

Innovación en la gestión de mantenimiento vehicular público mediante herramientas 4.0, Cuenca 2025

Innovation in the management of public vehicle maintenance using tools 4.0, Cuenca 2025

Romel Manuel García Cedillo, Walter Darío Esquivel, Glenda Maricela Ramon Poma

Resumen

El estudio analizó la influencia de las herramientas tecnológicas de la industria 4.0 en la eficiencia de la gestión del mantenimiento vehicular público en la ciudad de Cuenca. El objetivo principal fue determinar cómo dichas herramientas inciden en la eficiencia operativa del mantenimiento de vehículos públicos durante el año 2025, con el propósito de reconocer las oportunidades de mejora en los procesos operativos institucionales. La investigación fue de tipo exploratoria, descriptiva y correlacional, utilizando como técnica la encuesta, aplicada a 45 funcionarios de áreas administrativas y operativas. Los datos recopilados fueron analizados estadísticamente con un modelo de regresión lineal múltiple para determinar la relación entre las variables independientes herramientas tecnológicas 4.0, nivel de implementación e integración de sistemas de mantenimiento, y la variable dependiente eficiencia de gestión. Los resultados mostraron que la variable que más afecta la eficiencia del mantenimiento es la integración de sistemas ($p = 0,000$), mientras que las otras variables no mostraron resultados estadísticamente significativos. Se concluye que la eficiencia de las instituciones está relacionada con el grado de integración y uso de tecnología, lo que crea un modelo de gestión inteligente orientado a la transformación digital y la sostenibilidad del sector público.

Palabras clave: Industria 4.0; mantenimiento; eficiencia; gestión tecnológica; innovación.

Romel Manuel García Cedillo

Universidad Católica de Cuenca | Cuenca | Ecuador | romel.garcia.25@est.ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-4673-8102>

Walter Darío Esquivel

Universidad Católica de Cuenca | Cuenca | Ecuador | dario.esquivel@ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-5788-861X>

Glenda Maricela Ramon Poma

Universidad Católica de Cuenca | Cuenca | Ecuador | gramon@ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6833-9129>

<http://doi.org/10.46652/rgn.v11i50.1616>
ISSN 2477-9083
Vol. 11 No. 50, abril-junio, 2026, e2601616
Quito, Ecuador

Enviado: octubre 30, 2025
Aceptado: noviembre 24, 2025
Publicado: enero 27, 2026
Publicación Continua

Abstract

The study analyzed the influence of Industry 4.0 technological tools on the efficiency of public vehicle maintenance management in the city of Cuenca. The main objective was to determine how these tools affect the operational efficiency of public vehicle maintenance during 2025, with the purpose of recognizing opportunities for improvement in institutional operating processes. The research was exploratory, descriptive and correlational, using the survey technique applied to 45 officials from administrative and operational areas. The collected data were statistically analyzed with a multiple linear regression model to determine the relationship between the independent variables technological tools 4.0, level of implementation and integration of maintenance systems, and the dependent management efficiency variable. The results showed that the variable that most affects maintenance efficiency is system integration ($p = 0.000$), while the other variables did not show statistically significant results. It is concluded that the efficiency of institutions is related to the degree of integration and use of technology, which creates a smart management model oriented towards digital transformation and public sector sustainability.

Keywords: Industry 4.0; maintenance; efficiency; technology management; innovation.

Introducción

La industria automotriz es un componente vital de la movilidad urbana y la eficiencia del transporte público en Ecuador. El parque automotor nacional supera los 2.7 millones de vehículos, de acuerdo con la Agencia Nacional de Transporte (INEC, 2025), lo que ha aumentado la necesidad de sistemas de mantenimiento más eficaces. La gestión vehicular aún se apoya en métodos correctivos tradicionales que generan altos costos, largos tiempos muertos y menor disponibilidad. Aquí es donde las herramientas digitales de la Industria 4.0, como los sensores IoT (internet de las cosas), la IA (inteligencia artificial) y el análisis predictivo, pueden marcar la diferencia para evitar errores y mejorar la eficiencia en la gestión de flotas estatales.

Cuenca, cuenta con más de 150.000 vehículos de acuerdo con la (INEC, 2025), los retos de mantenimiento se han agravado debido al crecimiento urbano y a la expansión del parque automotor. La eficiencia en la gestión de vehículos estatales es determinante para la continuidad de los servicios operativos y administrativos, tales como el transporte institucional, emergencias y servicios públicos. Pero la persistencia de las formas tradicionales limita la capacidad de respuesta técnica de las entidades públicas.

Según el Banco Central del Ecuador (2024), las importaciones de autopartes en Ecuador crecen a un ritmo del 12,5 % anual. Esto demuestra la necesidad de implementar nuevas estrategias sostenibles apoyadas en tecnología de vanguardia. En ese marco, la Industria 4.0 se plantea como una herramienta clave para la optimización de recursos, el aumento de la disponibilidad de vehículos y la mejora del servicio público. Pero aún existen barreras estructurales relacionadas con altos costos operativos, barreras arancelarias y dependencia de las estrategias correctivas tradicionales. Estas condiciones generan largos periodos de inactividad y reducen la eficiencia. Por lo tanto, existe una brecha significativa entre las posibilidades actuales y la implantación ordinaria de tecnologías 4.0 en el mantenimiento de vehículos públicos.

Diversas investigaciones han demostrado que la digitalización y la implementación de tecnologías como el internet de las cosas, la inteligencia artificial y los sistemas ciberfísicos posibilitan la anticipación de fallos. Además, permiten la reducción de tiempos de inactividad y la optimización del proceso de toma de decisiones en contextos industriales (Shaheen & Németh, 2022; Werbińska-Wojciechowska & Winiarska, 2023). Sin embargo, persiste discusión en torno a la viabilidad de transferir estos avances al sector público, atribuible a la resistencia organizacional, las limitaciones presupuestarias y la escasez de capital humano especializado (Dalzochio et al., 2020; Işık & Zilka, 2025). Aunque los beneficios han sido corroborados en escenarios privados, las investigaciones en flotas gubernamentales de Latinoamérica continúan siendo incipientes, lo que suscita tensiones entre el potencial de la innovación y la realidad institucionalizada.

Por otra parte, se ha identificado que existe poco conocimiento de literatura que aplique tecnologías 4.0 al mantenimiento de vehículos públicos en ciudades intermedias con menos recursos y donde los problemas prácticos son más evidentes. Esta problemática de desconocimiento se localiza en la ciudad de Cuenca, donde es necesario modernizar el transporte público y convertirlo en uno eficiente, sostenible y en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por lo tanto, la innovación en la administración pública se vuelve fundamental para mejorar la gestión y el uso de recursos, beneficiando a las instituciones públicas y a los operadores del parque automotor con soluciones digitales que maximizan la disponibilidad y el rendimiento de los vehículos de transporte público. Pero, a la vez, la iniciativa favorece la sostenibilidad económica y ambiental, al disminuir el desgaste de las piezas en la industria automotriz y evitar fallos mecánicos inesperados.

En este contexto, la investigación busca analizar la influencia de las herramientas tecnológicas 4.0 en la eficiencia de la gestión del mantenimiento de vehículos públicos en Cuenca, 2025, con la finalidad de identificar oportunidades de mejora en los procesos operativos. De este modo, se plantea la interrogante: ¿Cómo influyen las herramientas tecnológicas 4.0 en la eficiencia de la gestión del mantenimiento de vehículos públicos en Cuenca, 2025? Para responder a este interrogante, se toman en cuenta tecnologías como el mantenimiento predictivo fundamentado en inteligencia artificial, los gemelos digitales y el análisis de grandes volúmenes de datos, evaluando su repercusión en la optimización de procesos, la disminución de costos y la disponibilidad de las unidades.

El artículo se estructura en cinco apartados principales que garantizan la coherencia metodológica y científica de la investigación. La introducción trata sobre la problemática del mantenimiento vehicular público en Cuenca y la necesidad de implementar herramientas tecnológicas 4.0 para mejorar la eficiencia. El marco teórico-empírico entrelaza las teorías de transformación digital e innovación tecnológica con las de eficiencia operativa y gestión por procesos. Ello permite conocer cómo las herramientas de la Industria 4.0 impactan no solo en aspectos técnicos del mantenimiento, sino que transforman los modelos de gestión pública en contexto de escasez. En términos prácticos, los hallazgos pueden informar a los responsables de políticas públicas y gestores municipales que busquen modernizar la gestión de flotas vehiculares. Prácticamente, los resultados pueden orientar a políticos y gestores municipales que deseen actualizar la gestión de flotas vehiculares.

En la sección metodológica, se presenta un diseño descriptivo-correlacional, no experimental y transversal, especificando las variables, población, muestras e instrumentos utilizados. A continuación, se presentarán los resultados y su discusión, donde se logra un equilibrio entre los hallazgos empíricos y la literatura científica y la práctica administrativa local. Se aplicarán técnicas de modelización predictiva y análisis de indicadores para identificar las relaciones entre la aplicación de tecnologías 4.0 y la efectividad de los procesos de mantenimiento. Finalmente, la investigación culmina con conclusiones y recomendaciones para mejorar el mantenimiento de vehículos públicos con tecnologías 4.0. Se proponen estrategias para modernizar, hacer más sostenibles y mejorar continuamente los procesos operativos.

Marco teórico

En el ámbito del mantenimiento vehicular público se ha identificado la necesidad de adoptar enfoques innovadores que trasciendan los modelos correctivos y preventivos tradicionales. En este contexto, la Industria 4.0 se plantea como un marco de transformación digital que integra tecnologías como el internet de las cosas, la inteligencia artificial y el análisis de datos en la nube, con el fin de optimizar la eficiencia operativa y garantizar la sostenibilidad de las flotas. Si bien la literatura académica se ha concentrado principalmente en entornos industriales y privados, en el sector público local persisten vacíos respecto a su adopción sistemática. De ahí la relevancia de abordar el estado del arte no solo desde la construcción teórica, sino también mediante la revisión histórica y la exposición de ejemplos concretos sobre la aplicación de las tecnologías 4.0 en la gestión de vehículos públicos.

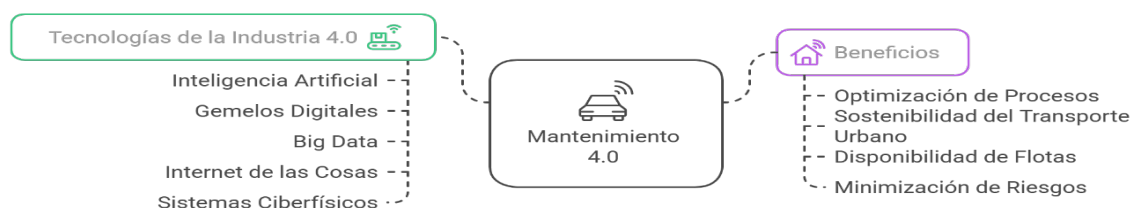
Innovación en el mantenimiento vehicular

La adopción de innovaciones tecnológicas en el mantenimiento de vehículos públicos ha sido identificada como un elemento estratégico para asegurar la eficiencia operativa y la continuidad de los servicios de movilidad pública, aspectos cruciales para la movilidad y la seguridad de los ciudadanos. En este contexto, se sugiere examinar la relación de las herramientas de la Industria 4.0 en la gestión de flotas para desarrollar un modelo perfecto que optimice el uso de los recursos y promueva la sostenibilidad en la administración pública (Werbińska-Wojciechowska & Winiarska, 2023). La transición de enfoques correctivos hacia estrategias preventivas y predictivas ha facilitado la reducción de costos y la prevención de interrupciones del servicio. Por otro lado, el paradigma de Mantenimiento 4.0, fundamentado en el internet de las cosas, big data, inteligencia artificial y sistemas ciberfísicos, permite prever fallos y optimizar procesos. Por lo tanto, su incorporación en las flotas públicas adquiere un valor estratégico, dado que impacta directamente en la calidad de vida de los ciudadanos mediante el fortalecimiento de la eficiencia del transporte urbano y de los servicios de emergencia (Shaheen & Németh, 2022).

Herramientas tecnológicas 4.0 en mantenimiento vehicular

El sector automovilístico en Ecuador desempeña un papel fundamental en la movilidad urbana y los servicios municipales, registrando más de 2,7 millones de vehículos a inicios de 2024, de los cuales aproximadamente 150.000 se encuentran concentrados en Cuenca (INEC, 2025). Sin embargo, seguir usando modelos de gestión tradicionales de gestión ha generado ineficiencias y altos costos por fallas en las unidades. En ese sentido, la literatura académica hace énfasis en la necesidad de implementar modelos digitales que mejoren la disponibilidad de flotas y minimicen riesgos de fallos críticos. El paradigma de mantenimiento 4.0, la automatización, supervisión en tiempo real y el análisis de datos, se ha presentado como una forma alternativa capaz de transformar la gestión de vehículos (Jasiulewicz-Kaczmarek et al., 2020). Bajo este enfoque y tal y como se muestra en la figura 1, se postula la imperiosa necesidad de integrar tecnologías de la industria 4.0 tales como inteligencia artificial, gemelos digitales, big data, internet de las cosas y sistemas ciberfísicos en la administración pública, dado que constituyen el fundamento para la optimización de procesos y la garantía de la sostenibilidad del transporte urbano (Shaheen & Németh, 2022).

Figura 1. Transformación de la gestión con herramientas tecnológicas 4.0



Fuente: elaboración propia.

Nota. El gráfico 1 representa la transformación de la gestión con la implementación del mantenimiento 4.0.

Teoría de la transformación digital

Se entiende a la transformación digital como un proceso integral mediante el cual las entidades integran tecnologías emergentes en sus operaciones para lograr una mejora sustantiva en eficiencia, comunicación y toma de decisiones. Hwang y Kim (2022), demostraron que incluso en pymes manufactureras la adopción de tecnologías 4.0 eleva la productividad en más del 26% en promedio. Estos resultados muestran que la digitalización es una oportunidad para las áreas que enfrentan limitaciones estructurales, como es el caso de la gestión de vehículos de transporte público. En este sentido, Salgado Reyes et al. (2024), argumenta que “las tecnologías de TI facilitan la toma de decisiones informadas mediante análisis de datos en tiempo real, lo cual incrementa la precisión y agilidad en la respuesta al mercado” (p. 12). Esta metodología se puede aplicar al mantenimiento vehicular, donde la disponibilidad de información en tiempo real puede marcar la diferencia entre la continuidad del servicio de transporte público.

En la ciudad de Cuenca, la implementación de sistemas de gestión de mantenimiento computarizados (CMMS) surge como una alternativa ante las limitaciones de presupuesto. Anchundia et al. (2025), señalan que estos sistemas son de bajo costo y altamente escalables, lo que los hace apropiados para entornos institucionales con pocos recursos. Además, la incorporación del IoT y el big data en flotas de transporte permite crear modelos de mantenimiento predictivo. Tal como señalan Killeen et al. (2019), el uso de algoritmos de aprendizaje automático en autobuses urbanos permite detectar fallas en una etapa temprana y así disminuir significativamente el tiempo de inactividad. Por lo tanto, la teoría de la transformación digital proporciona la base para entender cómo la implementación de estas herramientas apoya la eficiencia en el mantenimiento vehicular público.

Teoría de la innovación tecnológica

La innovación tecnológica se concibe como el proceso de introducción de nuevas ideas, herramientas o métodos que permiten reducir la incertidumbre en la toma de decisiones y generar ventajas competitivas. Rogers (2003), enfatizó que “una innovación tecnológica ofrece al menos cierto grado de beneficio a quienes la adoptan, pero esta ventaja no siempre resulta evidente al inicio de su difusión”(p. 15). De este modo, el mantenimiento vehicular público enfrenta la disyuntiva de adoptar tecnologías que prometen mejorar la disponibilidad de flotas, pero que aún presentan barreras de aplicación, tales como costos iniciales elevados, déficit de capacitación técnica y resistencia institucional (Işık & Zilka, 2025). Estas dificultades explican la lenta incorporación de modelos predictivos en el sector público, a pesar de su comprobada eficacia en contextos privados (Tran Anh et al., 2018).

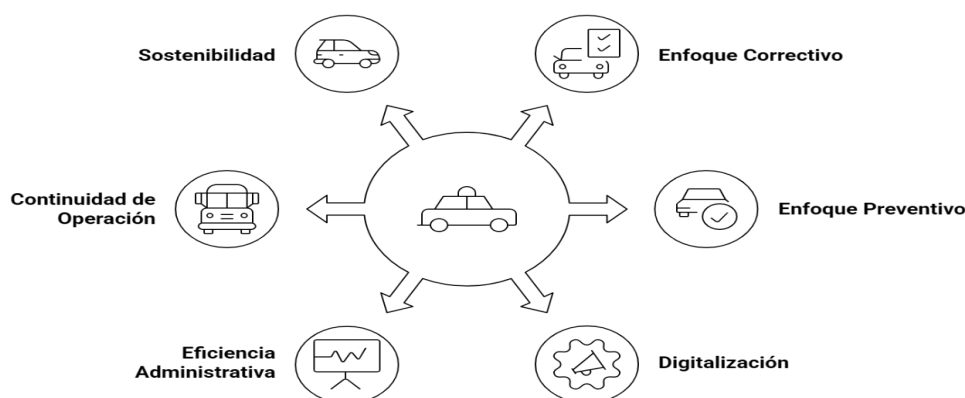
El mantenimiento 4.0 introduce un ecosistema digital basado en sensores, algoritmos de IA y gemelos digitales. Según Werbińska-Wojciechowska y Winiarska (2023), este enfoque maximiza la disponibilidad de los equipos y elimina tareas reactivas al priorizar la toma de decisiones basada en datos. De forma complementaria, Pinciroli et al. (2023), sostienen que la optimización de mantenimiento requiere métodos capaces de integrar múltiples objetivos, como eficiencia, sostenibilidad y resiliencia. En la práctica, tecnologías como la realidad aumentada aplicada a reparaciones inmediatas (Konstantinidis et al., 2020) o los sistemas ciberfísicos con funciones integradas (Shaheen & Németh, 2022), demuestran la importancia de la innovación tecnológica en el campo del mantenimiento. Estos desarrollos no solo actualizan la administración, sino que también promueven una cultura de innovación organizacional en el sector público.

Eficiencia en la gestión del mantenimiento vehicular público

El mantenimiento vehicular público es considerado un factor esencial para asegurar la continuidad de los servicios de movilidad pública, especialmente en ciudades intermedias como Cuenca, donde la movilidad colectiva es un factor estratégico de planificación urbana. Este proceso ha evolucionado de un enfoque correctivo a uno preventivo y digitalizado para optimizar los

recursos, en línea con la eficiencia administrativa (Achouch et al., 2022). En este contexto, y como se puede observar en la figura 2 la incorporación de tecnologías de la Industria 4.0 pueden ayudar a resolver los problemas presupuestarios y logísticos de las instituciones públicas, facilitando la toma de decisiones y reduciendo los tiempos muertos. La literatura reconoce que la conservación influye en la continuidad de operación y sostenibilidad de los sistemas de transporte. Vujanović et al. (2012), sostienen que “para aumentar la eficiencia energética de la flota mediante una gestión del mantenimiento más eficiente, es indispensable observar el proceso de mantenimiento, el proceso de transporte y el entorno” (2012, p. 158), lo cual resalta la necesidad de un enfoque integral en la administración de los recursos vehiculares. Este marco evidencia cómo la eficiencia operativa se convierte en un principio rector en la gestión de flotas, vinculando indicadores energéticos, productivos y de servicio.

Figura 2. Eficiencia del mantenimiento vehicular público



Fuente: elaboración propia.

Nota. El gráfico 2 representa la eficiencia en la adaptación del mantenimiento 4.0 en vehículos públicos.

Teoría de la eficiencia operativa aplicada al mantenimiento vehicular

La eficiencia operativa es la capacidad de las organizaciones para hacer un mejor uso de sus recursos, mejorando la productividad y reduciendo los costos innecesarios. En este contexto, el mantenimiento de vehículos públicos se debería orientar a minimizar fallos, estandarizar procesos y optimizar el uso de recursos, garantizando así un servicio ininterrumpido y confiable. De acuerdo con Febrianto et al. (2025), la eficiencia y la antigüedad de los equipos impactan directamente en los ingresos y costos de propiedad, por lo que se deben ajustar las estrategias de mantenimiento al ciclo de vida de los activos. La evaluación empírica de los autores demostró que la edad de los equipos se asocia con mayores costos operativos, por lo cual es importante implementar tecnologías de monitoreo predictivo y gestión de datos para anticipar fallas y evitar gastos innecesarios. En esa misma línea, la evidencia empírica en Perú muestra que la implementación de metodologías como 5S y la planificación de materiales redujo el tiempo muerto en 20,37% y aumentó la satisfacción del cliente de 46% a 79% (Harboe-Chaman et al., 2025). Estos datos confirman que la eficiencia

no sólo se nota en los datos internos, sino que influye en la imagen que tienen los ciudadanos del servicio público.

Teoría de la gestión por procesos (Business Process Management, BPM)

La teoría de la gestión por procesos (BPM), fomenta una perspectiva organizacional orientada a la secuencia, supervisión y optimización de los procesos como fuente de valor. En este sentido, Grisold et al. (2022), indican que centrarse únicamente en la eficiencia operativa no es suficiente cuando existen fuerzas disruptivas capaces de volver obsoletos procesos completos. Esto implica el uso de metodologías ágiles como el método de los cinco diamantes, que puedan incorporar tendencias tecnológicas, nuevas demandas (Grisold et al., 2022). Dentro del contexto del mantenimiento vehicular público, la BPM facilita la visualización de cada fase, desde la planificación hasta la implementación, como un componente integral de una cadena de valor que debe propiciar eficiencia y sostenibilidad.

León-Duarte y Martínez-Cadena (2024), demostraron que la implementación de un software GMAO elevó en un 70 % la utilización de las instalaciones y redujo en un 10 % los tiempos muertos, evidenciando la relevancia de la digitalización en el sector. Por ende, el BPM trasciende los indicadores operativos, innovando en los modelos de gestión y convirtiéndose en un enfoque adaptable y flexible para garantizar la pertinencia del mantenimiento en contextos públicos con restricciones presupuestarias.

Estudios previos y vacíos de la investigación

Numerosas investigaciones han enfatizado la relevancia de incorporar tecnologías de la industria 4.0 en la administración del mantenimiento vehicular. Por ejemplo, Togra Cáceres (2024), diseñó un modelo de gestión 4.0 para la flota del Gobierno Provincial del Azuay, el cual incorpora IoT, Big Data y análisis en la nube, dando como resultado mejoras en la fiabilidad y una reducción en los costos.

Asimismo, Herrera-Sánchez et al. (2020), también mostraron que la digitalización y los sistemas ciberfísicos ayudan a pasar del mantenimiento correctivo al mantenimiento predictivo, lo que aumenta la productividad. Por su parte, Padilla Valdez (2012), planteó un plan de gestión en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cañar que prioriza la tecnificación y estructuración de procesos para generar eficiencia en el uso de recursos. Estos aportes coinciden en que la innovación tecnológica y la gestión por procesos son determinantes para mejorar la disponibilidad y sostenibilidad de las flotas vehiculares.

No obstante, también se detectan deficiencias significativas en la literatura existente. Aunque se ha progresado en la implementación de instrumentos 4.0 en el sector industrial y en ciertos gobiernos locales, la mayoría de las investigaciones se focalizan en entornos privados o en naciones con elevados índices de digitalización (Pincirolí et al., 2023; Werbińska-Wojciechowska

& Winiarska, 2023). Esto crea un vacío sobre cómo implementar estas tecnologías en ciudades intermedias de Latinoamérica, donde los gobiernos locales enfrentan limitaciones de presupuesto, capacidades técnicas y falta de personal capacitado. Adicionalmente, investigaciones como la de Anchundia et al. (2025), indican que aunque el IoT y la IA ofrecen ventajas, los CMMS (Computerized Maintenance Management System) son mejores alternativas por ser más económicos y escalables.

Por lo expuesto, se evidencia la necesidad de desarrollar una investigación que ilustre de forma sistematizada cómo las tecnologías 4.0 se relacionan con el mantenimiento de vehículos públicos en condiciones de restricciones económicas y operativas. El caso de Cuenca y como se observa en la figura 3, se vuelve interesante, ya que presenta una brecha tecnológica entre sus formas tradicionales de mantenimiento y lo que la digitalización tiene para ofrecer (Kans & Campos, 2024). Por lo tanto, la brecha de conocimiento surge por la falta de evidencia empírica que logre asociar la innovación tecnológica con la eficiencia operativa y la sostenibilidad en el sector público de transporte urbano.

Metodología

La presente investigación se diseñó con un enfoque exploratorio, descriptivo y correlacional. En su propósito exploratorio busca conocer el fenómeno estudiado en un contexto particular. Su naturaleza es descriptiva, en que busca describir las características de los sujetos estudiados. Además, es correlacional porque busca medir la magnitud de la relación entre las variables independientes y la dependiente (Hernández Sampieri et al., 2014; Boateng et al., 2018; Creswell et al., 2018). Asimismo, el estudio se abordó de manera cuantitativa para dar una perspectiva completa del fenómeno. Es de carácter transversal o transeccional, ya que analiza el fenómeno en un único momento en su ambiente natural. Además, es no experimental, ya que no manipula variables (Briones, 1996; Creswell et al., 2018).

La recolección de datos se llevó a cabo utilizando la técnica de la encuesta y como instrumento un cuestionario estructurado. Para su desarrollo se realizó una revisión sistemática de la literatura científica, para asegurar la validez y relevancia de los ítems que la componen. Se revisaron artículos registrados en bases de datos académicas de alto impacto como Scopus, Redalyc, SciELO y Google Académico, contando con un marco teórico robusto y actualizado para la elaboración del cuestionario (Creswell et al., 2018; Hernández Sampieri et al., 2014). El instrumento se compone de 2 partes: en la primera se miden los factores o dimensiones por escala tipo Likert de 5 opciones, donde 1 es totalmente en desacuerdo, 2 en desacuerdo, 3 ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4 de acuerdo y 5 totalmente de acuerdo. Los ítems o variables observables se derivaron de la experiencia del investigador; y en la segunda se midieron las variables de control para describir el perfil del sujeto de estudio (Mendoza & Garza, 2009; Jebb et al., 2021).

El instrumento se sometió a validación de contenido por juicio de expertos. Para ello, se seleccionaron 4 expertos a los que se les envió un cuestionario donde aparecían los ítems junto

con la definición conceptual de cada factor. Cada experto calificó la adecuación de los ítems utilizando una escala de cuatro categorías (1 = irrelevante, 2 = poco relevante, 3 = relevante, 4 = muy relevante). Luego, se promediaron las calificaciones para establecer la validez del contenido. Este proceso se basa en las recomendaciones metodológicas para juzgar la validez de contenido a través de índices como el I-CVI (Índice de Validez de Contenido a Nivel de Ítem) y el S-CVI (Índice de Validez de Contenido a Nivel de Escala) (Zamanzadeh et al., 2015; Fernández-Gómez et al., 2020) y considera que una tasa de acuerdo entre los jueces (puntuaciones de 3 o 4) significa que el ítem es aceptable (Polit et al., 2007).

Del número inicial de ítems, se mantuvieron en el instrumento aquellos cuyo valor promedio fue superior a 3; por el contrario, los ítems cuyo promedio fue igual o inferior a 3 fueron eliminados, quedando así el instrumento para la prueba piloto. Es relevante mencionar que inicialmente el cuestionario estaba compuesto por 60 preguntas, las cuales, después de ser sometidas a juicio de expertos, se redujeron a 51 ítems válidos y listos para ser aplicados. Esta forma de limpiar y validar ítems a través de consenso experto se justifica en la literatura metodológica (Luján-Tangarife & Cardona Arias, 2015; Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

En el diseño muestral se utilizó un muestreo no estratificado por conveniencia, ya que los participantes fueron elegidos por su fácil acceso y disponibilidad, sin utilizar métodos probabilísticos para asegurar la representatividad de la población. Este tipo de muestreo se utiliza frecuentemente en investigaciones aplicadas con restricciones de tiempo y recursos, ya que posibilita obtener información de forma práctica y directa para el análisis. Según Hernández-Sampieri et al. (2014), el muestreo por conveniencia es un tipo no probabilístico que se basa en la disponibilidad de los sujetos más cercanos al investigador, lo que impide la generalización de los resultados, siendo apropiado para estudios exploratorios o descriptivos.

Con base en el muestreo no estratificado por conveniencia, se tomaron datos de 45 participantes que residen en la ciudad de Cuenca. Las personas elegidas están directamente involucradas en las funciones administrativas y operativas del mantenimiento del transporte público vehicular, garantizando la relevancia de la información para los propósitos del estudio (Etikan, 2016).

Tabla 1. Participantes de investigación

Participantes	Cantidad
Personal Administrativo (Directores – Jefes – Técnicos)	35
Personal operativo	10
Total	45

Fuente: elaboración propia a partir de los datos recolectados en la investigación.

Nota. Tabla 1. Participantes directamente involucrados para de la investigación.

Fiabilidad del instrumento

La fiabilidad del instrumento se evalúa mediante el coeficiente alfa de Cronbach, uno de los indicadores más comunes para estimar la consistencia interna de las escalas de medición. En la Tabla 2 se presentan los estadísticos de confiabilidad del instrumento aplicado. El uso de este coeficiente determina la medida en la que los artículos son homogéneos y miden de forma consistente el constructo que se pretende medir (Cronbach, 1951).

Tabla 2. Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
0,944	4

Fuente: elaboración propia.

Nota. Tabla 2 Nivel de confiabilidad de las variables independientes y dependientes analizados.

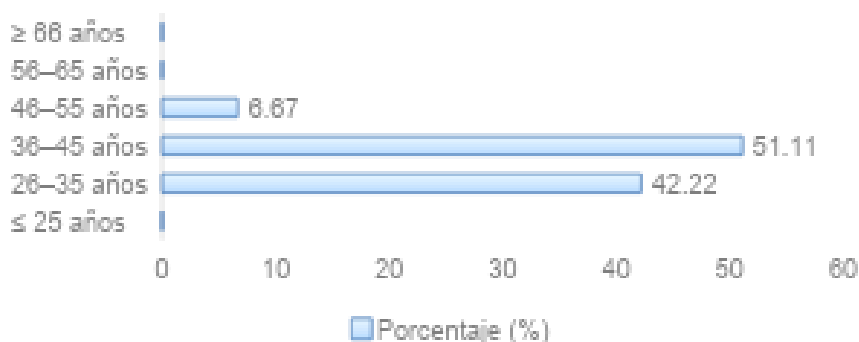
El valor del alfa de Cronbach fue de 0.944, mostrando una confiabilidad muy alta, lo que demuestra que las 4 variables analizadas tienen una alta consistencia interna y son muy coherentes entre sí al medir el mismo constructo, superando ampliamente el valor mínimo aceptable de 0.70. En tal virtud, la metodología utilizada estructuró el proceso de investigación desde el diseño y muestreo hasta la validación y depuración del instrumento de recolección de datos, asegurando la coherencia con los objetivos propuestos y las técnicas utilizadas y fortaleciendo la validez y pertinencia de la información recolectada para el análisis de resultados.

Resultados

Análisis descriptivo

El análisis descriptivo de las variables facilita la identificación de sus características fundamentales, junto con los patrones y tendencias predominantes, estableciendo un fundamento robusto para la interpretación de los resultados y el desarrollo subsiguiente del debate de los descubrimientos.

Figura 3. Edad



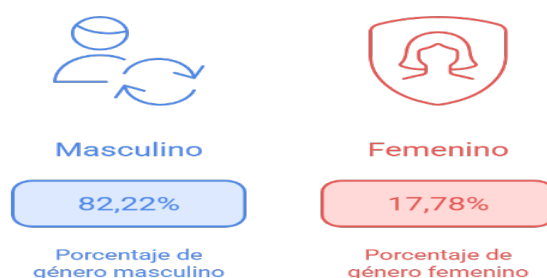
Fuente: elaboración propia.

Nota. El gráfico muestra que la mayoría de los participantes tiene entre 26 y 45 años, rango clave en la gestión del mantenimiento vehicular público.

La figura 3 muestra la distribución porcentual de diferentes grupos de edad. Los datos se dividen en 6 rangos de edad: ≤25, 26-35, 36-45, 46-55, 56-65, ≥65. A continuación, se interpreta del gráfico:

En el figura se muestra la distribución porcentual de los participantes según sus rangos de edad en el estudio sobre la gestión de mantenimiento vehicular público con herramientas 4.0 en Cuenca. Se puede notar que la mayoría de los encuestados se encuentra entre los 36 y 45 años (51,11 %) y 26 y 35 años (42,22 %), y solo el 6,67 % se encuentra entre los 46 y 55 años. No hubo participantes menores de 25 años ni mayores de 55 años.

Figura 4. Género

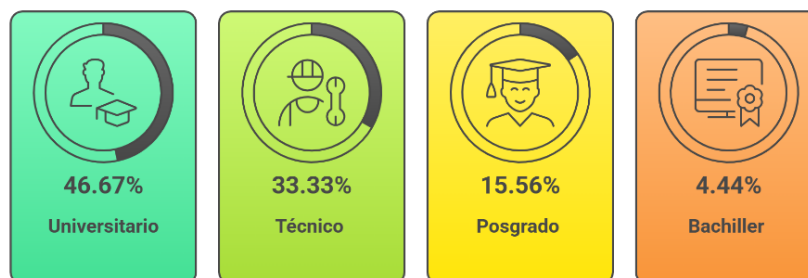


Fuente: elaboración propia.

Nota. El gráfico muestra la predominancia del género masculino (82,22 %), con una participación femenina del 17,78 %, reflejando avance en inclusión.

En la figura se refleja que el 82,22% son hombres y el 17,78% son mujeres. Esta diferencia muestra una clara mayoría de hombres en el mantenimiento vehicular público, sin embargo, la presencia femenina, aunque minoritaria, muestra que se está avanzando hacia la inclusión y la igualdad de género en los campos operativos y técnico-gerenciales, diversificando el talento en la administración pública.

Figura 5. Formación académica



Fuente: elaboración propia.

Nota. El gráfico muestra la predominación académica reflejando una tendencia hacia la profesionalización del personal.

En la figura se evidencia que el 46,67% de los encuestados tiene estudios universitarios, el 33,33% técnico, 15,56% de posgrado y solo el 4,44% llegó hasta bachillerato.

Estos datos revelan que la mayor parte del personal tiene estudios superiores, lo que facilita la comprensión y aplicación de tecnologías de punta en la gestión del mantenimiento vehicular. La presencia de técnicos también fortalece la capacidad del sector y el bajo porcentaje de bachilleres indica que se está moviendo hacia la profesionalización y especialización que hoy es necesaria en las entidades públicas.

Figura 6. Institución



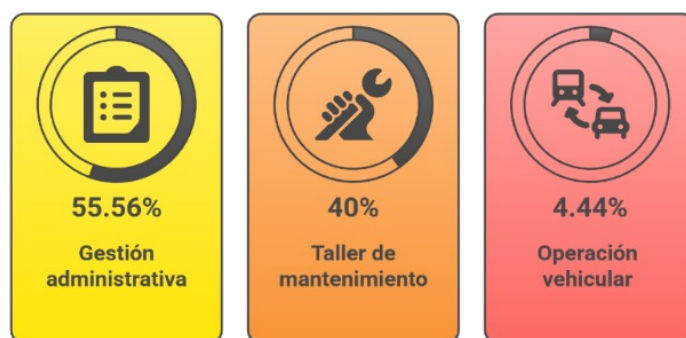
Fuente: elaboración propia.

Nota. El gráfico muestra la predominancia de la participación del sector público (64,44 %), frente al privado (35,56 %), acorde con el enfoque del estudio.

En la figura se puede observar que el 64,44% de los encuestados trabaja en instituciones públicas y el 35,56% en instituciones privadas.

Esto representa un mayor involucramiento del sector público, lo cual se alinea con la problemática de estudio sobre la gestión del mantenimiento vehicular en entidades estatales. Pero la presencia de personal del sector privado proporciona una perspectiva comparativa, identificando buenas prácticas y comparando los niveles de digitalización y adopción de tecnologías 4.0.

Figura 7. Área de trabajo



Fuente: elaboración propia.

Nota. El gráfico indica que la mayoría pertenece al área administrativa (55,56 %), seguida por talleres (40 %), evidenciando el peso de la gestión en los procesos de mantenimiento.

En la figura se representa que el 55.56% de los encuestados son del área administrativa, el 40% trabaja en talleres de mantenimiento y sólo el 4.44% en operación vehicular.

Estos datos indican que los más involucrados son el personal administrativo, que participan en la planificación y supervisión de los procesos de mantenimiento. El alto porcentaje de técnicos en talleres evidencia la importancia del factor operativo en la implantación de tecnologías 4.0. A su vez, la baja tasa de operatividad vehicular señala una escasa participación del personal de campo, por lo que se debe fortalecer su participación en los procesos de innovación y digitalización institucional.

Correlación de Pearson

Tabla 3. Análisis de correlación de resultados

		X1 Herramientas tecnológicas 4.0	X2 Nivel de implementación de herramientas 4.0	X3 Integración de sistemas de mantenimiento	Y1 Eficiencia en la gestión de mantenimiento
X1 Herramientas tecnológicas 4.0	Correlación de Pearson	1	,882**	,861**	,778**
	Sig. (bilateral)		0,000	0,000	0,000
	N	45	45	45	45
X2 Nivel de implementación de herramientas 4.0	Correlación de Pearson	,882**	1	,821**	,725**
	Sig. (bilateral)	0,000		0,000	0,000
	N	45	45	45	45
X3 Integración de sistemas de mantenimiento	Correlación de Pearson	,861**	,821**	1	,841**
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000		0,000
	N	45	45	45	45

		X1 Herra- mientas tecno- lógicas 4.0	X2 Nivel de im- plementación de herramientas 4.0	X3 Integración de sistemas de mantenimiento	Y1 Eficiencia en la gestión de mantenimiento
Y1 Eficiencia en la gestión de mantenimiento	Correlación de Pearson	,778**	,725**	,841**	1
	Sig. (bilate- ral)	0,000	0,000	0,000	
	N	45	45	45	45

Fuente: elaboración propia.

Nota. Tabla 3. Se evidencian correlaciones positivas y significativas entre las herramientas tecnológicas 4.0 y las demás variables del estudio ($p < 0,01$).

Herramientas tecnológicas 4.0 y eficiencia en la gestión de mantenimiento

Coefficiente de Pearson: 0.778**

Significancia (bilateral): 0.000

Interpretación: existe una correlación muy fuerte entre las variables herramientas tecnológicas 4.0 y nivel de implementación de herramientas 4.0 ($r = 0,778$; $p < 0,01$), lo que significa que, a medida que se incorporan más tecnologías digitales, mayor es su aplicación práctica en los procesos de mantenimiento. La significancia bilateral de 0.000 indica que esta relación es estadísticamente significativa al nivel del 1 % lo que respalda la importancia de la adopción tecnológica en la gestión pública.

Nivel de implementación de herramientas 4.0 y eficiencia en la gestión de mantenimiento

Coefficiente de Pearson: 0.725**

Significancia (bilateral): 0.000

Interpretación: existe una correlación fuerte y positiva entre nivel de implementación de herramientas tecnológicas 4.0 y eficiencia en la gestión de mantenimiento ($r = 0,725$; $p < 0,01$). Esto indica que, cuanto más avanzado es el grado de implementación tecnológica, mayor es la eficiencia operativa. El valor de 0.000 indica que esta correlación es estadísticamente significativa al 1% demostrando que la adopción efectiva de tecnologías digitales contribuye al mejor desempeño institucional.

Integración de sistemas de mantenimiento y eficiencia en la gestión de mantenimiento:

Coefficiente de Pearson: 0.841**

Significancia (bilateral): 0.000

Interpretación: se encontró una alta correlación positiva entre integración de sistemas de mantenimiento y la eficiencia de la gestión del mantenimiento ($r = 0,841$; $p < 0,01$), lo que indica que la interconexión, automatización y sincronización de los sistemas favorecen directamente la eficiencia del mantenimiento vehicular. La significancia bilateral de 0.000 demuestra que esta relación es estadísticamente significativa al 1 %, confirmando la posición que la integración tecnológica influye en la transformación digital del sector público.

Regresión lineal múltiple

Tabla 4. Análisis de Regresión Lineal Múltiple

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
(Constante)	13,218	5,697		2,320	0,025
X1 Herramientas tecnológicas 4.0	0,258	0,245	0,215	1,055	0,297
X2 Nivel de implementación de herramientas 4.0	-0,011	0,227	-0,009	-0,049	0,961
X3 Integración de sistemas de mantenimiento	0,748	0,190	0,663	3,942	0,000

Fuente: elaboración propia.

Nota. Variable dependiente: Y1 Eficiencia en la gestión de mantenimiento.

En la tabla 4, el análisis de regresión múltiple se encuentra interpretado por la siguiente manera:

- **Para la variable X1:** herramientas tecnológicas 4.0, $B = 0,258$ y $Beta = 0,215$, lo que indica una relación positiva con la eficiencia de la gestión del mantenimiento; es decir, que un mayor uso de herramientas tecnológicas mejoraría la eficiencia. Sin embargo, sus valores de $t = 1,055$ y $p = 0,297$ indican que esta no es estadísticamente significativa, lo que implica que la influencia directa de las herramientas tecnológicas aún es débil. Este hallazgo puede explicarse en que la sola presencia de tecnología no es un asegurador de mejoras significativas, ya que su impacto depende de factores como la capacitación del personal y la integración de los sistemas digitales.
- **En cuanto a la variable X2:** nivel de aplicación de herramientas 4.0, $B = -0,011$, $Beta = -0,009$, mostrando una mínima relación negativa con la eficiencia. Su $t = -0,049$ y $p = 0,961$ indican que esta variable no tiene un impacto estadísticamente significativo en el modelo. Esto indica que la eficiencia del mantenimiento no está determinada por el nivel

de uso tecnológico, sino por la forma en la que estas se integran y utilizan en los procesos de la organización.

- **Por último, la variable X3:** integración de sistemas de mantenimiento, con $B = 0,748$, $Beta = 0,663$, $t = 3,942$ y $p = 0,000$, demostrando una fuerte relación positiva y altamente significativa con la eficiencia de la gestión del mantenimiento. Esto reafirma que la integración de sistemas es el factor más influyente en el modelo, ya que permite optimizar procesos, mejorar la coordinación operativa y fortalecer la toma de decisiones estratégicas. Entonces, se determina que la eficiencia de la gestión se eleva cuando las herramientas tecnológicas están completamente integradas en los sistemas de mantenimiento vehicular.

Ecuación del modelo

$$Y_1 = B_0 + B_1X_1 - B_2X_2 + B_3X_3$$

$$Y_1 = 13,218 + 0,258X_1 - 0,011X_2 + 0,748X_3$$

Donde:

- X_1 = Herramientas tecnológicas 4.0
- X_2 = Nivel de implementación de herramientas 4.0
- X_3 = Integración de sistemas de mantenimiento

El modelo de regresión resultante muestra que, en igualdad de condiciones, por cada unidad que aumenta la variable (X_1) Herramientas tecnológicas 4.0, la eficiencia de la gestión del mantenimiento incrementará en 0,258 unidades. Para (X_2) Nivel de adopción de herramientas 4.0, la variación es casi nula (-0,011), mostrando poco impacto en la eficiencia. Por otro lado, la variable (X_3) Integración de sistemas de mantenimiento es la que más impacta positivamente, ya que el aumento en una unidad de esta dimensión se espera que incremente en 0,748 unidades la eficiencia, siendo el factor con mayor poder explicativo en el modelo.

Tabla 5. Resumen del modelob

Modelo	R	R cua- drado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Dur- bin-Watson
1	,848a	0,719	0,698	4,114	2,063

Fuente: elaboración propia.

Nota. Tabla 5. Predictores: (Constante), X3 Integración de sistemas de mantenimiento, X2 Nivel de implementación de herramientas 4.0, X1 Herramientas tecnológicas 4.0.

La tabla 5. El modelo de regresión lineal múltiple se logró un coeficiente de compensación ($R = 0,848$). Esto indica que existe una compensación positiva robusta entre las variables

predictoras (herramientas tecnológicas 4.0, nivel de implementación e integración de sistemas de mantenimiento) y la variable dependiente (eficiencia de la gestión del mantenimiento). Además, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,719$) muestra que el modelo puede explicar el 71,9 % de la variabilidad en la eficiencia del mantenimiento, indicando un buen ajuste y una gran capacidad para explicar las variables predictoras. Asimismo, el R^2 ajustado = 0,698 ratifica la consistencia estadística del modelo en función del número de predictores, evitando el sobreajuste y asegurando su estabilidad. Por otro lado, el error estándar de la estimación (4,114) muestra una buena exactitud en las predicciones, aunque aún queda cierta variabilidad sin explicar. Finalmente, el estadístico Durbin-Watson (2,063), al estar cercano a 2, indica que no existe autocorrelación en los residuos y que los errores son independientes, lo que confirma la confiabilidad y validez del modelo planteado.

Tabla 6. ANOVAa

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1773,042	3	591,014	34,928	,000b
	Residuo	693,758	41	16,921		
	Total	2466,800	44			

Fuente: elaboración propia.

Nota. a. Variable dependiente: Y1 Eficiencia en la gestión de mantenimiento, b. Predictores: (Constante), X3 Integración de sistemas de mantenimiento, X2 Nivel de implementación de herramientas 4.0, X1 Herramientas tecnológicas 4.0

En la tabla 6. El análisis de varianza muestra que la regresión es importante ($F = 34,928$; $p = 0,000$), lo que significa que las variables independientes (X1, X2, X3) predicen de forma confiable los cambios en la eficiencia de la gestión del mantenimiento. La suma de cuadrados de la regresión (1773,042) es la variabilidad de la eficiencia que el modelo logra explicar, y la suma de cuadrados residuales (693,758) es la variabilidad que no conseguirán clarificar las variables consideradas. Esto demuestra que el modelo es altamente explicativo y que las eficiencias distintas no son aleatorias, sino que el modelo es predictivo del desempeño en la gestión de mantenimiento.

En síntesis, el modelo de regresión lineal múltiple es consistente, robusto y estadísticamente suficiente para explicar la relación entre las variables estudiadas y que la integración de sistemas de mantenimiento (X3) es la variable que más impacta en la eficiencia de la gestión del mantenimiento vehicular público. Los resultados muestran que esta variable tiene un coeficiente positivo y muy significativo ($B = 0,748$; $p = 0,000$), lo que confirma su efecto directo en mejorar los procesos operativos, reducir los tiempos de inactividad y aumentar el rendimiento institucional. Por lo tanto, el modelo propuesto verifica empíricamente la hipótesis planteada y demuestra que la eficiencia organizacional se refuerza con la integración tecnológica, siendo la base para la transformación hacia un mantenimiento inteligente enmarcado en la tecnología 4.0.

Discusión

Los hallazgos del modelo de regresión lineal múltiple muestran que la integración de sistemas de mantenimiento es el principal determinante de la eficiencia de la gestión del mantenimiento vehicular público ($B = 0,748$; $p = 0,000$). Este hallazgo implica que la conectividad tecnológica entre los procesos de mantenimiento, gestión y supervisión mejora significativamente el rendimiento operativo. Esto está en línea con lo que señalan Shaheen y Németh (2022), en que la integración digital del sistema de mantenimiento reduce los tiempos de respuesta y mejora la toma de decisiones. De igual manera, Herrera-Sánchez et al. (2020), afirman que la Industria 4.0 realmente explota su potencial cuando las empresas logran sincronizar todas sus plataformas digitales, creando así un entorno más eficiente y sostenible.

Por otro lado, las variables herramientas tecnológicas 4.0 ($B = 0,258$; $p = 0,297$) y nivel de implementación ($B = -0,011$; $p = 0,961$) no fueron significativas en el modelo. Esto indica que la mera presencia o adopción parcial de tecnologías digitales no es suficiente para mejorar la eficiencia. Este resultado apoya lo encontrado por Hwang y Kim (2022), quienes evidenciaron que la eficiencia técnica en empresas manufactureras no solo se asocia con la adopción tecnológica, sino con su integración estratégica y el nivel de madurez digital alcanzado. Además, Işık y Zilka (2025), señalan que muchas empresas tienen problemas en el proceso de volverse 100% digitales por falta de estandarización y resistencia al cambio, las cuales podrían ser la razón por la que estadísticamente no se encuentran tan presentes en este estudio.

A diferencia de estudios anteriores, los hallazgos se alinean con los de Anchundia, Rodríguez-Borges y Pérez-Rodríguez (2025), ellos evidenciaron que el uso de herramientas de la Industria 4.0 en el mantenimiento vehicular aumenta la productividad y permite una gestión inteligente cuando existe integración entre los sistemas de control y los procesos administrativos. De igual manera, Achouch et al. (2022) y Dalzochio et al. (2020), concordaron en que el uso de mantenimiento predictivo y tecnologías digitales solo proporciona beneficios cuando las infraestructuras tecnológicas están interconectadas y gestionadas por modelos de análisis de datos en tiempo real.

No obstante, los resultados obtenidos contradicen en parte los de Pinciroli et al. (2023), que encontraron un efecto positivo directo de las herramientas tecnológicas 4.0 en la eficiencia industrial. Esta diferencia puede deberse al entorno de aplicación, pues en el sector público la implantación tecnológica se suele ver condicionada por restricciones presupuestarias, institucionales y regulatorias. Sin embargo, el presente estudio apoya con evidencia empírica de que la eficiencia organizacional se puede mejorar significativamente con la integración digital incluso en entornos con pocos recursos.

En general, los resultados apoyan la hipótesis presentada, confirmando que la eficiencia en la gestión del mantenimiento de vehículos públicos está muy relacionada con la buena integración y funcionamiento de los sistemas tecnológicos. Esto implica que las iniciativas institucionales deben orientarse hacia la consolidación de plataformas digitales interoperables, complementadas con

formación técnica y una administración orientada hacia la innovación. En futuras investigaciones, se podría estudiar más a fondo variables intermedias como la cultura digital en las organizaciones o la madurez tecnológica. Esto ayudaría a entender mejor cómo la Industria 4.0 afecta la administración pública.

Conclusión

Los resultados obtenidos permiten concluir que el modelo de regresión lineal múltiple es consistente, suficiente y estadísticamente significativo para explicar la relación entre las variables estudiadas. Se decide que la integración de sistemas de mantenimiento (X3) es el principal determinante de la eficiencia de la gestión del mantenimiento vehicular público, al demostrar que influye positiva y significativamente en la optimización de procesos operativos y mejora del desempeño institucional. Este descubrimiento confirma que la eficiencia no está condicionada a la adquisición de tecnologías 4.0, sino al nivel de interconexión, interoperabilidad y madurez digital de las entidades públicas.

Además, se determina que, aunque las variables herramientas tecnológicas 4.0 (X1) y nivel de implementación (X2) tienen correlaciones positivas con la eficiencia, su impacto no es estadísticamente significativo. Esto implica que la mera adopción tecnológica no es suficiente para lograr mejoras significativas si no existe una integración de sistemas y una gestión enfocada en la transformación digital. En este contexto, la eficiencia institucional se establece cuando los procesos de mantenimiento están soportados por sistemas digitales integrados y gestionados de manera centralizada y basada en datos.

De manera general, la investigación proporciona evidencia empírica que apoya la validez del modelo planteado y su aplicabilidad en el contexto del mantenimiento vehicular público. Se determina que la transformación hacia un modelo de gestión inteligente soportado en la industria 4.0 no solo requiere el acceso a tecnologías avanzadas, sino también el fortalecimiento de la cultura organizacional, la capacitación del talento humano y la estandarización de procesos digitales.

Entre las restricciones del estudio, se reconoce que la muestra se circunscribe al ámbito local de la ciudad de Cuenca, lo cual restringe la generalización de los hallazgos a otros contextos institucionales. Además, el estudio se apoyó en datos transversales, por lo que no fue posible analizar cómo cambian en el tiempo los efectos de las herramientas 4.0 en la eficiencia operativa.

Finalmente, es aconsejable que futuras investigaciones expandan la cobertura geográfica y temporal del estudio. Utilizando diseños longitudinales y modelos predictivos de IA o mantenimiento predictivo para profundizar en el conocimiento de la eficiencia en los entornos digitales. Además, deben establecer estrategias sostenibles de gestión pública en el marco de tecnologías 4.0.

Referencias

- Achouch, M., Dimitrova, M., Ziane, K., Sattarpanah Karganroudi, S., Dhouib, R., Ibrahim, H., & Adda, M. (2022). On predictive maintenance in industry 4.0: Overview, models, and challenges. *Applied Sciences*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/app12168081>
- Anchundia, J. C., Rodríguez-Borges, C., & Pérez-Rodríguez, J. A. (2025). Mejoras en la calidad del mantenimiento vehicular empleando herramientas de la Industria 4.0. *Revista Científica FINIBUS - Ingeniería, Industria Y Arquitectura*, 8. <https://doi.org/10.56124/finibus.v8i16.009>
- Banco Central del Ecuador. (2024). *Boletín Comercio Exterior – octubre 2024*.
- Boateng, G. O., Neilands, T. B., Frongillo, E. A., Melgar-Quinonez, H. R., & Young, S. L. (2018). Best practices for developing and validating scales for health, social, and behavioral research: A primer. *Frontiers in Public Health*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00149>
- Briones, G. (1996). *Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales: V.3*. Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Dalzochio, J., Kunst, R., Pignaton, E., Binotto, A., Sanyal, S., Favilla, J., & Barbosa, J. (2020). Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges. *Computers in Industry*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103298>
- Etikan, I. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1-4. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>
- Febrianto, A., Suef, M., Hakim, M. S., Yayat, K. D., & Hardiatama, I. (2025). Operational efficiency and sustainable asset management of heavy equipment in industry: A data-driven framework. *Results in Engineering*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106476>
- Fernández-Gómez, E., Martín-Salvador, A., Luque-Vara, T., Sánchez-Ojeda, M. A., Navarro-Pardo, S., & Enrique-Mirón, C. (2020). Content validation through expert judgement of an instrument on the nutritional knowledge, beliefs, and habits of pregnant women. *Nutrients*, 12(4), 1136. <https://doi.org/10.3390/nu12041136>
- Grisold, T., Groß, S., Stelzl, K., Vom Brocke, J., Mendling, J., Röglinger, M., & Rosemann, M. (2022). The Five Diamond Method for Explorative Business Process Management. *Business & Information Systems Engineering*, 64(2), 149-166. <https://doi.org/10.1007/s12599-021-00703-1>
- Harboe-Chaman, P., Philipps-Berrosapi, K., & Quiroz-Flores, J. C. (2025). Optimización de los Servicios Posventa en el Sector del Mantenimiento de Automóviles: Un Estudio de Caso de Lean Manufacturing y MRP en Perú. *Ingeniería Industrial*, 48, 113-138. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7261>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Herrera-Sánchez, G., Morán-Bravo, L. D. C., Gallardo-Navarro, J. L., & Silva-Juárez, A. (2020). Gestión del mantenimiento y la industria 4.0. *Revista de Ingeniería Innovativa*, 15(4), 18-28. <https://doi.org/10.35429/JOIE.2020.15.4.18.28>
- Hwang, W.-S., & Kim, H.-S. (2022). Does the adoption of emerging technologies improve technical efficiency? Evidence from Korean manufacturing SMEs. *Small Business Economics*, 59(2), 627-643. <https://doi.org/10.1007/s11187-021-00554-w>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2025). *Principales resultados de las Estadísticas de Transporte (Anuario 2024)*.
- İşık, B., & Zilka, M. (2025). Maintenance Management in Production: A Qualitative Study on Industry 4.0 Adoption and Challenges. *Procedia Computer Science*, 253, 2478-2487. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.308>
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Legutko, S., & Kluk, P. (2020). Maintenance 4.0 technologies – new opportunities for sustainability driven maintenance. *Management and Production Engineering Review*, 11(2), 74-87. <https://doi.org/10.24425/mper.2020.133730>
- Jebb, A. T., Ng, V., & Tay, L. (2021). A review of key Likert scale development advances: 1995–2019. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.637547>
- Kans, M., & Campos, J. (2024). Digital capabilities driving industry 4.0 and 5.0 transformation: Insights from an interview study in the maintenance domain. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100384>
- Killeen, P., Ding, B., Kiringa, I., & Yeap, T. (2019). IoT-based predictive maintenance for fleet management. *Procedia Computer Science*, 151, 607-613. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.184>
- Konstantinidis, F. K., Kansizoglou, I., Santavas, N., Mouroutsos, S. G., & Gasteratos, A. (2020). MARMA: A mobile augmented reality maintenance assistant for fast-track repair procedures in the context of Industry 4.0. *Machines*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/machines8040088>
- León-Duarte, J. A., & Martínez-Cadena, G. F. (2024). Desarrollo de un plan de mantenimiento vehicular apoyado por un sistema de gestión asistido por ordenador. *Información Tecnológica*, 35(1), 23-32. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642024000100023>
- Luján-Tangarife, J. A., & Cardona Arias, J. A. (2015). Construcción y validación de escalas de medición en salud: Revisión de propiedades psicométricas. *Archivos de Medicina*, 11(2), 1-10. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/41245>
- Mendoza, J., & Garza, J. B. (2009). La medición en el proceso de investigación científica: Evaluación de validez de contenido y confiabilidad. *Revista Innovaciones de Negocios*, 6(11), 1-19. <https://doi.org/10.29105/rinn6.11-2>
- Padilla Valdez, C. L. (2012). *Plan de gestión del mantenimiento para la flota vehicular del Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural de la ciudad de Cañar* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana].
- Pinciroli, L., Baraldi, P., & Zio, E. (2023). Maintenance optimization in industry 4.0. *Reliability Engineering & System Safety*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109204>

- Polit, D. F., Beck, C. T., & Owen, S. V. (2007). Is the CVI an acceptable indicator of content validity? Appraisal and recommendations. *Research in Nursing & Health*, 30(4), 459-467. <https://doi.org/10.1002/nur.20199>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations*. Free Press.
- Salgado Reyes, N., Guamba Gómez, A., & Guerrero Flores, R. (2024). El impacto de la tecnología de la información en la gestión empresarial. *Nexus Research Journal*, 3(2), 17-34. <https://doi.org/10.62943/nrj.v3n2.2024.101>
- Shaheen, B. W., & Németh, I. (2022). Integration of maintenance management system functions with Industry 4.0 technologies and features—A review. *Processes*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/pr10112173>
- Togra Cáceres, D. (2024). *Diseño de un modelo de gestión 4.0 para control de procesos críticos en el mantenimiento de la flota vehicular y maquinaria pesada en el Gobierno Provincial del Azuay* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana].
- Tran Anh, D., Dąbrowski, K., & Skrzypek, K. (2018). The predictive maintenance concept in the maintenance department of the “Industry 4.0” production enterprise. *Foundations of Management*, 10(1), 283-292. <https://doi.org/10.2478/fman-2018-0022>
- Vujanović, D., Momčilović, V., Bojović, N., & Papić, V. (2012). Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10552-10563. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.159>
- Werbińska-Wojciechowska, S., & Winiarska, K. (2023). Maintenance performance in the age of Industry 4.0: A bibliometric performance analysis and a systematic literature review. *Sensors*, 23(3). <https://doi.org/10.3390/s23031409>
- Zamanzadeh, V., Ghahramanian, A., Rassouli, M., Abbaszadeh, A., Alavi-Majd, H., & Nikanfar, A.-R. (2015). Design and implementation content validity study: Development of an instrument for measuring patient-centered communication. *Journal of Caring Sciences*, 4(2), 165-178. <https://doi.org/10.15171/jcs.2015.017>

Autores

Romel Manuel García Cedillo. Soy Ingeniero Mecánico Automotriz de la ciudad de Cuenca y maestrante en el programa de Maestría en Administración de Empresas con mención en Dirección y Gestión de Proyectos.

Walter Darío Esquivel. Docente de la Maestría en Administración de Empresas con mención en Dirección y Gestión de Proyectos de la Universidad Católica de Cuenca.

Glenda Maricela Ramon Poma. Docente tutor, de la Maestría en Administración de Empresas con mención en Dirección y Gestión de Proyectos de la Universidad Católica de Cuenca.

Declaración

Conflicto de interés

No tenemos ningún conflicto de interés que declarar.

Financiamiento

Sin ayuda financiera de partes externas a este artículo.

Nota

El artículo es original y no ha sido publicado previamente.