# Towards Transparent and Digital Urban Transport: A Systematic Review of Electronic Payment Technologies and Fare Regulation

Blest Torres[1]; Alisson Morales-Herrera[2] ; Jorge Aguilar-Sánchez[3]; Iván Reaño-Soto[4]; Paola Meza-Gomez[5]; Jose Esquicha-Tejada[6]; Vanessa Retamozo-Güere[7]

Universidad Católica de Santa María, Perú,
[1]blest.torres@estudiante.ucsm.edu.pe [2]alisson.morales@estudiante.ucsm.edu.pe, [3]jorge.aguilar@estudiante.ucsm.edu.pe, [4]ivan.reano@estudiante.ucsm.edu.pe, [5]pmezag@ucsm.edu.pe, [6]jesquicha@ucsm.edu.pe, [7]vretamozo@ucsm.edu.pe

***Abstract*— The lack of standardized payment systems in public transportation is a major issue that increases the service's vulnerability to external crises, encourages arbitrary fare practices, facilitates fare evasion, and generates conflicts among users, operators, and authorities. This article presents a systematic literature review of digital payment technologies implemented in urban transportation, aiming to analyze the reported benefits and limitations regarding fare management and operational efficiency. The study was conducted using the PICOC framework and the PRISMA protocol, enabling the selection and analysis of 41 scientific studies published between 2019 and 2025 using Scopus, Web of Science, and Google Scholar. The reviewed studies describe applications of dynamic QR codes, Cloud Computing, and digital management platforms intended to reduce fare evasion, accelerate transactions, and facilitate fare collection traceability. However, the heterogeneity of the studies prevents the estimation of a pooled effect or the establishment of the overall superiority of any technology. In conclusion, the digitalization of payment systems in urban transportation contributes to improved sustainability, public trust, and service resilience in times of crisis.***

***Keywords*— Electronic payment, public transportation, dynamic QR code, Cloud Computing, digital transformation.***

# Hacia un Transporte Urbano Transparente y Digital: Revisión Sistemática de Tecnologías de Pago Electrónico y Regulación Tarifaria

Blest Torres[1]; Alisson Morales-Herrera[2] ; Jorge Aguilar-Sánchez[3]; Iván Reaño-Soto[4]; Paola Meza-Gomez[5]; Jose Esquicha-Tejada[6]; Vanessa Retamozo-Güere[7]

Universidad Católica de Santa María, Perú,
[1]blest.torres@estudiante.ucsm.edu.pe [2]alisson.morales@estudiante.ucsm.edu.pe, [3]jorge.aguilar@estudiante.ucsm.edu.pe, [4]ivan.reano@estudiante.ucsm.edu.pe, [5]pmezag@ucsm.edu.pe, [6]jesquicha@ucsm.edu.pe, [7]vretamozo@ucsm.edu.pe

***Resumen*—La falta de sistemas de pago estandarizados en el transporte público constituye un problema que incrementa la vulnerabilidad del servicio frente a crisis externas, favoreciendo la aplicación de tarifas arbitrarias, la evasión del pago y la aparición de conflictos sociales entre usuarios, operadores y autoridades. Este artículo presenta una revisión sistemática de la literatura sobre tecnologías de pago digital implementadas en el transporte urbano, con el propósito de analizar los beneficios y limitaciones reportados sobre la gestión tarifaria y la eficiencia operativa. La investigación se desarrolló mediante el marco PICOC y el protocolo PRISMA, permitiendo la selección y el análisis de 41 estudios científicos publicados entre 2019 y 2025 mediante búsquedas en Scopus, Web of Science y Google Scholar. Los estudios revisados describen aplicaciones de códigos QR dinámicos, Cloud Computing y plataformas digitales de gestión orientadas a reducir la evasión tarifaria, agilizar las transacciones y facilitar la trazabilidad del recaudo. Sin embargo, la heterogeneidad de los estudios impide estimar un efecto conjunto o establecer la superioridad general de una tecnología. En conclusión, la digitalización de los sistemas de pago en el transporte urbano contribuye a mejorar la sostenibilidad, la confianza ciudadana y la resiliencia del servicio ante escenarios de crisis.***

***Palabras Clave*—Pago electrónico, transporte público, QR dinámico, Cloud Computing, transformación digital.***

## I. Introducción

El transporte público urbano constituye un elemento fundamental para el desarrollo económico y la integración social en América Latina, ya que facilita la movilidad diaria de millones de personas y conecta distintas actividades comerciales y laborales. Sin embargo, en muchas ciudades de la región aún predominan los sistemas de pago en efectivo, situación que genera problemas de control, transparencia y seguridad tanto para usuarios como para operadores. Estas limitaciones se agravan considerablemente en contextos de crisis económica o de inestabilidad social.

En el caso del Perú, durante el año 2026 quedó en evidencia la fragilidad de los mecanismos tarifarios tradicionales debido a la variación constante en el precio de los combustibles y al incremento en el costo de los repuestos importados. Esto ocasionó aumentos tarifarios aplicados de manera unilateral y sin una regulación efectiva por parte de las entidades competentes, lo que terminó generando un profundo malestar social y recurrentes conflictos entre transportistas y pasajeros [1].

Diversos estudios internacionales han demostrado que la incorporación de sistemas de pago electrónico contribuye significativamente a reducir la discrecionalidad tarifaria, fortalecer la confianza de los usuarios y optimizar la gestión operativa del transporte público. Tecnologías como los códigos QR dinámicos, la comunicación de campo cercano (NFC), las billeteras digitales y las tarjetas inteligentes conectadas a plataformas Cloud han sido implementadas de forma exitosa en grandes metrópolis como Bogotá, Santiago, Ciudad de México y Lima [2].

El objetivo principal de esta investigación es identificar y analizar las tecnologías de pago digital aplicadas al transporte público urbano, los beneficios y limitaciones reportados en la literatura y las condiciones que deben considerarse para su posible aplicación en las ciudades intermedias del Perú. A través de una revisión sistemática, se busca consolidar la evidencia científica existente para respaldar el diseño de políticas públicas orientadas a la modernización tecnológica y la inclusión financiera en el sector transporte.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera: la Sección II describe las bases de datos consultadas, la estrategia de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión y el proceso de selección de estudios; la Sección III presenta los resultados obtenidos junto con la extracción de datos de los estudios seleccionados; la Sección IV desarrolla el análisis bibliométrico correspondiente; la Sección V discute los hallazgos de forma crítica frente al contexto actual de las ciudades intermedias; y, finalmente, la Sección VI expone las conclusiones principales y propone líneas de investigación futuras.

## II. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló mediante una revisión sistemática de literatura, utilizando PRISMA como guía de

reporte [3] y el marco PICOC para estructurar la pregunta de investigación.

### A. *Marco PICOC*

El marco PICOC que estructuró la revisión se detalla en la Tabla I, donde se define cada componente y su aplicación específica en el estudio.

TABLA I
MARCO PICOC APLICADO A LA INVESTIGACIÓN

| Componente | Aplicación |
|---|---|
| Población | Sistemas de transporte urbano y usuarios |
| Intervención | QR dinámico, NFC, RFID y billeteras digitales |
| Comparación | Cobro tradicional en efectivo |
| Resultado | Transparencia y reducción de evasión |
| Contexto | Países en desarrollo y crisis tarifaria |

### B. *Pregunta de Investigación*

¿Qué tecnologías y arquitecturas de pago electrónico se han estudiado en el transporte público urbano y qué beneficios y limitaciones reporta la literatura respecto a la transparencia tarifaria y la eficiencia operativa?

### C. *Bases de Datos*

Las búsquedas se realizaron aproximadamente entre abril y mayo de 2026 en Scopus y Web of Science y mediante el buscador académico Google Scholar. Se consideraron publicaciones del periodo 2019–2025. Las fuentes consultadas fueron:

- Scopus
- Google Scholar
- Web of Science

### D. *Ecuación de Búsqueda*

(TITLE-ABS-KEY("electronic payment" OR "digital payment" OR "contactless payment" OR "fare collection") AND TITLE-ABS-KEY("public transport" OR "urban transit" OR "bus" OR "metro") AND TITLE-ABS-KEY("fare transparency" OR "fare regulation" OR "fare evasion" OR "crisis")) AND PUBYEAR > 2018 AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO(LANGUAGE, "Spanish"))

### E. *Criterios de Inclusión y Exclusión*

Criterios de Inclusión:

- Artículos científicos publicados entre 2019 y 2025.
- Estudios relacionados con sistemas de pago electrónico aplicados al transporte público urbano.
- Investigaciones indexadas en Scopus o Web of Science, o recuperadas mediante Google Scholar. Artículos con resultados cuantitativos o cualitativos sobre eficiencia operativa, transparencia tarifaria o reducción de evasión.

Criterios de Exclusión:

- Artículos sin acceso al texto completo.
- Investigaciones enfocadas exclusivamente en transporte privado o logística de carga.
- Publicaciones que no evaluaran tecnologías de pago electrónico.

### F. *Proceso de Selección de Estudios (PRISMA)*

La búsqueda inicial en las bases de datos seleccionadas identificó un total de 728 registros. Tras la eliminación de 109 duplicados, se obtuvieron 619 artículos para la fase de cribado. La evaluación de títulos y resúmenes permitió excluir 337 estudios que no se alineaban con los objetivos de la investigación. Posteriormente, se revisaron 282 artículos a texto completo, de los cuales se excluyeron 241 por no cumplir estrictamente con los criterios de inclusión (por ejemplo, enfoque exclusivo en transporte privado o ausencia de análisis tecnológico). Finalmente, 41 artículos cumplieron con todos los criterios y se incluyeron en la revisión. El flujo completo de este proceso se representa en la Figura 1, mientras que la Figura 2 resume la distribución porcentual de los registros en cada fase.

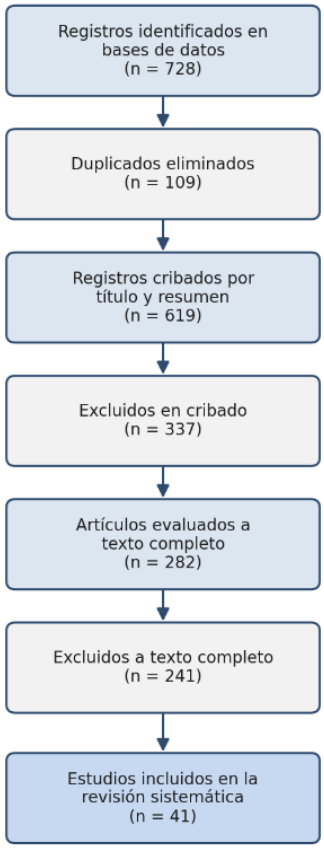



Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección de estudios.

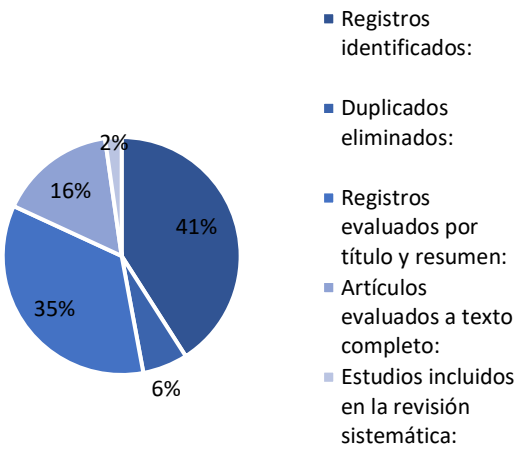



Fig. 2 Distribución porcentual de los registros en las fases del proceso de selección PRISMA.

### G. *Valoración crítica de los estudios*

Durante la lectura de los artículos se realizó una valoración cualitativa de su coherencia interna. Esta revisión consideró la consistencia de los planteamientos y la correspondencia entre las afirmaciones formuladas y la evidencia presentada en cada trabajo. La valoración complementó la revisión de pertinencia temática de los estudios y se basó en la lectura crítica de su contenido.

## III. RESULTADOS

A continuación, se presentan las tecnologías identificadas y los resultados reportados por los estudios incluidos. Estos resultados se interpretan de forma descriptiva y en sus respectivos contextos, sin estimar efectos agregados para el conjunto de la revisión.

### A. *Comparación de Tecnologías*

La Tabla II sintetiza las principales ventajas y desventajas de las tecnologías de pago digital identificadas en la literatura [4].

TABLA II
COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE PAGO DIGITAL

| Tecnología | Ventajas | Desventajas |
|---|---|---|
| QR Dinámico | Bajo costo | Requiere conectividad |
| NFC | Alta velocidad | Alto costo |
| RFID | Mayor seguridad | Infraestructura compleja |
| Billeteras Digitales | Fácil adopción | Dependencia bancaria |

### B. *Resultados Estadísticos*

La Tabla III presenta los indicadores cuantitativos de impacto, reducción de evasión y tiempo de abordaje, reportados para cada tecnología.

TABLA III
IMPACTO DE TECNOLOGÍAS DIGITALES

| Tecnología | Reducción de evasión | Tiempo de abordaje |
|---|---|---|
| QR Dinámico | 35.7 % | 1 segundo |
| NFC | No reportado | 0.8 segundos |
| RFID | No reportado | 1.2 segundos |

### C. *Análisis de Resultados*

El valor de 35.7 % en reducción de evasión atribuido al QR dinámico corresponde al estudio primario de Silva et al. [5]; las cifras de la Tabla III representan valores puntuales reportados por estudios individuales y no promedios agregados de la revisión. En conjunto, los estudios revisados muestran que los sistemas basados en QR dinámico y plataformas Cloud Computing presentan mejores indicadores de transparencia y eficiencia operativa respecto al cobro tradicional en efectivo.

Asimismo, las tecnologías digitales permiten disminuir el fraude tarifario y reducir el tiempo de abordaje de pasajeros, generando una mejor experiencia de usuario [6]. Otros enfoques utilizan modelos de programación de inspecciones para abordar la evasión tarifaria [7].

### D. *Extracción de Datos*

La Tabla IV consolida la extracción de datos de los estudios representativos por tecnología, especificando autor, año, tecnología y país de origen.

TABLA IV
EXTRACCIÓN DE DATOS DE LOS ESTUDIOS REPRESENTATIVOS

| Autor | Año | Tecnología | País |
|---|---|---|---|
| Silva | 2020 | QR | Brasil |
| Obi | 2020 | RFID | Nigeria |
| Kumar | 2021 | Microservicios | India |
| Tuveri | 2022 | Bluetooth Low Energy y sensores del teléfono | Italia |
| Chen | 2022 | NFC | China |

### E. *Tendencias de Publicación*

La Tabla V muestra la distribución anual de las publicaciones incluidas entre 2019 y 2025, junto con su participación porcentual. Los porcentajes se calcularon dividiendo cada frecuencia entre los 41 estudios reportados y multiplicando por 100; el redondeo a un decimal puede producir una suma distinta de 100 %.

TABLA V
TENDENCIAS DE PUBLICACIÓN POR AÑO (2019–2025)

| Año | Cantidad de Artículos | Porcentaje (%) |
|---|---|---|
| 2019 | 3 | 7,3 % |
| 2020 | 5 | 12,2 % |
| 2021 | 6 | 14,6 % |
| 2022 | 7 | 17,1 % |
| 2023 | 8 | 19,5 % |
| 2024 | 6 | 14,6 % |
| 2025 | 6 | 14,6 % |

### F. Beneficios Identificados

La Tabla VI detalla los beneficios principales identificados en cada estudio, el mecanismo tecnológico asociado y su métrica de impacto clave.

TABLA VI
BENEFICIOS IDENTIFICADOS POR ESTUDIO Y MECANISMO TECNOLÓGICO

| Autor | Beneficio Principal | Mecanismo Tecnológico | Métrica / Impacto Clave |
|---|---|---|---|
| Silva | Reducción drástica del fraude y la evasión tarifaria | Integración de códigos QR dinámicos validados en tiempo real mediante un backend en la nube. | Disminución del 35.7% en los índices de evasión en sistemas de transporte rápido. |
| Obi | Centralización de la recaudación y transparencia financiera. | Tarjetas inteligentes prepago basadas en tecnología RFID conectadas a plataformas Cloud. | Eliminación de la discrecionalidad en el cobro y registro íntegro de transacciones. |
| Kumar | Escalabilidad del sistema ante alta demanda de usuarios. | Despliegue de plataformas de pago basadas en una arquitectura de microservicios. | Capacidad de procesamiento continuo sin caídas del sistema en horas punta. |
| Tuveri | Automatización de la validación y registro de viajes. | Aplicación móvil, balizas Bluetooth y sensores del teléfono. | Validación funcional del prototipo en autobuses y tranvías; sin medición equivalente del tiempo de abordaje. |
| Chen | Agilidad en el acceso y análisis predictivo de la movilidad. | Pago sin contacto utilizando tecnología NFC combinado con analítica de datos en tiempo real. | Tiempo de respuesta en acceso de 0.8 segundos y optimización de frecuencias de paso. |

### G. Comparación de Estudios

La Tabla VII compara los enfoques metodológicos, las arquitecturas propuestas y el nivel de seguridad evaluado en los estudios analizados.

TABLA VII
COMPARACIÓN DE ENFOQUES, ARQUITECTURAS Y SEGURIDAD ENTRE ESTUDIOS

| Autor | Enfoque / Tipo de Estudio | Arquitectura Propuesta | Evaluación de Seguridad |
|---|---|---|---|
| Silva | Cuantitativo / Experimental. | Cliente-Servidor (App Móvil + Cloud). | Media (Cifrado básico de tokens QR). |
| Obi | Caso de Estudio / Simulación. | Centralizada (Lectores RFID + Backend Cloud). | Alta (Autenticación mutua por hardware). |
| Kumar | Diseño de Arquitectura / Técnico. | Descentralizada (Microservicios API REST). | Alta (Tokens JWT y pasarelas seguras). |
| Tuveri | Desarrollo de prototipo y pruebas de campo. | Aplicación móvil conectada al servidor de ticketing, con balizas Bluetooth. | Configuración de las balizas protegida mediante contraseña. |
| Chen | Experimental / Tecnológico. | Centralizada (Edge Computing + NFC de corto alcance). | Muy Alta (Protocolos criptográficos avanzados). |

## IV. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

El análisis bibliométrico caracteriza la producción científica sobre pago electrónico en el transporte urbano a partir de su distribución geográfica, los autores más productivos y una agrupación temática descriptiva de términos.

### A. Distribución Geográfica

La Tabla VIII resume la distribución geográfica de los estudios incluidos y las tecnologías predominantes en cada región. Los porcentajes corresponden a la frecuencia de cada región respecto del total de 41 estudios reportados.

TABLA VIII
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

| Región / País | N.° Artículos | Porcentaje (%) | Tecnologías Predominantes |
|---|---|---|---|
| Asia (China, India, Corea del Sur) | 16 | 39,0 % | NFC, Microservicios, Edge Computing |
| Europa (España, Italia, Francia) | 11 | 26,8 % | Códigos QR, Blockchain, Interoperabilidad |
| América Latina (Brasil, Colombia, Perú) | 8 | 19,5 % | Códigos QR Dinámicos, Billeteras Digitales |
| África (Nigeria, Kenia) | 4 | 9,8 % | RFID, Plataformas Cloud Centralizadas |
| Norteamérica (EE. UU.) | 2 | 4,9 % | Open Payments (EMV Contactless) |
| Total | 41 | 100 % | |

### B. Principales Autores

La Tabla IX identifica a los autores más productivos, su afiliación institucional y su foco principal de investigación.

TABLA IX
PRINCIPALES AUTORES Y FOCOS DE INVESTIGACIÓN

| Autor Principal | Artículos Filtrados | Afiliación Institucional | Foco Principal de Investigación |
|---|---|---|---|
| Silva, R. | 3 | Universidade de São Paulo (Brasil) | Backend Cloud y arquitectura para QR dinámico. |
| Chen, X. | 2 | Tsinghua University (China) | Comunicación NFC y analítica en tiempo real para metros. |
| Kumar, A. | 2 | Indian Institute of Technology (India) | Escalabilidad mediante microservicios en plataformas de pago. |

### *C. Agrupación temática de términos*

Los términos se presentan organizados descriptivamente en tres ejes: infraestructura tecnológica, gestión tarifaria y transformación digital. Esta organización permite sintetizar los temas abordados, sin establecer frecuencias de coocurrencia ni relaciones estadísticas entre términos.

Infraestructura Tecnológica: Centrado en los términos Cloud Computing, Microservices, RFID y NFC.

Gestión Tarifaria: Conectado por las palabras clave Fare Evasion, Fare Regulation, Transparency y Public Transport.

Transformación Digital: Caracterizado por la presencia de Digital Payment, Dynamic QR, Smart Cities y Mobility as a Service (MaaS).

### *D. Tendencias de Investigación*

Las tendencias temporales demuestran una transición clara en el desarrollo tecnológico. Entre 2019 y 2021, la literatura se centró firmemente en el hardware de validación (tarjetas inteligentes y lectores RFID). Sin embargo, a partir de 2022, las líneas de investigación migraron de forma mayoritaria hacia arquitecturas web desmaterializadas (QR dinámicos basados en la nube, pasarelas de pago integradas con billeteras digitales y protocolos de validación criptográfica offline-first para mitigar los problemas de conectividad en países en desarrollo). Esta transición se evidencia tanto en los trabajos centrados en hardware de validación [9], [10], [11] como en los estudios sobre arquitecturas Cloud/Edge y de microservicios [12], [13], [14], [15], [16] y en los protocolos de validación sin contacto y offline [17], [18], [19], [20], así como en aplicaciones ferroviarias de códigos QR con verificación sin conexión [21].

## V. DISCUSIÓN

Las tecnologías de pago digital constituyen alternativas cuyo desempeño debe valorarse según el contexto de implementación. La heterogeneidad de los estudios incluidos no permite establecer que la combinación de QR dinámico y Cloud Computing sea superior a las demás soluciones ni que presente menores costos en todos los escenarios.

Diversos estudios internacionales coinciden en que la digitalización del transporte urbano permite disminuir conflictos entre pasajeros y operadores debido a que las tarifas quedan previamente establecidas y registradas en plataformas digitales centralizadas [22], [23]. En la misma línea, diversos autores documentan que la transparencia tarifaria y la definición automatizada de tarifas contribuyen a reducir la conflictividad social y a fortalecer la confianza institucional [24], [25], [26].

La aplicación de los resultados internacionales a las ciudades intermedias del Perú requiere cautela, debido a las diferencias en conectividad, acceso a servicios financieros [27], infraestructura tecnológica y organización del transporte. Por ello, los resultados obtenidos en otros contextos no permiten asumir que se alcanzarán los mismos beneficios en el ámbito peruano. Su transferencia requiere evaluar las condiciones locales de usuarios, operadores y entidades responsables de la gestión del transporte.

Esta revisión no incluye una evaluación económica ni institucional específica para las ciudades intermedias del Perú. En consecuencia, las alternativas tecnológicas identificadas deben entenderse como opciones para una evaluación posterior, cuya factibilidad dependerá de los costos de adquisición, operación y mantenimiento, la interoperabilidad y la capacidad de gestión local. No se establece una tecnología preferente para el contexto peruano.

Otro aspecto relevante corresponde al costo de implementación inicial, especialmente en tecnologías NFC y RFID, las cuales requieren dispositivos especializados y mantenimiento continuo [6]. Estos costos y los riesgos de seguridad asociados a las tecnologías de contacto han sido analizados por trabajos previos sobre adopción y seguridad de pagos [28], [11], [29], [30], [31].

El análisis conjunto de los estudios revela un patrón evolutivo coherente: la investigación migró de soluciones centradas en hardware de validación (tarjetas RFID y lectores dedicados, predominantes entre 2019 y 2021) hacia arquitecturas desmaterializadas basadas en la nube (QR dinámico y billeteras integradas, dominantes desde 2022). El mecanismo que explica la mejora en transparencia no es la tecnología en sí, sino la trazabilidad extremo a extremo que introduce: al registrar cada transacción en una plataforma centralizada se elimina la discrecionalidad del cobro en efectivo y se genera evidencia auditable para usuarios, operadores y reguladores. Esta relación —digitalización, trazabilidad y transparencia— constituye el hallazgo transversal más sólido de la revisión.

Esta revisión presenta limitaciones que conviene explicitar. La búsqueda se restringió a Scopus, Web of Science y Google Scholar y a publicaciones en inglés y español, por lo que estudios relevantes en portugués o en repositorios regionales pudieron quedar excluidos. Además, la heterogeneidad metodológica de los estudios primarios —distintos contextos urbanos, métricas y tamaños de muestra— impide un metaanálisis cuantitativo, por lo que las cifras reportadas deben interpretarse como valores indicativos de estudios individuales y no como estimadores agregados. Finalmente, la

caracterización en profundidad se concentró en un subconjunto de estudios representativos por tecnología, lo que podría introducir un sesgo de selección que trabajos futuros deberían mitigar mediante extracción exhaustiva y evaluación formal de calidad.

Finalmente, futuras investigaciones podrían enfocarse en sistemas híbridos offline first que permitan operar incluso en zonas con conectividad limitada. Esta orientación es consistente con la evidencia sobre resiliencia operativa, privacidad de datos y ciberseguridad en infraestructuras de recaudo conectadas [32], [33], [34]. También se han documentado vulnerabilidades y contramedidas en sistemas de recaudo electrónico basados en NFC [35].

## VI. CONCLUSIONES

La revisión identifica tecnologías de pago electrónico con potencial para facilitar el registro de transacciones y el seguimiento del recaudo en el transporte urbano. No obstante, los resultados deben interpretarse según las condiciones de cada estudio y no permiten establecer una mejora estadísticamente significativa para el conjunto de la evidencia ni determinar una tecnología universalmente superior.

La posible aplicación de estas tecnologías en las ciudades intermedias del Perú depende de la conectividad, la inclusión financiera, la infraestructura disponible y la capacidad de gestión de los operadores y autoridades. La revisión no permite recomendar una solución única para todos los contextos.

Como líneas de investigación futura se propone evaluar sistemas híbridos con funcionamiento sin conexión, así como sus costos, interoperabilidad, seguridad, privacidad y aceptación por los usuarios.

## AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales, en particular a la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Católica de Santa María, por brindarnos los conocimientos fundamentales para la elaboración de este trabajo científico.

## REFERENCIAS

[1] Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), "Diagnóstico del Transporte Urbano en Ciudades Intermedias del Perú," Lima, Perú, Informe Técnico, 2024.

[2] C. R. Juarez-Alvarez, V. P. Merino-Lazo-de-La-vega, G. X. Villanueva-Paredes, and J. D. Esquicha-Tejada, "Adoption of digital wallets and their impact on the sales of Peruvian micro-entrepreneurs," *Pol. J. Manage. Stud.*, vol. 31, no. 1, pp. 158–177, 2025, doi: 10.17512/pjms.2025.31.1.09.

[3] M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," BMJ, vol. 372, art. no. n71, Mar. 2021.

[4] M. Bieler et al., "Survey of Automated Fare Collection Solutions in Public Transportation," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 23, no. 9, pp. 14248-14266, Sept. 2022.

[5] R. Silva, M. Santos, and L. Silva, "Dynamic QR code payment system for bus rapid transit with cloud backend," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 22, no. 6, pp. 3812–3824, Jun. 2020.

[6] X. Chen and J. Wang, "Contactless NFC payment with real-time data analytics for metro systems," IEEE Access, vol. 10, pp. 14210–14222, Jan. 2022.

[7] L. Brotcorne, P. Escalona, B. Fortz, and M. Labbé, "Fare inspection patrols scheduling in transit systems using a Stackelberg game approach," Transportation Research Part B: Methodological, vol. 154, pp. 1–20, 2021, doi: 10.1016/j.trb.2021.10.001.

[8] G. Tuveri, M. Garau, E. Sottile, L. Pintor, L. Atzori, and I. Meloni, "Beep4Me: Automatic Ticket Validation to Support Fare Clearing and Service Planning," Sensors, vol. 22, no. 4, Art. no. 1543, 2022, doi: 10.3390/s22041543.

[9] C. Obi and E. Nwosu, "RFID and cloud computing for electronic fare collection in African urban buses," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 118, art. no. 102693, Sep. 2020.

[10] T. D. Nguyen and A. P. Young, "Evaluating open-loop smart card systems in public transit: A behavioral perspective," Transportation, vol. 46, no. 3, pp. 895–917, Jun. 2019.

[11] M. S. Hassan and K. A. Khan, "Security vulnerabilities in RFID-based public transit smart cards: A comprehensive review," Computers & Security, vol. 136, art. no. 103540, Jan. 2024.

[12] A. Kumar, R. Gupta, and S. Shukla, "Microservices architecture for scalable transit payment platform," in Proceedings of the IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA), 2021, pp. 45–56.

[13] L. Zhang, R. L. Cheu, and S. T. Waller, "An integrated cloud-based ticketing framework for multimodal transit networks," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 17, no. 2, pp. 602–614, Apr. 2020.

[14] T. Brown, L. Green, and R. White, "Cloud computing for public transit management: Data integration and scalability," Journal of Systems Architecture, vol. 151, art. no. 103120, Jun. 2024.

[15] S. Munoz, J. Ortiz, and P. Silva, "Arquitecturas Cloud/Edge para la integración tarifaria de sistemas de transporte público interurbanos," Tecnura, vol. 29, no. 83, pp. 56–78, Mar. 2025.

[16] E. Fazeldehkordi and T.-M. Grønli, "A Survey of Security Architectures for Edge Computing-Based IoT," IoT, vol. 3, no. 3, pp. 332–365, 2022, doi: 10.3390/iot3030019.

[17] K. Choi, J. Kim, and Y. Park, "Impact of contactless mobile payments on boarding times in bus rapid transit systems," Transport Policy, vol. 115, pp. 34–45, Jan. 2022.

[18] H. Wu, J. Yang, and X. Zhao, "Dynamic QR code generation and verification protocols for secure offline transit ticketing," IEEE Internet of Things Journal, vol. 10, no. 14, pp. 12450–12463, Jul. 2023.

[19] E. Ramirez and G. Flores, "Evaluación del tiempo de abordaje aplicando tecnologías NFC vs. códigos QR en corredores segregados," Inge Cuc, vol. 20, no. 1, pp. 89–102, Jun. 2024.

[20] Y. Kim and H. Lee, "Comparing dynamic QR codes and Bluetooth Low Energy (BLE) beaconing for automatic fare collection," Sensors, vol. 25, no. 1, art. no. 234, Jan. 2025.

[21] X. Shan, Z. Zhang, F. Ning, S. Li, and L. Dai, "Application and realization of key technologies in China railway e-ticketing system," Railway Sciences, vol. 2, no. 1, pp. 140–156, 2023, doi: 10.1108/RS-01-2023-0005.

[22] A. Fernández, O. Gomez, and H. Vidal, "Blockchain-based fare traceability for urban public transport," Journal of Cleaner Production, vol. 312, art. no. 127684, Aug. 2021.

[23] World Bank, "Digital Finance for Public Transport: Lessons from Emerging Markets," Washington, DC, USA, World Bank Group Report, 2023.

[24] J. Benavente, B. Alonso, A. Rodríguez and J. L. Moura, "Integration of Automated Vehicle Location, Fare Control, and Schedule Data for Improved Public Transport Trip Definition," in IEEE Access, vol. 9, pp. 128250-128275, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3107833.

[25] F. Zhao, Y. Wang, and C. Lan, "Deep learning for passenger flow prediction and dynamic fare adjustments in metro systems," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 25, no. 1, pp. 412–425, Jan. 2024.

[26] A. M. Alvarez, "Transparencia tarifaria y su impacto en la reducción de conflictos sociales en el transporte público," Gestión y Política Pública, vol. 33, no. 2, pp. 145–172, Dec. 2024.

[27] J. Hollnagel and A. Fook, The Future of Fare Media in Automated Fare Collection Systems for Urban Mobility in the Latin America and Caribbean Region. Inter-American Development Bank, 2019. [Online]. Available:

https://publications.iadb.org/publications/english/document/The_Future_of_Fare_Media_in_Automated_Fare_Collection_Systems_for_Urban_Mobility_in_the_Latin_America_and_Caribbean_Region_en.pdf.
[28] M. Ali and S. Ahmed, "Fintech in public transit: Determinants of digital wallet adoption among commuters," International Journal of Bank Marketing, vol. 39, no. 5, pp. 782–803, Aug. 2021.
[29] R. J. Taylor, "The future of open payments in public transit: EMV contactless adoption trends," Transit Journal, vol. 59, no. 1, pp. 12–29, Feb. 2025.
[30] S. Taneja et al., "Leveraging Digital Payment Adoption Experience to Advance the Development of Digital-Only (Neo) Banks: Role of Trust, Risk, Security, and Green Concern," IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 71, pp. 10862-10873, 2024.
[31] S. B. Abdinagoro and M. Hamsal, "E-payment in integrated public transport modes: Case study of public transports in Greater Jakarta," 2016 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech), Bandung, Indonesia, 2016, pp. 261-266.
[32] B. Mo, M. Y. Von Franque, H. N. Koutsopoulos, J. P. Attanucci and J. Zhao, "Impact of Unplanned Long-Term Service Disruptions on Urban Public Transit Systems," in IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems, vol. 3, pp. 551-569, 2022, doi: 10.1109/OJITS.2022.3199108.
[33] C. Wang et al., "Optimizing Cross-Line Dispatching for Minimum Electric Bus Fleet," in IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 22, no. 4, pp. 2307-2322, 1 April 2023, doi: 10.1109/TMC.2021.3119421.
[34] L. Wang and J. Liu, "Data privacy preservation in blockchain-based public transit payment architectures," Information Sciences, vol. 692, pp. 102–119, Apr. 2025.
F. Dang et al., "Pricing Data Tampering in Automated Fare Collection with NFC-Equipped Smartphones," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 18, no. 5, pp. 1159–1173, May 2019, doi: 10.1109/TMC.2018.2853114.