

# SIMULATION MODEL FOR ANALYSING THE LEAN LOGISTICS METHODOLOGY IN THE WAREHOUSE OF A COMPANY IN THE CITY OF LIMA

Fanny Emelina Piedra Cabanillas<sup>1</sup>; Guillermo David Evangelista Benites<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [emipiedra.c@hotmail.com](mailto:emipiedra.c@hotmail.com), [gevangelista@unitru.edu.pe](mailto:gevangelista@unitru.edu.pe)

*Abstract— The use of simulation as a tool for emerging technologies allows logistics processes to be analyzed without directly intervening in reality. In this study, ProModel software was used to simulate and compare two inventory storage and dispatch strategies: one based on random allocation and the other using clustering techniques (cluster picking), as part of the Lean Logistics methodology. From a theoretical perspective, this methodology and tools such as simulation allow complex scenarios to be analyzed and improvements to be proposed without affecting actual operations. The research was carried out in five phases: problem analysis, data collection, modeling, simulation, and evaluation of results. For the clustering strategy, R Studio software was used, which allowed the optimal number of clusters to be defined and the inventory to be organized efficiently. Both models were evaluated based on the logistics process cycle time, resulting in a significant improvement in operational performance: cycle time, which was reduced by 25,30% with the implementation of the cluster-based strategy, search time was also reduced by 16,70%, and resource utilization increased by 38,90%. Overall, the simulated model based on cluster picking proves to be an effective alternative for reducing operating times and improving efficiency in distribution centers, contributing significantly to strategic logistics decision-making.*

**Keywords:** *Lean, Logistics, cluster picking, RStudio, ProModel*

# MODELO DE SIMULACIÓN PARA ANALIZAR LA METODOLOGÍA LEAN LOGISTIC EN EL ALMACÉN DE UNA EMPRESA DE LA CIUDAD DE LIMA

Fanny Emelina Piedra Cabanillas<sup>1</sup>; Guillermo David Evangelista Benites<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [emipiedra.c@hotmail.com](mailto:emipiedra.c@hotmail.com), [gevangelista@unitru.edu.pe](mailto:gevangelista@unitru.edu.pe)

El uso de la simulación como una herramienta de las tecnologías emergentes, permite analizar procesos logísticos sin intervenir directamente en la realidad, en este estudio se empleó el software ProModel para simular y comparar dos estrategias de almacenamiento y despacho de inventario: una basada en asignación aleatoria y otra que utiliza técnicas de clusterización (clúster picking), como parte de la metodología Lean Logistics, ya que desde el enfoque teórico, esta metodología y herramientas como la simulación permiten analizar escenarios complejos y proponer mejoras sin afectar las operaciones reales. La investigación se desarrolló en cinco fases: análisis del problema, recolección de datos, modelado, simulación y evaluación de resultados. Para la estrategia de clusterización se empleó el software R Studio, que permitió definir la cantidad óptima de clústeres y organizar eficientemente el inventario. Ambos modelos fueron evaluados con base en el tiempo de ciclo del proceso logístico, dando como resultado una mejora significativa en el rendimiento operativo: tiempo de ciclo, el cual redujo en 25,30% con la implementación de la estrategia basada en clústeres, así también se redujo en 16,70% el tiempo de búsqueda y se incrementó en 38,90% el aprovechamiento de los recursos. En conjunto, el modelo simulado basado en clúster picking demuestra ser una alternativa eficaz para reducir tiempos operativos y mejorar la eficiencia en centros de distribución, aportando significativamente a la toma de decisiones logísticas estratégicas.

*Palabras claves:* Lean, Logistics, clúster picking, RStudio, ProModel

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el Perú ha experimentado un crecimiento sostenido en su actividad comercial, superando incluso el ritmo de expansión de la producción, siendo un 3,08% el crecimiento para el año pasado según el Instituto Nacional de Estadística e Informática [1], este dinamismo ha impulsado la proliferación de centros de distribución y almacenes, así como el desarrollo de nuevas estrategias para su gestión. En este contexto, uno de los principales desafíos operativos es la eficiencia en los procesos de despacho, los cuales no solo dependen del sistema de almacenamiento o del modelo de gestión adoptado, sino también de factores como la capacidad instalada, el nivel de tecnificación y los costos operativos involucrados [2]

Entre las décadas de 1940 y 1990 se desarrollaron las principales herramientas del enfoque Lean Manufacturing, los ocho tipos de mudas comúnmente identificados en Lean son: Tiempo, movimientos, defectos, sobre procesos, inventario, talento, transportes y reprocesos siendo estos mencionados aquellos factores que causan problemas dentro de una organización [3] Particularmente, los relacionados con movimientos transportes y tiempos tienen un impacto

significativo en los centros de distribución, ya que contribuyen al aumento del tiempo de despacho, así como la manipulación de mercancía. [4]

Una vertiente específica del enfoque Lean, es Lean Logistic, enfocado mucho más a la gestión logística dentro de la cadena de suministro, según [5], comprender con precisión los movimientos de los productos permite optimizar el abastecimiento futuro y minimizar pérdidas físicas y económicas. Por su parte [6] destacan que la logística esbelta busca mejorar la eficiencia global de la cadena de abastecimiento mediante la reducción de tiempos y la mejora del flujo de los procesos.

El orden de un almacén constituye un factor crítico que influye directamente en la eficiencia operativa, teóricamente, la organización de los almacenes puede variar, según su tipo, como los de materia prima, producto en proceso, producto terminado, auxiliares, crossdocking o centros de distribución, en este estudio, el análisis se enfoca en los centros de distribución, cuya función principal es abastecer zonas específicas definidas por las empresas garantizando un flujo continuo y ágil en los procesos de despacho, además, como mencionan [7] la implementación de estrategias logísticas orientadas a la gestión de almacenes ha ido incrementando, como las tecnologías RFID, blockchain, y otras enfocadas a la reducción de pérdidas de inventario. Dicho esto, una de las estrategias utilizadas en el marco de la logística esbelta es el clúster picking, que consiste en organizar los inventarios en grupos (clústeres) de productos con características homogéneas [8] Estos criterios de agrupación pueden basarse en variables simples como cantidades, volúmenes, dimensiones o en parámetros más complejos como índices de rotación, costos de inventario o frecuencias de salida.

El análisis de estrategias puede realizarse directamente en el entorno real de la empresa, lo cual permite observar resultados concretos y tomar decisiones basadas en evidencia, sin embargo, esta opción implica riesgos relacionados con costos, tiempo de implementación y posibles interrupciones en el proceso. Como alternativa, el uso de simuladores ofrece la posibilidad de modelar digitalmente una realidad, permitiendo evaluar diferentes escenarios sin afectar las operaciones reales [9]

Además, el uso de simuladores se ha consolidado como una estrategia clave en el análisis de procesos logísticos, dado que posibilitan evaluar con precisión la interacción de múltiples variables operativas sin intervenir en el sistema real [10] es así que a través de los simuladores se puede representar los

flujos de almacenamiento y despacho bajo distintos escenarios, generando información cuantitativa sobre indicadores como tiempo de ciclo.

Simuladores como ProModel y RStudio han resultado ser ventajosos por su fácil programación y entendimiento de resultados, por su parte ProModel con su versión más actualizada permite que el investigador genere diferentes escenarios basados en datos reales [9] estos al ser procesados brindan un modelo visual que sirve de gran apoyo para diagnosticar un centro de distribución, según [11] RStudio brinda un análisis estadístico de datos a través de su procesador en bloque lo cual disminuye el tiempo de análisis y agiliza la toma de decisiones, brindando resultados no solo numéricos sino también gráficos, como los dendogramas y clústeres, por lo que su uso fortalece la validez de modelos de simulación tanto en su aplicabilidad como en su aporte práctico en la toma de decisiones estratégicas orientadas a la eficiencia y productividad en almacenes [12].

La empresa en análisis, posee una organización donde se ha evidenciado el mal aprovechamiento de espacios, diferentes pasillos se encuentran vacíos mientras que otros sobrepasan la capacidad diseñada, asimismo, es pertinente mencionar que el flujo de trabajo para el proceso de almacenamiento va desde la descarga de productos, pasando por el control - inspección de ingreso, registro de entrada y almacenamiento, 3 grandes áreas que cuentan con subprocesos en ellas, las cuales ayudan en la gestión de este almacén, con la llegada de vehículos con productos, puede existir de 1 a 2 operadores fuera de los procesos logísticos básicos (solo para almacenado), estos problemas conllevan también a generar un inconveniente en el proceso de despacho, donde por la mala organización mencionada, el personal no logra ubicar con facilidad los productos a despachar incrementándose las manipulaciones de productos y evidenciándose tiempos elevados.

Es por ello, que en busca de explicar el beneficio del clúster picking en este tipo de empresas, y tomando lo expuesto anteriormente, se pretende demostrar que a través de estos dos softwares se puede analizar con claridad los cambios generados en un almacén cuya organización varía según el espacio disponible, la disposición de personal y tiempo de trabajo, a un almacén basado en el clúster picking realizando la clusterización a través del RStudio.

Considerando que un modelo de simulación no optimiza sino propone posibles cambios beneficiosos, se plantea la pregunta de investigación: ¿En qué medida ProModel permite analizar la metodología lean Logistics basada en el clúster picking en centros de distribución? siendo el objetivo general: Analizar la metodología Lean Logistics, basada en el clúster picking, para optimizar los tiempos de almacenamiento en centros de distribución mediante el uso del software ProModel. Así mismo se propone los siguientes objetivos específicos: Realizar un diagnóstico utilizando el software ProModel sobre el manejo actual del centro de distribución en análisis. Diseñar una propuesta de mejora utilizando RStudio y ProModel. Describir los resultados encontrados sobre el análisis de la metodología Lean Logistic a través de los simuladores.

## II. Método

En el contexto de la “industria 4.0”, la simulación se ha consolidado como una herramienta fundamental para la representación visual de procesos productivos y logísticos [9], en esta investigación, se desarrollaron dos modelos del proceso de almacenamiento y despacho, los cuales fueron diseñados en el software ProModel, en el cual se podrá analizar su comportamiento. Asimismo, se llevará a cabo el análisis de los resultados preliminares obtenidos con el fin de identificar los tiempos de ciclo y las oportunidades de optimización dentro del proceso, finalmente, a partir del diagnóstico efectuado se realizará modificaciones permitiendo simular escenarios de mejora y validar los cambios.

El primer modelo corresponde a una estrategia de almacenamiento con asignación aleatoria, mientras que el segundo implementa la técnica de clúster picking, basada en la agrupación de productos por características comunes [8]. Ambos modelos comparten una estructura general del proceso en cuanto a las áreas de trabajo, teniendo en cuenta que existen otras áreas en el sistema real, pero no forman parte directa del flujo operacional analizado (ver figura 1: Layout para modelos de simulación)

Como se puede observar en la figura 2 (Esquema de diseño de modelos en ProModel), se configuraron los arribos, los cuales simulan la llegada de productos al sistema, considerando la frecuencia, la cantidad por arribo y atributos específicos. En este caso, el arribo de camiones ocurre entre una y dos veces por semana, transportando de 12 a 14 lotes por viaje, equivalentes a aproximadamente 96 productos, llámese lotes al conjunto de productos que, según el análisis de cubicaje de la empresa. La capacidad de carga depende del tipo de producto y vehículo utilizado: camiones rígidos de 32 toneladas o camiones articulados para productos de mayor volumen.

En cuanto al procesamiento, se establecieron aquellos que las entidades realizan en cada locación, incorporando parámetros como tiempos de operación, desplazamientos, uso de recursos y reglas de enrutamiento (ver figura 3: Programación primer escenario en ProModel).

Para el segundo modelo, se definieron los clústeres de productos, se utilizó el software RStudio, trabajando con técnicas de análisis multivariado (clustering jerárquico) con el comando “*hclust*” para una distribución de datos usando un método completo de “*Silhouette*”, se determinaron agrupamientos óptimos con base en criterios de rotación y frecuencia de salida (ver figura 4: Programación estrategia de clusterización en RStudio).



Fig. 1 Layout para modelos de simulación

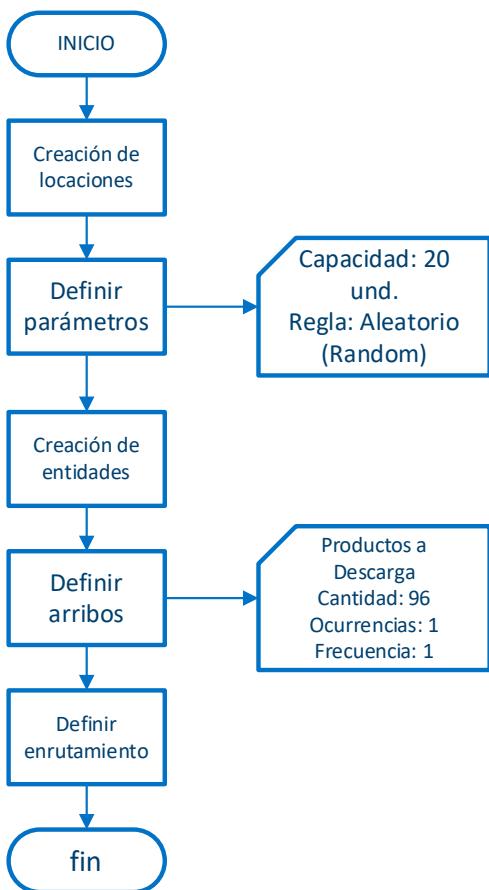


Fig. 2 Esquema de diseño de modelos en ProModel

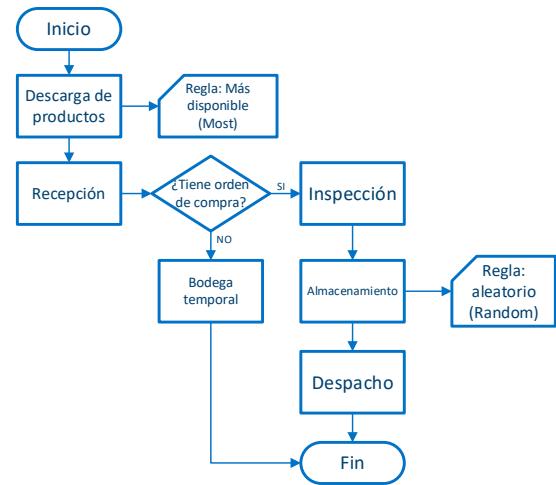


Fig. 3 Programación primer escenario en ProModel

Para el proceso de clusterización se aplicó un análisis jerárquico en RStudio, utilizando como variable la frecuencia de salida de productos ya que este indicador fue seleccionado por su relevancia operativa en la gestión de almacenes además influye directamente en el tiempo de búsqueda de un producto, por otro lado, la selección del número óptimo de clústeres se realizó integrando el “método del codo” que mostró un punto de inflexión en  $K=5$  asimismo, el resultado de clusterización promedio por el método silhouette fue 4,90 lo que representa 5 clústeres, de esta manera, se definió la partición en grupos con características homogéneas, organizados de acuerdo con su rotación, es así que en el clúster 1 reúne los de mayor frecuencia de salida (repuestos) mientras que los clústeres posteriores incluyen ítems de menor rotación como filtros y baterías. Esta segmentación permite que los artículos de alta demanda se ubiquen en posiciones de mayor accesibilidad, reduciendo los movimientos innecesarios de los operadores y mejorando la eficiencia en los tiempos de despacho, esto garantiza que la organización del inventario no sea arbitraria, sino respaldada por criterios estadísticos y logísticos. De este modo, se asegura que la propuesta de clusterización pueda ser replicable y escalable en otros centros de distribución con características similares.

A través del dendrograma se puede observar cuáles pertenecen a cada clúster, cabe mencionar que, para mejorar la visualización de la gráfica, se asignó un código a cada tipo de producto (numeración de 1 a 32) (ver figura 6: Dendrograma de clusterización en RStudio).

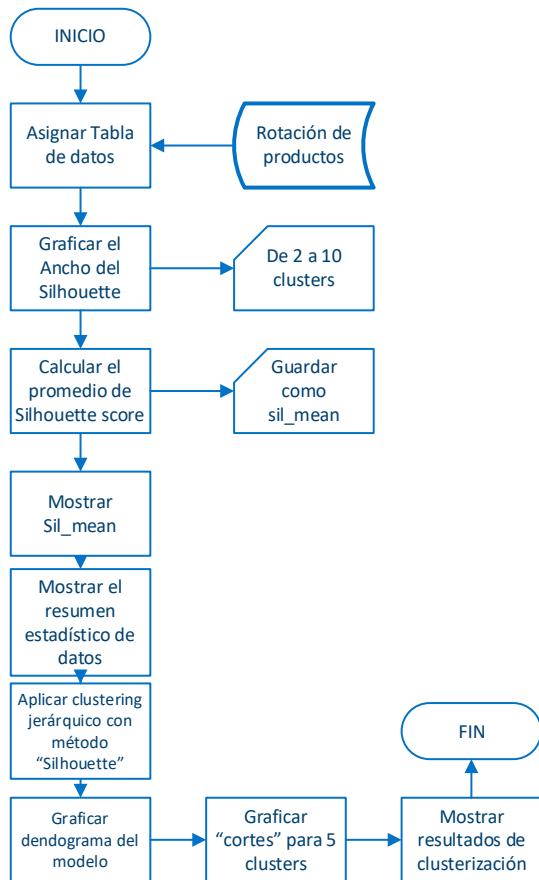


Fig. 4 Programación estrategia de clusterización en RStudio

TABLA 1  
RESULTADOS CLUSTERIZACIÓN EN R STUDIO

Clúster	Neighbor	Sil_width
4,9062500	4,9062500	0,3819881

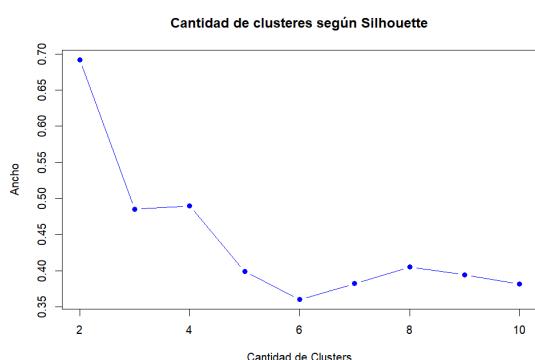


Fig. 5 Gráfica del método Silhouette - RStudio

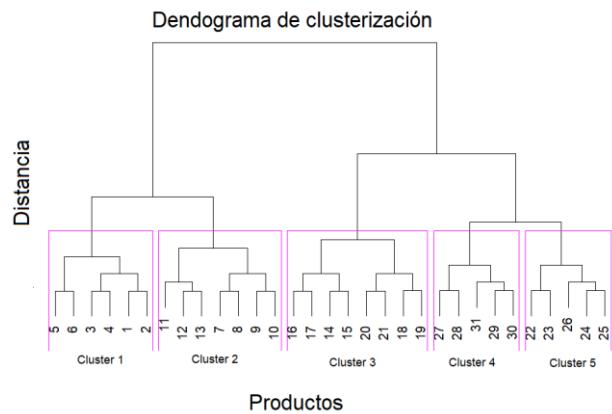


Fig. 6 Dendograma de clusterización en RStudio

En base a los datos recolectados se definieron como parte de la distribución de usuario para atributos, el porcentaje de productos que se enrutarán hacia cada uno de los 5 clústeres definidos mediante el método Silhouette (ver tabla 2: Distribución de atributos para clusterización). Además, se optó por diseñar atributos de ruteo trabajando con la regla “TURN” para segmentar los productos dependiendo al clúster al que pertenece (ver figura 7: Programación de estrategia de clusterización en ProModel).

TABLA 2  
DISTRIBUCIÓN DE ATRIBUTOS PARA CLUSTERIZACIÓN

Porcentaje	Valor
15%	Clúster 1
30%	Clúster 2
25%	Clúster 3
15%	Clúster 4
15%	Clúster 5

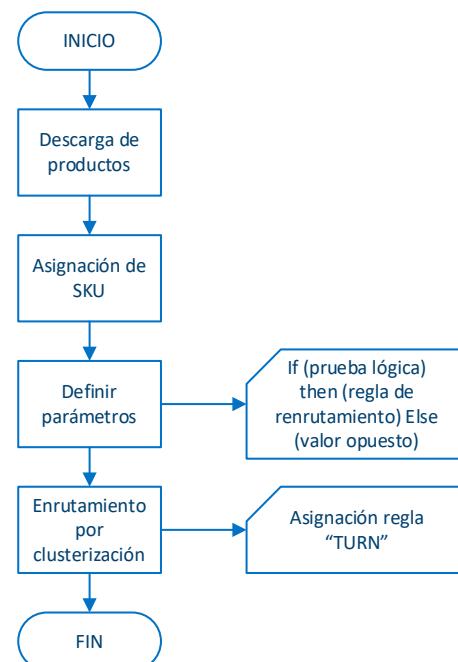


Fig. 7 Programación de estrategia de clusterización en ProModel

Con el fin de analizar la metodología Lean Logistics basada en el clúster picking en ProModel, se analizaron los resultados obtenidos tras la simulación de dos modelos: uno con asignación aleatoria y otro basado en clusterización, es así que, al aplicar la regla “Random” se tiene como resultado un tiempo de almacenamiento que asciende a 2 horas con 50 minutos, por camión descargado, en cuanto a los resultados del segundo modelo muestran que el proceso de almacenamiento y despacho por camión tomaría un tiempo de 2 horas con 7 minutos, teniendo una reducción de 43 minutos por camión este dato según el output viewer del ProModel, donde se puede visualizar los resultados generales de cada modelo de simulación (ver figura 8: Resultados de estrategias aleatorio y clusterización). El modelo con clusterización evidenció un menor tiempo de búsqueda por parte del operador, lo cual se tradujo en una disminución significativa del tiempo total del proceso.

Fig. 8 Resultados estrategias: aleatorio y clusterización

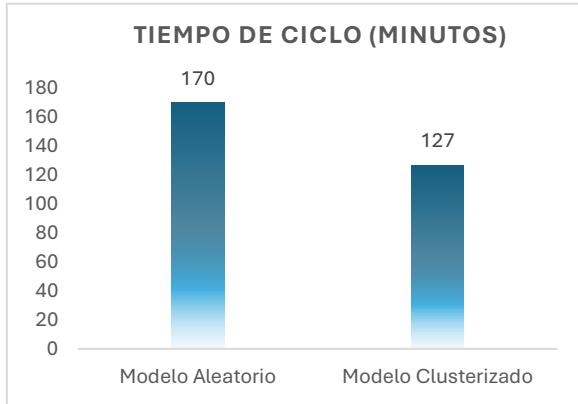


TABLA 3  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Indicador	Asignación Aleatoria	Clúster Picking	Mejora (%)
Tiempo promedio de ciclo por lote	2 h 50 min (170 min)	2 h 07 min (127 min)	25,30%
Tiempo promedio de búsqueda	6 min	5 min	16,70%
% de utilización del recurso	54,73%	76,05%	38,90%

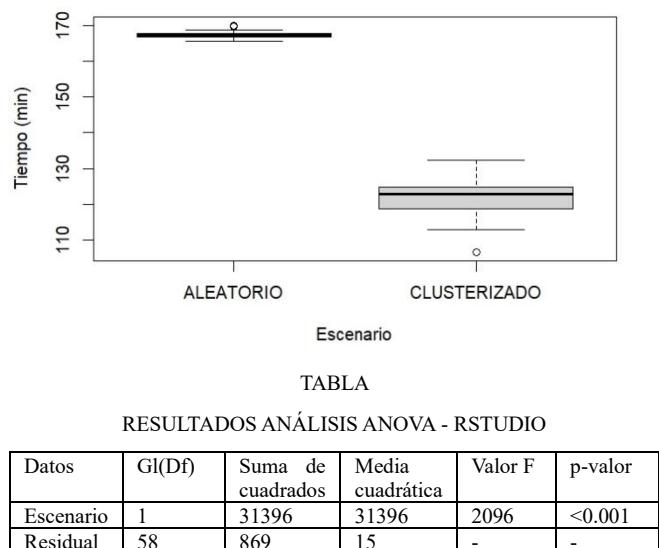
Los resultados de la simulación evidencian mejoras significativas al aplicar la estrategia de clúster picking en el modelo logístico. En primer lugar, se logró una reducción del 25.3% en el tiempo promedio de ciclo por lote, lo que representa un avance directo en la eficiencia del proceso general desde la recepción hasta el despacho.

De manera complementaria, el porcentaje de utilización del recurso humano pasó de 54,73% en el modelo con asignación aleatoria a 76,05% en el modelo con clusterización, lo que equivale a un aumento relativo de 38,9%, indicando que el operario fue empleado de forma mucho más efectiva. Esto sugiere que la agrupación de productos permite eliminar tiempos muertos y mejora el flujo de trabajo. En cuanto al tiempo promedio de búsqueda de productos, también se

observó una mejora, pasando de 6 a 5 minutos por búsqueda, lo que representa una reducción del 16,7% (ver tabla 3: Comparación de resultados).

Aunque este cambio parece pequeño en magnitud, su impacto acumulado es significativo al tratarse de un proceso repetitivo de alta frecuencia, y se relaciona directamente con la mejora en la organización del inventario. En conjunto, los tres indicadores reflejan que la estrategia de clúster picking no solo mejora el rendimiento global del sistema, sino que también optimiza el uso del personal operativo y reduce la complejidad de las tareas internas, alineándose con los principios de Lean Logistic.

Fig. 9 Análisis ANOVA - Rstudio



La figura 9 muestra los resultados obtenidos en el software Rstudio sobre la comparación de los tiempos de ciclo en ambos escenarios simulados después de 30 réplicas. Se observa que el escenario aleatorio concentra tiempos cercanos a 170 minutos, mientras que la estrategia de clusterización reduce la mediana del proceso a aproximadamente 120 minutos, esta diferencia de más de 40 minutos se corroboró mediante al análisis ANOVA:  $F=2096$ ,  $p <0.001$  (ver tabla 4), evidenciando un efecto estadísticamente significativo. En consecuencia, la estrategia de cluster picking representa una mejora sustancial en la eficiencia operativa del proceso logístico.

### III. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

#### A. Discusión

La simulación de procesos mediante herramientas digitales se ha consolidado como una alternativa efectiva para el análisis de centros de distribución. En este estudio, se emplearon los softwares ProModel y RStudio para evaluar el impacto del clúster picking como estrategia de la metodología Lean Logistics en el proceso de almacenamiento y despacho.

Como parte de las fortalezas del estudio, éstas radican en el uso combinado de dos herramientas complementarias: ProModel, para la simulación de escenarios logísticos y Rstudio para la clusterización estadística de inventarios. Esta

dualidad y adicionando los antecedentes de la literatura enriquecen y fortalecen la validación de resultados y la rigurosidad académica del trabajo. Por otro lado, el modelo de simulación presentado permite identificar como los excesivos movimientos por la desorganización en el espacio disponible de la empresa, incrementan los cuellos de botella, asimismo, la mejora cuantificable en indicadores como el tiempo de despacho y el uso de los recursos demuestran la aplicabilidad del modelo en entornos reales.

Sin embargo, el estudio también presenta limitaciones, ya que la simulación, por su naturaleza, depende de supuestos que pueden o no reflejar el dinamismo de un entorno real, teniendo en cuenta lo mencionado, la clusterización se basa en una distribución de datos uniformes, lo que limitaría su aplicabilidad en aquellos almacenes donde exista mucha variación en el inventario (tipos de productos) o presente una demanda estacional, lo que dejaría una posibilidad de incorporar tecnologías complementarias o soluciones de automatización alineadas con el enfoque lean en función a las tareas repetitivas de transporte dentro del almacén, lo cual reduce movimientos innecesarios y liberar al personal para tareas de mayor importancia.

Aun así, diferentes autores respaldan la propuesta, tal como lo plantea [2] quien menciona que actualmente existen diversas tecnologías orientadas al manejo eficiente de inventarios, como el RFID (identificación por radiofrecuencia) que permite rastrear en tiempo real un producto a diferencia del código de barras, el sistema de gestión de almacenes que busca automatizar y optimizar las operaciones internas como recepción, almacenamiento, picking y despacho, entre otras, por ello, esta investigación, aborda otro tipo de tecnología como es el uso de ProModel.

Aunque no permite intervenir directamente sobre el sistema real, ha facilitado la evaluación de escenarios alternativos para los procesos de almacenamiento y despacho, aportando así evidencia cuantitativa valiosa para la toma de decisiones. De forma complementaria, el análisis en RStudio, otro tipo de software, permitió aplicar un modelo de clusterización basado en datos reales de la empresa, coincidiendo así con [10], quien menciona que procesar datos en bloque resultan eficientes sobre todo al utilizar bases de datos extensas, como en el caso de la presente investigación, este entorno estadístico ofrece herramientas eficaces para segmentar inventarios cuando la distribución de datos mantiene una distribución uniforme, como fue el caso de la presente investigación.

Por otro lado, diversos autores como [3], [4] y [5] destacan que los desperdicios identificados en Lean Logistics, como movimientos innecesarios y tiempos excesivos, afectan negativamente la productividad, ya que no agregan valor al producto o al proceso mismo, además que generan costos ocultos como el exceso de movimientos implica consumo de tiempo, desgaste físico de los operadores y posiblemente de los equipos involucrados en el proceso de almacenamiento y despacho, cabe mencionar que no son los únicos desperdicios dentro de Lean Logistic, pero los más relevantes para la investigación, es así que esta afirmación se valida con los resultados obtenidos, sobre todo en el primer escenario simulado, donde se registraron tiempos elevados de despacho (170 minutos), atribuibles a la falta de organización y a los

movimientos innecesarios de los operadores. Así también se evidencia la utilización del recurso logístico, pasando de un 54,73% a un 76,05% el cual indica una asignación más eficiente de las actividades logísticas establecidas.

En línea con lo propuesto por [6] y [7], el uso de simuladores para diagnosticar y optimizar procesos logísticos permite identificar con precisión los puntos críticos de un proceso, en este caso logístico, en este sentido, la estrategia de clúster picking aplicada en el segundo escenario simulado, redujo el tiempo de despacho en más de 40 minutos, esto se consiguió al mejorar la ubicación de los productos según su frecuencia de salida en 5 clústeres, así, se concuerda con lo señalado por [8] quienes afirman que en una adecuada segmentación de productos no solo mejora la eficiencia operativa sino que también tiene un impacto positivo en la satisfacción del cliente, al garantizar entregas más rápidas y ordenadas ya que a través de esta agrupación redujo significativamente el tiempo promedio de búsqueda por parte de los operadores, pasando de 6 minutos a 5 minutos.

Finalmente, de los beneficios directamente relacionados con la reducción de tiempos, los resultados obtenidos en la simulación tienen implicancias prácticas relevantes para la gestión operativa del centro de distribución. En primer lugar, la aplicación del clúster picking reduce la carga del personal al facilitar la localización de productos, disminuyendo errores y tiempo, asimismo, esta reducción de tiempo y su estabilidad, trae consigo una planificación más estable de recursos humanos, permitiendo la optimización del recurso durante los posibles picos de demanda. Además, estas estrategias son escalables a otros tipos de empresas con características similares ya que como se ha mencionado, como cualquier herramienta de gestión de inventarios puede tener algunas limitaciones.

### B. Conclusiones

En función de los resultados obtenidos, se concluye que ProModel permitió analizar de forma efectiva la metodología Lean Logistic basada en el clúster picking, revelando su potencial para optimizar los procesos logísticos en centros de distribución de forma segura, económica y replicable.

El diagnóstico inicial, desarrollado con ProModel permitió identificar dentro del almacén, como la distribución poco funcional del inventario y movimientos excesivos repercutían negativamente en los tiempos de búsqueda y despacho.

Posteriormente, se diseñó una propuesta de mejora basada en la clusterización, empleando el software RStudio, dando como resultado 5 clústeres considerando la frecuencia de salida de los productos, esta propuesta fue diseñada en ProModel, lo cual permitió visualizar la estrategia mencionada.

Los resultados obtenidos demostraron que se puede reducir el tiempo de almacenamiento y despacho, generando un ahorro global de tiempo de más de 40 minutos por ciclo, Esto confirma que el uso en conjunto de herramientas estadísticas y de simulación puede ser ventajosas al momento de tomar decisiones estratégicas en la gestión de almacenes.

### C. Recomendaciones

Cabe señalar que, si bien el análisis de clusterización permitió identificar de manera preliminar la partición óptima en 5 grupos, esta etapa también puede ser complementada con replicaciones estadísticas para robustecer la estabilidad de los resultados. En este sentido, la metodología puede extenderse aplicando múltiples datos de inicialización lo que permitiría contrastar la consistencia de la asignación de productos a cada cluster.

Es recomendable complementar las estrategias de mejora con tecnologías como IoT (Internet de las cosas), ya que así se podría monitorear condiciones del inventario, como temperatura, ubicación, movimiento, entre otros criterios importantes.

Adicionalmente, no solo depende de las tecnologías y metodologías aplicables en un sistema, por lo que se recomienda fortalecer las capacidades del personal logístico a través de capacitaciones en análisis de datos que promuevan la toma de decisiones.

## REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Actividad comercial creció 3,08% en abril de 2024. [nota de prensa]. Lima: INEI; 24 jun. 2024 [Accedido: Febrero. 2025]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/976024-actividad-comercial-crecio-3-08-en-abril-de-2024>
- [2] J. Duque, M. Cuellar, J. Cogollo, “Slotting y picking: una revisión de metodologías y tendencias”. vol. 38, no. 3, Setiembre 2020.
- [3] J. Ortiz, J. Salas, L. Huayanay, R. Manrique, E. Sobrado, Modelo de gestión para la aplicación de herramientas Lean Manufacturing para la mejora de la productividad en una empresa de confección de ropa antiflame de Lima – Perú. vol. 25, no. 1, Julio 2022
- [4] P. Véliz, A. Jorna, L. Machado, “Propuesta de acciones para eliminar mudas en la gestión de los procesos en instituciones de salud cubanas”. vol. 48, no. 1, Ciudad de La Habana. Marzo 2022
- [5] H. Guzmán, Y. Rincón, “Plan de implementación de teorías esbeltas en el almacén aeronáutico del CACOM 4”. vol. 17, no. 2, pp 82-98, Julio 2022.
- [6] N. García, J. Moyano, J. M. Maqueira, “Lean supply chain management and performance relationships: what has been done and what is left to do”. vol. 32, pp. 405-423, February 2021.
- [7] T. Fernandez, O. Blanco, I. Froiz, P. Fragas, “Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management”. Mayo 2019 DOI: <https://doi.org/10.3390/s19102394>
- [8] J. Quiroz, J. Campos, V. Saavedra, “Incremento del nivel de servicio en un clúster ferretero a través de la aplicación de metodologías mixtas”. Lima, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2022.
- [9] ProModel, Software de Simulación de Sistemas, Propósitos Generales y Arquitectura Abierta. ProModel, [Acceso: mayo 2024], <https://promodel.com.mx/promodel/>
- [10] M. Pérez, J. Ramos, J. Rodríguez, J. Santos, “La simulación como método para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los circuitos eléctricos”. vol. 10, no. 1, Agosto 2022.
- [11] M. I. Fernández, “Ventajas de R como herramienta para el Análisis y Visualización de datos en Ciencias Sociales”. vol. 7, no. 2, Agosto 2020.
- [12] O. Vásquez, P. Rosales, “Aplicación de un modelo de simulación discreta para mejorar la productividad del proceso de producción en una empresa manufacturera”. Lima -Perú. vol. 26, no. 1, Junio 2023.