



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estado del arte de parámetros clave y herramientas de
monitoreo de transporte público. Caso de estudio: Piura**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Nicolas Rafael Almestar Columbus

Asesor:
Mgtr. Ing. Jenny Carolina Sánchez Ramírez

Piura, enero de 2026

Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Nicolas Rafael Almaster Columbus, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI: 70907906, declaro que:

Soy autor del trabajo final titulado:

"Estado del arte de parámetros clave y herramientas de monitoreo de transporte público. Caso de estudio: Piura"

El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil.

El texto de mi trabajo final es original y no vulnera los derechos de terceros o, de ser el caso, derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para lo cual, he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas. Asimismo, el texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico; y que la investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

En caso de detectarse el incumplimiento de lo declarado asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

La asesoría del trabajo estuvo a cargo de los siguientes docentes de la Universidad de Piura:

- Mgtr. Ing. Jenny Carolina Sánchez Ramírez, identificado con DNI: 72748177

Declaro (declaramos) que:

Luego de haber empleado el software de coincidencia Turnitin, revisado las fuentes de información señaladas por el autor, y en razón de mi (nuestra) experiencia como investigador(es), declaro (declaramos) que las ideas expuestas en el trabajo final alcanzan las condiciones de calidad, integridad y originalidad acorde a los objetivos institucionales y estándares en materia de investigación. Finalmente, no asumo (asumimos) responsabilidad por la posible vulneración de derechos de autor en el trabajo final referido, pues tal responsabilidad es exclusiva del autor.

Fecha: 08/01/2026.



.....
Firma del autor¹



.....
Firma del asesor¹

.....
Firma del co-asesor¹

.....
Firma del co-asesor¹

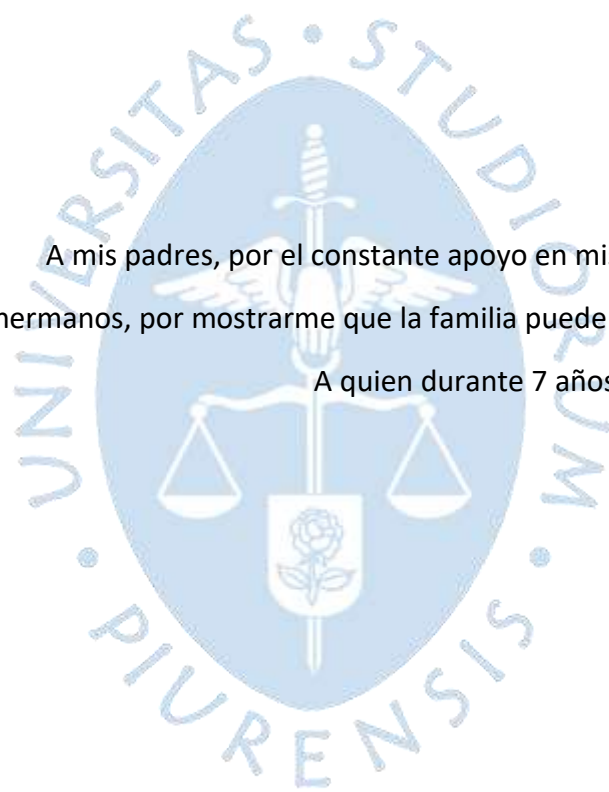
¹ Firma idéntica al DNI. No se admite digital, salvo certificado.

Dedicatoria

A mis padres, por el constante apoyo en mis proyectos académicos.

A mis hermanos, por mostrarme que la familia puede más que las diferencias.

A quien durante 7 años no dejó de creer en mí.





Agradecimientos

A la Ing. Jenny por su gran compromiso y paciencia en la asesoría de este proyecto.

Resumen

El sistema de transporte público en ciudades en vías de desarrollo enfrenta desafíos relacionados con la informalidad en la operación, falta de fiscalización estatal e incertidumbre en el servicio, lo que conlleva a un servicio poco atractivo para el usuario. La presente investigación aborda la problemática de la falta de sistemas de monitoreo de transporte público en la ciudad de Piura, Perú, los cuales han surgido como una óptima solución para entregar información en tiempo real tanto al pasajero como al operador del servicio.

El objetivo principal de la tesis es realizar una revisión bibliográfica sobre los parámetros clave y las herramientas tecnológicas utilizadas para el monitoreo del transporte público, con miras a una aplicación futura en Piura.

La metodología utilizada consistió en la búsqueda y análisis, a través de las principales bases de datos, como Google Scholar, Dialnet y ScienceDirect. Evaluándose casos de estudio para identificar las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) utilizadas, además de los parámetros que desarrollan los sistemas, clasificándolos por su orientación: hacia la gestión operacional o hacia la calidad del servicio al pasajero final.

Los resultados muestran que en los sistemas de monitoreo existen dos arquitecturas de diseño diferenciadas por el tipo de dispositivo emisor de datos GPS. Por un lado, se encuentran prototipos basados en smartphones como dispositivo central del sistema de Localización Automática de Vehículos (AVL), los cuales destacan por el bajo costo y rápida instalación, sin embargo, presentan limitaciones de autonomía y dependencia del factor humano. En cambio, se analizaron experiencias fundamentadas en hardware dedicado, como los microcontroladores, microprocesadores y localizadores comerciales, los cuales ofrecen una clara ventaja en cuestión de autonomía energética, integridad de los datos y resistencia a la manipulación, pues funcionan independientemente del conductor.

En este sentido, teniendo en cuenta las condiciones que caracterizan a la infraestructura vial y el sistema de transporte público de la ciudad de Piura, esta investigación propone una solución tecnológica viable basada en hardware dedicado. Dicha propuesta indica el uso de un sistema AVL compuesto por un localizador comercial para la toma de datos georreferenciados, mientras que, como producto final, se deben desarrollar dos plataformas: la primera, una página web de uso exclusivo de operadores, mediante la cual pueda visualizar en tiempo real la ubicación de vehículos, además de la capacidad de generar alertas automáticas en caso de conducciones irresponsables de parte del conductor, asimismo, la segunda plataforma, es una aplicación móvil con el objetivo de brindar información al pasajero, mediante la cual podrá recibir notificaciones cuando un bus de una línea especificada este próximo a llegar a su paradero.

Esta investigación aporta el inicio de una línea de investigación local enfocada en la modernización del servicio y establece los fundamentos técnicos para contribuir con el propósito de la ciudad de construir su propio Sistema Integrado de Transporte Público (SITP).



Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Introducción | 10 |
| Capítulo 1 Marco teórico..... | 11 |
| 1.1 Movilidad urbana sostenible | 11 |
| 1.2 Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) | 14 |
| 1.3 Transporte público urbano..... | 14 |
| 1.3.1 <i>Calidad en el transporte público urbano</i> | 15 |
| 1.3.2 <i>Clasificación del transporte público según demanda</i> | 17 |
| 1.3.3 <i>Clasificación del transporte según modo e infraestructura</i> | 17 |
| 1.3.4 <i>Sistemas Integrados de Transporte Público</i> | 18 |
| Capítulo 2 Metodología..... | 21 |
| 2.1 Etapa I: revisión bibliográfica | 21 |
| 2.1.1 <i>Fuentes de información y estrategia de búsqueda</i> | 21 |
| 2.1.2 <i>Criterios de selección</i> | 21 |
| 2.2 Etapa II: desarrollo del estado del arte | 22 |
| 2.2.1 <i>Presentación de experiencias de monitoreo de transporte público</i> | 22 |
| 2.2.2 <i>Definición de parámetros de análisis descriptivo</i> | 22 |
| 2.2.3 <i>Piura como caso de estudio: reflexión académica sobre la viabilidad de monitoreo de su transporte público</i> | 22 |
| Capítulo 3 Estado del arte de parámetros clave y herramientas de monitoreo de transporte público..... | 24 |
| 3.1 Herramientas para el monitoreo del transporte público..... | 25 |
| 3.1.1 <i>Monitoreo a través de dispositivo móvil: smartphone como sensor</i> | 26 |
| 3.1.2 <i>Monitoreo a través de hardware dedicado</i> | 30 |
| 3.1.3 <i>Síntesis de las herramientas de monitoreo identificadas</i> | 37 |
| 3.1.4 <i>Herramientas comerciales para el monitoreo del transporte público: Perú</i> | 39 |
| 3.2 Parámetros requeridos en el monitoreo del transporte público..... | 40 |
| 3.2.1 <i>Parámetros operacionales: orientados a los operadores</i> | 41 |
| 3.2.2 <i>Parámetros de calidad y fiabilidad: orientados al usuario</i> | 42 |
| Capítulo 4 Análisis preliminar de viabilidad del monitoreo de transporte público en Piura... 53 | 53 |
| 4.1.1 <i>Situación actual del transporte público en la ciudad de Piura</i> | 53 |
| 4.1.2 <i>Rutas diametrales de la ciudad de Piura</i> | 54 |
| 4.1.3 <i>Viabilidad de réplica en la ciudad de Piura</i> | 56 |
| Conclusiones..... | 60 |
| Recomendaciones | 62 |
| Referencias..... | 63 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Aspectos a considerar para diseño vial accesible | 12 |
| Tabla 2 Comparación entre enfoques al planificar transporte..... | 13 |
| Tabla 3 Clasificación del TP según demanda | 17 |
| Tabla 4 Clasificación del transporte | 18 |
| Tabla 5 Experiencias de monitoreo en transporte público..... | 25 |
| Tabla 6 Herramientas en experiencias con un smartphone como sensor | 29 |
| Tabla 7 Herramientas utilizadas en experiencias con hardware dedicado | 34 |
| Tabla 8 Resumen de herramientas para monitoreo..... | 38 |
| Tabla 9 Herramientas comerciales para monitoreo de transporte en Perú | 40 |
| Tabla 10 Análisis de parámetros por experiencia de monitoreo..... | 47 |
| Tabla 11 Tabla de datos estáticos requeridos para monitoreo en el transporte público | 51 |
| Tabla 12 Rutas diametrales de la ciudad de Piura a partir del nuevo Plan Regulador de Rutas | 55 |
| Tabla 13 Descripción de arquitectura del prototipo viable para la ciudad de Piura | 58 |



Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Ciclo de calidad de servicio según norma europea..... | 16 |
| Figura 2 Dimensiones para integración del sistema de transporte..... | 19 |
| Figura 3 Paradero de transporte público instalados en la ciudad de Piura..... | 54 |



Introducción

Durante décadas, la ingeniería vial se ha enfocado en diseñar cuantitativamente el comportamiento del tráfico a partir de variables como velocidad y densidad de autos, utilizando modelaciones numéricas y software, y estableciendo normativas, pero siempre con un enfoque que prioriza el vehículo y resta valor a aspectos importantes como la equidad social, el medio ambiente y la economía (Quintero-González, 2017).

La Movilidad Urbana Sostenible (MUS), es un concepto que aparece para redireccionar el enfoque de la ingeniería de transporte, y transformar las vías en un sistema con inclusión y accesibilidad para todo tipo de usuario, considerando su dimensión social, y la totalidad de los medios de transporte. Esta transformación se basa en el cambio de jerarquías, donde prioriza al peatón y transporte no motorizado, y se incentiva el uso de vehículos con mayor capacidad de pasajeros (Banister, 2008).

Pese a lo anterior expuesto, en Perú el crecimiento del parque automotor se mantiene, encontrándose que el 60% de unidades que circulan en las vías son vehículos ligeros (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020). Esta situación viene acarreado una sobre saturación de las vías urbanas e interurbanas, ocasionando elevados niveles de congestión, contribuyendo a la contaminación ambiental y sonora, entre otros problemas.

El gobierno central, en alianza con algunas municipalidades, ha tenido iniciativas que buscan mitigar este problema a través de la creación de Sistemas Integrados de Transporte Público (SITP); en ciudades como Arequipa y Trujillo se tienen avances más concretos (Diario El Peruano, 2023). En Piura, sin embargo, pese a ser parte de este proyecto gubernamental, no se evidencian intervenciones importantes en la materia. Por el contrario, se observan viajes en transporte público de mucha duración, pese a que las distancias son cortas, lo cual convierte en más atractivo el transporte privado (Martínez, Gómez Macho, et al., 2019). Esto, sumado a la poca fiscalización en rutas de transporte público y falta de información para los ciudadanos, evidencia la necesidad de encontrar soluciones que puedan implementarse al corto plazo, y el uso de tecnologías de información puede constituir una gran ayuda para gestionar el transporte.

Actualmente, la tendencia mundial es apoyar a la movilidad urbana con Sistemas Inteligentes de Transporte, que utilizan GPS, sensores IoT y hasta plataformas de software dedicados al monitoreo de rutas y tiempo de llegada, para que esta información se envíe a los usuarios (Valencia, 2018). Un estado del arte sobre estas tecnologías es crucial para identificar los parámetros y herramientas requeridos para gestionar el transporte público en una ciudad. Esto permitirá sentar las bases teóricas y técnicas que permitirán, entre otros usos, desarrollar estrategias para el contexto de la ciudad de Piura.

Capítulo 1

Marco teórico

El presente capítulo brindará conceptos de movilidad urbana sostenible y transporte público urbano, necesarios para llevar a cabo el estado del arte sobre los parámetros y herramientas que se utilizan en un monitoreo de transporte público.

1.1 Movilidad urbana sostenible

La Movilidad Urbana Sostenible (MUS) se define como un nuevo modelo de planificación que se contrapone al enfoque tradicional de ingeniería de tránsito, pues su propósito principal va más allá de solo facilitar flujos vehiculares, sino que busca garantizar a los usuarios el acceso a bienes y servicios, transformando la infraestructura vial en un sistema equitativo que prioriza la reducción de tiempo y distancias de viajes, la accesibilidad para todos y la sostenibilidad ambiental (Banister, 2008). A continuación, se describen nociones que distintos autores han establecido como base para la planificación del transporte de una ciudad en torno a la sostenibilidad.

Para Banister (2008), la sostenibilidad en la movilidad urbana parte de centrar acciones que reduzcan la necesidad de viajes en la ciudad, con lo cual se reduce el tiempo perdido al trasladarse y genera eficiencia en el sistema de transporte. En una ciudad que posee un radio medio de 6 Km, por ejemplo, los vehículos menores se tornan ineficientes, pues la mitad de los traslados podrían realizarse a pie, y en conjunto con los viajes en bicicleta, podría llegarse a superar el 70% de desplazamientos. La movilidad urbana sostenible llama entonces a reformar las ciudades, procurando sectorizarlas en “barrios” de radio medio similar al antes mencionado, que bajarían el ritmo de una ciudad y mejorarían la calidad de vida de quienes la habitan (ONU HABITAT, 2016).

Vinculado a la MUS, se encontrará también el término de “accesibilidad”, que trata de qué tan fácil puede el usuario acceder a los servicios de su comunidad. Una ciudad accesible permite, en primer lugar, que las necesidades cotidianas de los usuarios se cubran dentro del mismo ámbito local. Esta estrategia es doblemente beneficiosa, pues reduce también la presión sobre la infraestructura y la demanda del transporte público. En segundo lugar, accesibilidad también se relaciona con inclusividad: entidades como la Comisión Europea (2021) resaltan que la planificación de la MUS debe facilitar los desplazamientos de las personas con limitaciones de movimiento, adultos mayores y embarazadas y personas con habilidades diferentes. Esto se puede dar, por ejemplo, mediante la creación de rampas o escalones de altura ajustable en los accesos de los paraderos y de vehículos. Estas medidas atacan la desigualdad social al correlacionarse directamente con la distribución equitativa de oportunidades y servicios dentro del espacio urbano (Dextre y Avellaneda, 2014).

La mejora de la accesibilidad urbana requiere también nuevas consideraciones de diseño en la infraestructura vial. En este sentido Martínez y Olivares (2012) indican que los

estudios de tránsito deben adicionar aspectos geométricos, tal como se detalla en la Tabla 1, en la cual se establece un paralelo entre los factores geométricos convencionales y las aplicaciones inclusivas a contemplar.

Tabla 1

Aspectos a considerar para diseño vial accesible

| Aspectos geométricos y de infraestructura que considerar | Aplicación |
|--|--|
| Sección transversal y zonas laterales de calles, carreteras e intersecciones | Diseño de zonas para el desarrollo e interacción entre flujos peatonales y vehiculares. Diseño de infraestructura del transporte orientada a la recuperación del espacio público y la disposición de estructuras verdes y arquitectura viva. |
| Señalización vertical y horizontal | Diagnóstico del estado de señalización existente, identificación de nuevas necesidades de señalización o señalización especial; son fundamentales para orientar al usuario. |
| Infraestructuras para peatones | Diseño de espacios peatonales coherentes con las necesidades de peatones y personas con necesidades especiales. Reduce el número de conflictos peatón-vehículo y promueve el tratamiento equitativo de espacios para los usuarios. |
| Características de ortogonalidad en intersecciones | Diseño que mejore la visibilidad de los peatones y vehículos en intersecciones, con un análisis desde la perspectiva arquitectónica y de urbanismo. |
| Visibilidad e iluminación | Diseño de una adecuada iluminación en calles e intersecciones, que mejore la visibilidad de los usuarios en la oscuridad, neblina y otro, para reducir el riesgo de accidentes. |
| Inspección del estado de pavimento, daños en infraestructuras, necesidades de mantenimiento | Creación de un inventario detallado de infraestructura vial para el diseño de medidas efectivas de gestión y operación de tráfico. Monitoreo de las necesidades de mantenimiento de infraestructuras primarias. Análisis de la relación entre el deterioro de la infraestructura vial y los siniestros de tráfico. |

Nota. Adaptado de Martínez y Olivares (2012).

En el ámbito de la sostenibilidad ambiental, el Protocolo de Kioto constituyó un precedente normativo que catalizó la implementación global de legislaciones para la reducción de impactos ambientales. Considerando que el sector transporte es un factor predominante en la huella de carbono, la priorización de los modos de transporte a pie o bicicleta emerge como una estrategia viable, posicionando a la Movilidad Urbana Sostenible como una tendencia mundial (Flores, 2017).

Quintero-González (2017) contrastó el enfoque de la planificación tradicional del transporte y el de movilidad urbana sostenible (MUS). Las diferencias destacables se observan en el diseño, donde la planificación tradicional opera a una escala universal, mientras que la MUS requiere una escala local y adaptada a las necesidades de cada urbe. Además, los

criterios tradicionales buscaban fluidez vehicular, mientras que la MUS implementa una jerarquía funcional que prioriza al peatón y ciclista. La comparación detallada de estos enfoques se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2

Comparación entre enfoques al planificar transporte

| Aspectos prioritarios en la planificación del transporte convencional | Aspectos prioritarios para la movilidad urbana sostenible |
|--|---|
| Dimensiones físicas | Dimensiones sociales |
| Movilidad | Accesibilidad |
| Enfoque de tráfico basado en vehículos | Enfoque en las personas, en vehículo o a pie |
| Diseño de gran escala | Diseño de escala local |
| La calle como una vía | La calle como un espacio |
| Transporte motorizado | Considera todo modo de transporte, priorizando peatones y ciclistas. |
| Pronóstico de tráfico | Visión sobre las ciudades |
| Enfoques de modelización | Desarrollo de escenarios y modelización |
| Evaluación económica | Análisis multicriterio que toma en cuenta preocupaciones ambientales y sociales |
| Viajar como una demanda derivada | Valor en viajar, así como una demanda derivada |
| Basado en la demanda | Basado en gestión |
| Tráfico acelerado | Desaceleración del movimiento |
| Reducción de tiempo de viaje | Tiempos de viaje razonables |
| Segregación de personas y tráfico | Integración de las personas y el tráfico |

Nota. Adaptado de Banister (2008).

En síntesis, el concepto de Movilidad Urbana Sostenible (MUS) trasciende la neta eficiencia operacional del transporte público. Este paradigma requiere comprensión integral de las necesidades de desplazamiento de los usuarios de una urbe, la minimización de externalidades ambientales y optimización de tiempos de viaje. Esencialmente, la MUS se

concibe como un instrumento estratégico para garantizar el acceso equitativo a recursos y elevar la calidad de vida en la población urbana (Gutiérrez, 2012).

1.2 Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS)

Un PMUS es un documento guía que se utiliza como herramienta estratégica de planificación para materializar el concepto de movilidad urbana sostenible definido en el apartado anterior. Busca primordialmente fomentar un entorno urbano saludable y seguro para el peatón y ciclista, garantizando al mismo tiempo la disponibilidad de transporte público eficiente en caso de desplazamientos de mayor distancia. Por su inherente carácter local, son elaborados a nivel municipal, posibilitando la identificación y abordaje de necesidades únicas de cada urbe (Vega, 2017).

Según Vega (2017), los PMUSs, como cualquier instrumento de planificación, enfrentan desafíos inherentes a su propósito. En primer lugar, cambiar el tradicional modelo territorial disperso, caracterizado por el crecimiento de las urbes alejadas del centro de la ciudad que incrementa las distancias de desplazamiento. Un segundo desafío es la mitigación del cambio climático y mejora de la calidad de aire, ya que las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) continúan en ascenso; los PMUSs deben garantizar una reducción significativa de la huella de carbono urbana. Asimismo, se busca una notable reducción del ruido ambiental, pues la promoción de un menor uso del transporte privado contribuye directamente a disminuir la congestión vehicular, ergo, la contaminación auditiva. Finalmente, el tercer reto es la disminución de la siniestralidad vial por medio de la reducción de los límites de velocidad. En este sentido, la movilidad urbana sostenible aboga por la creación de ciudades desaceleradas, aportando prioritariamente seguridad a los ciudadanos.

1.3 Transporte público urbano

Según Cal y Mayor y Cárdenas (2016), el transporte público urbano es un servicio de transportación colectiva que tiene el objetivo principal de desplazar una gran cantidad de personas dentro de una urbe. Este servicio se basa en tres criterios operacionales y normativos:

- Suministro de terceros: el usuario no es dueño de las unidades que se utilizan, este servicio es prestado por un operador externo
- Regulación y rutas fijas: El servicio está condicionado a la regulación gubernamental, la cual establece el circuito y horario predeterminado.
- Tarifas: el servicio se garantiza mediante el pago de una contraprestación económica.

Asimismo, debe asegurarse que el transporte público urbano esté debidamente regulado, garantizándose no solo la movilidad colectiva, sino un acceso universal, en contraste de las características del transporte privado (Urdaneta y Joheni, 2012). Con esto se reconoce

la función social del sistema: el transporte público urbano no solo permite satisfacer necesidades básicas de los habitantes, sino que también es una herramienta esencial para lograr equidad e inclusión social, impulsando la participación igualitaria en el desarrollo urbano y permitiendo alcanzar distintas oportunidades socioeconómicas (Pardo, 2008).

1.3.1 Calidad en el transporte público urbano

En la actualidad, se busca que el transporte público vaya más allá de simplemente satisfacer una necesidad básica, sino que ofrezca un servicio de calidad. Por un lado, el concepto de calidad se relaciona con un producto libre de defectos, por ejemplo: vehículos con mayor eficiencia energética (eléctricos), planificación de rutas con menor distancia o sistemas de gestión de flotas GPS, mientras que, en otra perspectiva, se mide la calidad asociándola a la satisfacción al cliente, por ejemplo: tarifas accesibles, vehículos modernos y limpios, puntualidad en horarios, e incluso información disponible del servicio. Por ello, se han desarrollado manuales y/o guías que consideran estas perspectivas para estandarizar el concepto de calidad en el transporte público (Freiberg et al., 2022).

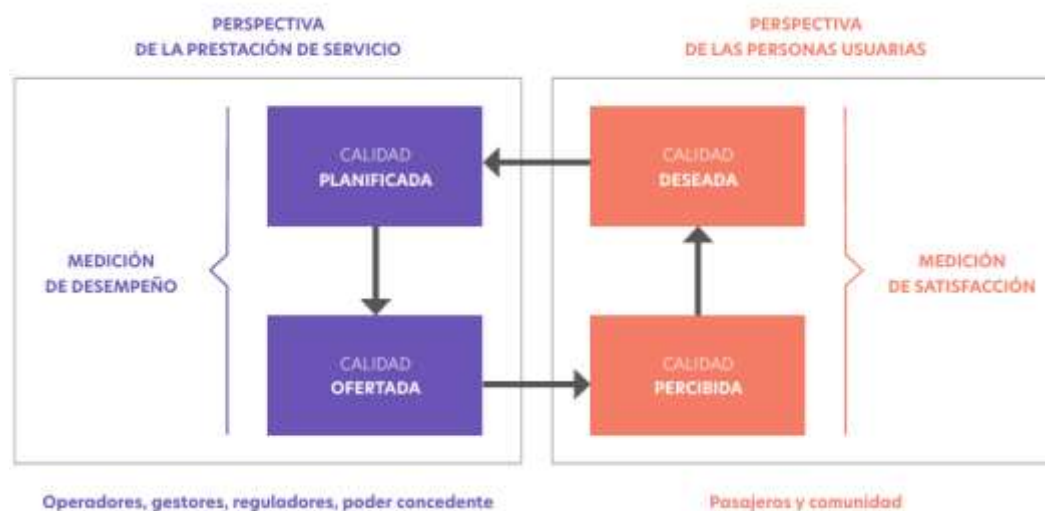
A continuación, se presentan tres guías sobre calidad del transporte público, las cuales son marcos de referencia en evaluación y gestión. Estos documentos varían en su ámbito geográfico y enfoque, pero mantienen el objetivo de priorizar la experiencia del usuario y la eficiencia operacional del sistema.

1.3.1.1 Norma europea EN 13816:2002. Publicada por el Comité Europeo de Normatización (CEN) en el año 2002, no solo con el propósito de definir, sino que a la vez eleva los estándares de calidad de los sistemas de transporte. Lo más valorado en esta norma es que adopta perspectivas del usuario y considera impactos que podrían afectar a la comunidad fuera de los usuarios. Por esto, es que se establece como el fundamento teórico para otras normativas posteriores (Freiberg et al., 2022).

En la Figura se detalla la innovación metodológica que plantea la EN 13816, a través de un ciclo de cuatro etapas donde se integra la dualidad del sistema de transporte: perspectiva de lo que los usuarios esperan y la de los proveedores que operan el transporte (Freiberg et al., 2022).

Figura 1

Ciclo de calidad de servicio según norma europea



Nota. Adaptada de CEN (2002).

1.3.1.2 Manual de Capacidad y Calidad del Servicio del Transporte Público, 2013.

Freiberg et al. (2022) considera una guía clave en la gestión de calidad del transporte público en EE. UU. Pues su metodología pone como eje central al usuario y a partir de este evalúa la calidad en dos dimensiones definidas:

- Disponibilidad: cuestiona si el servicio es accesible en aspectos de información, ubicación, tiempo, costo y frecuencia con respecto al usuario.
- Conveniencia y confort: el servicio debe asegurar ser competitivo, eficiente, seguro y agradable frente a otras opciones que el ciudadano pueda elegir.

1.3.1.3 Guía básica para gestión operativa para mejorar la calidad de servicio de autobuses, 2019. Desarrollada por la Asociación Nacional de Transportes Públicos (ANTP) de Brasil en el 2019, como respuesta a la crisis que afrontaba el sector de transporte público del país por la caída de demanda y recaudo tarifario. Esta guía, aunque sin valor legislativo, es de gran valor referencial en el contexto latinoamericano, debido a que no se limita a indicadores de calidad, sino también toma en cuenta las barreras financieras, institucionales y normativas que terminan impactando en la calidad de servicio de autobuses, situación repetitiva en la región de América Latina (Freiberg et al., 2022).

El transporte público urbano se reconoce como una necesidad esencial para el correcto funcionamiento de las ciudades. Sin embargo, el desarrollo en este rubro y la ascendente expectativa en los ciudadanos exigen que la prestación del servicio vaya más allá de la simple funcionalidad. Ahora, para considerar a una ciudad como desarrollada su transporte público debe contar con estándares mínimos de calidad para el usuario. Y para ello, existen guías y

normativas, antes mencionadas, las cuales ofrecen marcos sólidos para garantizar un servicio digno, integrando diversos factores de evaluación y gestión.

1.3.2 Clasificación del transporte público según demanda

El transporte público puede ser clasificado por el tipo de demanda que satisface. Aquí la distinción se observa entre sistemas de ruta fija y de demanda flexible, sus características se presentan en la Tabla 3 (Vuchic, 2007).

Tabla 3

Clasificación del TP según demanda

| Categoría | Características de operación | Ejemplos |
|--|---|---|
| Transporte Público Colectivo (Trazado Fijo) | Servicio a través de rutas, horarios y paradas predefinidas. Su objetivo es maximizar la eficiencia moviendo grandes volúmenes de personas (alta capacidad). | Autobuses convencionales, BRT, metro. |
| Transporte Público Atendido por Demanda (TAD) | Ofrece un servicio personal para moverse de un punto a otro y horario determinado por el usuario. Se caracteriza por la flexibilidad, accesibilidad en zonas de baja densidad y la alimentación de sistemas masivos (baja capacidad). | Taxis convencionales o por aplicación, mototaxis. |

Nota. Adaptado de Vuchic (2007).

1.3.3 Clasificación del transporte según modo e infraestructura

Como se aprecia en el apartado anterior, la clasificación del transporte público puede abordarse desde varias perspectivas; sin embargo, para fines de esta investigación, el análisis se centra en el modo de transporte e infraestructura del sistema.

1.3.3.1 Metro o ferrocarril metropolitano. Constituye el sistema de tránsito masivo con mayor capacidad de transporte, adecuado para demandas que puedan superar los 40,000 pasajeros por hora por sentido (PPHPS). En cuestión de infraestructura, su costo de inversión inicial es alto por su imperativa necesidad de un derecho de vía totalmente segregado sobre rieles e independiente de la calzada rodada (Hidalgo, 2005).

1.3.3.2 Sistema de bus de Tránsito rápido (BRT). Considerado también como modo de transporte de alta capacidad similar al metro, pero con un costo de instalación significativamente inferior. Aunque utiliza vehículos sobre neumáticos, su eficiencia se basa en la implementación de carriles exclusivos y segregados (derecho de vía preferencial) dentro de la matriz vial existente (Pardo, 2008).

1.3.3.3 Autobús convencional. Se distingue económicamente por su baja inversión en infraestructura, ya que utiliza la calzada de uso mixto, compartida con el automóvil privado.

No obstante, esta característica lo hace altamente susceptible a la congestión vehicular, lo que impacta en tiempo de viajes y regularidad operativa. Por sus dimensiones, se cataloga de baja capacidad, y en el contexto de un Sistema Integrado de Transporte (SIT), su función es de alimentador de corredores troncales de mayor demanda (Pardo, 2008).

La **Tabla 4** resume la información antes mencionada de la clasificación de transporte público.

Tabla 4

Clasificación del transporte

| Tipo de Transporte | Nivel de Capacidad | Derecho de Vía Típico |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Metro/Ferrocarril | Muy Alta | Segregado (subterráneo/elevado) |
| BRT | Alta | Segregado (carril exclusivo) |
| Autobús Convencional | Baja - Media | Compartido (tráfico mixto) |

Nota. Generado a partir de Hidalgo (2005), Pardo (2008) y Cal y Mayor y Cárdenas (2016).

1.3.4 Sistemas Integrados de Transporte Público

Un Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) es un conjunto articulado y coordinado de los diferentes modos y medios de transporte en una urbe, con el objetivo de generar bienestar a los usuarios, mediante un servicio de transporte más eficiente y práctico para usar. Este proceso de integración debe considerar todos los componentes en torno al transporte público, tales como redes e infraestructura, tarifas, sistemas de cobro, información, marketing, entre otros (Jehanno, A., Niang, H. et al., 2018).

La integración que lleva a formar los SITP demanda la colaboración interinstitucional y un análisis global de todas las dimensiones que tiene el sistema. La articulación de estos componentes convergerá en funcionamiento óptimo de la red. En el trabajo de Jehanno, A., Niang, H. et al. (2018) se destacan seis componentes, tal como se muestra en la **Figura 2**, esenciales a considerar para integrar un sistema de transporte: el marco institucional (legislaciones e instituciones a cargo), la robustez financiera (fuentes de financiamiento), la estructura tarifaria (medios de pago y pasajes accesibles), la eficiencia operativa (garantía de conectividad e intermodalidad), congruencia socio-urbana, y gestión de los impactos socio-ambientales.

Figura 2

Dimensiones para integración del sistema de transporte



Nota. Extraída de Jehanno, A., Niang, H. et al. (2018).

La integración de conceptos entre la Movilidad Urbana Sostenible (MUS) y los Sistemas Integrados de Transporte Público (SITP) establece el marco de eficiencia operativa y de equidad social necesaria para la gestión urbana actual. Este enfoque integral que lleva desde los sistemas de alta capacidad (Metro, BRT) hasta el Transporte Público Atendido por Demanda (TAD) indica que la calidad del servicio es el eje principal de cualquier reforma. Sin embargo, la organización de un SITP que garantice dicha calidad (puntualidad, regularidad, accesibilidad) requiere de una gestión sustentada en el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).

Finalmente, en esta sección se logra evidenciar que la Movilidad Urbana Sostenible (MUS) compone ideas fundamentales para la actual tendencia de planificación vial, y en estas nociones el transporte público urbano se convierte en el eje principal de la movilidad. Además, la adopción de las ciudades a Sistemas Integrados de Transporte Público (SITP) requiere cambios más allá de solo infraestructura física, sino que exige que el servicio de transporte público cumpla con estándares de calidad, por ejemplo: optimización de la disponibilidad de vehículos, comodidad, nivel de información para el usuario e incluso tarifas adecuadas, son necesarios para ofrecer un servicio eficiente a nivel operativo y accesible para el pasajero.

En este sentido, la gestión operacional del servicio para satisfacer a la demanda depende de la inclusión de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). La capacidad de obtener, procesar y transmitir datos del sistema de transporte en tiempo real se ha

convertido en el medio más eficiente para cumplir con itinerarios y reducir la incertidumbre del pasajero. Por ende, es necesario profundizar en el estado del arte sobre las herramientas de monitoreo y parámetros clave que hacen viable estas tecnologías, con el fin de evaluar la viabilidad en contextos urbanos en vías de desarrollo.



Capítulo 2 Metodología

Esta investigación es de enfoque cualitativo, basado en una revisión bibliográfica. El objetivo principal es identificar y dar a conocer cuáles son las herramientas y/o parámetros influyentes para realizar el monitoreo de transporte público masivo en una ciudad, a través de los siguientes pasos:

2.1 Etapa I: revisión bibliográfica

En esta sección se define el proceso de selección de experiencias de monitoreo del transporte público.

2.1.1 Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Para la búsqueda de experiencias de monitoreo de TP se utilizó bases de datos de carácter académico, como son: Google Scholar, Dialnet, en caso de la información de idioma español y ScienceDirect, para complementar la bibliografía en inglés.

Por otra parte, para las consultas en materia de transporte y urbanismo se consultó con los repositorios del Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF) y de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

Además, para los temas concernientes al contexto de la ciudad de Piura se examinó el material digital del diario El Peruano, la plataforma del estado GOB.PE y las redes oficiales de la Municipalidad Provincial de Piura.

En cuanto a estrategia de búsqueda, se utilizaron términos claves como: “transporte público”, “monitoreo de rutas”, “monitoreo GPS”, “Plan regulador de rutas”, “movilidad sostenible”, “transporte público inteligente”.

Además, para las búsquedas de ScienceDirect los términos fueron: “real-time Information systems public transport”, “monitoring system”, “integrated transport systems”, “Travel planner”.

2.1.2 Criterios de selección

Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para que las experiencias presentadas se enfoquen en el uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) para el monitoreo:

- Criterios de inclusión:
 - Estudios que describan la implementación de un prototipo de monitoreo de TP utilizando TIC.
 - Estudios que incluyan parámetros de rendimiento asociados al monitoreo o calidad de servicio del TP

- Publicaciones que detallen usos de TIC para ofrecer mapas interactivos de rutas, paraderos o información en tiempo real del servicio para pasajeros u operadores del TP.
- Criterios de Exclusión:
 - Artículos que aborden principalmente la planificación o mejora del TP solo en cuestión de infraestructura o sin componentes de TIC para el monitoreo.
 - Investigaciones con antigüedad mayor a 15 años, para procurar enfocarse en soluciones vigentes en la actualidad.

2.2 Etapa II: desarrollo del estado del arte

Esta etapa se centró en la extracción y síntesis de datos de cada experiencia que haya superado los filtros de exclusión

2.2.1 Presentación de experiencias de monitoreo de transporte público

Se presentaron los estudios seleccionados, describiendo el producto que se desarrolló, las funcionalidades que ofrecen, las TIC que utilizan y a quien está dirigido (operadores o pasajeros).

Para finalizar se generó un cuadro resumen con los datos más destacables: autor, región, plataforma de desarrollo.

2.2.2 Definición de parámetros de análisis descriptivo

Como resultado de la revisión y análisis de las experiencias documentadas, se identificaron los parámetros fundamentales alrededor del monitoreo de transporte público.

Primero se procedió a definir los parámetros identificados, clasificándolos según su enfoque: aquellos dirigidos a la gestión operacional, orientados al operador del servicio, y aquellos desarrollados a la calidad del servicio, enfocados en la experiencia del usuario final. Esta clasificación permitió establecer un marco de referencia, que evite ambigüedades en el análisis posterior.

Posterior a la definición de parámetros, se elaboró un cuadro comparativo del desempeño de las experiencias encontradas, considerando los parámetros establecidos. Este proceso permite valorar de manera objetiva cada prototipo, verificando su alcance y brechas respecto a los requerimientos actuales de la actividad de monitoreo del transporte público.

2.2.3 Piura como caso de estudio: reflexión académica sobre la viabilidad de monitoreo de su transporte público

Esta etapa final analizó de manera general el caso de estudio de la ciudad de Piura, sirviendo como fundamento para la reflexión académica.

Se inició con una caracterización del contexto actual del transporte y las reformas viales en curso, con énfasis en la implementación o planificación de Sistemas Integrados de Transporte Público (SITP). Dada la fragmentación de la información oficial, se consideró pertinente la presentación estructurada de los datos disponibles sobre las rutas de operación vigentes y sus respectivas empresas concesionarias.

Finalmente, se presenta la reflexión académica sobre la viabilidad de replicar alguna de las experiencias de monitoreo de transporte público identificadas en la revisión bibliográfica. El análisis se centró en determinar si la infraestructura y modo de operación actual de la ciudad de Piura es adecuada para el desarrollo de una herramienta de monitoreo basada en Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).



Capítulo 3

Estado del arte de parámetros clave y herramientas de monitoreo de transporte público

Este capítulo aborda el estado del arte en el cual, en primera instancia, se identifican las herramientas que se vienen implementando a nivel mundial en el monitoreo de transporte público en las ciudades. Posteriormente, se definen los parámetros clave para la creación de un sistema de monitoreo de transporte público. Finalmente, el capítulo concluye con el análisis de la situación de Piura en torno a su sistema de transporte público y de la viabilidad de implementar herramientas de monitoreo en la ciudad.

Es importante mencionar que las experiencias en el monitoreo de transporte público están directamente relacionadas con la implementación de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS). Esta asociación permite pasar de la tradicional supervisión manual hacia una gestión automatizada, mediante la implementación de instrumentos como el GPS, sensores IoT y plataformas de software para optimizar la operación del servicio y mejorar experiencia de usuario.

Valencia (2018) menciona que el monitoreo de flota en tiempo real con aplicaciones móviles que brinden información precisas de ubicación, tiempos de llegada, trazado de rutas y aparición de imprevistos son elementos esenciales para incrementar la eficiencia y seguridad operativa del transporte público. Además, Abarca (2024) postula que la creación de un sistema de monitoreo que brinde la información mencionada debe ser considerada una medida fundamental en la reforma integral del servicio de transporte público, debido a que es una intervención viable desde el punto logístico y económico.

Previo al desarrollo de experiencias de monitoreo, es imprescindible aclarar el término “arquitectura del sistema” utilizado en los siguientes análisis. En el contexto de los ITS, este concepto se refiere directamente a la arquitectura tecnológica; es decir, al diseño funcional de las herramientas de hardware y software que participan en el proceso de flujo de información. En estas arquitecturas se pueden reconocer tres niveles: la capa de adquisición de datos, casi siempre compuesta por dispositivos y/o sensores que capturan datos, la capa de procesamiento, servidores y bases de datos que gestionan información y la capa de aplicación, donde se encuentra la herramienta final que puede operar el usuario o el administrador del servicio.

Además, es necesario delimitar los roles de los actores dentro de esta arquitectura. En este capítulo, el término “operador” hace referencia directa a las empresas concesionarias de rutas o personal administrativo encargado de la gestión y monitoreo de las unidades del servicio. Por otro lado, el “conductor” se refiere al personal a bordo que maniobra cada vehículo, el cual podría, según el caso, ser emisor de datos. Finalmente, el “pasajero” o “usuario” es el beneficiario directo del servicio, hacia quien se enfocan los esfuerzos de difusión de información para optimizar su experiencia de viaje.

3.1 Herramientas para el monitoreo del transporte público

La actividad de monitoreo del transporte público está vinculada a la aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). En el contexto de esta investigación, las TIC se definen como el conjunto de hardware (elementos físicos medición, como sensores y microprocesadores) y software (plataformas web, algoritmos y aplicaciones) que generan y procesan los datos de operación del servicio.

Con base en la bibliografía revisada, en la Tabla 5 se resumen las experiencias encontradas para el monitoreo de transporte público a nivel internacional.

Tabla 5

Experiencias de monitoreo en transporte público

| Autor | Año | Lugar | Producto | Observaciones |
|-----------------------------|------------|--------------------------|--|---|
| Alzamora y Bautista | 2010 | Guayaquil, Ecuador | Página web (operador) | Generan programa de PC para servidor central y página web para operador. Probados en buses de la ciudad. |
| Ferris, Watkins et al | 2010 | Seattle, EE. UU. | App móvil y página web Servicio de alertas SMS | Aplicación web y móvil idénticas para usuarios Utilizada en el TP de la ciudad. |
| Li et al. | 2012 | Dalian, China | Aplicación de PC (operadores) | Creada para administrador del TP de la ciudad |
| Chandurkar, Mugade et al. | 2013 | Pune, Maharashtra, India | Aplicación Android y Pantallas digitales en paraderos (usuarios) Web (operadores) | Todo el proyecto fue una simulación digital. No existe evidencia de haber sido probado en TP |
| Bruglieri et al | 2015 | Milán, Italia | Página Web | Crea planificador de viajes exclusivo para usuarios. Aplica a toda la ciudad |
| Meza y Leaño | 2017 | Lima, Perú | Pantallas LCD en paraderos | Pantallas informativas son para usuarios. Pruebas simuladas: no se utilizó ninguna ruta completa. |
| Castro-Correa et al. (2018) | 2018 | Cúcuta, Colombia | Página Web (operadores y usuario) | El sitio web desarrollado se usa tanto para operadores y pasajeros. No se especifica si fue probado en alguna ruta de buses. |
| Hidalgo | 2018 | Quevedo, Ecuador | Página web (operador) | Página web creada es de uso exclusivo de operadores. Se prueba en una ruta de bus de la ciudad. |
| Obeso, Bautista et al. | 2018 | Trujillo, Perú | Aplicación Móvil Android (usuarios) | App desarrollada únicamente para pasajeros. Probado en el TP de la ciudad. |

| Autor | Año | Lugar | Producto | Observaciones |
|--------------------------------|------|-------------------------|--|--|
| Saad, Hisham et al. | 2018 | Shah Alam , Malasia | Página Web (pasajeros) | Desarrolla web para pasajeros. Para rutas de buses del campus universitario. |
| Valencia | 2018 | Manizales, Colombia | App Android | Orientado al pasajero. Todas las rutas de buses de la ciudad. |
| Velázquez, Arrúa | 2018 | CDE, Paraguay | Apps móviles (pasajero y conductor) | Desarrolla una aplicación móvil para rastreo del bus y una para uso del pasajero. Diseñado para TP de la ciudad. |
| Flores, Villarreal et al. | 2019 | Ciudad de David, Panamá | App Android (pasajero) Página Web (operador) | Crea plataformas separadas para pasajero y operador. Pruebas en una ruta de bus de la ciudad. |
| Quiñonez et al. | 2019 | Sinaloa, México | Página Web (operadores) App Android (pasajeros) | Crea plataformas separadas para pasajero y operador. Probada en rutas reales de la ciudad |
| Abarca | 2024 | Costa Rica | Página web (Usuario) App (Conductor) | Sistema integral, con producto para pasajero y operador. Prueba en buses universitarios. |
| Martins et al | 2024 | Viseu, Portugal | App móvil | Crea aplicación orientada a los pasajeros. Testeado en TP de la ciudad |
| Vergara, Peñalosa et al. | 2024 | Barranquilla, Colombia | Página Web (operadores) App Android (pasajeros) | Desarrolla un sistema distinto para operador y pasajero. Fue probado en dos rutas de transporte de la ciudad. |
| Viscaino et al. | 2024 | Latacunga, Ecuador | Página web (operador) | Se desarrolla plataforma únicamente para operadores. Diseñada para una sola empresa |
| La Cruz-Galvan, Almidón et al. | 2025 | Cañete, Lima | App Android | Orientado al pasajero. Probado en línea de buses universitarios. |

A continuación, se detallarán las herramientas TIC identificadas en las experiencias de monitoreo que fueron analizadas. Para facilitar el análisis, estas experiencias se clasificaron en dos secciones, diferenciadas por el tipo de hardware implementado para la toma de datos de georeferenciación: smartphone como sensor y hardware dedicado.

3.1.1 Monitoreo a través de dispositivo móvil: smartphone como sensor

De la revisión bibliográfica, se ha identificado una primera arquitectura recurrente, la cual utiliza dispositivos smartphone como dispositivo emisor de datos georreferenciados. Dicha arquitectura aprovecha el GPS y red de datos del dispositivo para enviar la

geolocalización, procesar datos y finalmente obtener una capa final, para el operador y/o usuario, según sea el caso.

Bajo esta arquitectura, se pueden distinguir tres modalidades:

- Modalidad 1: una sola aplicación para diferentes actores.

Las experiencias de La Cruz-Galvan et al. (2025) y Valencia (2018) coinciden en desarrollar todas las funciones en una sola aplicación móvil para que pueda ser instalada tanto en el dispositivo del conductor del bus como en el del pasajero. Esta aplicación opera con distintos “modos” (módulos): el “modo conductor” sirve para que el smartphone emita señal GPS de su ubicación, y el “modo pasajero” que recibe datos y los presenta en un mapa.

Adicionalmente La Cruz-Galvan et al. (2025) incluye a un “modo administrador”, el cual lo dedica para que los operadores puedan incluir alertas de eventualidades que se muestren en el modo pasajero.

- Modalidad 2: desarrollo de aplicaciones distintas para cada actor.

En esta segunda opción de diseño de arquitectura se caracteriza por desarrollar aplicaciones exclusivas para cada actor, por ejemplo:

Velázquez y Arrúa (2018) dividieron en dos aplicaciones Android: “Bus GPS CDE” que permite enviar datos para ser procesados por los operadores y “App CDE Bus” que presenta a los pasajeros el cálculo de Estimación de Tiempo de Llegada o Arribo (ETA).

Bruglieri et al. (2015) identificaron que los planificadores de viaje existentes, como Google transit y Moovit, presentan limitaciones al no considerar las incidencias del servicio como un factor que afecta al ETA. Como solución, propusieron MOTUS (MObility and Tourism in Urban Scenarios), para la ciudad de Milán.

Esta propuesta se alinea con esta opción de diseño, pues integra una arquitectura de módulos que divide las funciones del sistema: primero, la lógica de rastreo recibe coordenadas y detecta eventos no programados, y segundo, lógica de usuario, que calcula rutas y las modifica en tiempo real ante alguna eventualidad en el servicio. Logrando un planificador de viajes de mayor complejidad, el cual minimiza la incertidumbre del servicio.

- Modalidad 3: servidor de datos abiertos General Transit Feed Specification (GTFS).

Establece una clara diferenciación con las opciones previas, y está basada en el uso del estándar General Transit Feed Specification (GTFS). Este formato de datos abiertos permite a las entidades reguladoras de transporte publicar sus

itinerarios, paraderos y geolocalización de vehículos en un lenguaje común, lo cual facilita la integración entre diferentes sistemas de software de navegación (Abarca, 2024).

Bajo este modelo, Abarca (2024) propuso una arquitectura con el enfoque principal de estandarización y apertura de datos, prescindiendo de crear una aplicación propia. En esta experiencia, existe una aplicación móvil “Databús” instalada en los dispositivos de cada conductor, la cual transmite datos georreferenciados en tiempo real. Después de ser procesados, son publicados bajo los protocolos GTFS Schedule, que contiene datos fijos de itinerarios, paraderos e información del operador, y GTFS Realtime, los cuales contienen la geolocalización y otra información del estado del servicio en tiempo real.

La propuesta central de Abarca (2024) es delegar el desarrollo de la capa de aplicación a plataformas de terceros, como Google Maps o Moovit, permitiendo que estas consuman los datos estandarizados y otorgando libertad de elección al pasajero sobre la aplicación de su preferencia. Para comprobar el correcto funcionamiento de la arquitectura, se implementó el plan piloto “bUCR”, el cual desplegó la información en dos canales: una página web institucional para el operador y pantallas informativas en paraderos para el usuario.

El uso de smartphone para el conductor como dispositivo de Localización Automática de Vehículos AVL, convierte a este tipo de monitoreo en una opción de bajo costo y fácil de implementar. El sensor GPS integrado en cualquier dispositivo móvil en la actualidad es la fuente principal de datos en tiempo real.

El análisis de estas experiencias muestra que la viabilidad de estas propuestas está condicionada a sistemas de transporte público con un ambiente controlado. El cual puede presentarse en dos casos: el primero, en sistemas de escala reducida o cerrados, por ejemplo: el transporte de una universidad o el de una ciudad con pocas unidades en circulación, y la segunda opción, en ciudades que poseen una entidad que centraliza los datos, generando un ambiente controlado independientemente de la cantidad de unidades.

En la **Tabla 6** se presentan las herramientas TIC utilizadas en cada experiencia, diferenciando hardware, en caso se trate de componentes físicos, y software, para referirse a sistemas y algoritmos. También se describe la función que cumple la herramienta dentro del sistema implementado.

Tabla 6

Herramientas en experiencias con un smartphone como sensor

| Autor(es) | TIPO DE HERRAMIENTA | HERRAMIENTA | DESCRIPCIÓN |
|---|----------------------------|---|---|
| La cruz (2025) Valencia (2018) | Hardware | Smartphone | El GPS del smartphone del conductor emite posición en tiempo real. |
| | Software | Android Studio | Entorno de desarrollo en el cual se crea la aplicación. Lenguaje de programación: JAVA |
| | Software | Plataforma de desarrollo en la nube: Google Firebase | Recibe, almacena y procesa los datos enviados desde cada vehículo, para cálculo de ETA. |
| | Software | Google Maps | Usada para mostrar mapas y rutas dentro de la app, a través de API de Google Maps. |
| Abarca (2024) | Hardware | Smartphone | El GPS del smartphone del conductor emite posición en tiempo real. |
| | Hardware | Pantallas informativas | Pantallas con datos en tiempo real en las paradas de buses. |
| | Software | Página web (para usuarios) | Consume GTFS en tiempo real, para usuarios |
| | Software | Google Maps | APIs usados en la página web |
| | Software | App móvil Databus (conductores) | Emite ubicación en tiempo real Permite reportar averías |
| | Software | Correo electrónico | Para recibir retroalimentación del usuario |
| | Estándar de datos | Datos GTFS (General Transit Feed Specification) | Estándar de datos abiertos, ventaja de trabajar con más una aplicación de mapas |
| Velázquez, Arrúa (2018) | Hardware | Smartphone | El GPS del smartphone del conductor emite posición en tiempo real. |
| | Software | Plataforma de desarrollo en la nube: Google Firebase | Recibe, almacena y procesa los datos enviados desde cada vehículo, para cálculo de ETA. |
| | Software | App móvil CDE Bus (pasajeros) | Muestra la ubicación de los buses en tiempo real y el dato ETA del bus próximo. |
| Bruglieri et al., 2015 | Software | Base de datos cartográficos OpenStreetMap (OSM) | Interpreta pedidos del usuario constante actualización de base de mapas |
| | Software | Base de datos PostgreSQL | Base de datos para almacenar los datos GTFS |
| | Software | Algoritmo de modelación del sistema de TP | Transforma la información de la base de datos en el sistema del TP |
| | Software | Algoritmo de procesamiento de rutas | Calcula la ruta con de acuerdo a la necesidad el pasajero |

| Autor(es) | TIPO DE HERRAMIENTA | HERRAMIENTA | DESCRIPCIÓN |
|-----------|---------------------|---|--|
| | Software | Página web MOTUS | Página web para el usuario |
| | Software | Programa de PC: Plataforma de Integración E015 | Plataforma de la agencia de transporte de Milán para reportar las eventualidades |
| | Estándar de datos | GTFS (General Transit Feed Specification) | Se utiliza el estándar de datos abiertos para la información estática del transporte |

3.1.2 Monitoreo a través de hardware dedicado

Como alternativa a los prototipos que dependen de smartphones, para emitir datos de geolocalización, existen experiencias enfocadas en la implementación de “hardware dedicado”. En el rubro de ingeniería de transporte, este término hace referencia a la instalación fija de unidades de Localización Automática de Vehículos (AVL) dentro de los vehículos. Estos dispositivos funcionan independientemente al conductor, lo que asegura continuidad en el flujo de datos y evita la manipulación humana.

3.1.2.1 Sistemas para el uso exclusivo de operadores. Dentro de esta arquitectura encontramos ejemplos como el de Alzamora y Bautista (2010) que desarrollaron un prototipo enfocado en la seguridad vial, con el objetivo de reducir los accidentes por exceso de velocidad. Su arquitectura de diseño utiliza un microcontrolador, como unidad generadora de datos y tecnología SMS para su envío a una PC central que actúa como servidor físico, para finalmente exponer la información en una página web. Esta es de uso exclusivo del administrador de la flota, en donde puede visualizar los recorridos en tiempo real y recibir alertas automáticas sobre algún incorrecto manejo del conductor.

En un sistema similar, Hidalgo (2018) desarrolló un sistema de gestión enfocado en la supervisión operativa para una empresa de transporte en Quevedo, Ecuador. En esta experiencia se instala un dispositivo AVL comercial, de la marca Queclink. La información telemétrica es transmitida a una plataforma web centralizada. Esta herramienta permite al personal administrativo monitorear en tiempo real, asignar conductores y rutas, y generar automáticamente alertas en caso de ocurrencias de desvíos o incumplimiento de horarios.

Mientras, Viscaino et al. (2024) generaron una solución orientada a la seguridad y control de rutas dentro de una empresa de transporte público. Su prototipo se compone de un dispositivo electrónico con módulos GPS/GPRS en cada bus, el cual envía datos directamente a una página web, también de uso exclusivo de operadores. Esta plataforma faculta al operador para rastrear las unidades en tiempo real, visualizar el historial de asignación de conductores y alertar automáticamente de desvíos de ruta.

En el contexto de un Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), como el de la ciudad de Dalian, China, se propuso un sistema para monitoreo y gestión de flota. Esta solución emplea procesadores ARM (Advanced RISC Machine), el sistema operativo Linux, y el uso de instrumentos que incluye sensores infrarrojos y cámaras de video con capacidad de audio. El sistema se materializa en una plataforma web de uso exclusivo de los operadores, la cual provee información en tiempo real de cada unidad. Adicionalmente, el sistema facilita la comunicación con los usuarios mediante audio informativo, utiliza el video para el monitoreo de la seguridad interna de la unidad y emplea los sensores infrarrojos para el conteo preciso de la cantidad de ocupación de pasajeros (Li et al., 2012).

3.1.2.2 Sistemas para uso de operadores y pasajeros. Aunque las cuatro experiencias mencionadas de uso de dispositivos AVL como unidad de adquisición de datos son de uso exclusivo de operadores, la gran mayoría sí considera, además del procesamiento de datos, la difusión de información al usuario final. Estas experiencias se mencionan a continuación:

En Cúcuta, Colombia, Castro-Correa et al. (2018) implementaron una página web para el monitoreo del transporte público. La arquitectura de esta solución inicia en la capa de recolección, mediante la instalación de módulos GPS/GPRS en los autobuses, los cuales emiten la georreferenciación en tiempo real hacia el servidor central para ser procesados.

Como producto final, el sitio web de Castro-Correa et al. (2018) fue diseñado para ser utilizado en cualquier dispositivo, como celular, computadora o tablet. Esta interfaz, enfocada en el pasajero, posee funcionalidades como rastreo de unidades en tiempo real en mapa interactivo, el cálculo de la Estimación de Tiempo de Llegada (ETA) y un canal de comunicación para dudas y sugerencias.

En la revisión bibliográfica también se encontraron prototipos que utilizan microprocesadores de bajo costo como hardware de monitoreo de transporte público. En México, Quiñonez et al. (2019), desarrollaron un Sistema de Información al Pasajero (PIS) basando su solución en instalar en los buses un dispositivo compuesto por un microprocesador, junto a un módulo GPS y un módulo de comunicación.

A partir de este diseño, el sistema brinda dos interfaces:

- Plataforma Web: dirigido al operador del transporte público para la gestión y control, con la posibilidad de obtener alertas de desvío de ruta de los buses.
- Aplicación móvil: denominada "Smart BS", orientada al usuario, permitiéndole la visualización de rutas, paraderos y seguimiento en tiempo real de los vehículos. Además de la opción de generar alertas de proximidad cuando un bus está cerca de llegar al paradero del usuario.

De manera semejante, Flores et al. (2019) presentaron una arquitectura basada en el mismo funcionamiento: Plataforma web para el administrador del transporte público y aplicación móvil para el usuario final. Sin embargo, a diferencia del caso anterior, en esta

experiencia no se menciona la posibilidad de generar alertas personalizadas para la llegada de un bus un paradero específico.

En un caso más reciente, Vergara et al. (2024) optaron por utilizar la misma arquitectura para monitoreo, utilizando igualmente un microprocesador de bajo costo, para generar también las dos interfaces: Web de operador y Aplicación móvil de usuario.

No obstante, al contrastar esta propuesta con el antecedente de Quiñonez et al. (2019), se encuentran diferencias notorias. A pesar de compartir el mismo diseño, la experiencia de Vergara et al. (2024) se enfoca en la visualización de la ubicación de tiempo real, prescindiendo de la implementación de notificaciones automáticas. Al contrario de Quiñonez et al. (2019), cuyo prototipo resalta las alertas de seguridad, de desvío de ruta, para el operador, y alertas de servicio, de proximidad de bus al paradero, para el pasajero, la propuesta de Vergara no toma en cuenta estas funcionalidades.

Experiencia similar se encontró en la Universiti Teknologi MARA (Malasia), donde Saad et al. (2018) también utilizaron la arquitectura de hardware de microprocesadores junto con módulos GPS/3G. Sin embargo, este proyecto difiere de los anteriores por su enfoque total en el pasajero, desarrollando únicamente la aplicación web que permite visualizar un mapa con la ubicación en tiempo real de los buses del campus y el ETA para cada parada.

Una alternativa a las arquitecturas basadas en microprocesadores, es la propuesta de Martins et al. (2024) de utilizar microcontroladores como unidad de adquisición de datos. La principal ventaja en esta solución es la reducción significativa de costos de implementación.

Sin embargo, el diseño posee una limitación crítica a considerar, y es que la transmisión de la telemetría dependerá siempre de estar conectado a una red Wi-Fi. A diferencia de un microprocesador, que su módulo de comunicación depende de la cobertura celular de la ciudad; esta dependencia del microcontrolador limita su viabilidad a entornos altamente controlados, por ejemplo, un campus de una universidad.

Con respecto a la capa de aplicación, la propuesta de Martins et al. (2024) se concreta en un planificador de rutas. Esta interfaz permite al pasajero el seguimiento en vivo de buses en tiempo real, además de una función offline, que permite al usuario acceder a la planificación de viajes y horarios programados incluso sin necesidad de que tenga internet.

En otra experiencia basada en microcontroladores, Obeso et al. (2018) implementaron un sistema de geolocalización en el transporte público de la ciudad de Trujillo, Perú. La diferencia con la propuesta anterior radica en que este sistema ratifica la capacidad de los microcontroladores para entornos abiertos, pues utiliza un módulo de comunicación diferente e independiente de conectividad Wi-Fi.

En cuanto a la capa de aplicación, el sistema se concreta en una aplicación móvil Android. La cual, además de poder visualizar el desplazamiento de unidades en un mapa

interactivo en tiempo real, procesa información para calcular el ETA y mostrar al usuario, reduciendo la incertidumbre generada en la espera en los paraderos.

En la India, Chandurkar et al. (2013) identificaron que el tráfico en Maharashtra causa retrasos inesperados, ocasionando grandes tiempos de espera y disconformidad en los pasajeros, lo que reduce el atractivo del sistema de TP. En respuesta, propusieron la implementación de un sistema de información al pasajero en tiempo real utilizando las TIC vistas en experiencias anteriores. Este se basa en la instalación de módulos GPS/GPRS en las unidades de transporte para la transmisión de datos a un servidor central. El aporte central de esta arquitectura se encuentra en su difusión de información multiplataforma, entregando la información procesada en tres canales: una aplicación móvil Android para el pasajero, pantallas digitales en los paraderos de los buses y una página web para la supervisión de parte del operador del servicio. A diferencia de los estudios experimentales vistos anteriormente, este se limita al desarrollo del prototipo en laboratorio y simulaciones de funcionamiento. No se reportó ninguna validación en alguna ruta de transporte público real.

Una experiencia similar, para TP de una ciudad, es la de OneBusAway. Esta iniciativa surgió en el contexto de un proyecto universitario y se adaptó al sistema de TP de Seattle (EE. UU.), su enfoque no está en el hardware, pues el transporte público de la ciudad posee un sistema AVL (Automatic Vehicle Location) y genera GTFS estáticos permitiendo que la investigación se centre en el desarrollo de la gestión de información. De esta manera, Ferris et al. (2010) se enfocaron en crear un algoritmo de Estimación de Tiempo de Llegada (ETA) que logró impactar en la puntualidad percibida por el usuario, haciéndolo más atractivo.

Finalmente, se presenta una experiencia basada en el uso de transceptores. A diferencia de un microprocesador o un microcontrolador, estas unidades ejecutan todo el sistema en un solo dispositivo, actuando como un módem de telemetría (Meza y Leño, 2017).

En esta configuración de arquitectura, probada en la ciudad de Lima, Perú con el objetivo reducir de incertidumbre de pasajeros en los paraderos. Meza y Leño (2017) instalaron transceptores en los autobuses, para capturar la ubicación en tiempo real y transmitirla vía red celular a la central.

El aporte que distingue a esta experiencia está en su capa de aplicación, pues en lugar de una interfaz web o móvil, materializa la información mediante implementación de pantallas informativas LCD, en estas se puede visualizar el número de la línea de transporte próxima a arribar y el Tiempo Estimado de Llegada (ETA) en minutos (Meza y Leño, 2017).

En resumen, el monitoreo de transporte público mediante software dedicado tiende a crear sistemas de mayor fiabilidad por su precisión en cuanto a geolocalización, e implementa dispositivos dedicados para la Localización Automática de Vehículo (AVL), los cuales se instalan en cada vehículo. Estas herramientas integran sus propios módulos GPS y de comunicación para elevar el nivel de automatización del transporte público.

En esta opción de control del servicio es común encontrar experiencias de regiones con sistemas más sofisticados, en las cuales las administradoras de transporte recolectan y unifican la información de las flotas.

La **Tabla 7** contiene las herramientas TIC de hardware dedicado; al igual que en la tabla anterior, se categorizan en hardware y software, describiendo su rol dentro del sistema.

Tabla 7

Herramientas utilizadas en experiencias con hardware dedicado

| Autor(es) | TIPO DE HERRAMIENTA | HERRAMIENTA | DESCRIPCIÓN |
|---|----------------------------|--|---|
| Viscaino (2024) | Hardware | Sensor GPS/GPRS | Instalado en cada bus, emite posición en tiempo real |
| | Software | Página Web (operador) | Diseñada para que operadores puedan gestionar flotas de TP. |
| Quiñonez et al (2019) | Hardware | Microprocesador: RaspBerry Pi | Compuesto por microprocesador RaspBerry Pi, un módulo GPS y un módulo GSM/GPRS para comunicación inalámbrica. |
| | Software | Algoritmo de rastreo | Desarrollada en Python Interpreta datos del GPS para el servidor |
| | Software | Base de Datos PostgreSQL | Estable para funciones de rastreo Es de código abierto |
| | Software | Página Web (operador) | Diseñada para que operadores puedan gestionar flotas de TP. Genera alertas de desvío. |
| | Software | Aplicación móvil Smart BS (usuario) | Permite visualizar buses Alertas de llegada de bus a paradero |
| Flores, Villarreal et al. (2019) | Hardware | Microprocesador: RaspBerry Pi 3 | Compuesto por microprocesador RaspBerry Pi 3 y módulos GPS/GPRS |
| | Software | Plataforma de desarrollo en nube | Servidor web para recibir, almacenar y procesar datos en MYSQL. Calcular ETA |
| | Software | App móvil: Geous-Pasajero | Desarrollada en Android Visualizar mapas interactivos Muestra ETA |
| | Software | Página web: Geous-Admin | Para el operador del TP Permite extraer datos para gestión de operaciones y auditorías. |
| Li et al (2012) | Hardware | Microprocesador: ARM | Al microprocesador ARM se debe instalar un módulo GPS y un módulo GPRS |
| | Hardware | Sensores Infrarrojos (conteo de pasajeros) | Instalados en las puertas de las unidades |

| Autor(es) | TIPO DE HERRAMIENTA | HERRAMIENTA | DESCRIPCIÓN |
|--------------------------------------|----------------------------|---|--|
| | Hardware | Chip de procesamiento de voz | Es el encargado de anunciar las paradas. |
| | Hardware | Cámaras de video | Instaladas en las unidades con tarjetas SD para almacenamiento. |
| | Software | Aplicación para PC (operador) | Para operadores de transporte público sobre información del servicio y enviar comandos. |
| Martins et al (2024) | Hardware | Microcontrolador: Arduino UNO Wi-Fi | Acompañado de un sensor GPS y un módulo Wi-Fi. |
| | Software | Plataforma de desarrollo en la nube: OutSystems | Plataforma web para almacenar y procesar datos |
| | Software | Google Maps | Utiliza APIs de Google Maps para mostrar la ubicación de buses y rutas. |
| | Software | Aplicación móvil: MOOVIT APP | Planificador de rutas Opción offline para horarios |
| Ferris, Watkins et al. (2010) | Hardware | Sistema AVL | No desarrolla, el TP ya tiene instalado. |
| | Software | Algoritmo de estimación de llegada (ETA) | Cruza la información GTFS con la del sistema AVL para obtener el Tiempo Estimado de Llegada (ETA). |
| | Software | Página web (operador) | Uso del operador del TP Funciones de gestión de eventualidades manuales |
| | Software | Aplicaciones web y móvil (para pasajero) | Ambas plataformas con mismas funciones: Búsqueda de paraderos Ubicación en tiempo real de vehículos ETA para una parada personalizada |
| | Estándar de datos | GTFS | La información estática del transporte es obtenida en el formato de datos GTFS. |
| Obeso, Bautista et al. (2018) | Hardware | Microcontrolador: Arduino UNO R3 | Acompañado de un sensor GPS y un módulo de comunicación de red celular. |
| | Software | Plataforma de desarrollo en la nube | Servidor web para recibir, almacenar y procesar datos en MYSQL. Calcular ETA |
| | Software | Algoritmo de estimación de llegada (ETA) | Lógica de programación para: Estimar el tiempo de llegada (ETA) Velocidad promedio Distancias con respecto a las paradas. |
| | Software | Aplicación móvil | Muestra mapa interactivo Visualiza ETA |

| Autor(es) | TIPO DE HERRAMIENTA | HERRAMIENTA | DESCRIPCIÓN |
|--|----------------------------|---|---|
| Chandurkar, Mugade et al. (2013) | Hardware | Dispositivo AVL "Bus Simulator" | Simulador que integra un receptor GPS/GPRS. |
| | Software | Plataforma de desarrollo en la nube | Base de datos que almacena datos estáticos y dinámicos Contiene el algoritmo de ETA. |
| | Software | Algoritmo de estimación de llegada (ETA) | Divide la ruta en segmentos (links) Calculo de ETA sumando los tiempos de links promedio |
| | Software | Aplicación móvil | Para los usuarios, permite planificar viajes y ver ETA. |
| | Software | Pantallas informativas | Digitales, instaladas en cada paradero con información de los buses. |
| | Software | Página web | Diseñada para los operadores del TP para gestión de operaciones |
| Castro-Correa, Sepúlveda-Mora et al. (2018) | Hardware | Sensor AVL | No especifica |
| | Hardware | Servidor de datos físico (Raspberry Pi 3) | Microprocesador como servidor físico Utiliza la base de datos MySQL y servidor Web Apache. |
| | Software | Google Maps | Utiliza APIs de Google Maps para mostrar la ubicación de buses y rutas. |
| | Software | Página Web | Para usuarios y muestra: Mapa con ubicación tiempo real de buses Gráficas de: velocidad y rutas. |
| Meza, Leño (2017) | Hardware | Transceptor GPS/GSM (MTX-65) | Funciona como modem para el envío de posición en tiempo real de buses. Funciona como receptor de información en pantallas LCD. |
| | Hardware | Pantallas informativas | Pantallas LCD en paraderos Muestra ETA para la línea de bus más próxima. |
| | Software | Servidor de datos físico | Computadora que recibe datos y los procesa para calcular ETA |
| | Software | Algoritmo de estimación de llegada (ETA) | Calcula el ETA ajustando el tiempo de Google Maps, con coeficiente ajustable. |
| Vergara, Peñaloza et al. (2024) | Hardware | Microprocesador: RaspBerry Pi 4 | Unido a módulo GPS y módulo de comunicación 4G. |
| | Software | Plataforma de desarrollo en la nube: Google Firebase | Plataforma virtual del sistema y base de datos. Recepciona, guarda y procesa datos de localización en tiempo real. |

| Autor(es) | TIPO DE HERRAMIENTA | HERRAMIENTA | DESCRIPCIÓN |
|-----------------------------------|----------------------------|---|---|
| | Software | Aplicación móvil (pasajero) | Permite visualizar mapa interactivo Estimación de ETA |
| | Software | Página Web (operador) | Web para operadores de TP que permite la supervisión y gestión de los vehículos. |
| Saad, Hisham et al. (2018) | Hardware | Microprocesador: RaspBerry Pi 3 | Compuesto por módulo GPS y módulo de comunicación 3G. |
| | Software | Plataforma de desarrollo en la nube: Google Firebase | Plataforma y base de datos del sistema. Recepciona, guarda y procesa datos de localización en tiempo real. |
| | Software | Página Web (pasajero) | Sitio web para usuarios de TP. Muestra ubicación en tiempo real de buses y ETA |
| Alzamora y Bautista (2010) | Hardware | Microcontrolador: PIC | Compuesto por modulo GPS y un teléfono móvil como modem para enviar SMS. |
| | Hardware | Servidor de datos físico | PC como servidor conectado a otro microcontrolador y celular que recibe SMS |
| | Software | Página Web (operador) | Exclusivamente para operadores de TP. Permite el monitoreo y consultas de datos de flota. |
| Hidalgo (2018) | Hardware | Localizador: Queclink | Se instala rápidamente en cada bus. Incorpora GPS y GPRS. |
| | Software | Plataforma de desarrollo en la nube: Microsoft Azure | Plataforma en donde se encuentra el servidor central, la base de datos MySQL y la web. |
| | Software | Base de Datos | Es la base MySQL, almacena las rutas, puntos de control, despachos y alertas. |
| | Software | Página web (operador) | Permite monitoreo en tiempo real Gestionar los conductores a buses y rutas Recibir alertas automáticas de mala conducción |

3.1.3 Síntesis de las herramientas de monitoreo identificadas

En la **Tabla 8** se presenta la síntesis de todas las herramientas encontradas durante la revisión bibliográfica. De este análisis se identifica una clara tendencia de digitalizar la infraestructura; la mayoría de las experiencias evitan los servidores físicos y, en su lugar, procesan la información mediante la nube y cartografía digital, lo cual optimiza costos de mantenimiento de servidor y evita la creación de mapas propios.

Con respecto a la capa de adquisición, se identifica una segmentación de dos líneas de diseño. Por un lado, se utilizan smartphones como solución de rápida implementación, preferentes para entornos controlados o planes piloto. Mientras que las arquitecturas basadas en hardware dedicado se establecen como más sólidas para operaciones masivas, garantizando autonomía energética, al trabajar directamente con el sistema eléctrico del vehículo, y la integridad de sus datos, al ser autónomos de la intervención del conductor.

Además, se encuentra una progresiva adopción en el uso de datos abiertos GTFS. Lo cual contribuye a la evolución hacia los Sistemas Integrados de Transporte Público (SITP), permitiendo que la información de monitoreo pueda compartirse libremente. Sin embargo, es necesario precisar que la utilización de este estándar de datos exige la existencia de una entidad reguladora con la capacidad técnica para administrar y actualizar centralizadamente dicha información.

Finalmente, para la aplicación de un sistema de monitoreo en el contexto de la ciudad de Piura, la resistencia del hardware es un factor imprescindible. Considerando las condiciones ambientales: presencia de polvo, calor y vibraciones debido al estado de la infraestructura vial, se recomienda la implementación de localizadores comerciales. A diferencia de los prototipos desarrollados manualmente, basados en microprocesadores o microcontroladores, los equipos comerciales poseen certificaciones y diseño apto para el trabajo bajo dichas exigencias ambientales.

Tabla 8

Resumen de herramientas para monitoreo

| Categoría tecnológica | Herramientas identificadas | Función y aplicación en el monitoreo |
|---|--|--|
| Recopilación de datos (hardware AVL) | Smartphones (GPS/Apps) | Emisión de datos georreferenciados: captura y transmite continuamente coordenadas, velocidad y rumbo hacia el servidor. Su elección define la autonomía y complejidad de la arquitectura. |
| | Microcontroladores (Arduino/PIC) | |
| | Microprocesadores (Raspberry Pi) | |
| | Localizadores comerciales (Queclink) | |
| Sensores adicionales (hardware) | Sensores infrarrojos | Control operacional: herramientas de apoyo para el conteo de pasajeros, comprobación visual de seguridad y reporte de emergencias. |
| | Cámaras de video | |
| | Chip de procesamiento de voz | |
| | Botones de pánico | |
| Procesamiento de datos (software) | Servicios en la Nube (Firebase/Azure) Servidores Físicos (PC/Raspberry) | Gestión de información: Recepciona, almacena y procesa (mediante algoritmos) datos enviados por |

| Categoría tecnológica | Herramientas identificadas | Función y aplicación en el monitoreo |
|---|-----------------------------------|---|
| | Bases de Datos (MySQL/PostgreSQL) | hardware AVL para generar información. |
| Cartografía y estandarización (software) | Google Maps | Interoperabilidad: proveen los mapas para la visualización de rutas y el lenguaje común para el intercambio de datos abiertos entre sistemas. |
| | OpenStreetMap | |
| | Estándar GTFS | |
| Capa de Aplicación (software) | Aplicaciones móviles | Difusión de información: Presentación final de información. Las Webs se suelen enfocarse a la gestión (operadores) y las Apps/Pantallas a la información del servicio (pasajeros). |
| | Páginas web | |
| | Pantallas informativas | |

3.1.4 Herramientas comerciales para el monitoreo del transporte público: Perú

Existen herramientas, desarrolladas fuera del entorno académico, poseen información en tiempo real sobre el transporte público de ciudades del Perú, como son Lima, Trujillo, Arequipa y Cuzco.

Una de las más recientes es TREEP, lanzada en el 2024, aplicación desarrollada por la empresa argentina UALABEE, en colaboración con las autoridades de transporte público de Lima. Mediante esta aplicación el usuario no solo puede planificar el viaje, teniendo en cuenta los trasbordos de buses que debe realizar, sino que también tiene la posibilidad de interactuar con la aplicación reportando paradas como inseguras o alguna eventualidad ocurrida en el momento (ULABEE, 2024).

Para la gestión de transporte público UALABEE genera data en el estándar GTFS en toda la ciudad, además de desarrollar APIs para que otros desarrolladores puedan consumir información sobre rutas, horarios y tarifas. Sin embargo, el trabajo de esta empresa es gestión directa con la entidad estatal de la ciudad, por lo que el desarrollo de una iniciativa en la ciudad de Piura dependerá de la gestión municipal.

Por otro lado, se encuentra la iniciativa “TuRuta”, diseñada en el 2016, para la ciudad de Lima. Esta aplicación, de uso gratuito, utiliza los smartphones de los conductores de buses para obtener la ubicación en tiempo real y mostrarla en su interfaz. Al igual que TREEP, permite planificar al usuario el viaje completo, considerando el trasbordo entre líneas de buses. Sin embargo, lo que marca la diferencia en esta aplicación es la posibilidad de ver el precio del pasaje para cada línea de bus (Nishiyama, 2019).

Además, existe “Moovit” una aplicación internacional, que a diferencia de las dos aplicaciones anteriores las cuales se enfocan en Lima, tiene monitoreado provincias como Trujillo, Arequipa y Cuzco. Este planificador de viajes ofrece información sobre paraderos y

rutas, sin embargo, para la opción de visualización de vehículos del servicio en tiempo real se requiere un pago adicional.

Finalmente, en la **Tabla 9** se encuentra la síntesis de las principales características que ofrecen las tres herramientas de monitoreo comerciales analizadas anteriormente.

Tabla 9

Herramientas comerciales para monitoreo de transporte en Perú

| Herramienta / App | TREEP | TuRuta | Moovit |
|--|--|---|---|
| Alcance geográfico | Lima y Callao | Lima y Callao | Lima, Trujillo, Arequipa y Cuzco |
| Fuente de datos | -Genera GTFS (a partir de la entidad reguladora). -Reporte de usuarios en app. | -GPS de conductores. | -Datos de: operadores, editores de su comunidad |
| Funcionalidades para el usuario | -Planificación de viajes. -Alerta de seguridad en paraderos. -Chat colaborativo. | -Visualización de rutas informales. -Información de tarifas. | -Interfaz global. -Alertas de servicio. |

Como demuestra la literatura, actualmente se ofrecen plataformas digitales claramente estructuradas en la gestión de movilidad, sin embargo, para ciudades en vías de desarrollo como Piura se encuentran con una barrera estructural: la dependencia de datos estandarizados. Aplicaciones como Treep requieren de una infraestructura de datos abiertos, como los GTFS y una operación de transporte formalizada, condiciones que en el contexto local aún no se han logrado.

Ante este contexto, la importancia de la presente tesis se encuentra en proponer la arquitectura base con la que estos sistemas puedan ser alimentados. Mientras las herramientas comerciales se enfocan en la capa de aplicación, lo visible al usuario, esta investigación aborda la capa de adquisición, planteando una propuesta viable que sea capaz de la data que en la ciudad aun es inexistente. En conclusión, la propuesta no busca competir con estas herramientas, sino establecer el marco técnico para que, en un futuro, la ciudad de Piura pueda integrarse a plataformas digitales de movilidad.

3.2 Parámetros requeridos en el monitoreo del transporte público

La gestión del transporte público experimenta una transición desde la supervisión empírica hacia un monitoreo sistemático basado en datos. Este cambio es impulsado por la aparición de aplicaciones para el monitoreo del servicio, que permiten recolectar, procesar y entregar información en tiempo real, optimizando la operación del servicio.

La Información en Tiempo Real (RTI para “Real-Time Information”) se considera crucial dentro de los Sistemas Integrados de Transporte Público (SITP), ya que se establece como un mecanismo efectivo para incentivar la demanda y la utilización del Transporte Público (Macedo et al., 2021). En consecuencia, diversos autores identifican parámetros que determinan la calidad técnica del servicio.

Según Caulfield y O’Mahony (2009), la disponibilidad de RTI es necesaria para asegurar la confiabilidad del servicio de transporte público, pues permite verificar el cumplimiento de los itinerarios y reduce la incertidumbre del sistema.

De acuerdo con el análisis de Macedo et al. (2021) que define al tiempo de llegada y salida de los vehículos como indicadores de rendimiento del sistema. El monitoreo preciso de estos eventos conforma la base para la medición de la puntualidad, parámetro necesario para mantener la regularidad del servicio.

Por otra parte, Gebresselassie y Sanchez (2018) sostienen que el desarrollo de aplicaciones móviles o plataformas de visualización debe fomentar la inclusión social en el servicio de transporte público, integrando herramientas específicas para las necesidades de personas con discapacidad

Por ello, definir los parámetros clave no se relaciona únicamente con preferencias subjetivas, sino que conforma la base de evaluación de eficiencia operacional del sistema y calidad del servicio. A continuación, se presentan los parámetros identificados bajo este enfoque

3.2.1 Parámetros operacionales: orientados a los operadores

A través de la revisión bibliográfica, se han identificado parámetros enfocados en la gestión operacional, los cuales priorizan la entrega de información al operador del servicio de transporte público para facilitar la supervisión de las actividades. En esta sección se detalla la definición operacional de cada parámetro identificado en dicho enfoque.

- **Ubicación de vehículo en tiempo real:** definido como la adquisición y visualización en tiempo real de la ubicación de cada unidad de transporte público sobre un mapa virtual. Este parámetro es la fundamentación técnica del monitoreo, permitiendo al operador supervisar la posición de la flota a cada instante, mediante dispositivos AVL.
- **Cumplimiento del servicio:** evalúa si el vehículo de la flota mantiene la ruta predefinida por el operador. Dentro de la actividad se mide mediante algoritmos de geocercas que alertan en caso la posición de las unidades salgan de los límites de la ruta y paraderos (Quiñonez et al., 2019).

A través del análisis de las experiencias, se observa que el parámetro es usado en la fiscalización del operador para controlar que las unidades se apeguen a rutas predefinidas.

- **Tiempo de conducción efectiva:** enfocado en la seguridad vial, cuantifica la duración acumulada de la actividad del conductor. Se determina mediante el registro automático del tiempo del vehículo cuando está en movimiento, usado para supervisar los límites de fatiga laboral y evitar siniestros (Viscaino et al., 2024).

Es un parámetro poco desarrollado a través de las experiencias, sin embargo, resalta lo hecho por Hidalgo (2018), en el cual se registra de manera automática el tiempo en que cada bus está en movimiento.

- **Tasa de quejas y reclamos:** indicador de retroalimentación en el servicio. Se implementa mediante canales de comunicación digitales, estos pueden estar integrados a la aplicación final, como sucede con Castro-Correa et al. (2018), o enlazados a la posibilidad de enviar correos a la institución, como en el caso de Abarca (2024).

- **Ocupación y densidad de pasajeros:** mide el nivel de carga de pasajeros de cada vehículo. Dentro de la arquitectura de diseño se logra mediante la integración de sensores de conteo, como sensor infrarrojo de proximidad y cámaras de verificación, permitiendo al operador la evaluación constante de la capacidad de su sistema y evita el hacinamiento (Li et al., 2012).

Al ser una funcionalidad que requiere de herramientas adicionales, este parámetro se ha observado con la experiencia de Li et al. (2012), que tiene como diferenciador principal haberse desarrollado en un SITP de mayor complejidad que las experiencias observadas en la región de Latinoamérica.

- **Regularidad:** parámetro operativo que mide la constancia de intervalo de tiempo (headway) entre vehículos próximos de una misma ruta. Dentro de un prototipo, el sistema calcula la frecuencia de paso en paraderos para corroborar la regularidad, generando alertas si la diferencia entre tiempos se extiende considerablemente.

La experiencia de Hidalgo (2018) destaca por registrar y alertar los tiempos que cada bus genera entre puntos de control predefinidos.

- **Velocidad Comercial:** evalúa la eficiencia del sistema, a través del cálculo de la velocidad media de viaje de la flota, considerando en la medición los tiempos de movimiento y el tiempo que se mantiene en un paradero. Este parámetro se logra segmentando la ruta, de esta manera se logra identificar tramos con mayor congestión y evaluar el nivel de servicio de la infraestructura vial.

Del mismo modo, Hidalgo (2018) fiscaliza la velocidad promedio que cada unidad mantiene entre cada punto de control generado.

3.2.2 Parámetros de calidad y fiabilidad: orientados al usuario

Por otro lado, el análisis de la literatura revela parámetros orientados a la calidad del servicio desde la perspectiva del pasajero. Estos se enfocan en reducir la incertidumbre del

usuario mediante entrega de información relevante. A continuación, se detallan los parámetros identificados en este concepto.

- **Ubicación de vehículo en tiempo real:** permite al usuario final visualizar la representación gráfica de la posición de los vehículos sobre un mapa interactivo. La diferencia con el enfoque operacional, este parámetro se orienta en la interfaz para el usuario, de esta manera facilita la identificación de unidades próximas al paradero donde se encuentre.

La manera de presentar este parámetro al pasajero es similar a lo que se entrega a los operadores: una interfaz de un mapa donde se visualiza el movimiento en tiempo real de las unidades. Hay que tener en cuenta que este parámetro aplica a las experiencias que desarrollaron un producto para pasajero, como se indica anteriormente en la **Tabla 5**.

- **Puntualidad:** este parámetro permite calcular el Tiempo Estimado de Arribo (ETA) del vehículo hacia un paradero, informando al pasajero en cuántos minutos llegará el bus que desea abordar. Mediante este parámetro se reduce la incertidumbre de espera (Bruglieri et al., 2015).

Para el contexto de Latinoamérica, Hidalgo (2018) desarrolla con un nivel de personalización más alta que otras experiencias, ya que su aplicación para pasajero emite alerta automática de la proximidad de un bus de una línea elegida por el usuario.

- **Tiempo total de viaje:** cuantifica la duración total del desplazamiento del usuario desde su origen hasta el destino final. Para el caso de sistemas de transporte integrados, este cálculo incluye el tiempo de viaje en el vehículo, además de los tiempos de espera y transbordo.

El desarrollo que considera la totalidad de este parámetro lo logra Bruglieri et al. (2015), pues su prototipo calcula tiempo que el pasajero demorará en llegar a su destino, modificándose si hubiera alguna interrupción y considerando trasbordos.

- **Gestión de eventualidades no programadas:** es la capacidad del sistema para detectar, registrar y alertar situaciones que alteren el normal funcionamiento del servicio, por ejemplo: averías, accidente, congestión. Este parámetro incluye la generación de notificaciones, automáticas o manuales, que informan al usuario para que este pueda tomar decisiones de viaje alternativas.

Las experiencias demuestran que este parámetro ha sido manejado, en su mayoría, de forma manual, de tal manera que el operador o el conductor tiene la responsabilidad de informar en el sistema la ocurrencia de imprevistos para informar al pasajero.

Sin embargo, Bruglieri et al. (2015) es la única experiencia de automatización, con la consideración que las eventualidades las reporta una entidad estatal encargada del control de transporte público de la ciudad.

En la **Tabla 10** se visualiza el análisis de cada parámetro en las experiencias de monitoreo incluidas en este estado del arte.

A partir de esta información se puede afirmar que todas las experiencias han logrado implementar el monitoreo de vehículos en tiempo real, independientemente si el enfoque del sistema era operacional o de calidad. Se considera como parámetro realizado si el sistema cumple con alguno de los dos enfoques. Además, se identifica que cada experiencia posee diferencias en el nivel de automatización de este proceso.

Sin embargo, se identifican dos brechas operacionales. En primer lugar, ninguna experiencia ha implementado el parámetro de tiempo de conducción efectiva, de manera automática. Este debería considerarse como mejora para reforzar la seguridad vial al prevenir fatiga de los conductores.

En segundo lugar, la interacción con el usuario. Pese a la importancia que tiene la retroalimentación del servicio, con el objetivo de implementar mejoras para hacer el transporte público más atractivo, únicamente Castro-Correa et al. (2018) y Abarca (2024) han considerado incluir maneras de que el usuario cuente con un espacio para compartir su impresión del servicio.

Asimismo, en el parámetro operacional de nivel de ocupación y densidad de pasajeros se identifica que Li et al. (2012) es la única experiencia que lo incluye como función, sin embargo, este parámetro requiere de adición de sensores al vehículo, lo que eleva la complejidad de programación y supone aumento de costos.

Con respecto al parámetro de regularidad, destacan las propuestas de Hidalgo (2018) y Viscaino et al. (2024), ambas implementan módulos de software diseñados para la medición automática de adelantos o retrasos de las unidades respecto al intervalo o itinerario programado.

Para el indicador de velocidad comercial, la experiencia de Castro-Correa et al. (2018) resulta destacable, pues su plataforma genera gráficas de velocidades de cada vehículo, permitiendo un análisis visual de la flota. Además, Alzamora y Bautista (2010) e Hidalgo (2018) otorgan validez a la viabilidad técnica de monitorear esta variable usando GPS; si bien sus autores orientaron la generación de este dato hacia la seguridad vial, identificar exceso de velocidad, esta tecnología puede ser utilizada para el cálculo de la velocidad media de operación.

Respecto a los parámetros de calidad de servicio, la puntualidad (ETA) se ha considerado gran parte de las experiencias que tenían como objetivo un producto final para el usuario. Además, cabe destacar que la experiencia del planificador de ruta (Travel Planners)

diseñado por Bruglieri et al. (2015), el cual ofrece la automatización completa del parámetro a disposición del usuario. En oposición, se encuentran las experiencias de: Alzamora y Bautista (2010), Hidalgo (2018) y Viscaino et al. (2024), cuyos sistemas son de uso exclusivo para operadores de TP.

Posteriormente, con respecto al parámetro de gestión de eventualidades no programadas, destaca MOTUS de Bruglieri et al. (2015), pues es el único prototipo capaz de alertar y gestionar automáticamente frente a incidencias durante la actividad del servicio.

Cabe señalar que, si bien las experiencias de Alzamora y Bautista (2010) e Hidalgo (2018) poseen funciones de generación de alertas automáticas (relacionadas a excesos de velocidad o desvíos de ruta) dirigidas únicamente al operador. Por consiguiente, bajo el criterio de evaluación de la **Tabla 10** (enfocado en información dirigida al pasajero), se considera como función no desarrollada.

Por otro lado, para la realización de los prototipos es necesario distinguir entre los datos dinámicos, los cuales son generados en tiempo real por los sensores, y los datos estáticos, información del servicio de transporte público. El funcionamiento de los parámetros de monitoreo no solo depende de las herramientas tecnológicas implementadas, sino también del ingreso previo de información en la base de datos.

En la **Tabla 11** se ordenan estos requerimientos correlacionando cada parámetro de monitoreo con la herramienta tecnológica necesaria, sea software o hardware, y con la información estática que debe ser habilitada para entregar a la base de datos.

Para concluir la sección, se debe precisar que los parámetros definidos se extrajeron de las funcionalidades desarrolladas en los prototipos de la revisión bibliográfica, los cuales responden a criterios clásicos de ingeniería de tránsito, tales como eficiencia operativa y tiempos de viaje. Sin embargo, al contrastar este enfoque con las nociones de Movilidad Urbana Sostenible (MUS), se aprecia una brecha en la implementación de funciones.

Lo primero que se evidencia, respecto al principio de equidad y accesibilidad universal, es la carencia de información enfocada a población vulnerable. Ninguna de las experiencias analizadas incluye información sobre accesibilidad física de los vehículos, por ejemplo, la existencia de rampas, plataformas de piso bajo, y tampoco sobre la infraestructura de los paraderos, por lo que limita la planificación de viajes en personas con movilidad reducida.

También, se puede concluir un vacío en la información tarifaria. Los prototipos evaluados no incorporan visualización de costos de viaje ni algún método de integración tarifaria, información que termina siendo determinante para la planificación de viaje del usuario.

Finalmente, en la dimensión de sostenibilidad ambiental, no se encuentran funciones para fomentar la intermodalidad del transporte. Ninguna de las experiencias académicas incluye información que relacione el transporte público con la micromovilidad, omitiendo

datos sobre red de ciclovías, disponibilidad de estacionamientos de bicicletas o conexión con sistemas de scooters eléctricos.



Tabla 10*Análisis de parámetros por experiencia de monitoreo*

| Autor(es) / Parámetros | Parámetros operacionales (operador) | | | | | | | Parámetros de calidad (usuario) | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|-------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--|
| | Ubicación en tiempo real | Cumplimiento del servicio | Tiempo de conducción efectiva | Tasa de quejas y reclamos | Ocupación y densidad de pasajeros | Regularidad | Velocidad comercial | Puntualidad | Tiempo Total de viaje | Gestión de eventualidades no programadas |
| De la cruz (2025) | Sí | Manualmente | No | No | No | No | No | Manualmente (visual) | No | Manualmente |
| Valencia (2018) | Sí | Manualmente | No | No | No | No | No | Manualmente (visual) | No | No |
| Abarca (2024) | Sí | Automático | No | Sí (e- mail) | No | No | No | Sí (Datos GTFS) | No | Manualmente (editar GTFS) |
| Viscaino et al. (2024) | Sí | Manualmente | No | No | No | Automático | No | No | No | No (desvíos para operador) |
| Quiñonez et al. (2019) | Sí | Manualmente (web del operador) | No | No | No | No | No | Sí (alertas personalizadas) | No | No (alerta de desvíos para operador) |
| Li et al. (2012) | Sí | Manualmente | No | No | Sí (sensor infrarrojo) | No | No | Manualmente (comando de voz) | No | Manualmente (central comunica mediante voz) |

| Autor(es) / Parámetros | Parámetros operacionales (operador) | | | | | | Parámetros de calidad (usuario) | | | |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------------|---|-------------|--|--|--------------------------|--|
| | Ubicación en tiempo real | Cumplimiento del servicio | Tiempo de conducción efectiva | Tasa de quejas y reclamos | Ocupación y densidad de pasajeros | Regularidad | Velocidad comercial | Puntualidad | Tiempo Total de viaje | Gestión de eventualidades no programadas |
| Bruglieri et al (2015) | Sí | Automático | No | No | No | No | No | Sí (web) | Sí | Automáticamente |
| Martins et al (2024) | Sí | Manualmente | No | No | No | No | No | Parcialmente (propone como mejora) | Sí | No |
| Ferris, Watkins et al. (2010) | Sí | Manualmente | No | No | No | No | No | Si (estima ETA en las plataformas) | No | Manualmente (alertas desde web de operador) |
| Obeso, Bautista et al. (2018) | Sí | No | No | No | No | No | No | Si (estima ETA con algoritmo) | No | No |
| Chandurkar, Mugade et al. 2013 | Sí | Manualmente | No | No | No | No | No | Si (Algoritmo adaptativo para ETA) | Si | Manualmente (reporte de averías) |
| Castro- Correa, Sepúlveda -Mora et al. (2018) | Sí | Manualmente (registro en tablas) | No | Sí (en la platafor ma web) | No | No | Manualme nte (registro en tablas) | Si (estima ETA con algoritmo) | No | No |

| Autor(es) / Parámetros | Parámetros operacionales (operador) | | | | | | Parámetros de calidad (usuario) | | | |
|---|-------------------------------------|---|--|------------------------------|---|-------------|---------------------------------|---|--------------------------|--|
| | Ubicación en tiempo real | Cumplimiento del servicio | Tiempo de conducción efectiva | Tasa de quejas y reclamos | Ocupación y densidad de pasajeros | Regularidad | Velocidad comercial | Puntualidad | Tiempo Total de viaje | Gestión de eventualidades no programadas |
| Meza, Leaño (2017) | Sí | Manualmente (itinerario vs rastreo) | No | No | No | No | No | Si (algoritmo de estimación ETA) | No | Manualmente (Central envía alertas a las pantallas) |
| Flores, Villarreal et al. (2019) | Sí | Manualmente (web del operador) | Manualm ente (datos del app del conductor) | No | No | No | No | Si (calculo ETA que ofrece app) | No | No |
| Vergara, Peñaloza et al. (2024) | Sí | Manualmente (web del operador) | No | No | No | No | No | Si (calculo ETA que ofrece app) | No | No |
| Saad, Hisham et al. (2018) | Sí | No | No | No | No | No | No | Si (calculo ETA en web de pasajero) | No | No |
| Velázquez , Arrúa (2018) | Sí | No | No | No | No | No | No | Si (cálculo ETA en app pasajero) | No | No |

| Autor(es) / Parámetros | Parámetros operacionales (operador) | | | | | | | Parámetros de calidad (usuario) | | |
|---|-------------------------------------|---|--|------------------------------|---|---|--|---------------------------------|--------------------------|--|
| | Ubicación en tiempo real | Cumplimiento del servicio | Tiempo de conducción efectiva | Tasa de quejas y reclamos | Ocupación y densidad de pasajeros | Regularidad | Velocidad comercial | Puntualidad | Tiempo Total de viaje | Gestión de eventualidades no programadas |
| Alzamora y Bautista (2010) | Sí | Manualmente (datos en web operador) | Manualm ente (datos en web operador) | No | No | Manualme nte (datos en web operador) | Si (objetivo: límites de velocidad) | No | Si (para operador) | No (exceso de velocidad para operadores) |
| Hidalgo (2018) | Sí | Automático | Automátic o | No | No | Automático | Si (objetivo: límites de velocidad) | No | Manualme nte | No (alertas son para operadores) |

Tabla 11

Tabla de datos estáticos requeridos para monitoreo en el transporte público

| Parámetro | Clasificación de TIC | TIC requerido (Software/hardware) | Datos estáticos requeridos |
|--|-----------------------------|---|--|
| Ubicación en tiempo real | Hardware | Dispositivos AVL (microprocesadores, microcontroladores, localizadores, smartphone) | Inventario de buses, que incluyan: -Número de placa -Empresa operadora |
| | Software | Base de datos (Firebase, MySQL, Azure) | -Nombre de ruta -Número interno de unidad |
| | Software | APIs cartográficos (Google Maps, OSM) | |
| Cumplimiento del servicio | Hardware | Dispositivos AVL (microprocesadores, microcontroladores, localizadores, smartphone) | Digitalización de rutas: -Trazo de ruta georreferenciada (en un mapa) -Paraderos (para tolerancias de tiempos de parada) |
| | Software | Algoritmos de geocercas (alertas de desvíos de rutas) | |
| Tiempo de conducción efectiva | Hardware | Módulo GPS | -Límite de tiempo de conducción para conductor. |
| | Software | Algoritmo de cálculo de tiempo | -Horarios de trabajo. |
| Tasa de quejas y reclamos | Software | Correo / redes sociales | -Información de contacto del operador (correo institucional o redes sociales). |
| | Software | Módulo de quejas y reclamo (dentro del sistema) | |
| Ocupación y densidad de pasajeros | Hardware | Sensores infrarrojos en puertas de vehículos | -Capacidad de pasajeros máxima permitida en cada unidad. |
| | Hardware | Cámaras de video | |
| Puntualidad | Hardware | Servidor de procesamiento (Firebase, microprocesadores) | Información con respecto a paraderos: -Ubicación georreferenciada de cada paradero -Secuencia ordenada de los paraderos en cada ruta (considerando ida y vuelta) |
| | Software | Desarrollo de algoritmos de predicción para estimación de llegada (ETA) | -Horario de salida (en el caso existiera) |
| Tiempo Total de viaje | Hardware / Software | Servidor (digital o físico) para registro de tiempos | Definir la actividad: -Ubicación de paraderos (origen y destino) |

| Parámetro | Clasificación de TIC | TIC requerido (Software/hardware) | Datos estáticos requeridos |
|---|----------------------|--|--------------------------------------|
| | Software | Base de datos (Firebase, MySQL, Azure) | -Horarios de salida (imprescindible) |
| Gestión de eventualidades no programadas | Hardware | Botón de pánico | Protocolos de seguridad: |
| | Software | Sistema de notificaciones | -Clasificación de alertas |
| | Software | Panel de alertas | -Información de contacto |



Capítulo 4

Análisis preliminar de viabilidad del monitoreo de transporte público en Piura

En esta sección final se describe el contexto actual de la ciudad de Piura con respecto al transporte público, se presenta la información obtenida sobre las rutas existentes en la ciudad, para finalmente, entregar una propuesta de prototipo de monitoreo para el servicio de transporte público para la ciudad.

4.1.1 Situación actual del transporte público en la ciudad de Piura

Siguiendo los objetivos de la movilidad urbana sostenible, el gobierno peruano impulsa la implementación de Sistemas Integrados de Transporte Público (SITP) en colaboración con diversas municipalidades del país. Esta iniciativa busca transformar las ciudades en espacios inclusivos, donde la prioridad sea el peatón y el transporte no motorizado, por encima del automóvil particular. La municipalidad de Piura forma parte de los gobiernos locales considerados en este proceso para alcanzar la sostenibilidad de su sistema de transporte (Diario El Peruano, 2023).

En este sentido, en el 2019, en alianza entre la Municipalidad de Piura y el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) para la elaboración de el Plan Maestro de Movilidad Urbana Sostenible (PMMUS). Dicho documento estableció directrices claras orientadas a mejorar la calidad de vida de la población, fomentando el transporte público como la opción más eficiente y sustentable en aspectos económicos, sociales y ambientales (Martínez, Gomez Macho, et al., 2019).

En específico, el PMMUS resalta la necesidad de implementar de un Sistema de Ayuda a la Explotación (SAE) y sistemas de información al usuario, como parte de la reestructuración del transporte público de la ciudad (Martínez, Gomez Macho, et al., 2019). Sin embargo, a la fecha, no se evidencia la materialización de estas recomendaciones tecnológicas para la gestión operativa del servicio.

Con respecto a la oferta del servicio de transporte, en noviembre del 2024 la Municipalidad Provincial de Piura actualizó el Plan Regulador de Rutas (PRR), mediante la ordenanza OM N° 092-03-CMPP, 2024, organizando una red de 22 Rutas Diametrales (RD) para la ciudad. La operación gradual de estas rutas ha permitido expandir la cobertura del transporte público hacia zonas periféricas anteriormente desatendidas (Municipalidad Provincial de Piura, 2024).

Sin embargo, pese a la nueva red de rutas, se mantienen deficiencias estructurales. Como la clara precariedad en la infraestructura de paraderos, los cuales consisten en estructuras metálicas carentes de elementos de información estática o dinámica para el usuario, tal como se observa en la **Figura 3**. A esto se suma, que una ubicación centralizada, limitando su presencia a avenidas principales de la ciudad.

Figura 3

Paradero de transporte público instalados en la ciudad de Piura



A la carencia de infraestructura apropiada, se suma una fiscalización municipal deficiente, fomentando la informalidad en la operación. Esto se traduce en la poca utilización de los paraderos formales, el ingreso y salida de pasajeros en lugares no autorizados y la alteración arbitraria de rutas por parte del conductor del vehículo.

En resumen, el análisis situacional permite afirmar que las acciones realizadas por parte de la entidad son insuficientes, pues no integran los mecanismos tecnológicos y de gestión que el PMMUS recomienda. Esta ausencia de monitoreo sistemático genera un impacto negativo en el nivel de servicio: a pesar de contar con un área metropolitana con cortas distancias de desplazamiento, los tiempos de viaje en transporte público siguen en aumento. En consecuencia, se hace más atractivo el transporte privado motorizado (Martínez, Gomez Macho, et al., 2019).

4.1.2 Rutas diametrales de la ciudad de Piura

Anteriormente se ha descrito, que la autoridad municipal ha establecido una nueva red de rutas diametrales para la reestructuración del transporte público de la ciudad. Sin embargo, el análisis de la documentación oficial revela una dispersión de la información y algunas inconsistencias.

Concretamente, se identifican limitaciones en la integridad de los datos publicados en la OM N° 092-02-CMPP, 2024 y sus posterior modificatoria OM N° 092-03-CMPP, 2024. Por ejemplo, RD-20 no tiene un itinerario detallado en el documento publicado, mientras que los anexos técnicos de las rutas actualizadas tras quedar desiertas no se encuentran anexadas a

la modificatoria. Además, persisten vacíos de información de la adjudicación, como en la RD-13, sobre la cual no se registran datos del operador.

Ante este contexto de fragmentación de datos, la presente investigación ha realizado la recopilación, validación y ordenamientos de la información disponible. En la **Tabla 12** se presenta el inventario de las rutas diametrales vigentes, junto a datos de operadores identificados para el servicio de transporte de la ciudad.

Tabla 12

Rutas diametrales de la ciudad de Piura a partir del nuevo Plan Regulador de Rutas

| Ruta Diametral | Empresa | Longitud (Km) | Observaciones |
|-----------------------|--|----------------------|---|
| RD - 01 | Servicio & Transporte de Pasajeros Guadalupe SA | 16.8 | Guadalupe |
| RD - 02 | Empresa de Transportistas Unidos Super Star SRL | 12.9 | Super Star |
| RD - 03 | Empresa de Transportes Continuadores EMUTSA CALLE GARCIA ASOCIADOS SC | 18.4 | EMUTSA |
| RD - 04 | Transportes El Sol de Piura SAC | 15.3 | Empresa divide en 2 rutas Sta. margarita (UCV) Av. Circunvalación |
| RD - 05 | Empresa de Transportes Grupo Empresarial de Transportistas Rutas del Norte SAC | 96.2 | Ruta Las Lomas |
| RD - 06 | E.T. Unidos Bajo Piura SA | 29.7 | EMTRUBAPI |
| RD - 07 | Sin información encontrada | 22 | No se encuentra información |
| RD - 08 | Empresa de Transportes 6M Buss S.A.A. | 18.3 | 6M buss |
| RD - 09 | Empresa de Transportes Olas del Pacífico SAC | 17.3 | Olas del pacífico |
| RD - 10 | Empresa de Transportes Bolognesi 6C SA | 20.8 | Bolognesi 6C |
| RD - 11 | Empresa de Transportes y Servicios Santo Toribio de Mogrovejo SAC | 14.8 | LUGEDA |
| RD - 12 | Empresa de Transportes y Servicios Generales Autogas | 11.3 | No se logró apreciar en ruta |
| RD - 13 | Sin información encontrada | 13.7 | No se encuentra información |
| RD - 14 | Empresa de Transportes Nueva Alternativa del Norte SAC | 14.9 | Ruta Los Ejidos |
| RD - 15 | Empresa de Transporte y Servicios El piuranito SAC | 32.6 | El Piuranito RD-15 |
| RD - 16 | Empresa de Transportes Nueva alternativa SAC | 11.8 | Ruta Av. Francia |

| Ruta Diametral | Empresa | Longitud (Km) | Observaciones |
|-------------------|--|------------------|------------------------------|
| RD - 17 | Empresa de Transporte Rápido Universal SAC | 14.6 | No se logró apreciar en ruta |
| RD - 18 | Cruzero Del Norte De Piura SAC | 11.2 | Cruzero |
| RD - 19 | Empresa de Transporte Corredor Morado SAA | 13.3 | Corredor Morado |
| RD - 20 | Empresa de Transporte Sican Bus SAC | 15.8 | Sin itinerario en PRR |
| RD - 21 | Empresa de Transportes 6M Buss S.A.A | 18.9 | Misma empresa que RD-08 |
| RD - 22 | Empresa de Transporte Urban 3 SAC | No especifica | Urban 3 |

4.1.3 Viabilidad de réplica en la ciudad de Piura

El análisis del sistema de transporte público en Piura revela que se caracteriza por un bajo nivel de formalización operativa y una infraestructura de paraderos deficiente. Ante este contexto, se propone el diseño de una arquitectura mixta, que integra la solidez del enfoque operacional de Hidalgo (2018) y el enfoque de calidad de información al usuario de Quiñonez et al. (2019). La viabilidad de esta propuesta toma en cuenta los siguientes puntos:

- **Informalidad:** pese al entorno de informalidad que se tiene en la ciudad, como los desvíos de ruta, “correteo” entre unidades y exceso de velocidad, la viabilidad de la idea se fundamenta en la naturaleza de dispositivo AVL Queclink GV300. Debido a que es un hardware de instalación fija, se garantiza la independencia de la transmisión de datos, pues no necesita intervención humana para su operación, el localizador no se puede desactivar ni en caso de que se apague el bus.
- **Fiscalización:** esta recomendación se convertirá en apoyo de fiscalización municipal, actualmente escasa. Mediante la plataforma web para operadores permite digitalizar el control para el cumplimiento de rutas y reemplazará el sistema manual de “marcado de tarjeta”. Esto ofrece a las empresas operadoras herramientas de supervisión que aumentarán la productividad, por ende, las ganancias.
- **Adaptabilidad social:** mientras que, en la adopción por parte del pasajero, el alto acceso a smartphone con acceso a internet en Piura metropolitana facilitará el uso de la aplicación móvil como canal de información del servicio. Sin embargo, de acuerdo a las estrategias complementarias de Abarca (2024), el éxito de este tipo de canales requiere de estrategias de difusión, como campañas informativas, publicidad en paraderos y videos publicitarios, para concientizar al pasajero sobre uso y beneficios del sistema.

- **Viabilidad económica:** tomando en cuenta los precios descritos por Hidalgo (2018), la inversión de cada localizador oscila en los 90 USD, monto considerablemente inferior a utilizar un smartphone como rastreador. Además de ser un dispositivo de mayor vida útil y menor riesgo de hurto.
- **Proyección a futuro:** considerando el plan a futuro de la ciudad de Piura de la creación de su propio SITP, la propuesta es compatible a esta escala. Los localizadores son compatibles con el sistema eléctrico de cualquier tipo de unidad, lo que garantiza su validez ante una renovación de flotas, como buses eléctricos. La inversión de este hardware seguirá vigente a futuro, necesitando únicamente la reconfiguración de software, cambio de itinerarios y rutas, para adaptarse al nuevo modelo.
- **Rechazo de parte de conductores:** es probable que los conductores de líneas de buses se sientan “vigilados” ante esta propuesta, por ello se requiere ejecutar campañas de sensibilización previas. La estrategia principal se debe enfocar en no ver al sistema como un mecanismo de multas, sino como una herramienta de seguridad y ordenamiento.

Por otro lado, respecto a los elementos de esta propuesta de monitoreo, en la capa de adquisición de datos, se ha elegido el dispositivo AVL Queclink GV300. Esta elección, sustentada en el requerimiento de un hardware capaz de soportar las exigentes condiciones ambientales de la ciudad, altas temperaturas, polvo y vibraciones. Este equipo garantiza la continuidad de emisión de datos vía red celular y ofrece opciones avanzadas para el cálculo de velocidades al contar con acelerómetro integrado (Hidalgo, 2018).

En la capa de procesamiento de datos, se debe desarrollar la lógica de geocercas implementado por Hidalgo (2018), diseñado para fiscalizar automáticamente el cumplimiento de las rutas y uso de paraderos autorizados, reduciendo la necesidad de contar con personal de fiscalización en campo. Y la lógica de Estimación de Tiempo de Llegada (ETA), basado en la propuesta de Quiñonez et al. (2019), que se enfoca en reducir la incertidumbre del pasajero, fomentando el uso del transporte público.

Finalmente, la propuesta debería generar dos interfaces:

- **Página web (operadores):** herramienta orientada a la supervisión del cumplimiento itinerarios y regularidad del servicio, además de la detección automática de acciones incorrectas de conducción. Su creación se hace con el objetivo de incentivar la formalización administrativa al ofrecer soluciones que permiten optimizar el rendimiento y aumentar ganancias económicas.
- **Aplicación móvil (pasajeros):** plataforma informativa que proporciona la visualización en tiempo real de la ubicación de los buses y notificaciones de

proximidad de un vehículo hacia el paradero del usuario, mejorando la experiencia de viaje

Considerando el volumen actual del sistema de buses de la ciudad, 22 rutas diametrales, la arquitectura de diseño propuesta tiene la capacidad necesaria para gestionar la cantidad de datos de las flotas actuales de Piura. A continuación, la **Tabla 13** detalla las especificaciones técnicas de cada componente y su relación con los parámetros definidos en la investigación.

Tabla 13

Descripción de arquitectura del prototipo viable para la ciudad de Piura

| Componente (herramienta) | Descripción | Parámetros desarrollados | Fuente |
|---|---|--|--|
| Unidad AVL Queclink GV300 | Soporta condiciones de polvo y calor. Posee acelerómetro para detectar conducción agresiva. Batería de respaldo, sigue datos incluso con vehículo apagado | Ubicación en tiempo real. | Hidalgo (2018) |
| Infraestructura en la nube (Microsoft Azure) | Garantiza copias de seguridad sin servidor físico. Evita costos de mantenimiento. | Ubicación en tiempo real. Cumplimiento de servicio. | Hidalgo (2018) |
| Base de datos (MYSQL) | Compatibilidad el servidor Azure. Capacidad de almacenamiento de datos de buses, rutas, paraderos, usuarios. | Ubicación en tiempo real. Cumplimiento de servicio | Hidalgo (2018) |
| Lógica de geocercas (para desvío de rutas) | Delimite ruta y paradero. Alerta si alguna unidad desvía. | Cumplimiento del servicio. | Hidalgo (2018) Quiñonez et al. (2019) |
| Lógica para estimación ETA | Predice tiempo de llegada del bus más próximo. Notifica al pasajero sobre esta llegada. | Puntualidad. | Quiñonez et al. (2019) |
| API de Google Maps | Permite mostrar en mapa las ubicaciones en tiempo real de cada vehículo | Ubicación en tiempo real. | Quiñonez et al. (2019) |
| Aplicación móvil (usuarios) | Mapas interactivos para visualizar posiciones de buses en tiempo real. Notifica a pasajero sobre la llegada el bus elegido. | Ubicación en tiempo real. Puntualidad. | Quiñonez et al. (2019) |

| Componente (herramienta) | Descripción | Parámetros desarrollados | Fuente |
|---------------------------------|---|---|--|
| Página web (operadores) | Rastreo constante de cada bus. Alertas de desvíos de rutas. Alertas sobre conducción agresiva de alguna unidad. | Ubicación en tiempo real. Cumplimiento de servicio | Quiñonez et al. (2019) Hidalgo (2018) |



Conclusiones

Se concluye que integrar gradualmente Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) constituye la base tecnológica para concretar las nociones de Movilidad Urbana Sostenible (MUS). La revisión teórica demuestra que la transformación de la fiscalización manual a la automatización del monitoreo no es solo una actualización, sino que se convierte en requisito necesario cambiar el modelo tradicional de gestión, en donde el centro es la movilidad de vehículos, hacia un modelo enfocado en la experiencia del usuario. Otorgándole al transporte público eficiencia operativa y mayor atracción frente al transporte privado.

El estado del arte corrobora la importancia de la implementación de sistemas de monitoreo del transporte público, y de incorporar herramientas de tecnología como apoyo para esta actividad. A través del análisis de estas herramientas se encuentran dos tendencias de diseño muy marcadas. Por un lado, se encuentran los sistemas basados en smartphones que ofrecen una solución de bajo costo, excelente para entornos controlados o académicos, concluyendo que no son lo más eficiente para sistemas de transporte informal o con infraestructura vial precaria. En oposición, los sistemas de hardware dedicado se consolidan como alternativas de mayor grado de adaptabilidad, garantizando integridad y autonomía de los datos en escenarios complejos como el de Piura.

También, se concluye que integrar la tecnología de estándar de datos abiertos GTFS (General Transit Feed Specification) es una estrategia eficiente para la modernización de la información en sistemas de transporte. Este modelo permite separar la gestión de los datos, responsabilidad de la entidad reguladora, de la interfaz de usuario, facilitando la integración con plataformas globales, como Google Maps o Moovit.

Por otro lado, la calidad del servicio de transporte no depende solo de la posibilidad de visualización en tiempo real de los vehículos en un mapa, sino de parámetros que involucran un nivel mayor de procesamiento de datos. Se concluye que los parámetros de puntualidad, mediante el cálculo de ETA, y de regularidad, control de intervalos, son indicadores eficientes para reducir la incertidumbre del usuario final. Sin embargo, la tendencia en las experiencias es limitarse al simple rastreo de posición, perdiendo la posibilidad de generar información de valor para el pasajero.

Asimismo, se desestima la información al usuario que incluye a las nociones de la Movilidad Urbana Sostenible (MUS), pues en las experiencias académicas analizadas omiten funcionalidades que faciliten la accesibilidad para todos y que, por ejemplo, suministren información a personas con discapacidad. Tampoco se encuentra información frente a tarifas de las rutas e información que fomente otros modos de transporte en la planificación de viaje.

El diagnóstico del contexto de transporte público en la ciudad de Piura justifica la necesidad de un sistema de monitoreo en Piura, que a pesar de haber pasado una reciente reforma del Plan Regulador de Rutas (PRR), continua la carencia de gestión tecnológica.

Concluyéndose que la propuesta elaborada, que integra localizadores comerciales, para resistir las condiciones físicas y operativas de la ciudad, junto con una gestión de datos basado en la nube, son una opción económicamente viable. Dicha propuesta permite mitigar la informalidad mediante una fiscalización automatizada y optimizar los tiempos de viaje de la red de buses.



Recomendaciones

Se recomienda que, de haber iniciativa de continuar la línea de investigación de este trabajo, se lleve a cabo el prototipo recomendado en la sección de viabilidad, con el objetivo de obtener la validación empírica.

En este sentido, también se propone desarrollar un plan piloto, donde se utilice una de las rutas diametrales. Con esta implementación puede validar en campo la calibración del sistema de monitoreo propuesto en esta investigación.

Con respecto a los parámetros de monitoreo a gestionar en futuras implementaciones de monitoreo, se recomienda establecer como requisito técnico esencial la función de cálculo ETA y el parámetro de regularidad. La evidencia analizada demuestra que el usuario valora esta información como incentivo para el uso del transporte público.

Se sugiere a la municipalidad de Piura, en colaboración con actores académicos, iniciar la digitalización de la red de rutas bajo el estándar GTFS. Esta creación de información oficial de datos abiertos permitirá que plataformas como Google Maps integren al sistema de transporte de la ciudad sin ningún tipo de costo.



Referencias

- Abarca, F. (2024). *Sistema de información para las personas usuarias del transporte público en Costa Rica*. Kérwá Repositorio. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/items/6a3f56a9-7b24-46e5-b79a-02f0aaaa91bf>
- Alzamora, P. y Bautista, A. (2010). *Control y Monitorización del recorrido de los buses de transporte público mediante tecnología GPS y GSM* [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2356/14/UPS-GT000128.pdf>
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.08.001>
- Bruglieri, M., Bruschi, F., Colorni, A., Luè, A., Nocerino, R. y Rana, V. (2015). A Real-time Information System for Public Transport in Case of Delays and Service Disruptions. *Transportation Research Procedia*, 10, 493–502.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.003>
- Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2016). *Ingeniería de tránsito*. Alfaomega Bogotá.
<https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/79405>
- Castro-Correa, J. A., Sepúlveda-Mora, S. B., Medina-Delgado, B. y Guevara-Ibarra, D. (2018). Servicio web para la geolocalización de los vehículos de transporte público en la ciudad de Cúcuta. *Respuestas*, 23(S1), 29–37.
<https://doi.org/10.22463/0122820X.1498>
- Caulfield, B. y O'Mahony, M. (2009). A Stated Preference Analysis of Real-Time Public Transit Stop Information. *Journal of Public Transportation*, 12(3), 1–20.
<http://doi.org/10.5038/2375-0901.12.3.1>
- Chandurkar, S., Mugade, S., Sinha, S., Misal, M. y Borekar, P. (2013). Implementation of Real Time Bus Monitoring and Passenger Information System. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(5), 1–5. <https://www.ijsrp.org/research-paper-0513/ijsrp-p1716.pdf>
- Dextre, J. y Avellaneda, P. (2014). *Movilidad en zonas urbanas*. Fondo editorial PUCP.
- Diario El Peruano (2023). Conozca qué son los Sistemas Integrados de Transporte que trabaja Promovilidad con los municipios provinciales. *Diario El Peruano*.
<https://www.elperuano.pe/noticia/218871-conozca-que-son-los-sistemas-integrados-de-transporte-que-trabaja-promovilidad-con-los-municipios-provinciales>
- COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT EVALUATION of the 2013 Urban Mobility Package (2021).

- Ferris, B., Watkins, K. y Borning, A. (Eds.) (2010). *OneBusAway: results from providing real-time arrival information for public transit*. ACM (Association for Computing Machinery).
- Flores. (2017). *Análisis de la metodología clásica del modelo de planificación del transporte urbano desde el ámbito de la movilidad sostenible* [Tesis de grado]. PUCP, Lima.
<https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3ae3f182-a4f6-47df-813e-70ad3d08cdc0/content>
- Flores, D., Villarreal, V. y Munoz, L. (2019). Geous: A Public Transport Management Platform Based on Mobile and Ubiquitous Technologies. En *2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)* (pp. 625–630). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/IESTEC46403.2019.00117>
- Freiberg, G., Escalante, D., Monteiro, R., Esteves, S., Andreoli, T., Hernández, T. y Scordia, H. (2022). *Definición, medición y gestión de la calidad de servicio del transporte público para ciudades de América Latina*. CAF (Banco de Desarrollo de América Latina).
<https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1969>
- Gebresselassie, M. y Sanchez, T. (2018). “Smart” Tools for Socially Sustainable Transport: A Review of Mobility Apps. *Urban Science*, 2(2), 45.
<https://doi.org/10.3390/urbansci2020045>
- Gutiérrez, A. (2012). ¿Qué es la movilidad? Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 21(2), 61–74.
<https://www.redalyc.org/pdf/748/74826255011.pdf>
- Hidalgo. (2018). *Sistema de monitoreo y ubicación de buses basado en la tecnología GPS en la Cooperativa de Transporte Urbano 7 de Octubre en la ciudad de Quevedo* [Tesis de grado]. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
<https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/696de174-0bd8-490a-bd07-a38d6e51dda8/content>
- Hidalgo, D. (2005). Comparación de alternativas de transporte público masivo - Una aproximación conceptual. *Scientific Electronic Library Online (SCIELO)*(21).
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932005000100010&script=sci_arttext
- Jehanno, A., Niang, H., Ortiz, J., Laborde, P. y López, P. (2018). *Desafíos para la integración de sistemas de transporte masivo: Manual de buenas prácticas*. Banco de desarrollo de América Latina.
<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1403/2%20Desafios%20para%20la%20integracion%20de%20sistemas%20de%20transporte%20masivo-28feb.pdf?sequence=5>

- La Cruz-Galvan, C. de, Almidón, C. y Asto, L. (2025). Aplicación móvil para emisión de información en tiempo real del servicio de transporte. *Convergencia De Innovación Tecnológica Y Científica*, 31–50.
<https://cointeci.undc.edu.pe/index.php/COINTECI/article/view/3/4>
- Li, G., Zhang, D., Zeng, J. y Chen, S. (2012). *Vehicle Monitor System for Public Transport Management Based on Embedded Technology* (Vol. 24).
<https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.02.143>
- Macedo, E., Teixeira, J., Sampaio, C., Silva, N., Coelho, M. C., Glinos, M. y Bandeira, J. M. (2021). Real-time information systems for public transport: user perspective. *Transportation Research Procedia*, 52, 732–739.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.088>
- Martínez y Olivares. (2012). *Metodología para la atención de puntos críticos para garantizar la seguridad vial en carreteras* [Monografía]. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/f85e7d01-5f29-426c-bae0-49d040597a79/content>
- Martínez, E., Gomez Macho, M., Marín Fernández, A., Álvarez, M., Moncholí, D., Romera, M., Nieves, G., Arriola, C., Ortiz, C. y Canseco, P. (2019). *Plan Maestro de Movilidad Urbana Sostenible de la Provincia de Piura* (1ª ed.).
<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1414/Plan%20de%20movilidad%20Piura.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, E., Gómez Macho, M., Marín Fernández, A., Álvarez, M., Moncholí, D., Romera, M., Nieves, G., Arriola, C., Ortiz, C. y Canseco, P. (2019). *Plan Maestro de Movilidad Urbana Sostenible de la Provincia de Piura*.
<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1414/Plan%20de%20movilidad%20Piura.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martins, P., Bastos, A., Silva, C., Pais, L., Sousa, P., Váz, P., Silva, J. y Abbasi, M. (2024). Navigating the Local Transport Gap: A Comprehensive Development Proposal for a Real-Time Location Service Application. *Procedia Computer Science*, 238, 57–64.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.196>
- Meza, J. y Leño, V. (2017). *Sistema de monitoreo de una red de buses de transporte público e información para usuarios empleando transceptores GPS/GSM* [Tesis de grado]. PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/4c7caf02-57aa-4ffc-bcd4-f19632a4b9f8>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020). Boletín Estadístico 2020 - II Semestre. *Gob.Pe*.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1839085/Bolet%C3%ADn%20Estad%C3%ADstico%202020-%20II%20Semestre.pdf>

Municipalidad Provincial de Piura. (2024). *MPP amplía más de 640 kilómetros de transporte público con nuevas rutas.*

<https://www.gob.pe/institucion/munipiura/noticias/1083610-mpp-amplia-mas-de-640-kilometros-de-transporte-publico-con-nuevas-rutas>

Ordenanza Municipal N° 092-02-CMPP (2024).

<https://www.gob.pe/institucion/munipiura/normas-legales/4911900-092-02-cmpp>

Ordenanza Municipal N° 092-03-CMPP (2024).

<https://www.gob.pe/institucion/munipiura/normas-legales/6294149-092-03-cmpp>

Nishiyama, A. (2019, 18 de enero). Moovit y TuRuta: las aplicaciones que te guían por el transporte público de Lima. *RPP*. https://rpp.pe/tecnologia/apps/transporte-publico-en-lima-moovit-y-tu-ruta-aplicaciones-que-te-ayudan-a-moverte-por-la-ciudad-android-e-ios-noticia-1162889#google_vignette

Obeso, J., Bautista, D., Azabache, F. y Prado, R. (2018). Development and implementation of a geolocation system to determine the approximate time of arrival of a public transport bus to a user in the city of Trujillo-Perú. En *2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INTERCON.2018.8526469>

ONU HABITAT. (2016). *Jornadas de trabajo «Movilidad Urbana sostenible y Espacio Público»*. https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-06/sustainable_urban_mobility_and_public_space.pdf

Pardo, C. (2008). *Los cambios en los Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM) en ciudades de América Latina*. Repositorio Digital CEPAL. <https://hdl.handle.net/11362/36182>

Quintero-González, J. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente Y Desarrollo*, 21(40), 57. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.citm>

Quiñonez, Y., Lizarraga, C., Peraza, J. y Zatarain, O. (2019). Sistema inteligente para el monitoreo automatizado del transporte público en tiempo real. *Revista Ibérica De Sistemas Y Tecnologías De Información (RISTI)*(31). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7036889>

Saad, S. A., Hisham, A. ' B., Ishak, M. H. I., Fauzi, M. H. M., Baharudin, M. A. y Idris, N. H. (2018). Real-time on-campus public transportation monitoring system. En *2018 IEEE 14th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)* (pp. 215–220). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSPA.2018.8368715>

- ULABEE. (2024). *Treep Perú: Ualabee acaba de lanzar una app que revolucionará la movilidad de Lima*. <https://ualabee.com/treep-peru-ualabee-acaba-de-lanzar-una-app-que-revolucionara-la-movilidad-de-lima/>
- Urdaneta, G. y Joheni, A. (2012). El transporte público urbano en Venezuela: ¿hacia la inclusión social? *Revista De Ciencias Sociales (Ve)*, XVII(3), 449–461. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4114710>
- Valencia, J. (2018). *CITY-RUTA: aplicación para el servicio de transporte público*. <https://ridum.umanizales.edu.co/items/26eb8c5e-3284-4568-911f-5e9a982dfcce>
- Vega. (2017). *Los Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS): balance desde la perspectiva ecologista*.
- Velázquez, M. y Arrúa, J. (2018). *Sistemas de Monitoreo de Unidades para Gestión de Transporte Público de Ciudad del Este* [Trabajo Final de Grado]. Universidad Nacional del Este, Paraguay. <http://servicios.fpune.edu.py:8080/jspui/handle/123456789/817>
- Vergara, A., Peñaloza, Y., Velez, J. C., Charris, D., Vilorio-Núñez, C. y Huerta, M.-K. (2024). Real-time Geolocation System for the Public Transport System: Metropolitan Area of Barranquilla as Case Study. En *2024 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/LATINCOM62985.2024.10770689>
- Viscaino, F., Bustillos, Á. y Paredes, C. (2024). Seguridad de rutas no autorizadas bajo un sistema web de posicionamiento global para el rastreo en tiempo real de los buses de la compañía Citibus S.A. *Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación*, 8(53), 53–63. <https://journalprosciences.com/index.php/ps/article/view/726>
- Vuchic, V. (2007). *Urban Transit Systems and Technology*. JOHN WILEY & SONS, INC. https://www.academia.edu/35120650/URBAN_TRANSIT_SYSTEMS_AND_TECHNOLOGY