desarrollo, implementación y despliegue de un prototipo, se estima teniendo en cuenta los costos directos, aquellos que se derivan directamente de la elaboración del prototipo (equipos, licencias de software); los costos indirectos, como lo son el pago de servicios públicos e imprevistos, capital de trabajo, pago de nóminas, inyección de capital para que el equipo comience a funcionar.

El ciclo de vida de este proyecto influirá directamente en el costo final, entre mayor sea el ciclo de vida, mayor será el costo; sin embargo, la reducción del ciclo no necesariamente disminuirá el costo, puesto que para disminuir tiempo se incurriría en la contratación de más fuerza laboral lo que, por consiguiente, aumentará el costo del proyecto.

Figura 31

Ciclo de Vida del Software



Nota Tomado de Becerra, P., Sanjuan, M. (2014). Revisión de estado del arte del ciclo de vida de desarrollo de software seguro con la metodología SCRUM. Recuperado de <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/identific/article/download/2474/2367>

Cronograma del proyecto

Tabla 3

Cronograma en días del proyecto por tareas

ID	Actividad	Inicio Cercano (IC)	Terminación Cercana (TC)	Inicio Lejano (IL)	Terminación Lejana (TL)	Holgura IL - IC
A	Recolección datos de encuestas	0	7	0	10	0
B	Recolección datos de análisis de programas similares	10	15	10	15	0
C	Diseño	15	45	15	60	0
D	Bases de Datos	60	67	70	77	10
E	Interfaz de Usuario	60	75	60	90	0
F	Algoritmos	90	120	90	135	0
G	Pruebas Q/A	135	140	135	142	0
H	Pruebas de Aceptación del usuario	142	149	147	149	5
I	Ajustes	149	156	149	156	0
J	Mejoras	156	170	158	175	2
K	Despliegue	175	180	180	185	5
L	Monitoreo	185	200	185	200	0
M	Evaluación de conformidad	200	207	200	207	0
N	Evaluación del Rendimiento	212	217	212	219	0

Nota Elaboración propia

La planificación detallada del proyecto, teniendo en cuenta los tiempos realistas para la ejecución de tareas, así como la complejidad de estas dictaminarán el tipo número de profesionales requeridos para el proyecto, así como la duración de este. En la tabla anterior se

estima una duración aproximada de 219 días, teniendo en cuenta inicios cercanos, lejanos, así como las terminaciones cercanas y lejanas. La fecha propuesta para dar inicio al proyecto es el 01 de junio de 2025, a partir de ese día se contabilizan 219 días hábiles, lo que daría como fecha de finalización del proyecto el 23 de abril de 2026, tomando en consideración 16 festividades y excluyendo los sábados y domingos. Con los datos de inicio cerca e inicio lejano se obtiene la holgura del proyecto que es el periodo de gracia para permitir flexibilidad y soportar imprevistos que se puedan desencadenar dentro del proyecto.

Costos Directos

Los costos directos de este tipo de proyectos se concentran en aquellos que se involucran con el desarrollo del aplicativo. Los hardwares requeridos por cada uno de los integrantes del equipo son computadores que deberán ser adquiridos antes de iniciar el proyecto en caso de ser necesario; sin embargo, para reducir costos, se propone contratar freelancers de UI/UX, backend y frontend.

Costos Indirectos

Los costos indirectos del proyecto están asociados a los rubros que no dependen del proyecto, estos existen sin importar la naturaleza del proyecto, en este apartado intervienen aquellos costos como los servicios públicos, imprevistos durante el proyecto, alquiler bienes muebles o inmuebles. Por la envergadura del proyecto y las personas involucradas en este no se estima necesario la adquisición, alquiler o adecuación de instalaciones físicas; en lugar de esto, se propone la modalidad home working. Con esta modalidad se le brinda al equipo la posibilidad de trabajar desde su lugar de preferencia, en el horario de su preferencia para cumplir con el cronograma del proyecto. En el eventual caso en el que sea necesario la presencialidad, se proponer lugares de coworking los cuales son de libre acceso.

Costos Fijos

Estos se derivan de aquellos rubros que se mantienen fijos a lo largo del proyecto, de estos el rubro más alto es el salario del equipo desarrollador; los aportes parafiscales que se deriven del contrato de prestación de servicios son responsabilidad del trabajador y este debe cumplir con lo consignado en el decreto 1273 de 2018 en su artículo 2.2.1.1.1.7 que modificó el decreto 780 de 2016.

Artículo 2.2.1.1.1.7 Pago de cotizaciones de los trabajadores independientes al Sistema de Seguridad Social Integral. El pago de las cotizaciones al Sistema de Seguridad Social Integral de los trabajadores independientes se efectuará mes vencido, por periodos mensuales, a través de la Planilla Integrada de Liquidación de Aportes (PILA) y teniendo en cuenta los ingresos percibidos en el periodo de cotización, esto es, el mes anterior.

Lo dispuesto en el presente artículo no afecta las coberturas de las prestaciones de cada uno de los Subsistemas del Sistema de Seguridad Social Integral que, conforme a la normativa vigente, las entidades administradoras de los mismos deben garantizar a sus afiliados.

Además de lo anterior, al momento de cerrar el contrato de prestación de servicios con los desarrolladores, se debe considerar el artículo 3.2.7.1 del decreto 1273 de 2018.

Ingreso Base de Cotización (IBC) del trabajador independiente con contrato de prestación de servicios personales. El ingreso base de cotización (IBC) al Sistema de Seguridad Social Integral del trabajador independiente con contrato de prestación de servicios personales relacionados con las funciones de la entidad contratante corresponde mínimo al cuarenta por ciento (40%) del valor mensualizado de cada contrato, sin incluir el valor total del Impuesto al Valor Agregado (IVA) cuando a ello haya lugar. En ningún caso el IBC podrá ser inferior al

salario mínimo mensual legal vigente ni superior a 25 veces el salario mínimo mensual legal vigente.

De acuerdo con lo último, la suma a pagar mensualmente debe contemplar el 40% del IBC, lo que aumentaría el costo fijo de la mano de obra durante los casi 11 meses que dure el desarrollo del proceso en caso de que sea el contratante aquel que asuma el pago al sistema de seguridad social.

Tabla 4

Tabla Análisis de Costos

Fase	Categoría de Gasto	Elemento Específico	Estimación de Costo (USD) Proyecto	Notas/Consideraciones
1. Levantamiento de Requisitos	Diseño UI/UX	Herramientas de Diseño (Figma Profesional/Organización)	\$ 220	Licencia
2. Diseño Conceptual	Diseño UI/UX	Diseñador UI/UX (Freelancer/Contratista)	\$ 22.000	
3. Diseño del prototipo	Desarrollo Frontend	Desarrolladores React (Freelance/Contratista)	\$ 22.000	
4. Desarrollo de Software	Desarrollo Frontend	Integración Mapas (Leaflet)	\$ -	Para funcionalidades avanzadas.
4. Desarrollo de Software	Desarrollo Frontend	Bibliotecas de Gráficas (ej. Ionic)	\$ -	Código abierto.
4. Desarrollo de Software	Desarrollo Backend (API y Lógica)	Bases de Datos / Costo del servidor	\$ 338	
4. Desarrollo de Software	Desarrollo Backend (API y Lógica)	Bases de Datos (Bajo Uso)	\$ 550	

4. Desarrollo de Software	Desarrollo Backend (API y Lógica)	Gestión Datos en Tiempo Real (WebSockets - Servicios)	\$ 550	Ably.
5. De-bugging/Depuración	QA Testing	QA Testing	\$ 22.000	
6. Infraestructura y Despliegue	Plataforma de Hosting	Netlify (Pro/Business)	\$ 209	
6. Infraestructura y Despliegue	Nombre de Dominio	Registro	\$ 40	20 dólares el año
6. Infraestructura y Despliegue	GPS	GPS para adecuar los buses.	\$ 44.400	120 dólares la unidad (Se requieren 370)
6. Infraestructura y Despliegue	Certificado SSL	Certificados EV/OV	\$ 14	7 dólares el año
7. Servicios de Terceros	API de Mapas	Integración con Google Maps (Nivel Gratuito)	\$ -	
7. Servicios de Terceros	Herramientas de Analítica Avanzada	Plan Empresarial Operador Telefonía Celular	\$ -	
TOTAL			\$ 112321	

Nota Elaboración propia

Conclusiones

1. Después del análisis realizado, se concluye que la solución propuesta para el seguimiento en tiempo real de la geolocalización y ocupación de los vehículos de Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá no solo es algo desarrollable, sino que es necesario para seguir el camino de las ciudades que ya han implementado sistemas similares y aportan positivamente a indicadores de calidad de vida de sus ciudadanos.
2. Viabilidad técnica: El análisis de requerimientos y el diseño conceptual del prototipo, inspirado en soluciones exitosas como MTA Bus Time y TransMiApp han definido un conjunto de funcionalidades esenciales. Las tecnologías actuales como GPS, API de mapas (Google Maps) y plataformas de desarrollo móvil (React Native, Ionic Framework), ofrecen las herramientas requeridas para implementar las mencionadas funcionalidades.
3. Identificación de restricciones: El proyecto ha identificado algunas restricciones que deben ser gestionadas para un eventual desarrollo y despliegue. Tecnológicamente la precisión del GPS y la cobertura de red móvil son quizá los factores más determinantes a la hora de alcanzar una herramienta que sea fiable al usuario. Presupuestalmente los costos de los dispositivos de rastreo (aproximadamente 370 para la flota de buses), planes de datos, desarrollo y mantenimiento son significativos. Socioculturalmente, la alfabetización digital es un factor que se debe considerar para maximizar la implementación de la herramienta especialmente en aquella parte de la población que ya

es considerada adulto mayor y que según la encuesta puede llegar a ser un tercio de los usuarios.

4. Impacto hacia el usuario y la operación del sistema: La implementación del prototipo propuesto tiene el potencial de transformar positivamente la experiencia del usuario del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá, ofreciendo mayor precisión a la hora de planificar trayectos en los buses alimentadores o rutas integradas, reduciendo los tiempos de espera y mejorando la percepción de eficiencia del servicio. Para los operadores del sistema, la herramienta proporcionaría datos valiosos para la optimización de frecuencias y adaptación dinámica del servicio a la demanda, contribuyendo a una operación más eficiente y centrada en el usuario.

Referencias

Área Metropolitana Valle de Aburrá. (2022). *Encuesta Origen Destino 2022*. Gobernación de Antioquia.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNTIhNjY3NjItMjlkZC00MDAyLTNmOTktZjk1MWNjMWQwY2M5IiwidCI6IjRkZWl0ZjAwLTNhOTgtNDcwMi04Nzk2LTIxNmRiMDljMzA3YyIsImMiOjR9>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (11 de febrero de 2022). *Encuesta de Transporte Urbano de Pasajeros (ETUP)*. Gobierno de Colombia.

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/transporte/bol_transp_IVtrim21.pdf

Koch, F. (2001). El transporte público urbano. Lo urbano

Peñañiel, J., & Zayas, J. (2001). Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía. *Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*.

Pozo-Ruz, A., Ribeiro, A., García-Alegre, M. C., García, L., Guinea, D., & Sandoval, F. (2000). Sistema de posicionamiento global (gps): descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro. *ETS ingenieros de Telecomunicaciones. Universidad de Malaga*.

Bonilla-Fabela, I., Tavizon-Salazar, A., Morales-Escobar, M., Guajardo-Muñoz, L. T., & Laines-Alamina, C. I. (2016). IoT, el internet de las cosas y la innovación de sus aplicaciones. *Vinculatégica efan*,

Harris, L. (2024). Telematics and Big Data: Revolutionizing Fleet Management in the Automotive Industry.

Geen, M. (s.f.). Predicting MTA Bus Arrival Times in New York City.

Tapia, A. D. R., & Acosta, C. R. E. (2015). Latencia de las redes celulares en Ecuador, y su influencia en las aplicaciones. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 28(5).

Steven Peck. (30 de marzo de 2024). *How Do GPS Systems Determine Your Exact Location?*
Recuperado de <https://scientificorigin.com/how-do-gps-systems-determine-your-exact-location>

Castells, M. 1996. La era de la información, economía, sociedad y cultura. Vol. I. La sociedad red. Barcelona, Alianza Editorial.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (05 de julio de 2019). *Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*
<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190709-CNPV-presentacion-medellin.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (28 de marzo de 2023). *Encuesta de Convivencia y Seguridad Ciudadana (ECSC)*
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/convivencia/2021/Bol_ECSC_2021.pdf

Hernández, M. A., Cantín, S., López, N., y Rodríguez, M. (2009). *Estudio de encuestas*.
Recuperado de
https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24005w/Estudio_cuentas_S13.pdf

Caballero-Martínez, L. (2017). *El camino del éxito de las encuestas y entrevistas*. Recuperado de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/6122fd2b-e1a9-49cd-94d9-feb17a4ee3e4/content>

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (MinTIC) (27 de marzo de 2025). *El Ministerio TIC invita al sector privado a invertir recursos que apoyen el cierre de la brecha digital en Colombia*. Recuperado de <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/400165:El-Ministerio-TIC-invita-al-sector-privado-a-invertir-recursos-que-apoyen-el-cierre-de-la-brecha-digital-en-Colombia>

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (MinTIC) (junio de 2020). *Plan de Transición a nuevas tecnologías*. Recuperado de https://mintic.gov.co/portal/715/articles-145550_plan_transicion_nuevas_tecnologias_20200624a.pdf

Alcaldía de Bogotá (16 de diciembre de 2020). *Nueva era de TransMilenio: TransMiApp y la mayor flota eléctrica de su historia*. Recuperado de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/transmiapp-y-la-mayor-flota-electrica-de-la-historia-de-transmilenio>