



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía



Especialidad en Cartografía Automatizada, Teledetección y
Sistemas de Información Geográfica

*Prototipo de aplicación móvil, con el uso de geotecnologías
aplicadas, para una movilidad inteligente de transporte
público en la empresa: “Servicios Urbanos y Suburbanos
Xinantecátl S.A. de C.V.”*

Proyecto terminal que presenta

Anahí Esperanza González Torres

Para obtener el diploma de:

Especialista en Cartografía Automatizada, Teledetección y
Sistemas de Información Geográfica

Dra. Raquel Hinojosa

TUTORA

Maestra Alondra Balbuena

Cotutora

junio de 2025

CONTENIDO

Resumen.....	3
Introducción	4
1.1. Planteamiento del problema	5
1.1.1. Objetivos	8
1.1.2. Justificación.....	8
Marco teórico y conceptual.....	11
2.1. Perspectivas teóricas	11
2.1.1. Geografía del transporte	11
2.1.2. Transporte: público	12
2.1.3. Movilidad: urbana, sustentable e inteligente.....	12
2.1.4. Smart City	13
2.1.5. Geotecnología.....	13
2.1.5.1. Sistemas de información geográfica (SIG)	14
2.1.5.1. Sistemas de posicionamiento global (GPS).....	15
2.1.6. Modelo de programación de eventos.....	15
2.1.6.1. Evento	16
2.2 Conceptos técnicos.....	16
2.2. Sistema en tiempo real (STR)	17
2.2.1. Sistema embebido o empotrado	18
2.2.3. Lenguajes de programación	18
2.2.3.1. Principales lenguajes de programación	19
Antecedentes	20
3.1 Contexto internacional	20
3.2 Contexto nacional.....	23
3.3 Contexto local	25
Caracterización de la zona de estudio	29
4.1. Delimitación geográfica	29
4.2. Datos demográficos y funcionales	30
Metodología	32
5.1 Enfoque y tipo de investigación	32
5.2 Modelo de desarrollo (prototipo)	32
5.3 Fuentes de datos	35

5.4 Requerimientos de interfaz, funcionales y no funcionales.....	36
5.4.1 Casos de uso.....	37
5.5 Herramientas y tecnologías utilizadas.....	38
Desarrollo del Proyecto.....	40
6.1 Diseño de base de datos (modelo entidad-relación).....	40
6.2 Backend: estructura e implementación (FastAPI, PostGIS).....	40
6.3 Frontend: desarrollo de la app (Android, Jetpack Compose, Hilt).....	42
6.4 Funcionalidades principales.....	42
6.5 Limitaciones técnicas actuales.....	42
6.6 Diagrama de clases y arquitectura general.....	44
Resultados.....	45
7.1 Pruebas realizadas.....	45
7.1.1. Evaluación de funcionalidades.....	46
7.2 Alineación con objetivos.....	47
Conclusiones.....	48
Referencias.....	49
Anexo1. Secuencia de funciones.....	54
Anexo 2. Backend.....	56

Resumen

La presente investigación aborda la problemática de la movilidad urbana en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), mediante el desarrollo de un prototipo de aplicación móvil orientado a mejorar la experiencia de los usuarios del transporte público. El proyecto se centra en la empresa “Servicios Urbanos y Suburbanos Xinantecátl S.A. de C.V.” y propone una solución tecnológica basada en el uso de geotecnologías aplicadas, con el propósito de ofrecer información en tiempo real sobre rutas, paradas y horarios de los autobuses.

La aplicación está estructurada bajo una arquitectura cliente-servidor, integrando un backend desarrollado con FastAPI en Python y una base de datos geoespacial en PostgreSQL/PostGIS. El frontend se construyó en Android utilizando Kotlin y Jetpack Compose, con integración de las APIs de Google Maps y Places para la visualización cartográfica y la geolocalización del usuario. El diseño del sistema responde al paradigma de las ciudades inteligentes y la movilidad sustentable, priorizando la accesibilidad, eficiencia y experiencia de los usuarios en sus desplazamientos urbanos.

Este trabajo combina el enfoque geotecnológico con metodologías de desarrollo de software basadas en prototipado, y busca demostrar la viabilidad técnica y funcional de herramientas digitales como instrumentos para la planificación y optimización del transporte público. Los resultados obtenidos permiten visualizar cómo el aprovechamiento de datos geoespaciales y el diseño centrado en el usuario pueden contribuir a modernizar los servicios de movilidad y atender problemáticas específicas del entorno metropolitano.

Introducción

La actual era tecnológica está redefiniendo la estructura y el funcionamiento de las ciudades contemporáneas. La creciente dependencia de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) por parte de la ciudadanía, así como la adopción de innovaciones digitales en los procesos productivos empresariales, reflejan una transformación sistémica impulsada, en parte, por el contexto global generado tras la pandemia por COVID-19, hecho que aceleró la implementación del teletrabajo y amplió los horizontes de la conectividad económica a escala mundial.

No obstante, dicho progreso no ha sido igualmente visible en el ámbito urbano, donde persisten importantes rezagos en la integración tecnológica. Esta brecha evidencia la necesidad de avanzar hacia el desarrollo de ciudades inteligentes, entendidas como entornos urbanos capaces de fomentar la prosperidad económica, gestionar eficientemente sus recursos y mejorar la calidad de vida de sus habitantes mediante el uso estratégico de las TIC.

En este sentido, imaginando un mundo en equilibrio en todos sus aspectos, por qué no comenzamos a mejorar las prácticas académicas con el conocimiento científico de la mano del desarrollo de tecnologías, para aplicarlos en el diagnóstico de problemas, automatizar las metodologías de investigación, y proponer alternativas de solución al nivel tecnológico que la sociedad avanza y necesita.

Teniendo en cuenta esta situación, este documento tiene el propósito de desarrollar una aplicación móvil que permita consultar las rutas de transporte público correspondientes a la empresa Xinantecátl, dentro de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, permitiendo a cualquier usuario de este servicio que cuente con un dispositivo móvil con sistema operativo Android, informarse sobre las rutas existentes, ventanas de servicio y cobertura del mismo en diferentes puntos de la ciudad dónde converge; facilitando su experiencia como usuario al momento de planificar sus desplazamientos, de manera informada, y no con incertidumbre como ocurre actualmente.

Debido a la facilidad de uso con la que se diseñó la aplicación, se espera generar un impacto positivo a los usuarios de este servicio, poniendo a disposición las geotecnologías para mejorar y facilitar la movilidad dentro de la ciudad.

1.1. Planteamiento del problema

La movilidad urbana es un aspecto crítico en la vida diaria de las personas, afectando no solo su tiempo de desplazamiento, sino también su calidad de vida. En muchas ciudades, los usuarios del transporte público enfrentan desafíos significativos debido a la falta de información clara sobre las rutas disponibles, los horarios de operación y la frecuencia de los servicios.

En concordancia con los objetivos establecidos en la Agenda 2030, por las Naciones Unidas, respecto al objetivo de ciudades y comunidades sostenibles, para proporcionar acceso a los sistemas de transporte, hacerlos más asequibles, en cuestión de movilidad urbana; mientras que en aspectos de desarrollo urbano tiene como prioridad alcanzar un tipo de urbanización inclusivo y sostenible para los asentamientos humanos (ONU, GM e INEGI, 2024).

Respecto a información de carácter estadístico nacional, durante el año 2019, se publicó el *Índice de movilidad urbana: Barrios mejor conectados para ciudades más incluyentes*, en el cual se evaluaron a 20 ciudades, que albergan el 43% de la población nacional y el 68% de la actividad económica urbana. En México la cantidad de vehículos se ha visto incrementada 8 veces su tamaño en apenas cuarenta años, esto se traduce en una tasa anual promedio de 5.3% en parque vehicular, mientras que la población creció a una tasa de 1.5% promedio anual.

Lo anterior, evidencia el sistema de movilidad del país, el cual funciona en torno a la motorización, presentándose un constante crecimiento del parque vehicular que no guarda relación con la dinámica poblacional. Este análisis, también presenta una correlación: entre más automotores es igual a mayores tiempos de traslado; y afirma que dicho aumento de unidades contribuye a la dispersión territorial, efecto que es relativamente proporcional al aumento del gasto en movilidad y reduce su ingreso disponible, principalmente en la periferia

urbana. Situación que arriesga la competitividad de las ciudades (Instituto Mexicano de Competitividad, 2019).

De acuerdo con el Gobierno del Estado de México (2022, p. 27), en su más reciente acercamiento a los instrumentos de planeación metropolitana, identifica que para el año 2020, cerca del 85% de la población de la zona metropolitana del valle de Toluca se concentra en localidades urbanas, y un poco menos del 15% en localidades rurales; sin embargo, la concentración de población urbana alcanza a representar casi el 73% del total de las localidades que conforman la metrópoli, lo que da un panorama de alta concentración de población en áreas urbanas, en contraste con el gran volumen de dispersión de las localidades rurales.

En concordancia, se presume un alto consumo de superficie territorial por parte del proceso de crecimiento de tipo metropolitano. Este proceso de consumo de suelo se ha estructurado por medio del sistema de vías radiales, el cual, presenta una forma estrellada, que favorece los procesos de conurbación y fragmentación territorial. Dentro del mismo documento, se identifican las principales problemáticas del sistema de transporte, el cual mencionan es derivado al diseño de intersecciones, lo que se traduce en congestión vehicular, principalmente al norte y sur de la ciudad, y una segunda situación resultado de la falta de continuidad en las rutas, sobrecargando las existentes (GEM, 2022, p. 28).

Adicionalmente, menciona el insuficiente control semafórico y la duplicidad de las rutas del transporte, constituyendo una flota de 279 rutas para toda la zona, por medio de la concesión a 31 empresas de autobuses y taxis. De acuerdo con el documento, la problemática actual en los sistemas de movilidad y del transporte son consecuencia de una política de vivienda de carácter nacional que orientó el desarrollo de infraestructura por medio de vivienda horizontal, incentivando la dependencia al uso del automóvil y a la poca disponibilidad para áreas verdes (GEM, 2022, p. 29).

Pregunta de investigación

Este proyecto se centra en la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo puede mejorar la implementación de una aplicación móvil la calidad de la movilidad de los usuarios en las rutas de transporte de pasajeros de la empresa: “Servicios urbanos y suburbanos Xinantecátl S.A. de C.V.”?

El sistema de transporte público de Toluca enfrenta una serie de desafíos que afectan directamente la movilidad urbana y la calidad de vida de los usuarios.

- *Obsolescencia tecnológica.* La falta de implementación de tecnologías avanzadas en el sistema de transporte público, que facilite la integración de datos y el análisis espacial en la planificación del transporte.
- *Infraestructura deficiente.* La carencia de paradas y terminales adecuadas, así como la falta de información sobre horarios y rutas, dificulta la movilidad urbana y favorece a la congestión en las vías.
- *Impacto ambiental.* El uso de vehículos obsoletos y la falta de medidas sostenibles en el transporte público contribuyen a la contaminación del aire y afectan la calidad ambiental de la zona.

Lo anterior contribuye a disminuir la calidad de vida de los usuarios, porque los tiempos de espera y la información actual de las rutas es un tanto precario principalmente para los grupos poblacionales que usan cotidianamente el servicio y a los que vienen de fuera o bien no están familiarizados con el servicio, encontrando dificultad para identificar previamente la ruta más efectiva desde su punto de partida a un destino objetivo.

Por lo que resulta imperativo abordar esta problemática desde un enfoque integral y desarrollar estrategias efectivas para su modernización. Lo anterior, por medio de herramientas que faciliten la integración de la información, que considere diferentes tipos de fuentes de datos, para conformar un banco de datos disponible para la población que usa el servicio.

Encontrando, que este proyecto busca generar una aplicación¹ geotecnológica para mejorar la accesibilidad, eficiencia y experiencia en la movilidad del usuario en el sistema de transporte público de la ciudad.

1.1.1. Objetivos

Objetivo general: desarrollar un prototipo funcional de aplicación móvil, basado en geotecnologías, que permita a los usuarios consultar rutas, paradas, horarios y ubicación de las unidades del servicio de transporte público ofrecido por la empresa “Servicios Urbanos y Suburbanos Xinantecátl S.A. de C.V.” en seis municipios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, con el propósito de optimizar la planificación de desplazamientos urbanos y fomentar una movilidad más eficiente e informada.

Objetivos específicos

- a. Levantar, validar y estructurar datos geoespaciales relativos a rutas, horarios, paradas, frecuencias de paso y tráfico en tiempo real del servicio de transporte público ofrecido por la empresa Xinantecátl, mediante técnicas de georreferenciación y digitalización.
- b. Diseñar e implementar una base de datos relacional con componentes espaciales, utilizando PostGIS, para gestionar de forma eficiente la información del sistema de transporte.
- c. Diseñar una interfaz de usuario (UI) intuitiva, accesible y adaptada a dispositivos móviles Android, que facilite la interacción con el sistema, considerando principios de usabilidad y experiencia de usuario (UX).
- d. Desarrollar e integrar funcionalidades geográficas interactivas, tales como la visualización de rutas en el mapa, identificación de paradas cercanas y consulta de horarios dinámicos, mediante el uso de SDKs de Google Maps y Places.

1.1.2. Justificación

¹ El término hace referencia a “cualquier programa que corra en un sistema operativo y que haga una función específica para un usuario” (Hernández Rodríguez et al., 2018)

En México, actualmente contamos con algunas aplicaciones de movilidad que permiten contar con una base de datos sobre los servicios de transporte, sin embargo, estas herramientas tecnológicas aún presentan grandes brechas en la información que contienen, derivadas a los costos que representa recopilar la información y a los servidores que permitan su almacenamiento.

Hoy en día, la mayoría de las aplicaciones existentes se enfocan en el transporte privado, entre las que destacan Cabify, BlaBlaCar, Bolt, Cabify, inDrive, Keko Carsharing, Moovit, Uber; por otra parte, DiDi Pasajero permite viajar en auto, moto, y taxi (Rodríguez, 2023).

Por ejemplo, en términos reales dentro de la plataforma de Play Store (MH Riley Ltd, 2024), encontramos a Uber con más de 500 millones de descargas, siendo una de las plataformas más populares a nivel mundial; mientras que Didi cuenta con más de 100 millones de descargas.

Por otra parte, respecto a los servicios de transporte nacionales, sólo encontramos *moovit*, presente en solo 34 ciudades del país; *Metro - Metrobús México*, la cual cuenta con una guía al usuario por la Ciudad de México, Área Metropolitana, Monterrey, y Guadalajara. Muestra las redes de transporte, indica estaciones cercanas, y ofrece información sobre precios, horarios, y lugares de interés, y *Movilidad CDMX*, permite ver los mapas de la red de transporte público de la Ciudad de México, incluyendo el Metro, Metrobús, Tren Ligero, y Trolebús. También ofrece información como horarios, costos, y números de contacto (Moovit International Ltd, 2024; Yalla ya SAPI de CV, 2024; SEMOVI, 2024).

Finalmente, en Toluca, se encuentra *Muevetex* es una aplicación que permite planificar rutas de transporte público en el Valle de Toluca, sólo hay que indicar el punto de partida y de destino; y la aplicación buscará las opciones, el recorrido, el tiempo de espera y los tiempos de recorrido. Esta aplicación fue lanzada en abril de este año (García, 2024).

Anteriormente la empresa en cuestión también lanzó su propia aplicación llamada “¡SUBEN Viajando Seguro!”, que prometía a los usuarios poder monitorear en tiempo real la distancia de los autobuses, recorrido y la identidad de los choferes, conocer la capacidad de asientos disponibles, y mejorar la seguridad dentro del servicio (Rodríguez, 2021); sin embargo, actualmente la aplicación ya no se encuentra disponible en la plataforma de Play Store,

derivado a cuestiones de administración por parte de la empresa que brindó los servicios geotecnológicos (Servicios urbanos y suburbanos Xinantecátl S.A. de C.V., 2024).

Atendiendo a lo anterior, el generar este tipo de aproximaciones con miras a mejorar la eficiencia de los sistemas de movilidad actuales, en función de las necesidades de las ciudades y sus habitantes, así como el medio ambiente, propiciando desarrollo sostenible, es decir, el estudiar estas necesidades como sistema.

Particularmente, también resulta importa considerar el hecho que los aspectos de movilidad en la ZMVT se basan en relaciones de educación y trabajo, principalmente, encontrando un gran volumen de viajes diarios intermetropolitanos, no obstante, el servicio de transporte no alcanza una tasa de ocupación cercana al 50%; ocasionando externalidades como accidentes, congestión vehicular y altos niveles de concentración de CO₂ en el aire (Rojas, 2019, pp. 38-46).

Marco teórico y conceptual.

Dentro del marco teórico-conceptual es importante puntualizar algunos conceptos y perspectivas que sirven de referencia para el análisis y desarrollo de la presente investigación.

2.1. Perspectivas teóricas

Dentro de las principales perspectivas a tomar en cuenta son las referentes a la geografía del transporte y el transporte público en sí, posteriormente se comprenderán los aspectos de movilidad vista desde tres enfoques, pero que a su vez se entrelazan unas a otras. Algunos otros términos como smart city nos brinda el marco de referencia para la construcción de las nuevas realidades urbanas en las ciudades, y con base en la búsqueda de desarrollo sostenible, es necesario tomar enfoques como Smart City, que está en construcción con apoyo de tecnologías de la información, encontrándonos frente a la implementación de geotecnologías.

2.1.1. Geografía del transporte

Tomando como referencia la definición de Gordon Wilmsmeier (2015, pp. 9-10) podemos describir a la *geografía del transporte* como la subdisciplina que se presenta como un campo experimental la cual permite estudiar las diferencias en el desarrollo territorial, examinando sus estructuras y los problemas que presenta; por lo que su quehacer va encaminado a estudiar la movilidad de las personas, bienes e información.

Entonces, la geografía del transporte es en sí misma la evolución y desarrollo de la propia geografía, resultado de las interacciones de los sistemas económicos, de infraestructura y servicios que tienen lugar en un espacio físico.

Adicionalmente, menciona que no sería posible la existencia del transporte sin geografía y viceversa, encontrando que el *transporte* tiene la capacidad de transformar el espacio, agregándole valor al proceso de satisfacer la demanda de movilidad; y éste se establece como un “sistema cíclico y autorreferencial no trivial, siendo principalmente multidimensional y vinculado con otros sistemas; y también tiene sus orígenes en tres sistemas: físico, económico y social” (Wilmsmeier, 2015, p. 11).

Para Millares (2002 citado por Cortés y Rojas, 2021, p. 13), la geografía del transporte hace referencia al “estudio de los sistemas de transporte y sus impactos territoriales”, sin embargo, hoy en día la atención en el transporte dentro de las ciudades va encaminada hacia los medios que “permiten el desplazamiento y las dinámicas que se establecen” (Cortés y Rojas, 2021, p. 13).

Por lo que se está conformando en un campo interdisciplinario para poder integrar los estudios de transporte, que aporten tanto a la planeación como a los distintos sistemas de desplazamiento, creciendo la preocupación por relacionar dichos sistemas con los procesos sociales.

2.1.2. Transporte: público

Otro elemento que tiene relación es comprender las actividades que se desarrollan dentro de las urbes, dentro de ellas el *transporte*, siendo este “un sistema cíclico y autorreferencial no trivial, siendo principalmente multidimensional y vinculado con otros sistemas” (Wilmsmeier, 2015, p. 13).

Las redes de transporte inciden directamente en la estructura del territorio, cómo se distribuye la población, si se concentra o dispersa, compacta o extiende los límites de las ciudades, alberga los flujos (Cardozo et al., 2009).

2.1.3. Movilidad: urbana, sustentable e inteligente.

Derivado de los sistemas de transporte, surge la intrínseca relación con el concepto de *movilidad*, agregando complejidad al campo, abriendo una nueva dimensión a los estudios, colocándose como un referente en las decisiones de localización, por el potencial que ofrecen en un territorio en términos de “oportunidad, oferta de externalidades, competencia entre espacios, especialización territorial, mutación constante de usos del territorio, etc.” (Cortés y Rojas, pp. 13-14). Siendo así, que los estudios en movilidad vienen a describir “la forma en que las personas organizan sus desplazamientos sobre el espacio urbano”; dejando de lado las clasificaciones jerárquicas de los motivos del desplazamiento, abriendo paso a la sociedad de conexiones.

Otra definición de *movilidad* en términos simples es la que hace referencia al movimiento de personas, mercancías e información; y que además es cuantificable, ya sea en términos de distancia recorrida y volumen de carga (si nos referimos al transporte de personas sería pasajeros/km; mercancías toneladas/km; e información bit/segundo) (Wilmsmeier, 2015, p. 11). Por otra parte, la *movilidad* también es vista como “una práctica social de desplazamiento entre lugares con el fin de concretar actividades cotidianas” (Gutiérrez, 2012, p. 68).

Según la definición del *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2001, p. 2), la *movilidad sustentable* es la “capacidad para satisfacer las necesidades de la sociedad de moverse libremente, acceder, comunicarse, comercializar y establecer relaciones sin sacrificar otros valores humanos o ecológicos básicos actuales o del futuro”.

En este mismo sentido, la Comisión Ambiental de la Megalópolis (2023), en su página web describe a la *movilidad sustentable* como un modelo de “traslado saludable”, el cual está en función de elevar la calidad de vida urbana y bienestar colectivo, caracterizado por un bajo consumo de carbono; y que propicia la convivencia ciudadana dentro de espacios públicos confortables.

2.1.4. Smart City

La *Smart city*, o ciudad inteligente de acuerdo con Pérez et al. (2015, p. 112) se define como “un sistema holístico que interactúa con el capital humano y social utilizando soluciones basadas en las TIC”; con el objetivo de lograr desarrollo sostenible y calidad de vida dentro de las ciudades.

Adicionalmente, Pérez et al., define la *movilidad inteligente*, como una herramienta dentro del contexto de las Smart Cities, “para optimizar y mejorar la planificación y operación eficiente de los sistemas de transporte, así como para contribuir a reducir sus principales externalidades” (2015, p. 112).

2.1.5. Geotecnología

La geotecnología, en la era actual es entendida como la sucesión, evolución y desarrollo de la geografía en compañía de las tecnologías de la información, en este sentido, Buzai (2005),

proporciona un análisis teórico paradigmático sobre dicha evolución, indicando que la geotecnología se constituye como una nueva visión sobre el espacio geográfico y los modelos que se presentarán en el análisis espacial digital, basándose en la geografía y las posibilidades que proporciona a las demás disciplinas científicas así como también las prácticas humanas.

Mientras que en términos de conceptualización, la geotecnología refiere ser el conjunto de herramientas y también de técnicas para adquirir, visualizar, utilizar y analizar los datos espaciales, como son los sistemas de información geográfica (SIG), sensores, sistemas de posicionamiento global (GPS), la teledetección, entre otros facilitando la gestión de recursos, estudio de fenómenos geoespaciales y así poder asistir en la toma de decisiones (Geografía UdeC, 2025).

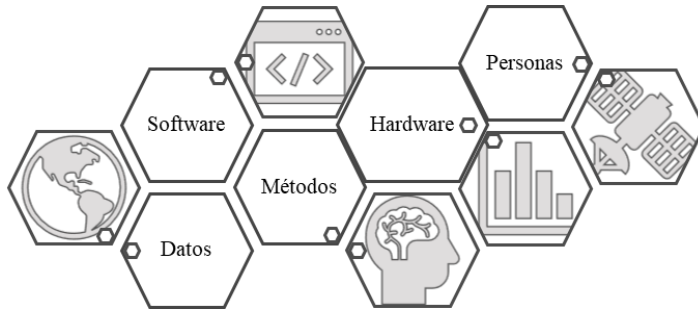
Por lo que a continuación abordaremos los SIG y GPS, herramientas que tienen presencia dentro del proyecto de investigación.

2.1.5.1. Sistemas de información geográfica (SIG)

De acuerdo con Olaya (2020), un SIG en términos coloquiales es un conjunto de software y hardware creado con la finalidad de adquirir, mantener y usar datos cartográficos. Por lo que se constituye como una herramienta que permite la lectura, edición, almacenamiento y gestión de los datos espaciales; lo que posibilita el análisis de datos, con pautas a la elaboración de modelos con componentes espaciales de los datos y su temática, dónde los resultados pueden ser en tipo cartográfico, informes, gráficos, entre otros.

En la actualidad existe una amplia gama de software SIG, tanto comercial como de código abierto, que nos permite como comunidad de ciencias de la tierra la accesibilidad a la manipulación de datos geoespaciales, generar investigaciones y resultados concretos. El uso o preferencia, depende de cada usuario, dado que cada uno contiene características diferentes, o los fines para que se utilizan van enfocados a las herramientas de análisis con las que disponen.

Figura 1. Componentes de un SIG



Fuente: elaboración propia a partir de Olaya (2020).

Como podemos observar en el gráfico 2, los componentes del SIG prácticamente son a su vez subsistemas complejos, relacionados entre sí, el SIG por sí sólo no es funcional, debe de tener una plataforma, en donde se ingresan los datos, para que una persona pueda aplicar un método específico, acorde a las necesidades particulares del objeto de estudio, y así obtener resultados.

2.1.5.1. Sistemas de posicionamiento global (GPS)

Este tipo de navegación por satélite permite determinar con precisión la ubicación de cualquier punto u objeto sobre la superficie terrestre, por medio de la obtención de coordenadas geográficas, siendo sus principales características la inmediatez y su amplia disponibilidad con una alta precisión que ronda alrededor de los 10 m. (Olaya, 2020)

Adicionalmente, en cuestiones propias de la programación, se hará uso del modelo de programación de eventos, que va acorde al tipo de funcionalidad interna operativa del prototipo.

2.1.6. Modelo de programación de eventos

La programación orientada a eventos (POE) es un paradigma fundamental en el desarrollo de software, especialmente en la creación de interfaces de usuario interactivas y sistemas que requieren una respuesta dinámica a las acciones del usuario. A continuación, se presentan sus características, funcionamiento y aplicaciones.

“La programación orientada a eventos es un tipo de programación donde el comportamiento del programa depende de lo que sucede mientras se está ejecutando. Estos “sucesos” o eventos pueden ser cosas que hace el usuario, como hacer clic en un

botón o escribir algo en un campo de texto, o incluso acciones internas del sistema, como recibir datos de una red o terminar una descarga” (Bustos, 2024).

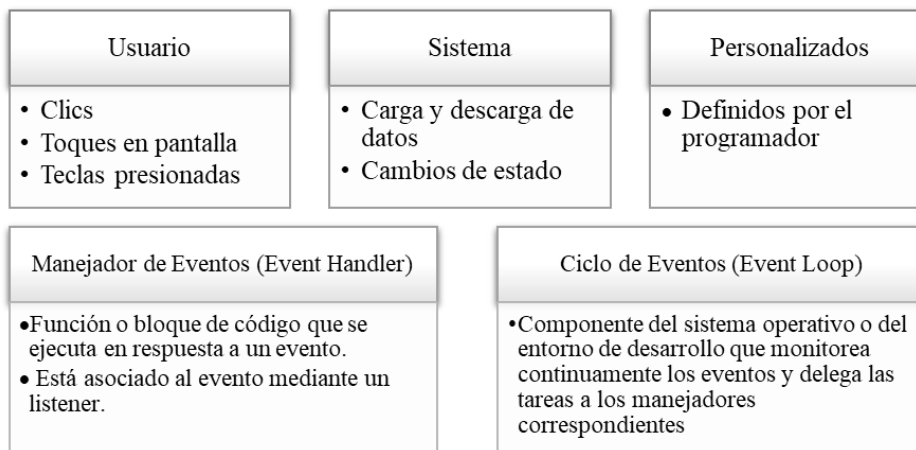
Cabe destacar, que otros estilos de programación de código funcionan de manera secuencial, mientras que en el orientado a eventos se activa al ocurrir, por ejemplo, el mover el ratón o dar clic en la pantalla, enviando una indicación al programa de lo que tiene que hacer.

2.1.6.1. Evento

Oracle, lo define como “cualquier incidencia o cambio significativo en un sistema, por ejemplo, un objeto recién creado en el almacenamiento de objetos o una alerta de rendimiento en la aplicación” (2023); también es conocida como programación reactiva.

Dentro de los eventos se incluyen los siguientes elementos: ratón, teclado, interfaz² de usuario y las acciones, que activarán el programa en cuanto ocurran. Respecto de las acciones o eventos, algunos autores mencionan los siguientes: interacción del usuario, eventos de sistema eventos personalizados, manejador de eventos y ciclo de eventos.

Figura 2. Resumen de eventos



Fuente: elaboración propia a partir de (Sy Corvo, 2020; López, 2011 y Martínez, 2024)

2.2 Conceptos técnicos

² Elemento de una aplicación informática que es la vista al usuario por medio de gráficos, por ejemplo, botones, iconos, etc. (Hernández Rodríguez et al., 2018)

Los fundamentos conceptuales de este proyecto de aplicación móvil establecen las principales definiciones y principios que guiarán su desarrollo. Esta sección es vital para comprender la lógica detrás de las decisiones de diseño y la selección de tecnologías, asegurando la alineación con los objetivos del proyecto.

2.2. Sistema en tiempo real (STR)

El poder comprender su funcionamiento interno, nos remite al STR, dado que el usuario podrá interactuar en tiempo real con la información del servicio de la empresa de objeto, ver figura siguiente.

López, define el STR como:

“es un sistema informático en el que, para que las operaciones que se realizan sean correctas, no sólo es necesario que la lógica e implementación de los programas sean correctas, sino también el tiempo en el que dichas operaciones entregan su resultado. Si las restricciones de tiempo no son respetadas, se dice que el sistema ha fallado” (2011, p. 13) .

Figura 3. Esquema de un STR

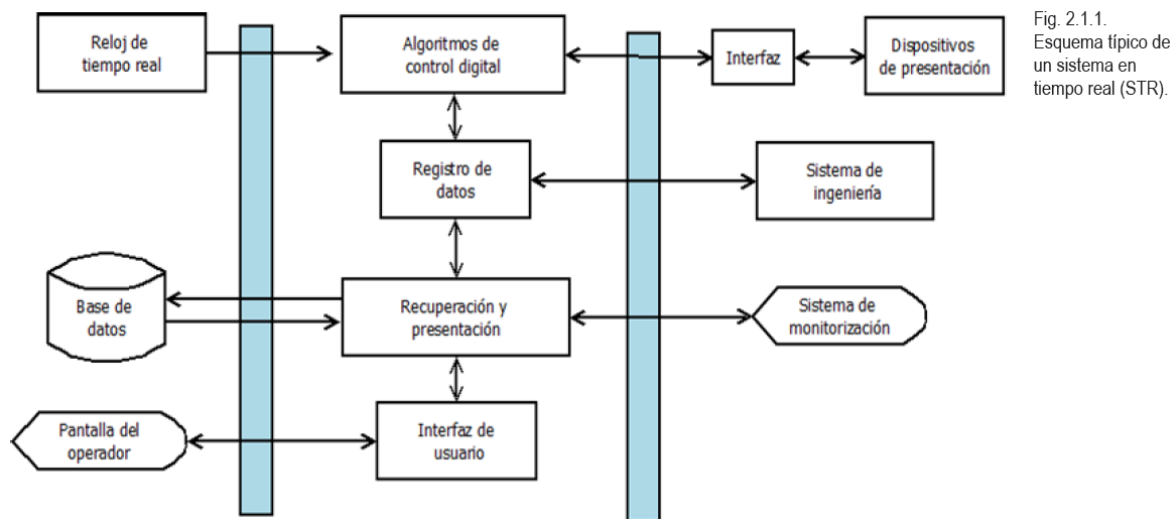


Fig. 2.1.1. Esquema típico de un sistema en tiempo real (STR).

Fuente: tomado de López (2011, p. 13)

2.2.1. Sistema embebido o empotrado

Otro sistema que es un apoyo fundamental en la lógica de los algoritmos³ se encuentra en los sistemas embebidos, presentes actualmente en gran cantidad de dispositivos actuales, tal como lo refiere López:

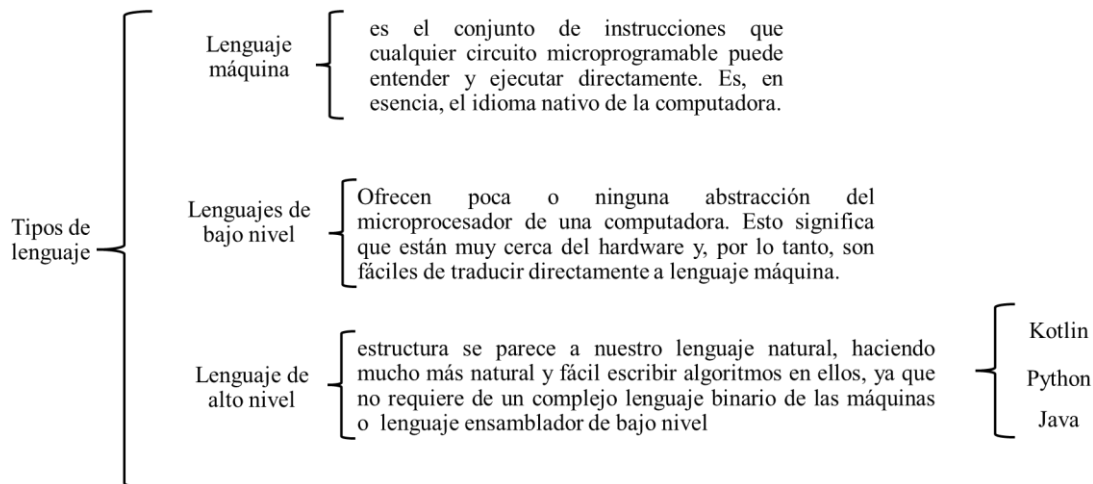
“Sistema de computación diseñado para realizar un conjunto limitado de funciones específicas, frecuentemente en un sistema informático de tiempo real. Los sistemas embebidos se utilizan para usos concretos, muy diferentes a los usos generales a los que se suelen dedicar los ordenadores. En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran integrados en un soporte físico que suele incluir dispositivos usados para controlar equipos, operaciones de maquinarias o plantas industriales completas. El término “embebido” nos indica que esos circuitos son una parte integral del hardware del sistema en que se encuentran” (2011, p. 14).

2.2.3. Lenguajes de programación

Los lenguajes de programación son herramientas que permiten desarrollar, diseñar e implementar programas, es decir, es un lenguaje inteligible para los sistemas informáticos y son empleado para expresar y controlar procesos, además se conforma de “una serie de símbolos y reglas de sintaxis y semántica que definen la estructura principal del lenguaje y le dan un significado a sus elementos y expresiones” (UNAM, 2018, pp. párr. 3-4). La *figura 4*, resume de manera concreta estos elementos.

Figura 4. Tipos de lenguaje

³ Miscelánea de instrucciones utilizadas para resolver problemas o bien ejecutar alguna tarea, similar a lo que realizan los motores de búsqueda como Google



Fuente: elaboración propia a partir de (UNAM, 2018)

2.2.3.1. Principales lenguajes de programación

La construcción de este proyecto se basa en una combinación estratégica de lenguajes de programación que trabajarán en conjunto para lograr los objetivos propuestos. A continuación, se presentan los principales lenguajes que guiarán su desarrollo:

- **Kotlin**: acorde con el fundador es un “lenguaje de programación de código abierto, que puede ser utilizado para la programación de aplicaciones en sistema Android” (JetBrains, 2022). Una de sus grandes ventajas es la interoperabilidad con código Java, lo que permite migrar de forma gradual los proyectos, su finalidad principal fue ser una alternativa más concisa y expresiva en comparación con Java.
- **Python**: hecho por Guido van Rossum en 1990, hoy en día es un proyecto de código abierto administrado por la *Python Software Foundation*, se caracteriza por ser un lenguaje potente y fácil de aprender, utilizado principalmente en programación orientado a objetos; agiliza el desarrollo de aplicaciones y es multiplataforma (Python Software Foundation, 2025).
- **Java**: según Oracle (2025), “es una plataforma informática de lenguaje de programación creada por Sun Microsystems en 1995”, se utiliza principalmente para la creación de servicios y aplicaciones, también está orientada a la programación orientada a objetos.

Antecedentes

La gran cantidad de trabajos de investigación previos, permiten explorar de manera global los resultados a los que llegaron, siendo un parteaguas para la constitución del presente documento, en cuestión de hallazgos, criterios de investigación, metodologías y hasta variables. Por lo que a continuación, se describen brevemente las características de estos y la relevancia que guardan, comenzando por los contextos internacionales, nacionales y por último en el contexto local.

3.1 Contexto internacional

Pérez et al. (2015) en el artículo científico *Movilidad Inteligente*, ofrecen una visión detallada sobre el tema. Los autores, exploran cómo las nuevas soluciones de movilidad inteligente pueden mejorar significativamente la planificación y operación de los sistemas de transporte; abordan importantes conceptos que están haciendo eco en las ciudades en la era digital: *smart cities*, sostenibilidad, eficiencia, calidad de vida, tecnologías de información y la comunicación (TIC).

Esta investigación permitió analizar la implementación de proyectos “Smart” en el ámbito europeo, por medio de evaluaciones multicriterio para obtener datos de los avances en las ciudades, obteniendo resultados favorables y un amplio universo de mejoras que trae consigo temas propios como la gestión del tráfico, transporte público, entre otras más; resalta la importancia de las evaluaciones multicriterio, para obtener datos de los avances en las ciudades.

El artículo citado, tiene relevancia con el proyecto debido a la utilización de enfoques actuales como la perspectiva de las *Smart cities* y su estrecha vinculación con aspectos de las tecnologías de la información, así como el tipo de modelado implementado en el análisis.

Bouso (2015), dentro del contexto de la aparición del modelo de ciudades inteligentes, encuentra necesario mejorar la calidad y eficiencia de los servicios de la ciudad de Barcelona con ayuda de las tecnologías de información y comunicación; por lo que su objetivo fue

desarrollar una aplicación para dispositivos Android⁴ que proporcione la información de todas las estaciones de transporte público en una ciudad y pueda ser replicada en otras ciudades distintas, como lo fue Madrid y Bilbao; misma que contendrá información correspondiente al transporte público, alquiler de bicicletas, taxi y estacionamientos.

Osorio y García (2017), en su documento *Nuevas fuentes y retos para el estudio de la movilidad urbana, desde las nuevas tecnologías como las TIC's y el Big Data*, las posiciones como fuentes interactivas que responden a las necesidades de movilidad sostenible, y el manejo de grandes volúmenes de datos con un nivel de detalle, y en tiempo real.

La investigación está enfocada a las problemáticas de movilidad urbana presentes en realidades metropolitanas, dentro del marco de Smart cities y la necesidad de contar con estudios eficaces que puedan ser adaptados a las nuevas capacidades de análisis espaciotemporales de la mano de grandes volúmenes de datos o Big Data, haciendo una comparación de las fuentes tradicionales y nuevas, en relación con la interoperabilidad de estas constituyéndose como herramientas de tipo interactivo y dinámico que contengan suministro de información constante y en tiempo real.

Dentro de la tesis doctoral *Redes Vehiculares Aplicadas a la Movilidad Inteligente y Sostenibilidad Ambiental en Entornos de Ciudades Inteligentes*, Sánchez (2017) propone un estudio bastante amplio, partiendo de nuevas perspectivas como los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) que da origen a la concepción de *redes vehiculares (Vehicular ad-hoc Networks-VANET)*, que permiten proveer determinados servicios.

Con base en la metodología de corte experimental, logró crear un plan de movilidad inteligente, que le permitió ver a la simulación como una herramienta medular en cuestiones de diseño y evaluación para las nuevas aplicaciones y servicios orientados a los ITS.

En el ámbito de los estudios del transporte, Celi publicó en 2018 el artículo *Análisis del comportamiento del transporte público a nivel mundial*, proporciona un panorama global actual de sistema de transporte público en ciudades de Europa, América del Norte, Asia y

⁴ Sistema operativo móvil usado principalmente en teléfonos inteligentes y tabletas electrónicas, fue desarrollado por Google.

América del Sur; mediante el análisis de indicadores de movilidad que categoriza como esenciales para la construcción de un sistema de transporte sostenible: protección del medioambiente, seguridad, ciudades habitables, equidad e integración social e intergeneracional (p. 10).

Saus (2023) *Estado del arte sobre desarrollo urbano y transporte: revisando herramientas para América Latina*, partiendo de la perspectiva del desarrollo urbano y transporte, realizó una revisión bibliográfica sobre experiencias internacionales orientadas a identificar las principales propuestas sobre herramientas que permitan avanzar hacia planteamientos integrales de estos problemas y gestionar soluciones para el contexto de América Latina.

Desde un enfoque cualitativo y la dialéctica ciudad-transporte, entra un debate teórico sobre las consecuencias negativas de este fenómeno, porque representa un obstáculo para el transporte, sin embargo, la realidad contradice esta situación con el hecho de que densificar y mixturar tampoco parece ser una vía que favorezca la funcionalidad de las redes; mientras que la parte estructural también suma déficits en las capacidades de las instituciones para abordar y solucionar estas problemáticas

En cuanto antecedentes prácticos, el *Diseño de un prototipo de aplicación móvil con la integración de la tecnología Near Field Communication para conocer el nivel de ocupación en tiempo real del Sistema Integrado de Transporte en Bogotá*, proyecto centrado principalmente en la problemática actual de la ciudad: su sistema de transporte no es de preferencia de los usuarios, por cuestiones de aglomeración y tiempos de espera.

En respuesta a ello, proponen mejorar el sistema de transporte, proporcionando información al usuario respecto al nivel de ocupación de las unidades en tiempo real minorizando retrasos en sus viajes diarios o en su defecto responde con rutas alternas (Gómez et al., 2023, p. 8). Siendo un referente práctico de la forma en que se puede diseñar la aplicación.

Así mismo, la *Propuesta para una aplicación de transporte urbano desde el DCU: Urbanos Guadalajara*, partiendo de la red de autobuses urbanos en la ciudad de Guadalajara, España; se plantea el diseño de una aplicación centrada en el usuario, que promueva la movilidad con el servicio de transporte existente, ofreciendo información eficaz, intuitiva y accesible lo que permite mejorar la percepción del usuario sobre el servicio. Para el diseño del wireframe

utilizó software Figma, utilizando los iconos predefinidos mediante el plugin inconofy de figma; mientras que, para dar forma al prototipo final, usó el set UI-kit (Recio, 2024).

Este proyecto, proporciona cuestiones de programación detalladas paso a paso de cómo fue diseñada la aplicación, además de enlistar las herramientas tecnológicas que favorecieron su materialización.

3.2 Contexto nacional

El análisis a partir de las cuestiones de dinámica urbana, en el marco de los discursos sobre la *sustentabilidad* y la *competitividad urbana*, los autores resaltan las características y el papel del transporte en la movilidad de las ciudades postmodernas. Adicionalmente, hacen una crítica a las autoridades indicando que estas conciben la sustentabilidad como el cuidado de recursos naturales y medio ambiente, dejando de lado aspectos sociales y humanos de las actividades que se desarrollan en la ciudad, y la competitividad únicamente vista desde términos económicos de la actividad industrial (Jiménez et. al., 2010).

En este sentido, y partiendo de la constante deficiencia del servicio de transporte público en México, y de manera particular la ciudad de Aguascalientes, Álvarez (2020) identifica que en la ciudad, los usuarios tienen una indeterminada espera para poder acceder a las rutas de transporte, derivado de que no existe un horario previsto de servicio, por lo que el objetivo de su investigación se centra en el desarrollo de una aplicación inteligente de geolocalización que permita optimizar el tiempo del servicio de transporte público a los usuarios de la ciudad.

El autor utilizó la arquitectura enfocada a *smart cities* y *Cloud Computing*, concluyendo que es factible la implementación de ambos modelos, resultando así en la optimización del servicio y además proporciona al usuario rutas y tiempo estimado de llegada.

Por otra parte, resulta de interés del proyecto el análisis presentado por Cariño y Fuentes (2022) *Movilidad inteligente en la creación de valor público para usuarios del Metrobús en la Ciudad de México*, respecto a la contribución de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), en cuestión de valor público.

Los autores, utilizaron una metodología mixta e incluyó técnicas de recolección de datos de corte cuantitativo y aplicación de encuestas en línea por medio de la plataforma *Google Forms*; y para el análisis se utilizó el software *Atlas*. Los resultados a los que llegaron, son muestra de la importancia que tienen los usuarios como una fuente de contribución y evaluación de los programas de movilidad, desechando la idea de que la cuestión tecnológica sea medular en la construcción de movilidades sostenibles, dado que los usuarios señalan que existe poca disponibilidad de la información tanto digital como impresa o cuestiones de error en la información que proporciona el servicio, resaltando el papel del usuario como nodo central del concepto de movilidad.

Asimismo, recientemente se publicó el documento sobre *Estimación de la demanda del transporte público con datos abiertos, en Nezahualcóyotl, Estado de México*, el trabajo de investigación tuvo por objetivo analizar la movilidad urbana con la finalidad de obtener un diagnóstico paramétrico, es decir, crear un marco de referencia mitológico de corte experimental para medir la movilidad y resolver problemas actuales, respecto a las características de oferta y demanda en los sistemas de transporte que permitan identificar las problemáticas en movilidad en configuraciones de corte urbano (Badillo, 2024).

Mediante el uso de métodos estadísticos y enfoque socioeconómico: oferta, demanda del servicio y su interacción con el espacio; sistemas de información geográfica, modelos de transporte y fuentes de datos abiertos; describe que su modelo de cuatro etapas permitió manipular los datos para un análisis completo sobre las variables socioeconómicas. Lo anterior, basada en los motivos de viajes, y que fue posible con la información disponible al público en la plataforma de *datos abiertos*; no obstante, menciona la necesidad de contar un extenso banco de información, ya que, en México, es reciente el interés por contar con bancos de información orientadas al sistema de transporte.

Con relación a proyectos prácticos, Delgado y Delgado (2022), derivado de la identificación de la necesidad su comunidad estudiantil en la ciudad de Hidalgo, Michoacán, por sólo contar con una única ruta de transporte público hacia las instalaciones escolares, la cual presenta insuficiencia en las horas pico. En torno a la problemática, desarrollaron una aplicación en

Android Studio (Kotlin⁵), la cual les permite conocer en tiempo real ubicación de las rutas de transporte por medio de un servicio web, emitiéndose una alarma al prestador del servicio para que puedan enviar más unidades.

Lo anterior fue realizado por medio de una investigación de corte cuantitativa; logrando una importante aceptación por parte de la comunidad estudiantil, académica, administrativa y la propia empresa que presta el servicio.

3.3 Contexto local

Finalmente, en el ámbito local existe poco material en torno al propósito del proyecto, en contraposición a investigaciones del sistema de transporte. A continuación, se describen algunos.

Las aproximaciones previas a nuestro objeto de estudio, se encuentra el *Estudio del Sistema integral de movilidad sustentable para el valle de Toluca*, realizado por el Centro Mario Molina en el año 2014. El objetivo del estudio fue determinar beneficios ambientales resultado de la instrumentación de un programa de restricción vehicular en la zona metropolitana. El estudio fue planteado desde un enfoque integral, y centrado en la identificación de las deficiencias gubernamentales en cuestión de políticas, instituciones responsables y la forma de administración del transporte (CMM, 2014, pp. 1, 3).

También en ese año, se publicó otro análisis centrado en la caracterización de la estructura urbana y el sistema de transporte, desde el contexto metropolitano, para identificación de los factores que recaen en la calidad de vida respecto a los temas de movilidad, por medio de técnicas de análisis espacial y herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el análisis evidencia que los factores del crecimiento acelerado de los asentamientos humanos ocasiona una estructura dispersa de usos y de baja densidad, en correlación a la centralización de servicios en la ciudad, aumenta los desplazamientos sobre la estructura

⁵ Es un lenguaje de programación interoperable con código Java utilizado en programación de aplicaciones para sistema Android (JetBrains, 2022), y Java también es un lenguaje de programación desarrollado por Sun Microsystem que sirve para insertar elementos de interacción en las páginas web.

radial que ocasiona el traslape de rutas, aunado a la mala calidad de sistema de transporte público presente que también resalta la necesidad de realizar actividades planificadas (Hinojosa et al., 2014).

Mientras que, Rojas (2019) en su proyecto *Diagnóstico de la oferta y demanda del sistema del transporte público de la zona metropolitana del Valle de Toluca, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica*, nos proporciona una descripción de la dinámica actual del sistema de transporte. Adicionalmente, realiza un análisis desde el ámbito económico, por medio del modelado de una base de datos que sirve de herramienta para establecer relación de variables tomando como base el origen – destino de la población, destacando el nivel jerárquico de primacía que guarda la ciudad de Toluca dentro del contexto metropolitano.

Concluye que el uso de los sistemas de información geográfica es de gran utilidad en cuestión de análisis especial, porque facilitan la toma de decisiones, por medio de la fusión de variables cualitativas y cuantitativas, y la representación de estas sobre la superficie del territorio.

Por otra parte, la tesis doctoral de Millán (2024), *Movilidad Urbana desde la sustentabilidad. Caso de estudio: Ciudad de Toluca, Estado de México*, hace un análisis centrado en el tema de movilidad urbana como factor de desarrollo y eje estructurador de las ciudades, dentro del discurso de la sustentabilidad, con la finalidad de formular lineamientos en términos de planificación y políticas públicas.

La metodología utilizada fue mixta, basada en la aplicación de instrumentos, como las entrevistas y cuestionarios, desde los enfoques social, económico, ambiental y de gobernanza. Sus principales conclusiones, son que en la ciudad no existe movilidad urbana sustentable, identificando falta de educación vial, hay poca difusión y falta de aplicación del reglamento de tránsito, y un alto nivel de aceptación por parte la población a nuevos modos de transporte que incluyen los no motorizados.

Así mismo, el resultado de su análisis de información de campo detecta que los principales motivos de traslado de la población son por trabajo y educación; situación que confirma lo identificado 5 años antes por Rojas.

Finalmente, el trabajo de investigación sobre la utilización de inteligencia artificial para la sincronización de semáforos, para el caso de la Ciudad de Toluca (Rodríguez, 2023), aborda cuestiones de control del flujo vehicular mediante el desarrollo de un modelo que permita optimizar la operacionalidad en algunas intersecciones de la ciudad; este trabajo permite ver los alcances de la implementación de las tecnologías a problemáticas actuales, dónde se puede observar como la inteligencia artificial puede emplearse para actividades funcionales, aunque en cierta forma tiende a reemplazar el recurso humano, situación que describe en su documento, dado que no fue posible implementar este modelo a la ciudad.

Tabla 1. Resumen de antecedentes

Tema	Año	Objetivos o Resumen	Contexto
Geotecnológico	2015	Desarrollar una aplicación para dispositivos Android que proporcione información de todas las estaciones de transporte público en una ciudad y pueda ser replicada en otras ciudades.	Barcelona, Madrid, Bilbao
	2017	Posicionan a las TIC y el Big Data como fuentes interactivas que responden a las necesidades de movilidad sostenible y al manejo de grandes volúmenes de datos en tiempo real. Enfocado en problemáticas de movilidad urbana en realidades metropolitanas dentro del marco de Smart cities.	Realidades metropolitanas
	2020	Desarrollo de una aplicación inteligente de geolocalización que permita optimizar el tiempo del servicio de transporte público a los usuarios.	Aguascalientes, México
	2022	Desarrollaron una aplicación en Android Studio (Kotlin) que permite conocer en tiempo real la ubicación de las rutas de transporte, con una alarma para enviar más unidades en horas pico.	Hidalgo, Michoacán
	2023	Proponen mejorar el sistema de transporte, proporcionando información al usuario respecto al nivel de ocupación de las unidades en tiempo real, minorizando retrasos o respondiendo con rutas alternas.	Bogotá
	2024	Se plantea el diseño de una aplicación centrada en el usuario, que promueva la movilidad con el servicio de transporte existente, ofreciendo información eficaz, intuitiva y accesible.	Guadalajara, España
Movilidad (urbana, inteligente)	2010	Analizan las características y el papel del transporte en la movilidad de las ciudades postmodernas, haciendo una crítica a las autoridades por concebir la sustentabilidad solo como cuidado de recursos naturales y medio ambiente.	No especificado en el texto (contexto nacional)
	2014	Determinar beneficios ambientales resultado de la instrumentación de un programa de restricción vehicular. Enfoque integral y centrado en la identificación de deficiencias gubernamentales.	Valle de Toluca
	2015	Explora cómo las nuevas soluciones de movilidad inteligente pueden mejorar significativamente la planificación y operación de los sistemas de transporte, abordando conceptos como smart cities, sostenibilidad, eficiencia, calidad de vida y TIC. Permite analizar la implementación de proyectos "Smart" en el ámbito europeo.	Europa (ámbito general)
	2017	Propone un estudio amplio partiendo de nuevas perspectivas como los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) y las redes vehiculares (VANET). Creó un plan de movilidad inteligente utilizando la simulación como herramienta medular.	No especificado en el texto
	2018	Proporciona un panorama global actual del sistema de transporte público mediante el análisis de indicadores de movilidad esenciales	Europa, América del Norte, Asia y

		para un sistema sostenible: protección del medioambiente, seguridad, ciudades habitables, equidad e integración social e intergeneracional.	América del Sur (a nivel mundial)
	2022	Analizan la contribución de las TIC en la creación de valor público, resaltando el papel del usuario como nodo central del concepto de movilidad.	Ciudad de México
		Aborda cuestiones de control del flujo vehicular mediante el desarrollo de un modelo para optimizar la operacionalidad en intersecciones.	Ciudad de Toluca
	2023	Realizó una revisión bibliográfica sobre experiencias internacionales para identificar propuestas sobre herramientas que permitan avanzar hacia planteamientos integrales de los problemas de desarrollo urbano y transporte y gestionar soluciones para América Latina.	América Latina
	2024	Análisis de la movilidad urbana como factor de desarrollo y eje estructurador de las ciudades desde la sustentabilidad, con la finalidad de formular lineamientos de planificación y políticas públicas.	Ciudad de Toluca, Estado de México
Transporte	2014	Caracterización de la estructura urbana y el sistema de transporte para identificar factores que afectan la calidad de vida respecto a la movilidad.	Valle de Toluca (contexto metropolitano)
	2019	Descripción de la dinámica actual del sistema de transporte y análisis económico, destacando el nivel jerárquico de primacía de Toluca. Concluye que los SIG facilitan la toma de decisiones.	Zona Metropolitana del Valle de Toluca
	2024	Analizar la movilidad urbana para obtener un diagnóstico paramétrico, creando un marco de referencia metodológico experimental para medir la movilidad y resolver problemas actuales de oferta y demanda en sistemas de transporte.	Nezahualcóyotl, Estado de México

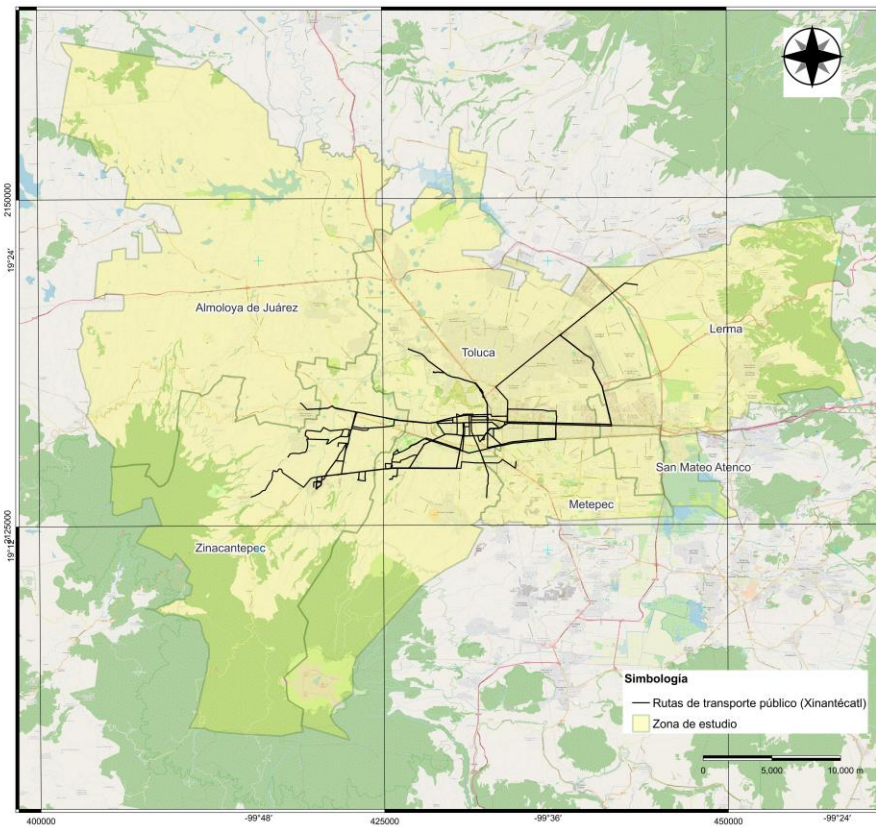
Fuente elaboración propia (2025)

Caracterización de la zona de estudio

4.1. Delimitación geográfica

La zona de estudio está delimitada (mapa 1) por la presencia del servicio prestado por la empresa Servicios Urbanos y Suburbanos Xinantecátl S.A. de C.V, el cual tiene presencia en 6 municipios de los 16 que conforman la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, de acuerdo con el documento elaborado por el Gobierno de México (2020) por lo que en este apartado se aborda la dinámica actual en la zona y la injerencia que tienen Almoloya de Juárez, Lerma, Metepec, San Mateo Atenco, Toluca y Zinacantepec, además administra un total de 18 rutas con desplazamiento de origen-destino y viceversa (Servicios urbanos y suburbanos Xinantecátl S.A. de C.V., 2024).

Mapa 1. Localización de la zona de estudio y rutas de transporte



Fuente: elaboración propia a partir de (Servicios urbanos y suburbanos Xinantecátl S.A. de C.V., 2024).e (INEGI, 2020)

4.2. Datos demográficos y funcionales

La ZMVT tiene una población total de 2,353,924 habitantes al año 2020, teniendo una representación del 14% de la población total estatal, adicionalmente hay una densidad de 974 habitantes por km², de los municipios en cuestión resalta San Mateo Atenco con una densidad de 4,610 hab/km² mientras que Almoloya de Juárez presenta en 2020 la menor densidad de población siendo 365 hab/km² (GEM, 2022).

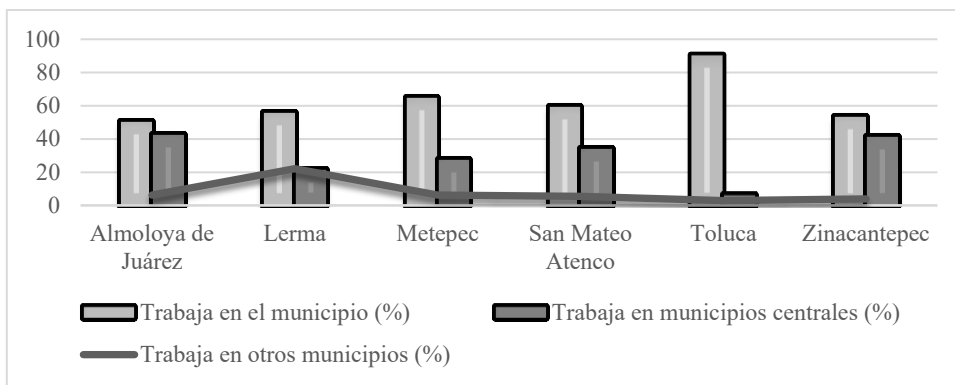
Tabla 2. Distribución de población total por municipio

	Municipio	Población total	Representatividad en la ZMVT
1	Toluca	910 608	39%
2	Metepec	242 307	10%
3	Zinacantepec	203 872	9%
4	Almoloya de Juárez	174 587	7%
5	Lerma	170 327	7%
6	San Mateo Atenco	97 418	4%
	Total	1 799 119	76.43%

Fuente elaboración propia (INEGI, 2020)

La *tabla 2*, ilustra el hecho de que actualmente la población se concentra en localidades de tipo urbano alcanzando el 85.08%, a diferencia del 14.92% que corresponde a la concentración en localidades rurales. Lo cual se relaciona con el nivel de desarrollo urbano de los municipios, por ejemplo, las ciudades de Toluca, Lerma y Metepec concentran un número importante de empresas (DENUE, 2020), además de puntualizar el corredor industrial localizado a lo largo de Paseo Tollocan, predominando la industria automotriz, plástico, química y metálica (GEM, 2022).

Figura 5. Población que trabaja dentro y fuera de su municipio



Fuente: elaboración propia con base (Gobierno de México, 2020)

Dentro de este contexto, también podemos ubicar a San Mateo Atenco, municipio que se caracteriza con ser un centro especializado en la producción de calzado, estrechamente vinculado con la comercialización principal que se realiza en el centro de la ciudad de Toluca. Además de que la ciudad de Toluca hoy en día se constituye como distrito comercial de la metrópoli, conteniendo actividades de tipo administrativo, cultural, educativas, comerciales y de acceso a empleo (GEM, 2022).

Respecto a las actividades primarias, se concentran principalmente en 7 municipios de la ZMVT dentro de los cuales se encuentra la zona de interés: Almoloya de Juárez, Zinacantepec, Toluca y Lerma.

Respecto a la dinámica urbana (ver figura 5), podemos referir que la ZMVT está integrada funcionalmente mediante un sistema de vialidades radiales con alcances de tipo regional, lo que ocasiona centralidades urbanas y el desarrollo de nuevas relaciones entre sí, pero a su vez constituye uno de los mayores desafíos actuales en la zona que es la movilidad, por la concentración de actividades en el distrito comercial y la falta de continuidad hacia la periferia, resaltando impactos negativos.

Metodología

5.1 Enfoque y tipo de investigación

La investigación y desarrollo del proyecto se basa en el método de estudio de caso y con base a su propósito es de corte descriptivo, debido a su uso como estrategia de resolución a la problemática actual y mejorar el área de los servicios de transporte, mediante la utilización de conocimientos, técnicas y habilidades.

Martínez Carazo (2006) lo identifica al estudio de caso como una “estrategia metodológica de investigación científica, útil en la generación de resultados que posibilitan el fortalecimiento, crecimiento y desarrollo de las teorías existentes o el surgimiento de nuevos paradigmas científicos; por lo tanto, contribuye al desarrollo de un campo científico determinado” (p. 189).

Por lo que es fundamental para el desarrollo geotecnológico, implementado a un caso de análisis como lo es la empresa que presta el servicio, facilitando la exploración de la problemática identificada dentro de la demarcación territorial en la cual tiene presencia.

5.2 Modelo de desarrollo (prototipo)

El uso de metodologías para la gestión de proyectos sin duda forma una sólida base para el desarrollo de éstos encaminados a cuestiones de tipo geotecnológico, para este caso particular, ofreciendo una amplia gama de métodos, guías y normas estandarizadas para su implementación.

Por lo que es de interés de esta investigación el uso del modelo denominado prototipo, el cual hace referencia a un modelo de tipo evolutivo que permite definir el producto de manera general sin mayor detalle en su etapa inicial, facilitando la concepción del objetivo entre interesados siendo su principal elemento la comunicación que permite ir estableciendo los requerimientos que permitan al gestor el desarrollo y la implementación de las funcionalidades con base en las evaluaciones que proporcione el cliente (Girón Sevillano, 2021, pp. 10, 18-19).

Figura 5. Etapas del modelo prototipo



Fuente elaboración propia a partir de (Girón Sevillano, 2021)

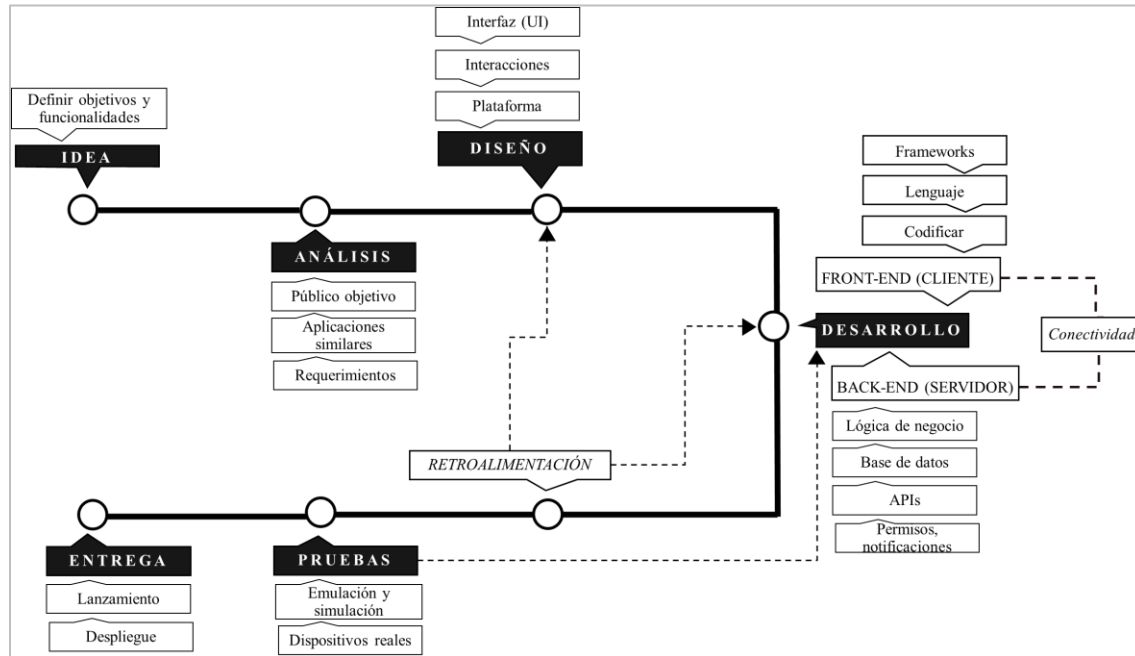
Para nuestro caso, este tipo de modelo permitió vislumbrar varias ventajas como la de mantener el ciclo de vida del desarrollo en el producto de software, además de ser realizado con un bajo costo y con las herramientas adecuadas; y siendo su principal uso el poder llegar a un producto provisional, puesto que no se cuentan con especificaciones de forma precisa, y esto permite que algunas otras características puedan ser mejoradas o desarrolladas como el poder buscar una ruta entre dos puntos o bien establecer la visualización en tiempo real de las unidades de transporte público.

5.2.1. Identificación de las etapas de desarrollo

A partir del modelo de desarrollo, se realiza el desglose de las etapas para el desarrollo de aplicaciones, con la finalidad de dominar sus fundamentos conceptuales y se genere una mayor comprensión de los términos informáticos a los que se hace referencia en el desarrollo, por lo que se ilustra a continuación un maquetado estándar de los componentes principales.

El maquetado (figura 6) consiste principalmente en seis fases principales, partiendo desde la concepción del proyecto, ya sea por solicitud de un interesado (cliente) o bien, como es el caso de atender una problemática, dentro de este primer momento se construye la idea general, sin mayor preámbulo de lo que se pretende alcanzar.

Figura 6. Etapas de desarrollo de una aplicación móvil



Fuente: elaboración propia a partir de (Gasca Mantilla et al., 2014)

La segunda fase ya conlleva una profundidad de las peticiones o bien levantamiento de requerimientos enfocadas a lo que se pretende dar solución, definiendo en primera instancia los requerimientos de entorno, funcionales⁶ y no funcionales, para que al clasificarlos se pueda determinar con mayor claridad el software que se debe utilizar. En lo que respecta al entorno, este corresponde a todo lo que engloba el servicio, es decir, características técnicas del sistema operativo⁷, la del dispositivo móvil y demás características tecnológicas como el manejador de base de datos⁸, tipos de archivos que se requieren y módulos tecnológicos que permitan la transferencia de información.

Algunos autores como (Gasca Mantilla et al., 2014, p. 25), describen un cuarto requerimiento denominado *mundo* que corresponde a la conjunción de los requerimientos de la Interfaz

⁶ “Los requerimientos funcionales son todos aquellos que demandan una función dentro del sistema” (Gasca Mantilla et al., 2014, p. 25).

⁷ “Programa que administra el funcionamiento de los demás programas en una computadora” (Hernández Rodríguez et al., 2018, p. 174)

⁸ Data Base Management System (DBMS), son sistemas que permiten almacenar la información de forma estructurada, para su rápido acceso (López Herrera, 2011).

Gráfica de Usuario⁹ (IGU), formato de los datos, datos de salida y los que involucran la interacción entre usuario y máquina. Por su parte los requerimientos funcionales definen de forma clara cada uno de las tareas o funciones de la aplicación y, por último, los no funcionales que proporcionan la estabilidad, costo, rendimiento, portabilidad, etc.

La tercera fase, es la comprensión gráfica de los aspectos funcionales, sociales, técnicos y económicos con base en el diseño de escenarios, se documenta el código para su prueba respectiva, considerando estados de conexión y tipos de formularios para ello. Dentro de los diagramas utilizados para la estructuración del software se encuentra el Modelado de Lenguaje Unificado¹⁰ (UML), además se define el patrón de diseño acorde al servicio, pueden ser modelo vista controlador, diseño de capas entre otros (Gasca Mantilla et al., 2014).

Cuarta fase, como tal es la implementación del diseño mediante la escritura por medio del lenguaje de programación seleccionado, con sus respectivas validaciones previas para poder pasar a las pruebas de funcionamiento, explorando cada elemento y escenario, para encontrar errores y regresar a la fase previa para resolverlos, en algunos casos se evalúa el método de las 6 M's¹¹ que es prácticamente para valorar el potencial de éxito y, finalmente la entrega del producto para su comercialización.

Una vez definido el proceso general, podemos avanzar hacia el desarrollo del proyecto de forma práctica, con la finalidad de poder sustentar el prototipo de aplicación móvil para transporte público en la zona de estudio.

5.3 Fuentes de datos

⁹ “Graphic User Interface (GUI). Componente de una aplicación informática que el usuario visualiza y a través de la cual opera con ella. Está formada por ventanas, botones, menús e iconos, entre otros elementos” (Hernández Rodríguez et al., 2018, p. 96).

¹⁰ “El modelo UML es un lenguaje de modelado estándar que se utiliza para visualizar un plan arquitectónico para elementos como actividades, procesos de negocio y esquemas de base de datos. Puede mejorar la efectividad del entorno de modelado al incorporar términos de glosario empresarial en el modelo UML” (IBM, 2024).

¹¹ Refiere al cumplimiento de las necesidades del usuario y a la rentabilidad de la aplicación en sí, los seis atributos son: movimiento (movement), momento (moment), yo (me), multiusuario (multi-user), dinero (money) y máquinas (machines) (Gasca Mantilla et al., 2014, p. 24)

A partir del modelo de prototipo, se estableció comunicación y planteamiento del proyecto con la empresa Xinantecatl, donde fue posible la recolección de datos respecto a sus rutas de transporte, así como de la idea conceptual de las funcionalidades que debería contener la aplicación.

Una vez definido el alcance de la aplicación, se identificó que para su desarrollo era necesario la recolección y construcción de datos, los cuales se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Tipo de datos

	Cartográfico	Estadístico y censal	
Vectorial	1. División política municipal 2. Red vial 3. Rutas de transporte 4. Mapa de OpenStreetMap	1. Censo Nacional de Población y Vivienda 2. DENUÉ 3. Transporte	1. Datos demográficos 2. Actividades económicas 3. Identificador de ruta 4. Horarios 5. Ocupación del servicio 6. Paradas

Fuente: elaboración propia (2024).

5.4 Requerimientos de interfaz, funcionales y no funcionales

Derivado de ello fue posible construir el levantamiento de requerimientos (tabla 4) para su desarrollo, considerados dentro de las metodologías para la implementación de proyectos en este caso de tipo tradicional.

Tabla 4. Levantamiento de requerimientos

Tipo	Descripción
Funcionales (RF)	1. Visualización de rutas de autobús: muestra rutas de autobús en un mapa interactivo como polilíneas, permitiendo a los usuarios ver el trazado de las líneas de transporte. 2. Visualización de paradas de autobús: presenta las paradas de autobús como marcadores en el mapa, incluyendo paradas asociadas a una ruta seleccionada o paradas cercanas a la ubicación del usuario. 3. Ubicación del usuario: muestra la ubicación actual del usuario en el mapa y solicita los permisos de ubicación necesarios. 4. Horarios de rutas: ofrece la capacidad de consultar los horarios de las rutas de autobús seleccionadas. 5. Capa de tráfico: permite alternar la visualización de la capa de tráfico en tiempo real en el mapa. 6. Limpiar datos del mapa: proporciona una opción para limpiar los estados del mapa y restablecer la vista. 7. Descubrimiento de paradas cercanas: permite a los usuarios encontrar paradas de autobús en las proximidades de su ubicación actual. 8. Control de cámara del mapa: ajusta automáticamente la vista del mapa para englobar rutas, paradas o puntos de búsqueda relevantes

	Centrado del mapa: permite a los usuarios centrar el mapa en su ubicación actual.
No funcionales (RNF)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rendimiento: el código utiliza mecanismos como <i>launchedeffect</i>, <i>remembercoroutinescope</i>, <i>stateflow</i> y <i>debounce</i> para asegurar una interfaz de usuario fluida y una carga de datos eficiente, especialmente en la gestión de la ubicación y las interacciones con el mapa. Las animaciones del mapa también se manejan de forma asíncrona para una experiencia suave. 2. Usabilidad (UX): la aplicación presenta elementos de interfaz claros con iconos y texto descriptivo. Muestra indicadores de carga (<i>circularprogressindicator</i>) durante la obtención de datos y notifica al usuario con mensajes (<i>toast</i>, <i>alertdialog</i>) en caso de errores o denegación de permisos. Utiliza "<i>bottom sheets</i>" para presentar listas de rutas, paradas y horarios, manteniendo el mapa visible. 3. Mantenibilidad y arquitectura: el uso de <i>viewmodel</i> (<i>mapviewmodel</i>) y la inyección de dependencias (<i>hiltviewmodel</i>) sugieren una arquitectura mvvm (modelo-vista-modelo de vista) que separa la lógica de la interfaz de usuario de la lógica de negocio. Esto promueve un código modular y fácil de mantener y probar. La gestión de estados se realiza con <i>mutablestateflow</i> y <i>livedata</i>, y hay una clara separación de responsabilidades con repositorios dedicados para ubicación, rutas, paradas y horarios. 4. Seguridad: gestiona explícitamente los permisos de ubicación del usuario. Accesibilidad: incluye <i>contentdescription</i> en los iconos, lo que contribuye a la accesibilidad de la aplicación.
De interfaz	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nombre de la aplicación 2. Ícono de la aplicación 3. Integración con Google maps 4. Manejo de cambios de configuración 5. Comportamiento de retroceso predictivo

Fuente: elaboración propia (2025)

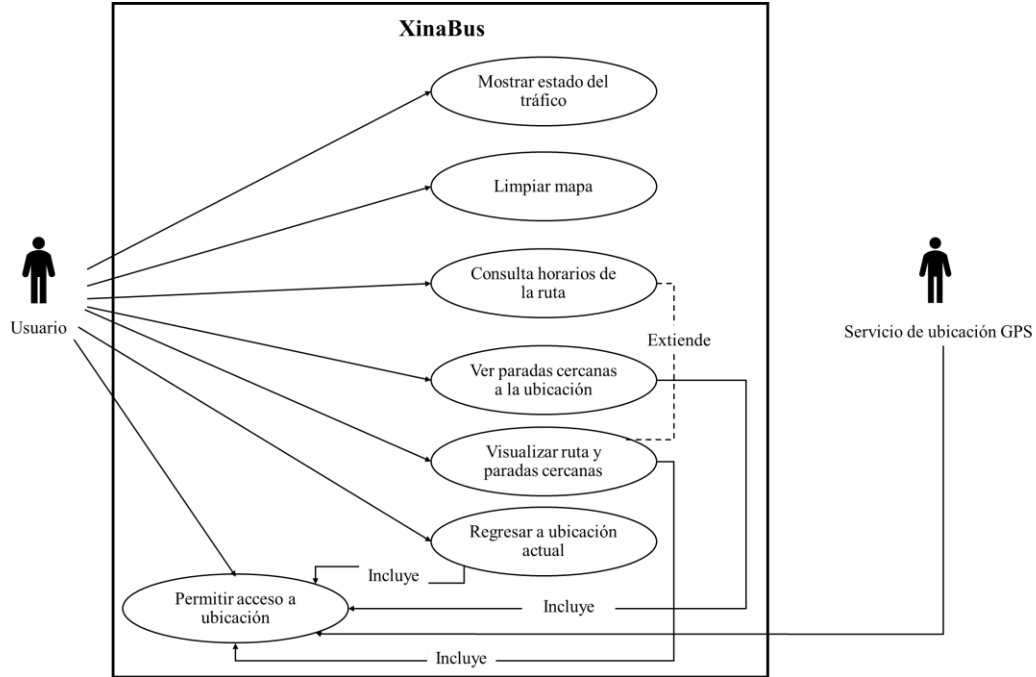
En términos generales, es la forma de concentrar las características que se integran al producto final objetivo, y posibilitan realizar una evaluación de cumplimiento.

5.4.1 Casos de uso

Los casos de uso nos ayudan a describir las interacciones entre participantes y el sistema, por lo que de manera general podemos representarlos en la figura 7, en función de los servicios que este debe proporcionar.

Cada caso de uso refleja una funcionalidad específica, tales como la consulta de rutas, paradas cercanas, horarios o condiciones de tráfico en tiempo real. En el caso de la aplicación desarrollada, los casos de uso permitieron modelar las acciones principales del usuario desde la apertura de la aplicación, el otorgamiento de permisos de ubicación, hasta la visualización de datos geográficos e interacción con capas informativas, asegurando que cada flujo de operación esté alineado con los objetivos funcionales y la experiencia esperada del usuario.

Figura 7. casos de uso del sistema



Fuente elaboración propia

5.5 Herramientas y tecnologías utilizadas

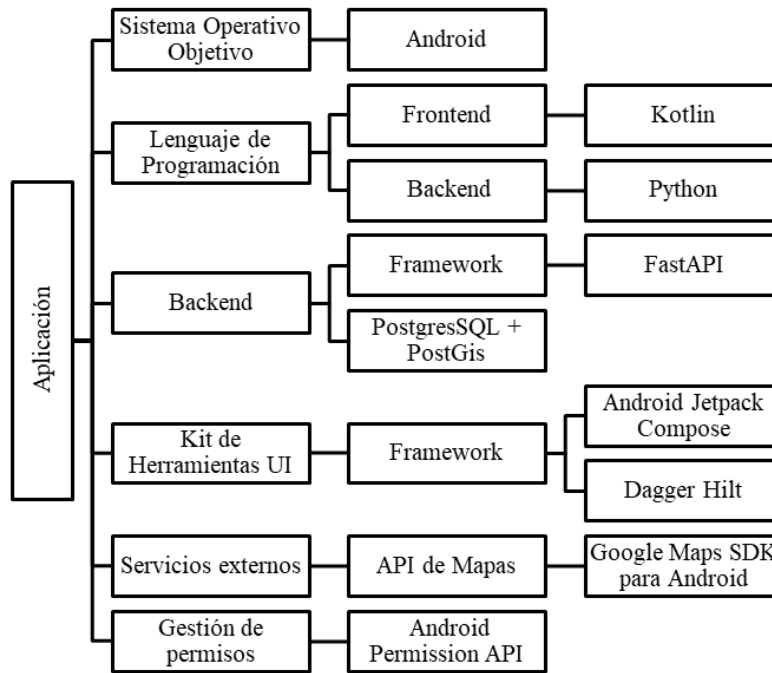
El proyecto se realizó con una arquitectura moderna y robusta, dividida en un backend (API¹²) y un frontend, utilizando tecnologías y frameworks¹³ populares en sus respectivos dominios, la arquitectura del proyecto sigue el patrón MVVM (Model-View-ViewModel).

Derivado a que Android no tiene medio de acceso directo a bases de datos geospaciales remotas que no represente un costo adicional, fue necesario construir una API, facilitando la interacción entre la aplicación y la base de datos, generando así la segmentación del frontend y el backend.

¹² Su traducción al español es una interfaz de programación de aplicaciones de transferencia de estado representacional (Application Programming Interface: Representational State Transfer), que contiene un conjunto de reglas y convenciones que permiten la comunicación entre distintos sistemas por medio de la web o también conocidas como solicitudes de tipo HTTP (IBM, 2025).

¹³ Tipo de planilla que sirve de estructura base para apresurar procesos de desarrollo en cuestiones de software (Armetrics, 2024).

Figura 8. Herramientas y tecnologías



Fuente: elaboración propia, 2025

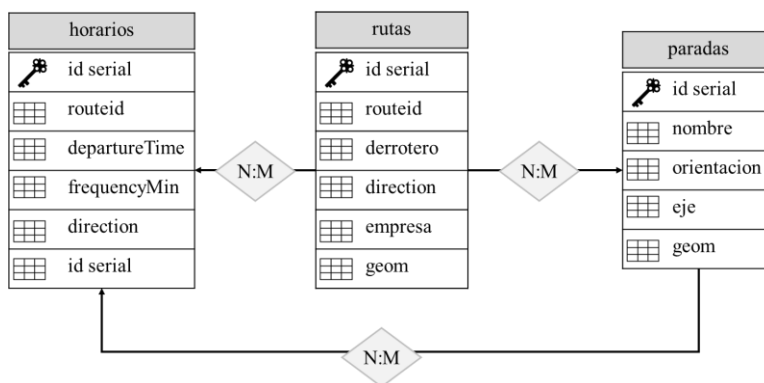
La figura 8, expresa claramente el conjunto de herramientas y tecnologías utilizadas para el desarrollo.

Desarrollo del Proyecto

6.1 Diseño de base de datos (modelo entidad-relación)

Una vez recabada la información, se realiza su organización y limpieza, para proceder con el diseño y creación de la base de datos¹⁴ dentro del manejador PostgreSQL para almacenar los datos obtenidos y, que pueda tener conexión con el entorno de desarrollo, siguiendo el modelo de entidad relación, se vincularon las rutas levantadas en campo previamente manipuladas en software SIG (QGis), en formato GeoJSON, así mismo se automatizaron los formatos en papel de las corridas de cada ruta creando la tabla de horarios y, por último se obtuvieron las coordenadas respectivas al nuevo sistema de paradas de transporte público para el municipio de Toluca (Ayuntamiento de Toluca, 2021).

Figura 9. Modelo entidad relación



Fuente: elaboración propia, 2025.

6.2 Backend: estructura e implementación (FastAPI, PostGIS)

El componente servidor del prototipo se concibe como una API RESTful desarrollada en Python, debido a la madurez de su ecosistema científico y a la abundancia de bibliotecas orientadas al procesamiento de datos geoespaciales. El framework FastAPI¹⁵ se seleccionó

¹⁴ Modelo de datos utilizada para administrar datos y realizar representación de problemas reales, estructurado mediante tablas (López Herrera, 2011).

¹⁵ Moderno framework para la creación de APIs con lenguaje Python, y que es de alto rendimiento (Tiangolo, S, s.f.).

sobre otros con Flask, Django REST Framework y Falcon, atendiendo a su capacidad para: explotar la tipificación estática de Python (type hints) y con ello autogenerar documentación (ver anexo 2) OpenAPI en tiempo real y, ofrecer un modelo de concurrencia asíncrona basado en `async16/await`, que incrementa el rendimiento bajo cargas de solicitudes elevadas.

La constancia de datos se delega a PostgreSQL extendido con el módulo PostGIS 3.6 (OSGeo Project, 2025), lo que proporciona funciones nativas (`ST_DWithin`, `ST_Contains`, `ST_LineMerge`, entre otras) indispensables para consultas espaciales en tiempo casi real y que tiene compatibilidad con estándares internacionales (Simple Features ISO/IEC 13249-3 (OsGeo, 2025)), condición necesaria para la interoperabilidad futura con otros sistemas de información geográfica.

La capa de acceso a datos se implementa mediante el adaptador `psycopg2`, mientras que la modelización de dominio utiliza Pydantic para validar y serializar entidades como ruta, parada, horario y las geometrías (punto, polilínea y línea).

La arquitectura modular de la API se organiza en routers temáticos (p. ej., `/rutas`, `/paradas`, `/horarios`), lo que mejora la cohesión de cada módulo y simplifica la extensión futura del servicio. Cada endpoint integra:

1. Gestión de errores centralizada (`HTTPException`, control transaccional);
2. Paginación y filtrado por parámetros geoespaciales;
3. CORS preconfigurado para permitir el consumo desde el cliente Android.

En la fase actual, el sistema se ejecuta en un entorno localhost para pruebas controladas; no obstante, el framework permite a futuro la escalabilidad a un servidor en la nube.

En síntesis, la combinación FastAPI + PostGIS proporciona una base robusta y reproducible para la investigación aplicada en geotecnologías, capaz de sostener operaciones espaciales

¹⁶ Calidad por la que dos ordenadores pueden enviar datos sucesivamente o en serie (Hernández Rodríguez et al., 2018)

avanzadas y, al mismo tiempo, mantener la flexibilidad necesaria para iteraciones evolutivas del prototipo.

6.3 Frontend: desarrollo de la app (Android, Jetpack Compose, Hilt)

Para el frontend, la aplicación móvil se construyó para la plataforma Android, utilizando Kotlin como lenguaje de programación principal. La interfaz de usuario se desarrolla con Jetpack Compose¹⁷, lo que agiliza el desarrollo y mejora la reactividad de la interfaz. Para la gestión de dependencias y la inyección de objetos en la aplicación, se emplea *Hilt*, una solución de inyección de dependencias basada en *Dagger*¹⁸, que simplifica la arquitectura y la estabilidad del código de la aplicación.

6.4 Funcionalidades principales

La integración con funcionalidades de mapeo es fundamental. La aplicación utiliza las librerías de *Google Maps Compose* para renderizar el mapa directamente en la UI de Jetpack Compose, y se apoya en el *SDK de Google Map*¹⁹s y la *API de Google Place*²⁰s para la obtención de detalles geográficos de ubicaciones. La gestión de la ubicación del usuario se realiza a través de las *APIs* de servicios de ubicación de *Google Play Services*.

6.5 Limitaciones técnicas actuales

Durante el desarrollo y ejecución, se detectaron una serie de limitaciones actuales en el ámbito técnico, primordialmente la ausencia de repositorios públicos de datos, como lo son

¹⁷ Es el kit de herramientas de Android para el desarrollo de interfaces de usuario (UI), que resulta ser bastante moderno y simplifica la implementación (Google, 2025)

¹⁸ Framework que automatiza la inyección de dependencias (relación entre componentes), evitando que el desarrollador tenga que escribir código para crear y conectar objetos, y que es de código abierto (Google, 2025).

¹⁹ es un kit de desarrollo conformado por herramientas y bibliotecas para la integración de mapas interactivos de Google maps, es comúnmente utilizado por desarrolladores (Google, 2024).

²⁰ Servicio que permite a desarrolladores poder incorporar información de la ubicación de establecimientos, negocios y puntos de interés del área geográfica que se visualiza en una aplicación, servicio web, etc. (Google, 2025)

rutas y paradas, obligó a levantamientos de campo y a validaciones manuales, retrasando el cronograma original.

En cuanto a la cobertura de funcionalidades el prototipo alcanza $\approx 70\%$ de los objetivos iniciales; quedaron pendientes módulos complejos, dependientes de terceros o de costos externos, por ejemplo:

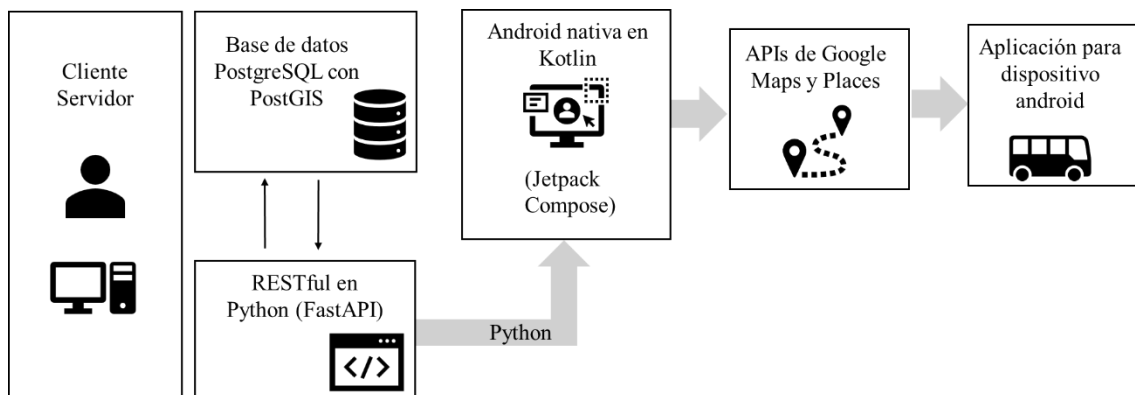
- Rastreo de unidades en tiempo real:
 - requiere instalación de GPS en todas las unidades, conectividad celular o satelital, un servidor de telemetría robusto y cumplimiento de regulaciones de la autoridad de transporte, lo que implica costos de hardware, datos y operación que la empresa aún no asume.
- Búsqueda origen-destino en transporte público:
 - el algoritmo debe considerar rutas predefinidas, horarios, transbordos y distancia a pie; la lógica actual sólo soporta consultas “ruta-única” y se deshabilitó en producción.
- Distribución desigual de paradas oficiales:
 - hasta el momento los esfuerzos por definir paradas sólo se han aplicado al centro de Toluca; el algoritmo de paradas cercanas se complica en periferia y requiere datos adicionales de transbordo y modos mixtos.
- Integración con Google Maps Transit:
 - La carga de archivos GTFS implica trámites y coordinación institucional, pero además genera costos, por ejemplo: a partir de 10 000 llamadas/mes, Google factura en promedio \$5 por cada 1000 solicitudes adicionales; con cerca de 1.8 M de habitantes esto escala rápidamente.

Solo por mencionar algunos ejemplos concretos, y que sumado a las actualizaciones de las librerías utilizadas exigieron refactorizaciones de interfaz y reintegración de dependencias, por último, respecto al entorno de despliegue que fue por medio de localhost; falta migrar a infraestructura de producción (cloud o servidor on-premise), configurar y escalar la base de datos.

6.6 Arquitectura general y diagrama de clases y

El desarrollo del prototipo se sustenta en una arquitectura modular y escalable que combina tanto componentes del lado del cliente (frontend) como del servidor (backend). En la **Figura 10** se ilustra la arquitectura general del sistema, la cual adopta un enfoque basado en servicios y responde al patrón MVVM (Modelo-Vista-ViewModel) en el cliente, mientras que en el servidor se implementa una API RESTful desarrollada en Python con FastAPI. Esta arquitectura permite separar responsabilidades, facilitar el mantenimiento del código y habilitar futuras extensiones funcionales.

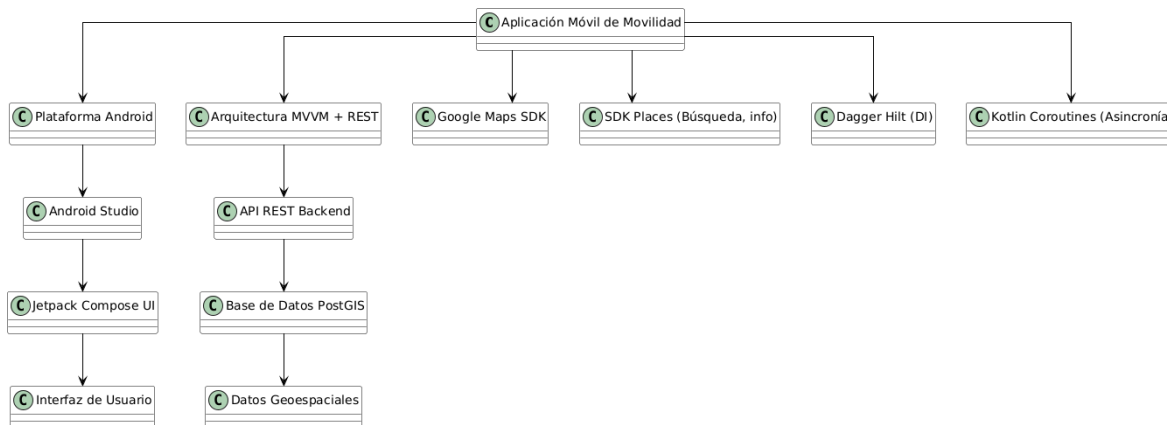
Figura 10. Arquitectura frontend-backend



Fuente elaboración propia, 2025

Por otra parte, la *figura 11* presenta un diagrama conceptual del sistema, representado como un diagrama de clases UML simplificado. Este diagrama permite visualizar los principales módulos del sistema, así como sus relaciones jerárquicas y de dependencia. Se distinguen componentes clave como la plataforma Android, el backend con base de datos geoespacial PostGIS, y tecnologías integradas como Jetpack Compose, Dagger Hilt y corutinas Kotlin para la gestión de asincronía. Este modelo facilita la comprensión estructural del sistema y apoya la documentación técnica del desarrollo.

Figura 11. Diagrama de clases



Fuente elaboración propia, 2025

En conjunto, estas representaciones permiten evidenciar cómo el sistema fue concebido desde una perspectiva integral, incorporando tecnologías de vanguardia para el manejo de datos geoespaciales, la visualización en tiempo real y la experiencia de usuario, en concordancia con los objetivos planteados en el proyecto.

Resultados

7.1 Pruebas realizadas

Se realizaron una serie de pruebas a la aplicación desarrollada por medio de dos medios, el primero corresponde al emulador²¹ digital integrado en Android studio y en un dispositivo móvil, tomando como referencia los requerimientos funcionales y no funcionales, se evalúa el tiempo de lanzamiento de la app, validando que en el emulador la secuencia (ver anexo 1) es mucho más ágil que la que se presentó en el dispositivo físico, en dónde se presentaron algunos inconvenientes con la renderización de los servicios de Google, ocasionando que las secuencias se vieran tardías y en algún punto pausadas.

²¹ Tipo de programa que permite compatibilidad entre diferentes máquinas.

7.1.1. Evaluación de funcionalidades

Algunos de los elementos evaluados se detallan en la siguiente tabla, tomando como referencia los requerimientos del software, determinando como *satisfactorio* los casos donde se cumplen los criterios y *no satisfactorio*, para los casos que no alcanzan el cumplimiento.

Tabla 4. Resultado de pruebas funcionales

Id	Caso de prueba	Descripción	Resultado
PF01	Solicitar acceso a los servicios de ubicación	La aplicación debe mostrar una alerta de dialogo para el usuario consultando su permiso	Satisfactorio
PF02	Mostar la ubicación del usuario y centrar el mapa	La aplicación debe mostrar en tiempo real la ubicación del usuario con exactitud	Satisfactorio
PF03	Mostar lista de rutas	La aplicación debe mostrar una ventana con las rutas disponibles y su información	Satisfactorio
PF04	Selección y visualización de ruta	La aplicación debe permitir selección de cualquier ruta en el listado y dibujar el trazo completo en el mapa	Satisfactorio
PF05	Mostrar paradas cercanas definidas	La aplicación debe comprobar las paradas localizadas a no más de 50 m de distancia de la ruta seleccionada y agregarlas a la vista del mapa	Satisfactorio
PF06	Dibujar paradas cercanas a la ubicación del usuario	La aplicación debe mostrar únicamente las paradas cercanas a la ubicación real del usuario en un radio no mayor a 1 km de distancia.	Satisfactorio
PF07	Mostar horarios de la ruta seleccionada	La aplicación activará la función de mostrar horarios a petición del usuario, por medio de una lista conteniendo únicamente los horarios próximos dentro de un lapso de 60 minutos.	Satisfactorio
PF08	Mostrar tráfico	La aplicación debe mostrar el estado del tráfico de cualquier zona que el usuario centre en el mapa	Satisfactorio
PF09	Reestablecer pantalla	La aplicación debe limpiar las selecciones realizadas por el usuario	Satisfactorio
PF10	Buscar rutas	La aplicación debe filtrar las rutas por cercanía a los puntos de origen y destino que el usuario defina	No satisfactorio

Fuente elaboración propia

Mientras que la comprobación de los aspectos no funcionales se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Resultado de pruebas funcionales

Id	Caso de prueba	Descripción	Resultado
PNF01	Accesibilidad	La aplicación debe ser intuitiva y de fácil manipulación, reduciendo al mínimo el número de interacciones del usuario a los elementos contenidos	Satisfactorio

PNF02	Recuperación	La aplicación debe seguir ejecutándose correctamente una vez que se recupere la conexión	Satisfactorio
-------	--------------	--	---------------

Fuente elaboración propia

Las pruebas realizadas demuestran que las funcionalidades se presentan de manera correcta, al verificar cada solicitud por el usuario a la aplicación, alcanzando un cumplimiento del 90% en las pruebas de requerimientos funcionales, y el 100% en los no funcionales.

7.2 Alineación con objetivos

El desarrollo del prototipo demuestra una estrecha correspondencia con los objetivos establecidos en la etapa inicial de esta investigación. En términos generales, la aplicación permite consultar rutas, paradas, horarios y la ubicación del usuario en el sistema de transporte público de la empresa “Servicios Urbanos y Suburbanos Xinantecátl S.A. de C.V.”, cubriendo funcionalmente la meta central del proyecto.

Desde una perspectiva técnica, el sistema integra satisfactoriamente componentes geoespaciales, interfaz intuitiva, e interacción en tiempo real, lo cual responde directamente a los objetivos específicos vinculados con el diseño de base de datos georreferenciada (PostGIS), la implementación del backend (FastAPI) y el desarrollo de una interfaz adaptada a dispositivos móviles Android. Asimismo, se logró la integración de funcionalidades clave como la visualización de rutas, paradas cercanas y horarios dinámicos, lo cual valida el cumplimiento del objetivo orientado a mejorar la experiencia del usuario y su planificación de desplazamientos urbanos.

Aunque el prototipo aún presenta limitaciones en cuanto a funcionalidades más complejas (como el rastreo en tiempo real de unidades o la búsqueda óptima origen-destino), la arquitectura modular y la documentación del código permiten futuras iteraciones que fortalecerán y ampliarán las capacidades actuales de la aplicación, manteniendo así la alineación metodológica con el modelo de desarrollo basado en prototipos.

Conclusiones

El desarrollo de esta aplicación, orientada al servicio de transporte público, representa un hito significativo en la digitalización de la infraestructura para la zona de estudio. Actualmente, esta región carece de una infraestructura geotecnológica adecuada debido a la escasez de datos públicos y estructurados, por lo que podemos resaltar los siguientes aportes y validaciones generales.

Al concentrar datos validados de rutas, horarios y paradas en un solo servicio, la aplicación puede reducir la incertidumbre del usuario, mejorar la planificación de viajes y favorecer la transición hacia una movilidad más inteligente y sustentable.

La segregación en módulos (MVVM, REST, separación frontend/backend) facilita migrar el prototipo a servidores productivos y añadir funcionalidades futuras—por ejemplo, rastreo de flota cuando se disponga de datos, propiciando una arquitectura escalable.

La combinación de FastAPI + PostGIS en el backend y Jetpack Compose en el frontend evidenció ser una metodología adecuada para aplicaciones geoespaciales en tiempo casi real.

El proyecto muestra la necesidad y el valor público de repositorios abiertos de rutas y paradas; su ausencia ralentiza la innovación y encarece el desarrollo tecnológico.

Sin duda alguna, la búsqueda de mejoras en los servicios de transporte requiere coordinación entre empresa concesionaria, autoridades y academia para costear infraestructura (GPS, servidores) y asegurar la interoperabilidad (GTFS).

Finalmente, este ejercicio deja líneas de investigación abiertas en aspectos consistentes a la integración de algoritmos de optimización multimodal, análisis predictivo de demanda y módulos de accesibilidad universal; evaluar impacto ambiental y social tras su despliegue real.

Referencias

- Álvarez Rodríguez, F. J. (2020). *Diseño de modelo arquitectónico para la implementación de transporte urbano bajo las arquitecturas de movilidad inteligente de Smart Cities y el uso de Cloud Computing*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/11317/1802>
- Arimetrics. (2024). *Glosario Digital*. Recuperado el 22 de noviembre de 2024: <https://www.arimetrics.com/glosario-digital>
- Ayuntamiento de Toluca. (2021). *Nuevo sistema de paradas de transporte público en el municipio de Toluca*. Ayuntamiento de Toluca: <https://www2.toluca.gob.mx/wp-content/uploads/2021/12/tol-pdf-imp-Nuevo-sistema-paradas-TP-Toluca.pdf>
- Badillo Brito, A. (2024). *Estimación de la demanda del transporte público con datos abiertos, en Nezahualcóyotl, Estado de México [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]*. Repositorio Institucional. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.11799/141133>
- Bouso Otero, R. (2015). *Desarrollo de una app de servicios relacionados con los transportes públicos para ciudades inteligentes*. <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26594/108719.pdf>
- Bustos, J. L. (9 de septiembre de 2024). *¿Qué es la programación orientada a eventos?* Keepcoding: <https://keepcoding.io/blog/que-es-la-programacion-orientada-a-eventos/>
- Buzai, G. D. (2005). Geografía Global. Paradigma geográfico para el análisis socioespacial interdisciplinario. *SIG-SUL 2005. Simpósio Integrado de Geotecnologías do Cone Sul, Vol. 1*. Canoas. https://www.researchgate.net/publication/299398136_Geografia_Global_Paradigma_geografico_para_el_analisis_socioespacial_interdisciplinario
- Cardozo, O., Gómez, E., y Parras, M. (2009). Teoría de Grafos y Sistemas de Información Geográfica aplicados al Transporte Público de Pasajeros en Resistencia (Argentina). *Revista Transporte y Territorio*(1), 89-111.
- Cariño Huerta, G., y Fuentes Flores, C. (2022). Movilidad inteligente en la creación de valor público para usuarios del Metrobús en la Ciudad de México. *Revista de Urbanismo*(46), 40-56. <https://doi.org/https://doi.org/10.5354/0717-5051.2022.64500>.
- Celi Ortega, S. F. (2018). Análisis del comportamiento del transporte público a nivel mundial. *Espacios*, 39(18), 10.
- Centro Mario Molina. (2014). Estudio del sistema integral de movilidad sustentable para el valle de Toluca. *Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente*, pp. 1-6.
- Cortés Salinas, A., y Rojas-Symmes, L. (2021). Transporte, movilidad y accesibilidad: campos y métodos emergentes para el análisis geográfico contemporáneo. *Revista Científica de Ciencias Sociales y Humanas*(79), 10-23.

- Delgado Pérez, E., y Delgado May, V. (2022). "SMART-ROUTE-BUS" APP dinámica para tu viaje en transporte público. *VinculaTécnica EFAN*, 8(2), 165-177. <https://doi.org/https://doi.org/10.29105/vtga8.2-342>
- Fernández Romero, Y., y Díaz González, Y. (2012). Patrón Modelo-Vista-Controlador. *Revista Telem@tica*, 11(1), 47-57. <https://doi.org/https://www.academia.edu/download/38870522/15-42-2-PB.pdf>
- García, X. (27 de abril de 2024). *Lanzan Muevetex, app que mapea rutas del transporte público en el valle de Toluca*. El Sol de Toluca: <https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/lanzan-muevetex-app-que-mapea-rutas-del-transporte-publico-en-el-valle-de-toluca-11776103.html>
- Gasca Mantilla, M. C., Camargo Ariza, L., y Medina Delgado, B. (2014). Metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles. *Tecnura*, 18(40), 20-35. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.2.a02>
- GEM. (2022). *Programa Metropolitano para la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Versión ejecutiva*. <https://doi.org/https://sedui.edomex.gob.mx/sites/sedui.edomex.gob.mx/files/files/VERSIO%CC%81N%20EJECUTIVA%20PMZMVT%20PARA%20PUBLICACIO%CC%81N%20EN%20PORTAL%20DE%20LA%20SEDUO.pdf>
- GEM. (25 de noviembre de 2022). *Programa Metropolitano para la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Versión ejecutiva*. Gaceta de Gobierno del Estado de México, núm. 98, tomo CCXIV: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2022/noviembre/nov251/nov251c.pdf>
- Geografía UdeC. (01 de mayo de 2025). *Geografía - Universidad de Concepción*. Geotecnologías: <https://geografia.udec.cl/geo-tecnologias/>
- Girón Sevillano, Á. (2021). *Metodologías de gestión de proyectos. Estudio comparativo y propuesta de guía de elección*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. <https://doi.org/https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/93363/>
- Gobierno de México. (2020). *Metrópolis de México 2020*.
- Gobierno de México. (2023). *Comisión Ambiental de la Megalópolis. ¿Qué es la movilidad sustentable?:* <https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/que-es-la-movilidad-sustentable?idiom>
- Gómez Ramos, C. D., González Guzmán, Y. V., y Ruiz Flórez, O. F. (17 de abril de 2023). *Diseño de un prototipo de aplicación móvil con la integración de la tecnología Near Field Communication para conocer el nivel de ocupación en tiempo real del Sistema Integrado de Transporte en Bogotá [Proyecto de Grado, Universidad EAN]*. Repositorio. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10882/12928>
- Google. (9 de mayo de 2024). *Google Maps Platform*. Maps SDK for Android: <https://developers.google.com/maps/documentation/android-sdk/overview?hl=es-419>

- Google. (2025). *Google for developers*. Google Transit: <https://developers.google.com/transit?hl=es-419>
- Google. (10 de junio de 2025). *Google for Developers*. Get started with Jetpack Compose: <https://developer.android.com/compose>
- Google. (10 de junio de 2025). *Google for Developers*. App architecture: <https://developer.android.com/training/dependency-injection/hilt-android>
- Google. (13 de junio de 2025). *Google for Developers*. Places SDK for Android: <https://developers.google.com/maps/documentation/places/android-sdk/overview?hl=es-419>
- Google. (2025). *Google Maps Platform*. Precios flexibles para satisfacer tus necesidades: https://mapsplatform.google.com/intl/es-419_mx/pricing/
- Gutiérrez, A. (2012). ¿Qué es la movilidad? Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. *Bitácora* 21, 2, 61-74.
- Hernández Rodríguez, R., Huerta Organista, R. A., y Hernández Rodríguez, N. A. (2018). *Glosario Informático*. Universidad de Guadalajara. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/344903159_Glosario_Informatico_Compendio_de_terminos_informaticos
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill.
- Hinojosa Reyes, R., Jiménez Sánchez, P., y Campos Alanís, J. (2014). Transporte y calidad de vida en el área metropolitana de Toluca. En M. Quintero Soto, S. Padilla Loredo, y E. Velázquez Rodríguez, *Aplicaciones de la Transdisciplina en los Sistemas de Información, Salud, Transporte y Comercio*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- IBM. (10 de diciembre de 2024). *IBM InfoSphere Information Server 11.7.0*. Modelo UML (Unified Modeling Language): <https://www.ibm.com/docs/es/iis/11.7.0?topic=types-unified-modeling-language-uml-model>
- IBM. (24 de abril de 2025). *¿Qué es la API REST?* IBM: <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/rest-apis>
- INEGI. (2020). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. México en Cifras: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#tabMCcollapse-Indicadores>
- Instituto Mexicano de Competitividad. (29 de enero de 2019). *Índice de movilidad urbana*. base de datos: <https://imco.org.mx/indices/indice-de-movilidad-urbana/>
- JetBrains. (29 de abril de 2022). *Kotlin para desarrolladores de Android*. Recuperado el 22 de noviembre de 2024: <https://developer.android.com/kotlin?hl=es-419>
- Jiménez J., J. J., y et. al. (2010). Transporte y movilidad en el marco de la sustentabilidad y competitividad de la ciudad posmoderna. *Quivera Revista de estudios territoriales*, vol. 12, núm. 1, pp. 70-76.
- López Herrera, J. (2011). *Programación en tiempo real y bases de datos: un enfoque práctico*. Iniciativa Digital Politécnica. <https://doi.org/10.5821/ebook-9788476536865>

- Martínez Canelo, M. (4 de junio de 2024). *Programación Orientada a Eventos: Introducción y conceptos*. Profile: <https://profile.es/blog/programacion-orientada-a-eventos/>
- Martínez Carazo, P. C. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & gestión*(20), 165-193. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/646/64602005.pdf>
- MH Riley Ltd. (12 de agosto de 2024). *Google Play Store (42.3)*. [Aplicación móvil].
- Millán Lagunas, M. (2024). *Movilidad Urbana desde la sustentabilidad. Caso de estudio: Ciudad de Toluca, Estado de México [Tesis doctoral, Universidad Autónoma del Estado de México]*. Repositorio Institucional. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.11799/140643>
- Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica*.
- Moovit International Ltd. (20 de noviembre de 2024). *Moovit: Planificador de rutas (Versión 5.1) [Página web]*. Moovit: <https://moovitapp.com/>
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de información Geográfica*.
- ONU, GM e INEGI. (30 de ABRIL de 2024). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: <https://agenda2030.mx/ODSGoalSelected.html?ti=T&cveArb=ODS0110&goal=0&lang=es#/ind>
- Oracle. (21 de septiembre de 2023). *Desarrollo de aplicaciones modernas basadas en eventos*. <https://docs.oracle.com/es/solutions/mad-event-driven/index.html#GUID-71E1367B-4DA6-4C17-B4C7-C5E6097573BB>
- Oracle. (2025). *¿Qué es la tecnología Java y por qué la necesito?* Java.com: https://www.java.com/es/download/help/whatis_java.html#:~:text=Java%20es%20una%20plataforma%20inform%C3%A1tica,crean%20muchos%20servicios%20y%20aplicaciones.
- OsGeo. (06 de junio de 2025). *PostGis*. Chapter 12. PostGIS Special Functions Index: https://postgis.net/docs/manual-3.4/es/PostGIS_Special_Functions_Index.html
- OSGeo Project. (16 de junio de 2025). *PostGIS*. Manual PostGIS 3.6.0dev: <https://postgis.net/docs/manual-dev/es/index.html>
- Osorio Arjona, J., y García Palomares, J. C. (2017). Nuevas fuentes y retos para el estudio de la movilidad urbana. *Cuadernos Geográficos*, vol. 56, núm. 3, pp. 247-267.
- Pérez Prada, F., Velázquez Romero, G., Fernández Añez, V., y Dorao Sánchez, J. (2015). Movilidad Inteligente. *Economía industrial*, 111-121.
- Python Software Foundation. (3 de junio de 2025). *El tutorial de Python 3.13*. Documentación: <https://docs.python.org/es/3.13/tutorial/index.html>
- Recio Hernández, A. (2024). *Propuesta para una aplicación de transporte urbano desde el DCU: Urbanos Guadalajara [Evaluación, fase final y memoria, Univeritat Oberta de Catalunya]*. Repositorio Institucional. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10609/150946>

- Rodríguez Camacho, G. (2023). *Sincronización de semáforos utilizando inteligencia artificial para el control del flujo vehicular en la Ciudad de Toluca [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]*. Repositorio Institucional. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.11799/140186>
- Rodríguez, J. (8 de noviembre de 2023). *Marketing4eCommerce*. Uber, DiDi, InDrive: cuáles son las apps de movilidad disponibles en México...y cuál te conviene más: <https://marketing4ecommerce.mx/uber-didi-cabify-beat-apps-de-movilidad-disponibles-en-mexico/>
- Rodríguez, M. C. (20 de enero de 2021). *Milenio*. Línea de camiones "Xinantécatl" lanza APP para monitorear viajes en tiempo real: <https://www.milenio.com/politica/comunidad/camiones-xinantecatll-lanzan-app-monitorear-viajes-real>
- Rojas Ramírez, R. C. (01 de mayo de 2019). *Diagnóstico de la oferta y demanda del sistema del transporte público de la zona metropolitana del Valle de Toluca, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica*. Repositorio Institucional: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/106241/UAEM-Proyecto-Roberto-Rojas.pdf?sequence=3>
- Sánchez Sánchez, J. A. (2017). *Redes Vehiculares Aplicadas a la Movilidad Inteligente y Sostenibilidad Ambiental en Entornos de Ciudades Inteligentes [Tesis doctoral, Universidad de Oviedo]*. Repositorio Institucional de la Universidad de Oviedo. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10651/45013>
- Saus, M. (2023). Estado del arte sobre desarrollo urbano y transporte: revisando herramientas para América Latina. *Economía, Sociedad y Territorio*, XXIII(73), 991-1016. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22136/est20231894>
- SEMOVI. (23 de abril de 2024). *Movilidad CDMX (v5.9)*. [Aplicación móvil].
- Servicios urbanos y suburbanos Xinantecátl S.A. de C.V. (2024). *Área de servicio*.
- Sy Corvo, H. (30 de marzo de 2020). *Programación orientada a eventos: características, ejemplos, ventajas, aplicaciones*. Lifeder: <https://www.lifeder.com/programacion-orientada-a-eventos/>
- Tiangolo, S. (s.f.). *FastAPI*. <https://fastapi.tiangolo.com/>
- UNAM. (01 de mayo de 2018). *Unidad de Apoyo para el Aprendizaje*. Lenguajes de Programación: https://repositorio-uapa.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/2655/mod_resource/content/1/UAPA-Lenguajes-Programacion/index.html#contenido
- WBCSD. (agosto de 2001). *Movilidad 2001. Perspectiva general*. World Business Council for Sustainable Development: <https://www.wbcd.org/contentwbc/download/2639/33261>
- Wilmsmeier, G. (2015). *Geografía del transporte de carga*. Naciones Unidas.
- Yalla ya SAPI de CV. (8 de octubre de 2024). *Metro-Metrobús México. Aplicación móvil*. v3.81: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.yallaya.metrometrobus&hl=es_MX.

Anexo 1. Secuencia de funciones

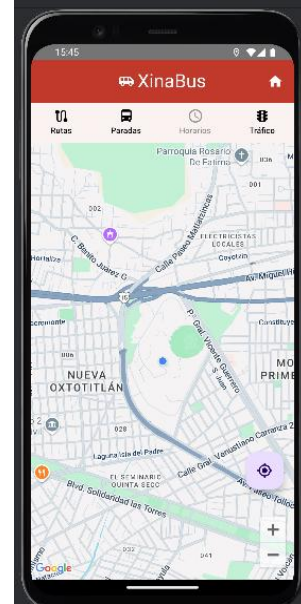
a) Apertura de aplicación



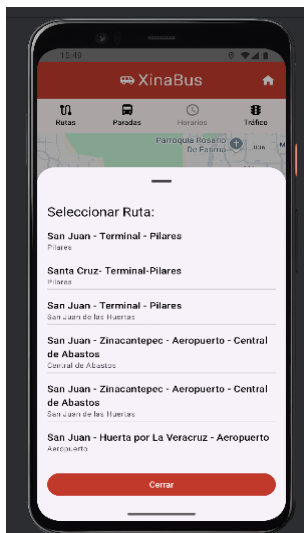
b) Permisos de ubicación



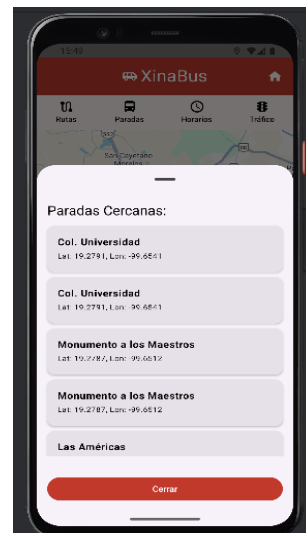
c) Pantalla principal



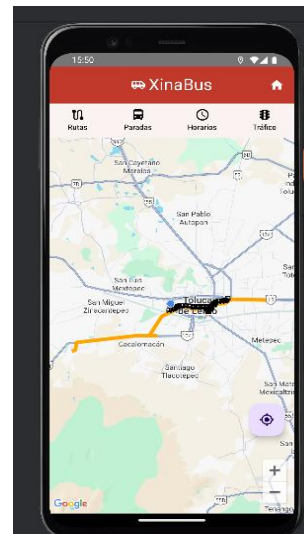
d) Botón rutas



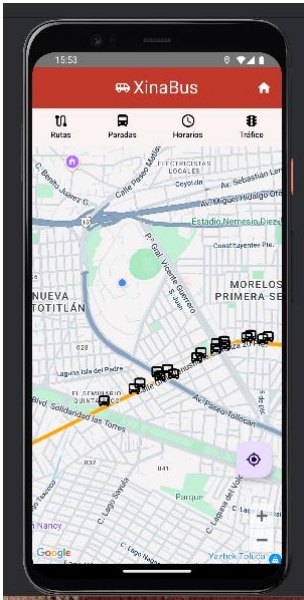
e) Muestra datos de las paradas cercanas a la ruta



f) Muestra la ruta con las paradas establecidas



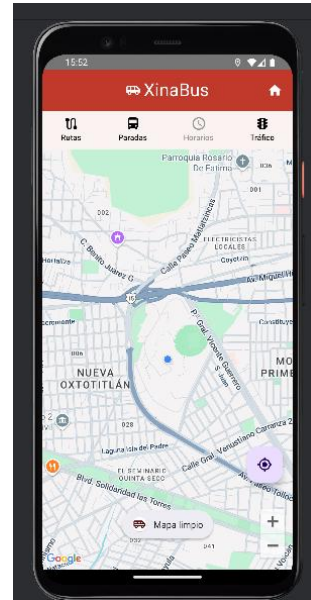
g) Botones: ubicación



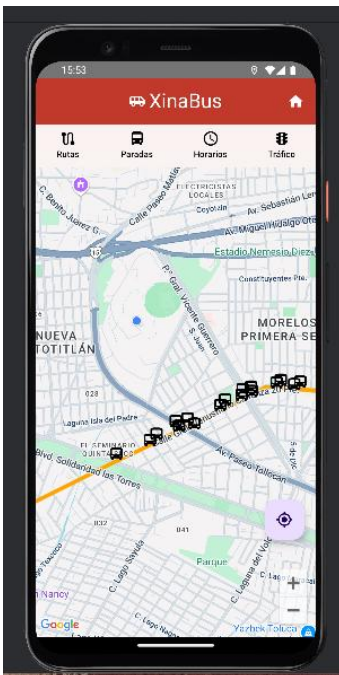
h) Botones: horarios



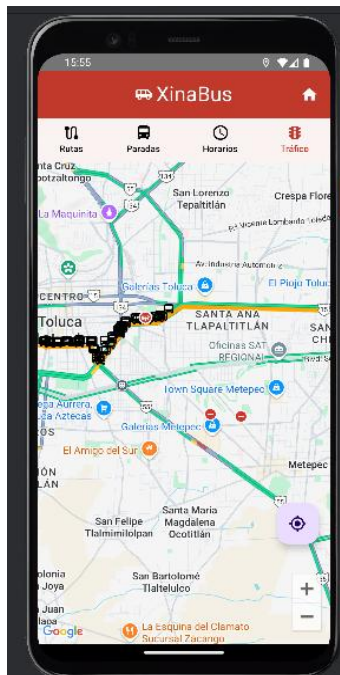
i) Botón: home



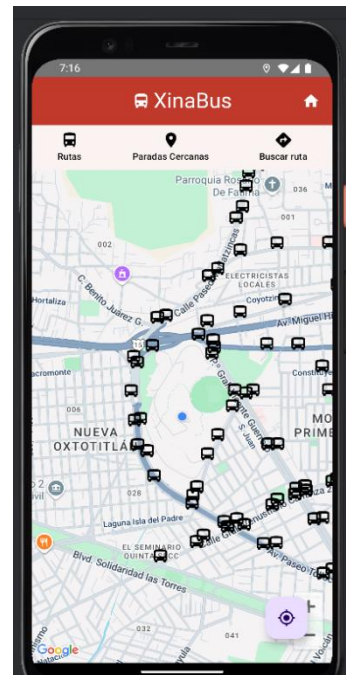
j) Botones de zoom in/out



k) Botón tráfico



l) Botón paradas



Anexo 2. Backend

Ilustración Activación de backend

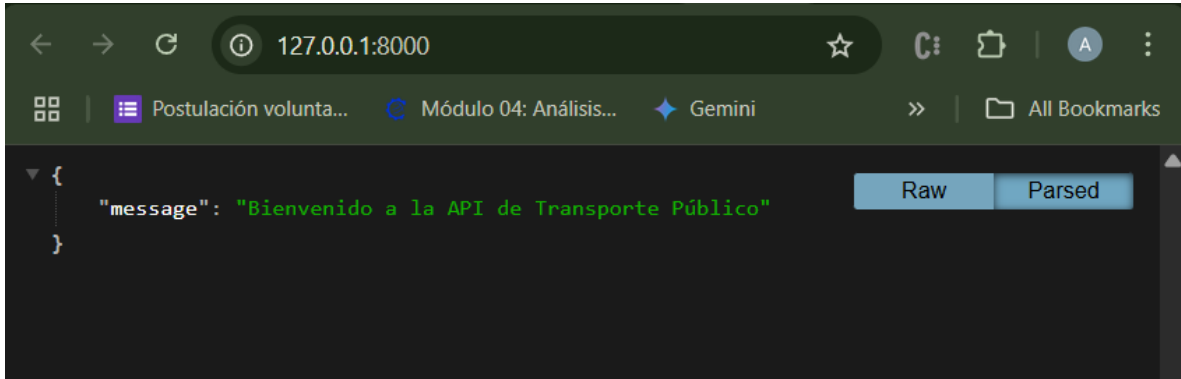


Ilustración Documentación de backend

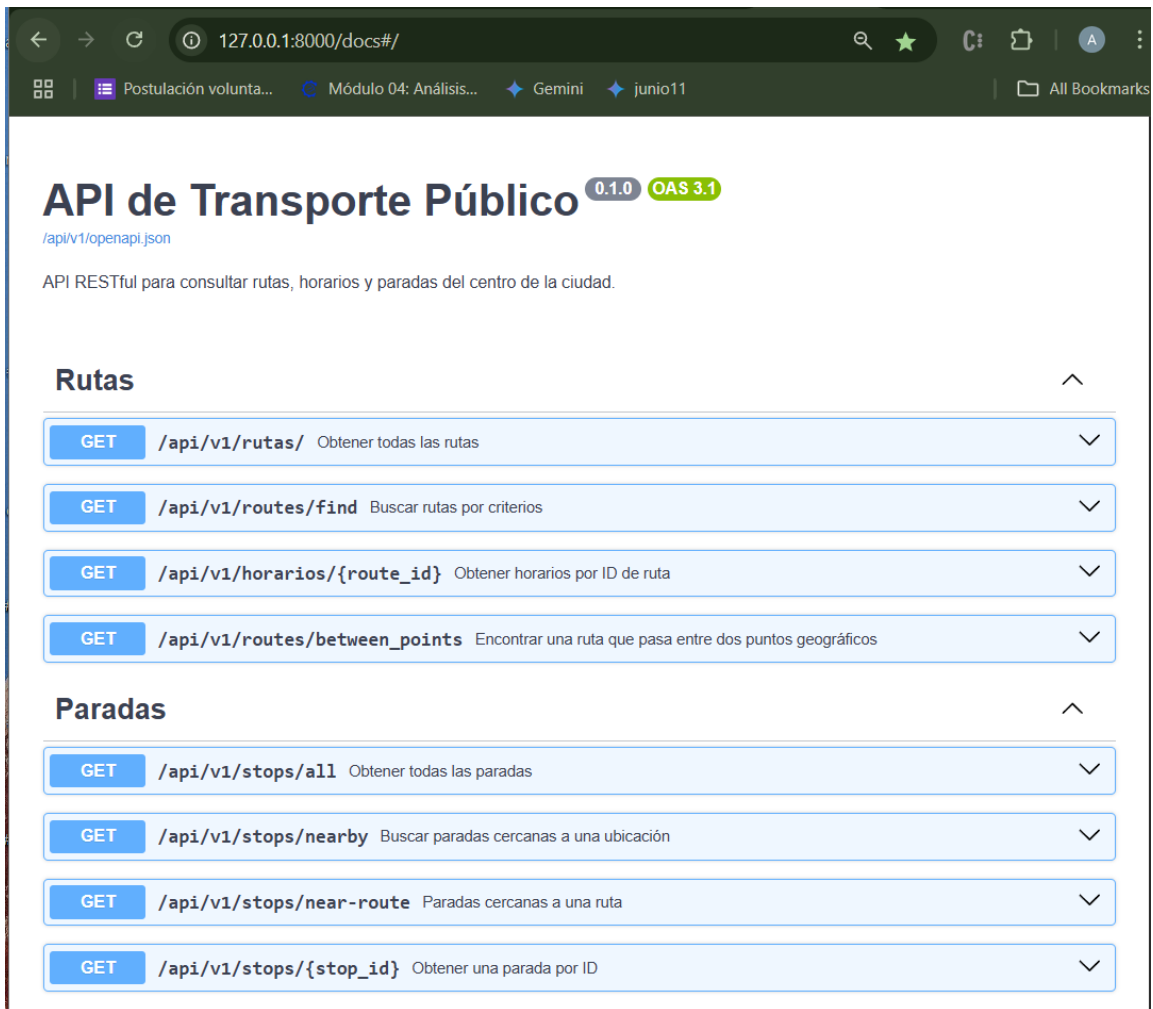
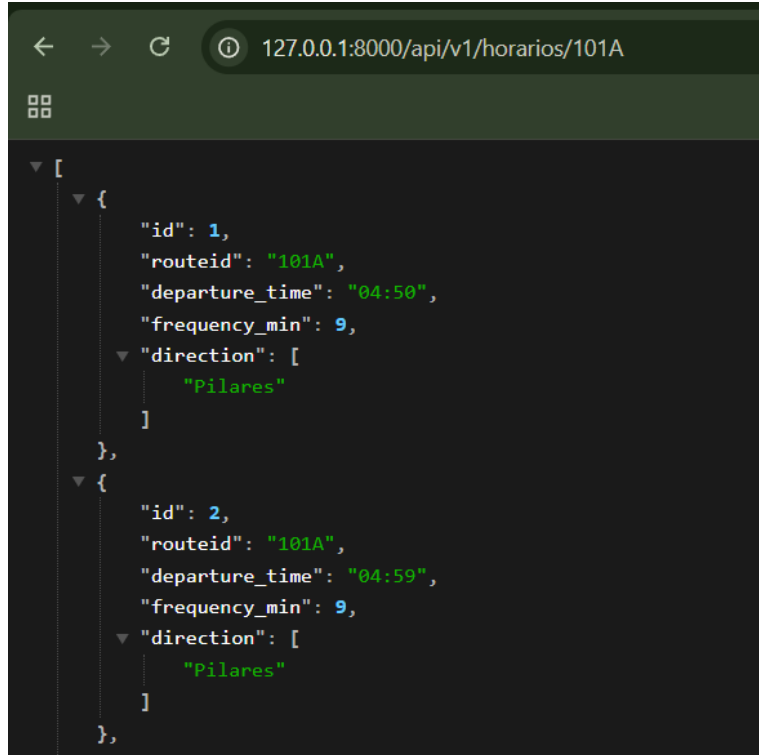


Ilustración Consulta de horarios en backend



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying `127.0.0.1:8000/api/v1/horarios/101A`. The main content area shows a JSON response for a query, rendered in a dark-themed editor. The response is an array of two objects, each representing a bus schedule entry. The first entry has an ID of 1, a route ID of "101A", a departure time of "04:50", a frequency of 9, and a direction of "Pilares". The second entry has an ID of 2, a route ID of "101A", a departure time of "04:59", a frequency of 9, and a direction of "Pilares".

```
[
  {
    "id": 1,
    "routeid": "101A",
    "departure_time": "04:50",
    "frequency_min": 9,
    "direction": [
      "Pilares"
    ]
  },
  {
    "id": 2,
    "routeid": "101A",
    "departure_time": "04:59",
    "frequency_min": 9,
    "direction": [
      "Pilares"
    ]
  }
],
```