

APPLICATION OF LEAN LOGISTICS TO IMPROVE ON-TIME DELIVERY OF TRANSPORTATION SERVICES IN A LOGISTICS COMPANY

Bustamante Llaja, Ivo Alexander¹; Palacios Zegarra, Fabrizio Enrique²; Avalos Ortecho, Edilberto Miguel³
; Urbina Rivera, Carlos Medardo⁴

¹Universidad de Lima, Perú, 20210399@aloe.ulima.edu.pe

²Universidad de Lima, Perú, 20213026@aloe.ulima.edu.pe

³Universidad de Lima, Perú, eeavalos@ulima.edu.pe

⁴Universidad de Lima, Perú, curbina@ulima.edu.pe

Abstract: *This project aims to improve the On-Time Delivery (OTD) of the transport service in a logistics company to boost operational efficiency and competitiveness. The problem stems from a current OTD of 58.81%, well below the sector benchmark of 90.2%, creating a technical gap of 31.39% and additional annual operational costs of S/ 214,140.00. To address these deficiencies, this study follows an action-research approach and applies Lean Logistics, combining a KPI analysis, a Systematic Literature Review (SLR), and root-cause analysis using Ishikawa diagrams to identify critical factors such as mechanical failures, misallocation of resources, and inefficient planning. Building on this diagnosis, we propose an improvement package based on Total Productive Maintenance (TPM), Work Standardization (WS), and a Transportation Management System (TMS), assessing its effectiveness through discrete-event simulation. Results from the pilot and validation with 30 simulation replicas (error less than or equal to 3.32%) demonstrated significant improvements: OTD increased from 58.81% to 82.52%, fleet utilization rose from 60.80% to 80.80%, Route Time Efficiency (RTE) reached 92.60%, and First Attempt Delivery Rate (FADR) improved to 84.96%. Economically, the project estimates a benefit of S/ 656,618.62 over six months.*

Keywords: *Lean Logistics; On-Time Delivery (OTD); Logistics Transportation; Process Optimization; Supply Chain.*

APLICACIÓN DE LEAN LOGISTICS PARA MEJORAR ON TIME DELIVERY DEL SERVICIO DE TRANSPORTE EN UNA EMPRESA DEL SECTOR LOGÍSTICO

Resumen: Este proyecto tiene como objetivo mejorar el On-Time Delivery (OTD) del servicio de transporte en una empresa logística para impulsar la eficiencia operativa y la competitividad. El problema surge de un OTD actual del 58.81%, muy por debajo del referente del sector del 90.2%, lo que genera una brecha técnica del 31.39% y sobrecostos anuales de S/ 214,140.00. Para abordar estas deficiencias, aplicamos Lean Logistics, combinando un análisis de indicadores (KPIs), una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) y un análisis de causa raíz mediante diagramas de Ishikawa para identificar factores críticos como fallas mecánicas, mala asignación de recursos y planificación ineficiente. Basándonos en este diagnóstico, proponemos un paquete de mejora fundamentado en el Mantenimiento Productivo Total (TPM), la Estandarización del Trabajo (WS) y un Sistema de Gestión de Transporte (TMS), evaluando su efectividad a través de simulación de eventos discretos. Los resultados del piloto y la validación con 30 réplicas de simulación (error menor o igual a 3.32%) demostraron mejoras significativas: el OTD aumentó del 58.81% al 82.52%, la utilización de la flota subió del 60.80% al 80.80%, Route Time Efficiency (RTE) alcanzó el 92.60% y la First Attempt Delivery Rate (FADR) mejoró al 84.96%. Económicamente, el proyecto proyecta un beneficio de S/ 656,618.62 en seis meses, confirmando la escalabilidad y viabilidad del modelo propuesto.

Palabras clave: Lean Logistics; On-Time Delivery (OTD); Transporte Logístico; Optimización de Procesos; Cadena de Suministro

I. INTRODUCCIÓN

En Perú, la logística de transporte sostiene la competitividad, pero arrastra costos logísticos de 15 a 25 % del valor del producto y una dependencia de la vía terrestre superior al 90 %, lo que expone a informalidad, riesgos operativos y demoras [1]. Estas fricciones, junto con orografía compleja, eventos relacionados al cambio climático y volatilidad en el precio de los combustibles, elevan la incertidumbre en los tiempos de tránsito deseados. En este contexto, la gestión del desempeño se apoya en KPIs exigentes: On-Time Delivery (OTD) con referencia de 95 % o más, utilización de flota entre 75 y 85 % y costo de transporte sobre ventas entre 4 y 10 %. Para cerrar brechas, la transformación con Transportation Management System (TMS) e Internet of Things (IoT) habilita trazabilidad y decisiones en tiempo real, mientras que las prácticas Lean reducen variabilidad y pérdidas a lo largo del flujo [2].

Además, a nivel internacional se reportan cuellos de botella por congestión vehicular, restricciones de capacidad, variabilidad d

de datos entre actores, factores que incrementan la volatilidad de los tiempos de ciclo y el riesgo operativo en transporte y distribución [3].

La empresa de estudio, la cual es un operador logístico peruano de transporte de contenedores, cerró 2024 con OTD de 58.81 %, frente a un referente sectorial de 90.2 %, lo que configura una brecha técnica de 31.39 % y compromete la confiabilidad del servicio [4]. En la operación se observan fallas de proceso, como asignaciones de unidades a través de llamada o WhatsApp sin confirmación, ausencia de seguimiento en ruta y cierre sin evidencia, lo que limita la trazabilidad del OTD [5]. En KPI internos, la utilización de flota promedió 60.4 % con un rango de 55 a 66 % sobre 4,843 viajes, por debajo de niveles recomendados en contextos con ventanas de tiempo [6]. En el impacto económico, la pérdida de citas asciende a S/ 107,000 anuales, cálculo basado en 428 eventos por S/ 250 cada uno, además de Servicios Extraordinarios y otros sobrecostos operativos [7]. Como referencia comparativa, estudios de optimización de rutas en distribución Business to Customer (B2C) reportan reducciones de tiempo al dimensionar la flota y ajustar la planificación de unidades: el tiempo total de entrega cayó de 6.5 horas con 5 vehículos a 5.2 horas con 20 vehículos, aun bajo variaciones de cantidad de pedidos, flota y condiciones climáticas [8].

En este estudio se desplegaron tres herramientas de Lean Logistics con un presupuesto total de S/ 10,317.42 para atacar disponibilidad de unidades, variabilidad de tiempo y planificación de servicios. En primer lugar, el Total Productive Maintenance (TPM) se implementó mediante checklists, puntos de inspección, bitácoras y capacitación a conductores y personal técnico; el foco fue elevar la confiabilidad del activo y estabilizar el uso efectivo de la flota. Con estas rutinas, la utilización pasó de 60,80 % a 80.80 %, consolidando mejores condiciones operativas para cumplir ventanas de servicio [9]. Luego, se utilizó Work Standardization (WS) mediante el cual se formalizó con el Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) [10]. Esta estandarización redujo la dispersión de tiempos y la ocurrencia de errores críticos en la cadena de asignación–cierre; como resultado, el First Attempt Delivery Rate (FADR) se incrementó de 80 .74/ % a 84.96 %, y la trazabilidad del flujo quedó asegurada para retroalimentar la mejora continua [11]. Asimismo, para el TMS, se aplicó un proceso de selección con soporte a decisiones que priorizó el

enrutamiento de unidades dinámico, la integración utilizando Excel y GPS y seguimiento en tiempo real, cuidando la relación funcionalidad–costo. La plataforma se convirtió en el núcleo de coordinación operativa y visibilidad a nivel de órdenes, vehículos y estados del servicio; con su adopción, el Route Time Efficiency (RTE) mejoró de 80.11 % a 92.60 %, y la mayor calidad de la planificación se reflejó también en la puntualidad del servicio [12].

La motivación de este estudio es aplicar herramientas de Lean Logistics —TPM, WS y TMS— en un operador peruano de transporte de contenedores para eliminar pérdidas, estabilizar el flujo y fortalecer una cultura de mejora continua enfocada en la confiabilidad del servicio. Sobre esa base, se plantea como objetivo general elevar el OTD hacia 87.5 %, junto con mejorar la utilización de flota y reducir fallas y reprocesos medidos por First Attempt Delivery Rate (FADR) y Route Time Efficiency (RTE) [13]. De manera específica, se busca reducir la variabilidad del proceso de asignación, ejecución y cierre mediante WS con roles y verificaciones claras; elevar la utilización de flota desde 60.4 % hasta al menos 79 % a través de rutinas de TPM que incluyen mantenimiento autónomo y planificado, checklists, bitácoras y capacitación; e incrementar FADR en al menos 5 puntos porcentuales y RTE en al menos 10 puntos porcentuales aprovechando TMS para la planificación y el seguimiento en tiempo real con integración operativa de Excel y GPS [14]. En coherencia con ello, la pregunta de investigación es si la combinación de TPM, WS y TMS mejora de forma significativa el OTD y los KPI operativos: utilización de flota, FADR y RTE en un contexto real de transporte de contenedores con planificación digital y trazabilidad en tiempo real. La hipótesis sostiene que la integración de TPM + WS + TMS permitirá alcanzar el OTD objetivo, incrementar la utilización de flota hasta el umbral previsto y mejorar FADR y RTE en las magnitudes establecidas [15].

A continuación, se presenta la Fig. 1, donde se puede observar el modelo conceptual propuesto.

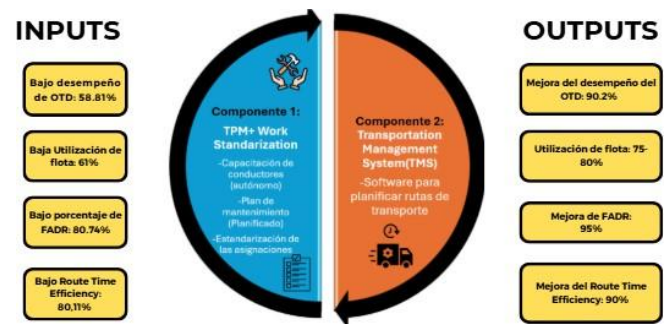


Fig. 1. Modelo Conceptual Propuesto

II. ESTADO DEL ARTE

Lean Logistics se define como un modelo de gestión enfocado en el flujo y la entrega de valor mediante la eliminación de desperdicios y la reducción de variabilidad, operacionalizándose en transporte a través de métricas clave como OTD y utilización de flota para guiar la mejora continua [16]. Para sostener este desempeño, el Total Productive Maintenance (TPM) aplica mantenimiento autónomo y planificado para elevar la disponibilidad técnica y el uso efectivo de los activos, reduciendo fallas no programadas y estabilizando la operación [17]. Complementariamente, la Work Standardization (WS) define secuencias, roles y puntos de control mediante POE y listas de verificación para disminuir errores y la dispersión de tiempos, facilitando la trazabilidad del servicio [18]. Finalmente, los Transportation Management Systems (TMS) integran la planificación dinámica y el seguimiento en tiempo real con datos operativos, habilitando decisiones informadas que optimizan la eficiencia y el cumplimiento de entregas en contextos con ventanas de servicio exigentes [19].

III. METODOLOGÍA

Esta investigación sigue un enfoque cuantitativo y aplicado, con un diseño experimental de tipo antes-después, en el que se intervino directamente en los procesos de la empresa mediante una prueba piloto y se validaron los resultados mediante simulación de eventos discretos. La metodología se estructura en cuatro fases: diagnóstico (identificación de causas), diseño de la solución (selección de herramientas Lean), modelado de procesos realizando un Business Process Model and Notation (BPMN) y validación mediante simulación de eventos discretos. Se utilizaron indicadores logísticos clave (OTD, FADR, RTE, Utilización de flota) para cuantificar el impacto de la propuesta [20].

A continuación, se presenta la Fig. 2, donde se puede observar el Resumen de Metodología.

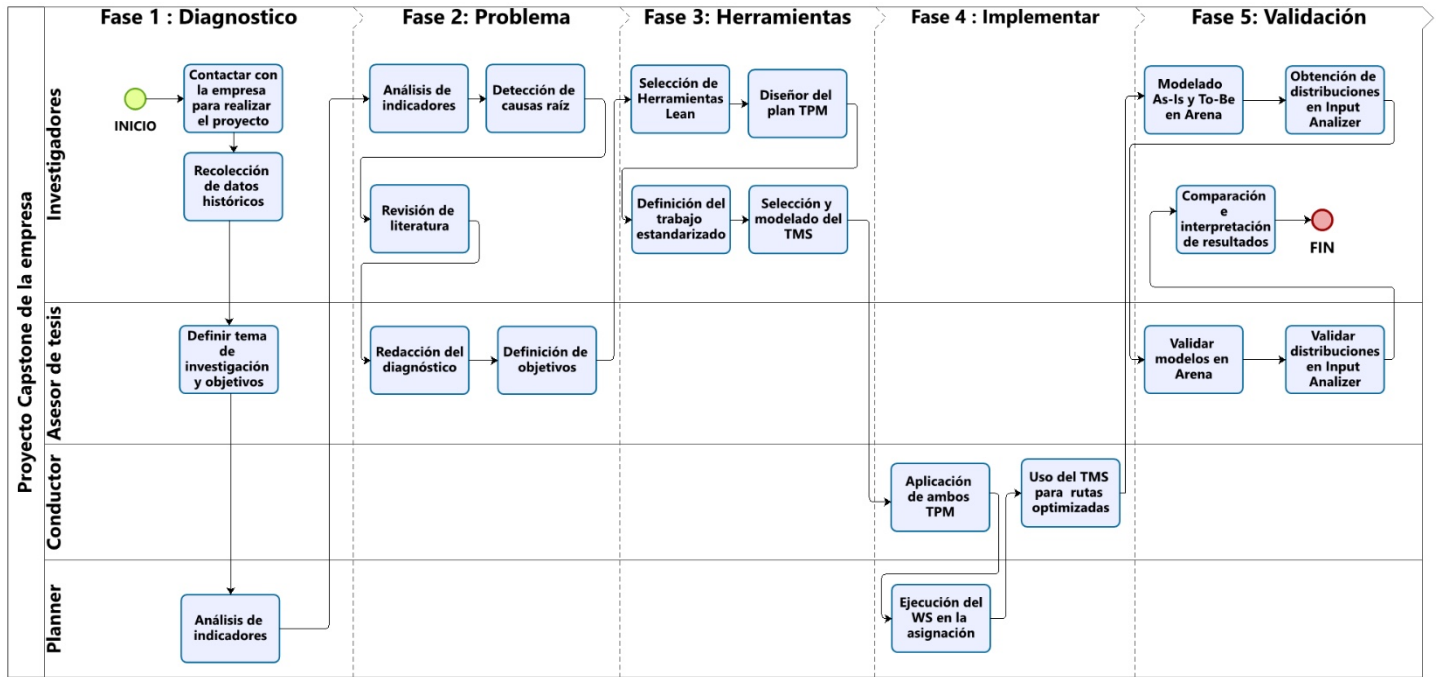


Fig. 2. Resumen Metodología

A. Identificación del problema

Para determinar las causas raíz del bajo nivel de OTD (58.81%), se empleó un diagrama de Ishikawa seguido de un análisis de Pareto. El diagnóstico reveló que el 80% de los problemas se concentran en tres factores: errores de asignación (44.79%), tiempos excesivos por mala planificación de rutas (36.67%) y fallas mecánicas (18.54%) [21]. A partir de este análisis, se seleccionaron las herramientas Total Productive Maintenance (TPM), Work Standardization (WS) y Transportation Management System (TMS) para abordar la disponibilidad, variabilidad y planificación, respectivamente [22].

A continuación, se presenta la Fig. 3, donde se puede observar el Diagrama de Árbol del problema.

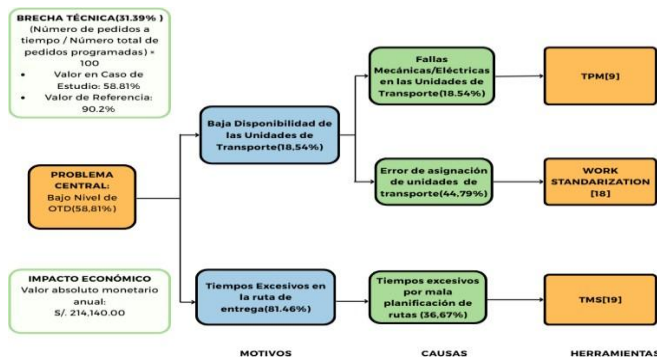


Fig. 3. Diagrama de Árbol del problema

B. Tamaño de muestra

Se utilizó un muestreo aleatorio simple, garantizando que cada servicio de transporte tenga igual probabilidad de ser seleccionado. El tamaño de muestra se calculó tomando como unidad de análisis los servicios del periodo base ($N = 4,843$), aplicando la fórmula para población finita con 95 % de confianza ($Z = 1.96$), error máximo $e = 0.05$, y $p = 0.95$, $q = 0.05$ [23].

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (1)$$

$$n = \frac{4843 * 1.96^2 * 0.95 * 0.05}{0.05^2 * (365 - 1) + 1.96^2 * 0.95 * 0.05} = 72 \quad (2)$$

Símbolos:

- N = Tamaño de la Población o Universo
- Z = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)
- e = Error de estimación máximo aceptado
- p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)
- $q = (1-p)$ = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Con estos supuestos, se seleccionaron 72 servicios de forma aleatoria, lo que aseguró una precisión del 5 % sin necesidad de procesar la totalidad del histórico.

C. Número de replicaciones

La replicación constituye un elemento esencial dentro del diseño experimental, ya que permite controlar la variabilidad inherente al fenómeno estudiado y estimar la varianza garantizando la precisión de los resultados [24].

Para garantizar la confiabilidad estadística de los resultados obtenidos en la simulación, se determinó el número de repeticiones. Para ello, se empleó la siguiente fórmula:

$$n = \left[\frac{t_{(n-1, 1-\alpha/2)} \times S_{(n)}}{e} \right]^2 \quad (3)$$

$$n = \left[\frac{2.2622 \times 0.137^2}{0.05} \right] = 30 \quad (4)$$

Siendo:

- n = Número de repeticiones requerido
- t = Valor de la distribución t de Student con $(n-1)$ grados de libertad
- $S_{(n)}$ = Desviación estándar obtenida de las réplicas preliminares
- e = Error máximo de estimación permitido
- α = Nivel de significancia ($1 - \text{nivel de confianza}$)

En este caso, se realizaron 10 réplicas iniciales, obteniéndose una desviación estándar de 0.137. Considerando un nivel de confianza del 95% ($t = 2.2622$) y un error de 0.05, se determinó que el modelo debe ejecutarse con 30 repeticiones.

D. Validación del modelo de simulación

El proceso de validación se estructuró en ocho pasos secuenciales para garantizar la fiabilidad estadística de la propuesta. A continuación, se presenta la Fig. 4, donde se puede observar el Procedimiento de Validación [25].



Fig. 4. Procedimiento de Validación

E. Modelación de inputs

Para el To-Be, se recopiló datos de cada actividad operativa a partir del piloto aplicado, incorporando además los tiempos de las actividades adicionales introducidas por la implementación del TPM, WS y TMS. Posteriormente, toda esta información se procesó en el Input Analyzer de Arena para identificar las distribuciones y parámetros que alimentan el modelo. El resumen se aprecia en la Tabla I.

TABLA I
TABLA RESUMEN DE AJUSTES DE DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO DE OPERACIONES TO BE

Proceso / Actividad	Recurso	Expresión (Distribución)
Documentación	Agente documentario	TRIA (20, 30, 40)
Coordinación y Programación	Planner	NORM (40, 7)
Asignación	Planner	CONST (10)
Llegada de conductores (horas)	Conductor	TRIA (0.75, 1.24, 1.74)
Tiempos de cochera al puerto	Conductor	UNIF (70, 100)
Espera en cola	Conductor	UNIF (50, 140)
Recojo de contenedor	Operario de patio	TRIA (30, 50, 85)
Tiempos en ruta al cliente (horas)	Conductor	NORM (1.78, 0.530)
Descarga de pedido (horas)	Estiba	TRIA (2.4, 3.0, 4.2)
Devolución de contenedor	Conductor	UNIF (70, 150)
Regreso a cochera del conductor	Conductor	NORM (124, 35)
Revisar POE de Asignación (WS)	Planner	NORM (5, 2)
Verificar cumplimiento con checklist (WS)	Planner	TRIA (3, 5, 8)
Entregar ruta optimizada (TMS)	Planner	UNIF (17, 67)
Planificación de ruta con TMS	Planner	UNIF (20, 45)
Mantenimiento planificado (TPM)	Mantenimiento	CONST (3)
Llenado de checklist y revisión del vehículo (TPM)	Conductor	UNIF (4.2, 9)
Reparación de falla menor encontrada (TPM)	Conductor	UNIF (3.4, 15.2)

IV. RESULTADOS

Esta sección muestra los resultados de aplicar TPM, WS y TMS en un operador peruano de transporte de contenedores, con validación por simulación en Arena (Input/Output Analyzer) sobre OTD, utilización de flota, FADR y RTE.

A. TPM: confiabilidad del activo y disponibilidad operativa

Se desplegó mantenimiento autónomo (checklist previo, registro por kilometraje, verificación documentaria y de seguridad) y mantenimiento planificado por fabricante (planes A, B, C por kilometraje). La mejora de condiciones técnicas permitió elevar la utilización de flota de 60.80 % a 80.80 %, estabilizando la capacidad efectiva de atención de servicios [26].

A continuación, se presenta la Fig. 5, donde se puede observar el Checklist de mantenimiento.

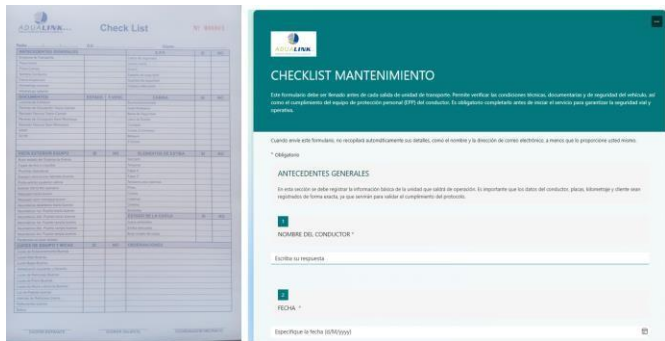


Fig. 5. Checklist de mantenimiento

B. Work Standardization: reducción de errores y variabilidad

Se instauró un Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) de proyección y asignación un día antes, con checklist de validación al cierre de cada servicio (roles, evidencias y puntos de control). La estandarización redujo reprocesos y reprogramaciones, reflejándose en FADR de 80.74 % a 84.96 % y en una ejecución más estable del flujo asignación–ejecución–cierre [27].

A continuación, se presenta la Fig. 6 y la Fig. 7, donde se puede observar el POE de asignación de unidades junto con el diagrama de flujo de actividades.

Procedimiento Operativo Estandarizado del proceso de asignación de unidades			
Responsable: Planner de transporte		Página 1 de 4	
Revisión	1	Referencia	ISO 9001:2015
Código	LP-PR-02	Fecha de emisión	01/09/2025
1. REVISIÓN Y APROBACIÓN			
Elabora	Ivo Bustamante	Practicante de transporte	ADUALINK SAC
Revisa	Yosimar Miranda	Planner de transporte	ADUALINK SAC
Aproba	Jhon Taboada	Coordinador de transporte	ADUALINK SAC
2. CONTROL DE CAMBIOS			
Revisión	Fecha de modificación	Cambios realizados	Vigencia
Yosimar Miranda	01/09/2025	N/A	31/12/2025
3. OBJETIVO			
Establecer el procedimiento estandarizado para la asignación eficiente de unidades de transporte (tractos, carretas y generadores) a las órdenes de servicio o rutas planificadas, garantizando la disponibilidad de flota, el cumplimiento del indicador de OTD (On Time Delivery) y la optimización de recursos operativos conforme a los lineamientos del Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001:2015.			
4. ALCANCE			
Este procedimiento aplica a todas las operaciones de transporte terrestre de carga realizadas por la empresa, validación de disponibilidad, asignación, comunicación al conductor y monitoreo de cumplimiento			

Fig. 6. Documento POE de asignación de unidades

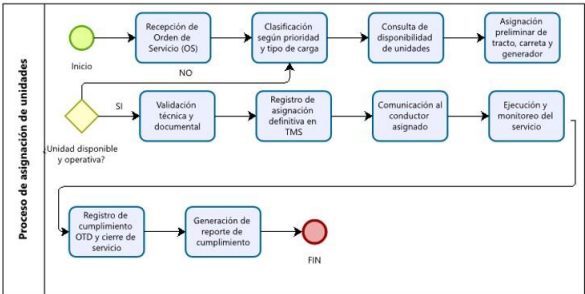


Fig. 7. Diagrama de flujo de actividades

C. TMS: planificación y control en tiempo real

Se pilotó Driv.in para rutas optimizadas por servicio; las rutas se enviaron por WhatsApp corporativo junto con la orden de servicio y su cumplimiento se monitoreó con Securitas (GPS). La mayor calidad de la secuenciación y la visibilidad en ruta elevaron RTE de 80.11 % a 92.60 % y contribuyeron al salto de OTD de 58.81 % a 82.52 % [28].

A continuación, se presenta la Fig. 8, donde se puede observar la planificación de rutas con la aplicación de Driv.in junto con el monitoreo de unidades con Securitas.

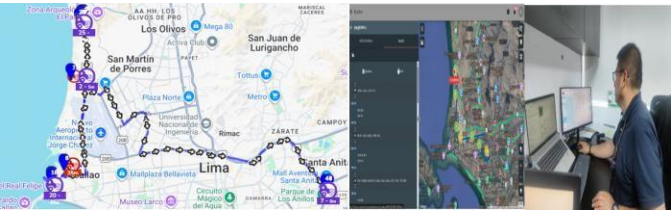


Fig. 8. Planificación de rutas junto con el monitoreo.

D. Validación por simulación mediante Arena

El modelo de simulación To-Be representa la operación del servicio de transporte logístico con las tres mejoras propuestas ya integradas en el flujo de trabajo. A diferencia del modelo inicial, este diagrama incorpora puntos de control y procesos estandarizados que abordan directamente las causas raíz del problema [29]. La simulación inicia con la aplicación de WS, donde la asignación de servicios ya no es empírica, sino que sigue un POE y es verificada mediante un checklist. Posteriormente, el modelo integra los dos pilares de TPM: el mantenimiento planificado por kilometraje, que asegura la disponibilidad de las unidades, y el mantenimiento autónomo, que incluye la revisión del vehículo por parte del conductor antes de cada viaje para corregir fallas menores y evitar detenciones no programadas [30]. Finalmente, el flujo culmina con la ejecución de la ruta optimizada generada por el TMS, asegurando trayectos más eficientes. En conjunto, este modelo simula un sistema más robusto y predecible, donde la

variabilidad se reduce y los recursos se gestionan de manera proactiva.

A continuación, se presenta la Fig. 9, donde se puede observar el Modelo To-Be de Arena.

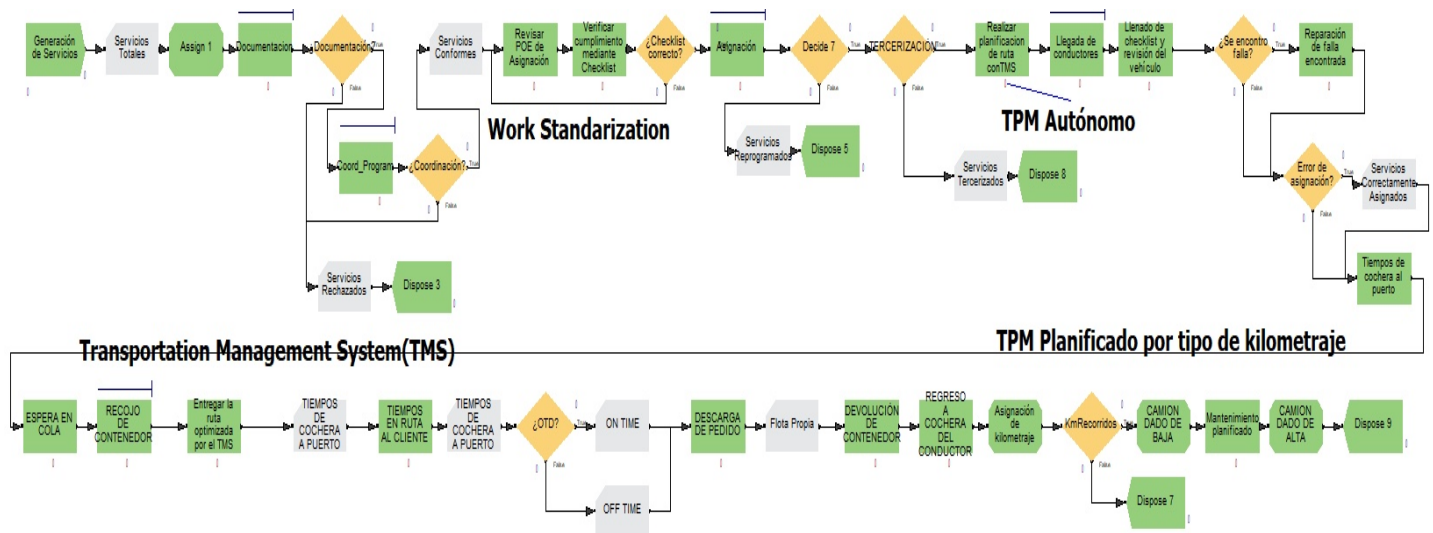
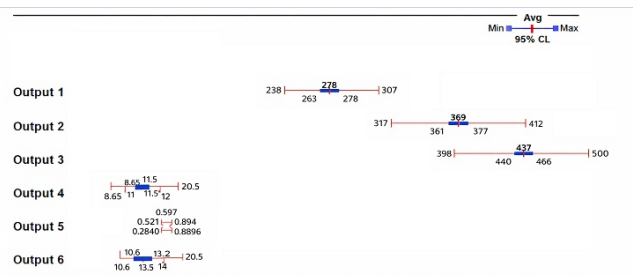


Fig. 9. Modelo To-Be de Arena.

(81.12%) fue consistente con el OTD simulado (82.52%), registrando un error de validación de solo 1.72%. De igual manera, la Utilización de Flota tuvo un error del 1.00% y el RTE un 0.52%. Esta correspondencia estadística demuestra que el modelo To-Be es una representación precisa y confiable del proceso mejorado, validando su uso para la comparación final de escenarios [33].

A continuación, se presenta la Fig. 10, donde se puede observar los resultados obtenidos en el Output Analyzer.



Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.950 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
Output 1	276	17.6	6.58	229	307	30
Output 2	369	21.8	7.98	317	412	30
Output 3	487	28.3	8.14	398	500	30
Output 4	11.1	2.26	0.845	6.5	20.5	30
Output 5	0.997	0.0294	0.011	0.519	0.658	30
Output 6	13.2	2.27	0.846	10.6	22.6	30

Fig. 10. Resultados obtenidos en el Output Analyzer

El modelo As-Is demuestra alta precisión con un error máximo de 3.30% frente a los datos históricos. El ajuste casi perfecto del OTD (error de 0.06%) valida la simulación como una línea base confiable que replica fielmente las ineficiencias actuales del sistema, los resultados se aprecian en la Tabla II.

TABLA II
VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DEL MODELO AS-IS VS. DATOS REALES

Indicador	Valor Real (2024)	Valor Simulado (As-Is)	Error (%)
OTD	58.81%	59.38%	0.06%
Utilización de Flota	60.80%	58.60%	3.30%
RTE	80.11%	78.89%	1.52%
FADR	80.74%	79.24%	0.20%
Lead Time(h)	20.14	20.70	2.78%

La simulación To-Be se alinea con los resultados del piloto con desviaciones inferiores al 2.31% en todos los indicadores. La exactitud en Utilización (1.00% error) y RTE (0.52% error) confirma la capacidad predictiva del modelo y la escalabilidad de las mejoras implementadas, los resultados se aprecian en la Tabla III.

TABLA III
VALIDACIÓN DEL MODELO TO-BE VS. DATOS DEL PILOTO

Indicador	Valor Real (Piloto)	Valor Simulado (To-Be)	Error (%)
OTD	81.12%	82.52%	1.72%
Utilización de Flota	80.00%	80.80%	1.00%
RTE	93.08%	92.60%	0.52%
FADR	86.97%	84.96%	2.31%
Lead Time(h)	17.20	16.95	1.45%

La solución incrementó el OTD en +23.71 pp, alcanzando un 82.52% gracias al aumento de +20.00 pp en Utilización (TPM) y +12.49 pp en eficiencia de ruta (TMS). Estos resultados validan el cierre de la brecha técnica, acercando la operación al estándar del sector (90.2%), los resultados se aprecian en la Tabla IV.

TABLA IV
COMPARACIÓN DE RESULTADOS: ESCENARIO INICIAL VS. FINAL

Indicador	Escenario As-Is (Real)	Escenario To-Be (Simulado)	Valor Objetivo	Mejora Obtenida
OTD	58.81%	82.52%	90.20%	+23.71 pp
Utilización de Flota	60.80%	80.80%	80.00%	+20.00 pp
RTE	80.11%	92.60%	90.00%	+12.49 pp
FADR	80.74%	84.96%	95.00%	+4.22 pp
Lead Time(h)	20.14	16.95	18.00	15.84%

V. RESULTADOS

El estudio demostró que la integración sinérgica de TPM, WS y TMS generó mejoras sustantivas en la operación, elevando la Utilización de Flota del 60.80% al 80.80% y la eficiencia en ruta (RTE) del 80.11% al 92.60%, lo que impulsó el OTD de un crítico 58.81% a un 82.52% [34]. A diferencia de enfoques puramente descriptivos, esta investigación validó cuantitativamente los efectos mediante simulación de eventos discretos en Arena (Input/Output Analyzer), confirmando estadísticamente que la reducción de la variabilidad y el aumento de la disponibilidad son atribuibles a las intervenciones técnicas y no al azar [35]. No obstante, se reconocen limitaciones inherentes al estudio: el piloto tuvo un horizonte temporal corto, las herramientas TMS se operaron en versión de prueba, y los resultados de simulación asumen condiciones estables de demanda. Por ello, las mejoras reportadas deben interpretarse como estimaciones bajo condiciones controladas, siendo necesario un seguimiento longitudinal para confirmar su sostenibilidad [36]. Factores externos tales como tráfico en puertos, errores humanos y eventos imprevistos no fueron completamente considerados, lo que podría afectar los resultados reales.

VI. CONCLUSIÓN

La implementación integrada de Lean Logistics (TPM, WS y TMS) resultó viable y escalable. Tras el piloto y la validación con 30 réplicas en Arena (errores de validación $\leq 3.32\%$), la operación mostró una trayectoria de mejora consistente en los KPI priorizados: la utilización de flota pasó de 60.80 % a 80.80 %, el RTE de 80.11 % a 92.60 %, el FADR de 80.74 % a 84.96 % y el OTD de 58.81 % a 82.52 %. En valor económico, el proyecto proyecta S/ 656,618.62 en seis meses y reduce pérdidas visibles, entre ellas S/ 107,000 anuales por citas fallidas. Para capturar plenamente este potencial se recomienda consolidar la disciplina de TPM (planes A/B/C), profundizar WS en confirmaciones y cierres con evidencia y ajustar reglas del TMS en ventanas críticas. Con estas acciones, la operación tiene margen para aproximarse al referente externo de puntualidad y sostener la mejora en el tiempo.

REFERENCIAS

- [1] D. Cisneros-Herrera, A. Lara-Galera, V. Alcaraz Carrillo de Albornoz, and B. Muñoz-Medina, "Driving Peru's Road Infrastructure: An Analysis of Public-Private Partnerships, Challenges, and Critical Success Factors," *Buildings*, vol. 14, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.3390/buildings14010230.
- [2] Â. F. Brochado, E. M. Rocha, and D. Costa, "A Modular IoT-Based Architecture for Logistics Service Performance Assessment and Real-Time Scheduling towards a Synchromodal Transport System," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 2, Jan. 2024, doi: 10.3390/su16020742.
- [3] K. Prytula *et al.*, "Study of the functioning of transport and logistics infrastructure for freight transport in the EU-Ukraine border zone," *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, vol. 8, no. 7, 2024, doi: 10.24294/jipd.v8i7.4494.
- [4] G. Concha-Rojas, I. Macassi-Jauregui, and C. León- Chavarri, "Improving Warehouse Management Processes to Ensure On-Time Delivery of Paprika- Based Products," *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, vol. 2023-July, 2023, doi: 10.18687/laccei2023.1.1.1230.
- [5] G. M. Charcape Quispe, M. Ruiz Rojas, and J. L. Sotomayor Burga, "Design Of Route Programming, Autonomous Maintenance Checklist To Reduce Costs For A Small Light-Duty Company[Diseño de Programación de Rutas y Mantenimiento Autónomo Para Reducir Costos En Un Operador Logístico]," *Proceedings of the LACCEI international Multi- conference for Engineering, Education and Technology*, Aug. 2025, doi: 10.18687/LACCEI2025.1.1.1348.
- [6] N. Badakhshan, E. Bakhtavar, K. Shahriar, H. Khosravi, S. Afraei, and E. Ben-Awuah, "Unmanned mining fleet Management: A Multi-Objective framework integrating deep reinforcement learning and Internet of Things," *Expert Syst Appl*, vol. 287, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.eswa.2025.128238.
- [7] K. K. Pathan and G. Kesavaraj, "An empirical study on the implementation of green supply chain management and its impact on the sustainability of organisational growth," *International Journal of Procurement Management*, vol. 21, no. 1, pp. 32–47, 2024, doi: 10.1504/IJPM.2024.140608.
- [8] M. Zhao, "Application of Artificial Intelligence Algorithms in B2C E-Commerce Logistics Distribution Path Optimization," *Proceedings - 2024 IEEE 16th International Conference on Communication Systems and Network Technologies, CICN 2024*, pp. 1353–1358, 2024, doi: 10.1109/CICN63059.2024.10847508.
- [9] M. S. Jusoh, S. R. Ahmad, D. H. M. Yusuf, S. S. M. M. Salleh, and M. S. H. Din, "Productivity improvement in food manufacturing company: Process innovation using total productive maintenance," *AIP Conf Proc*, vol. 2347, Jul. 2021, doi: 10.1063/5.0055890.
- [10] S. Camelo, M. Jimenez, J. Pinilla, and C. A. Gonzalez, "Optimization in Field Service Operations: Cost and Reprocesses Reduction Through Lean Six Sigma Implementation," *SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference Proceedings*, vol. 2023-June, 2023, doi: 10.2118/213198-MS.
- [11] S. F. W. T. Lim, Q. Wang, and S. Webster, "Do it right the first time: Vehicle routing with home delivery attempt predictors," *Prod Oper Manag*, vol. 32, no. 4, pp. 1262–1284, Apr. 2023, doi: 10.1111/poms.13926.
- [12] G. Cecchetti *et al.*, "A communication platform demonstrator for new generation railway traffic management systems: Testing and validation," *Transportation Engineering*, vol. 15, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.treng.2023.100222.
- [13] J. M. M. Gomes, R. G. G. Caiado, T. Mareth, R. S. Santos, and L. F. Scavarda, "Lean transportation tools towards waste reduction and digital transformation in the offshore industry: an action-research," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 16, no. 2, pp. 461–490, Feb. 2025, doi: 10.1108/IJLSS-12-2023-0234.
- [14] R. Verma, B. K. Singh, and F. Zahidi, "Management of GPS Tracking Systems in Transportation," in *Energy, Environment, and Sustainability*, vol. Part F2419, Springer, 2024, pp. 251–263. doi: 10.1007/978-981-97-0515-3_11.
- [15] D. Alexandra Rosales Quispe and J. Carlos Ecurra Lagos, "Aplication of Lean Manufacturing tools to reduce delay times in a Peruvian transportation company[Aplicación de herramientas Lean Manufacturing para reducir los tiempos de demora en una empresa de transporte peruana]," *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, Aug. 2025, doi: 10.18687/LACCEI2025.1.1.1432.
- [16] J. D. Alejandro-Chable, T. E. Salais-Fierro, J. A. Saucedo-Martínez, and M. G. Cedillo-Campos, "A New Lean Logistics Management Model for the Modern Supply Chain," *Mobile Networks and Applications*, vol. 29, no. 1, pp. 70–81, Feb. 2024, doi: 10.1007/s11036-022-02018-1.
- [17] C. E. Santos Gonzales, C. E. Mendoza Ocaña, and G. J. Arqueros Mendocilla, "Total productive maintenance to increase the availability of a fleet of buses of a transportation company, Trujillo 2024[Mantenimiento productivo total para incrementar la disponibilidad de una flota de buses de una empresa de transportes, Trujillo 2024]," *CISCI - Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernetica e Informatica*, no. 2024, pp. 82–89, 2024, doi: 10.54808/CISCI2024.01.82.

- [18] H. Ullah, M. Uzair, Z. Jan, and M. Ullah, "Integrating industry 4.0 technologies in defense manufacturing: Challenges, solutions, and potential opportunities," *Array*, vol. 23, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.array.2024.100358.
- [19] R. Verma, B. K. Singh, and F. Zahidi, "Management of GPS Tracking Systems in Transportation," in *Energy, Environment, and Sustainability*, vol. Part F2419, Springer, 2024, pp. 251–263. doi: 10.1007/978-981-97-0515-3_11.
- [20] U. Balon, J. M. Dziadkowiec, and M. Niewczas-Dobrowolska, "KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPIs) IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM," *International Journal for Quality Research*, vol. 18, no. 2, pp. 473–486, 2024, doi: 10.24874/IJQR18.02-10.
- [21] N. Ferreira, N. P. V. Sebbe, F. Andrade, R. C. B. Casais, and L. L. Magalhães, "Enhancing the Beverage Production Line's Operational Availability by TPM Bolstered by Autonomous Maintenance," *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 3–13, 2026, doi: 10.1007/978-3-032-07144-6_1.
- [22] K. Misiurek, "Methodology focused on the selection of construction operations for the standardization of work with an emphasis on the occupational safety criterion," *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 29, no. 1, pp. 121–128, 2023, doi: 10.1080/10803548.2022.2138031.
- [23] S. K. Ahmed, "How to choose a sampling technique and determine sample size for research: A simplified guide for researchers," *Oral Oncology Reports*, vol. 12, p. 100662, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.OOR.2024.100662.
- [24] "Número de réplicas en un diseño experimental Unifactorial y Multifactorial," *Revista SIGMA*.
- [25] M. M. Teshome, T. Y. Meles, and C. L. Yang, "Productivity improvement through assembly line balancing by using simulation modeling in case of Abay garment industry Gondar," *Heliyon*, vol. 10, no. 1, p. e23585, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.HELİYON.2023.E23585.
- [26] D. M. Barry, D. Stretton, and P. Catoir, "Reliability by Operator: Total Productive Maintenance (TPM)," in *Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions*, CRC Press, 2024, pp. 237–256. doi: 10.1201/b10361-16.
- [27] A. Penadés-Blasco *et al.*, "Design and validation of a decision support checklist for efficient resource allocation in research projects during proposal preparation," *Eur J Radiol*, vol. 173, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.ejrad.2024.111362.
- [28] A. F. Dahlan, C. Y. Cheng, P. Sae-chai, R. Jientrakul, and C. Yuanyai, "Crowdsourced adaptive vehicle routing framework for Last-Mile delivery in dynamic traffic environments," *Ann Oper Res*, 2025, doi: 10.1007/s10479-025-06806-2.
- [29] K. Salas-Navarro, A. Bustamante-Salazar, T. Romero-Lambrano, H. Ospina-Mateus, J. Acevedo-Chedid, and S. Sankar Sana, "A discrete-event simulation model with a collaborative and lean logistic approach application to a dairy industry," *OPSEARCH*, 2024, doi: 10.1007/s12597-024-00863-0.
- [30] V. S. Murugesan, S. K. Jauhar, and A. H. Sequeira, "Applying simulation in lean service to enhance the operational system in Indian postal service industry," *Ann Oper Res*, vol. 315, no. 2, pp. 993–1017, Aug. 2022, doi: 10.1007/s10479-020-03920-1.
- [31] T. Yaqoob and A. Maqsood, "Do methods of estimation matter in detecting outliers and forecasting macroeconomic variables?," *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, vol. 22, no. 2, pp. 231–252, 2024, doi: 10.1080/14765284.2023.2278012.
- [32] M. Ergin, Y. Aksu, and Ö. Koşkan, "A comprehensive benchmarking of different outlier detection techniques for univariate datasets by Monte Carlo simulations," *Commun Stat Simul Comput*, 2025, doi: 10.1080/03610918.2025.2571982.
- [33] A. Marrel, H. Velardo, and A. Bouloré, "LIKELIHOOD AND DEPTH-BASED CRITERIA FOR COMPARING SIMULATION RESULTS WITH EXPERIMENTAL DATA, IN SUPPORT OF VALIDATION OF NUMERICAL SIMULATORS," *Int J Uncertain Quantif*, vol. 14, no. 2, pp. 45–68, 2024, doi: 10.1615/Int.J.UncertaintyQuantification.2023046666.
- [34] Z. Du, Z. P. Fan, and Z. Chen, "Implications of on-time delivery service with compensation for an online food delivery platform and a restaurant," *Int J Prod Econ*, vol. 262, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.ijpe.2023.108896.
- [35] E. Doudareva and M. Carter, "Discrete event simulation for emergency department modelling: A systematic review of validation methods," *Oper Res Health Care*, vol. 33, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.orhc.2022.100340.
- [36] D. Ivanov, "When is the supply chain resilient? Customer and operational perspectives," *Int J Prod Res*, vol. 63, no. 15, pp. 5512–5527, 2025, doi: 10.1080/00207543.2025.2454331.