

Simulation-Driven Cost Evaluation of Food Product Returns in Reverse Logistic Supply Chains

Marcos Moya Navarro; José Ugalde Rodríguez
Universidad Latina de Costa Rica, Costa Rica, marcos.moya@ulatina.net
Universidad LEAD, Costa Rica, jose.ugalde@ulead.ac.cr

Abstract– Food supply chains are experiencing a sustained increase in return volumes due to product expiration, handling and transportation damage, order fulfillment errors, demand variability, and commercial policies. These returns trigger reverse logistics processes that incorporate additional transportation, inspection, sorting, and disposal activities, generating significant costs that are often neither systematically quantified nor explicitly integrated into logistics planning and strategic decision-making.

The objective of this study is to determine the proportion represented by transportation costs associated with food product returns in Costa Rica relative to total transportation costs, considering both deliveries and returns to and from the distribution centers of five modern retail supermarket chains. To achieve this objective, a discrete-event simulation model was developed to integrate forward and reverse distribution processes between the manufacturer and the analyzed chains, incorporating operational variability and logistical constraints.

The results indicate that return-related costs exhibit stable and predictable behavior, with an estimated average annual cost of \$14,486.06, equivalent to 29.24% of total transportation costs. The low relative variability (coefficient of variation of 4.44%) and the approximately symmetric distribution suggest a mature and well-controlled logistics system. These findings highlight the need to explicitly incorporate reverse logistics into the evaluation and optimization of food distribution systems in order to enhance economic efficiency and operational sustainability.

Keywords: Transportation costs, Supply chains, Reverse logistics, Cost optimization, Simulation modeling

Evaluación de Costos de las Devoluciones de Productos Alimenticios Mediante Simulación en Cadenas de Suministro de Logística Inversa

Simulation-Driven Cost Evaluation of Food Product Returns in Reverse Logistic Supply Chains

Marcos Moya Navarro; José Ugalde Rodríguez
Universidad Latina de Costa Rica, Costa Rica, marcos.moya@ulatina.net
Universidad LEAD, Costa Rica, jose.ugalde@ulead.ac.cr

I. INTRODUCCIÓN

Las cadenas de suministro de productos alimenticios enfrentan un crecimiento sostenido en los volúmenes de devoluciones debido a varios tipos de causas como lo son los problemas de caducidad, daños de los productos, errores de surtido, cambios en la demanda y políticas comerciales de los clientes.

Mbago et al., 2025 indican que la logística inversa (LI) es un componente estratégico de la gestión de la cadena de suministro. Los autores indican que logística inversa es un proceso multidimensional y una iniciativa estratégica orientada tanto a objetivos ambientales como operativos que son impulsados principalmente por las preocupaciones ambientales, los incentivos económicos, las presiones regulatorias y los avances tecnológicos. Además, también establecen que la implementación efectiva de la LI requiere un enfoque integral que abarque la recolección de materiales, la recuperación de productos y la disposición final cuyo éxito depende del compromiso de la alta dirección, las alianzas estratégicas, la inversión tecnológica y la colaboración con los distintos actores de la cadena.

Banguera et al., 2023 establecen que la logística tiene como objetivo implementar un conjunto de decisiones que incluyen la compra de materias primas, partes y componentes, la manipulación y el almacenamiento de inventarios, así como el transporte de bienes de un lugar a otro. Sin embargo, la rápida industrialización y el crecimiento de la población han provocado un aumento en la producción y el consumo de una amplia variedad de productos lo que han provocado la generación de enormes cantidades de residuos que causan daños sustanciales al planeta. Agregan además los autores que las actividades logísticas dependen principalmente del transporte de mercancías, el cual consume grandes cantidades de energía no renovable.

Sánchez et al., 2020 indican que los requerimientos de los mercados, reflejados en estrictas regulaciones de protección ambiental, sumados a la creciente concienciación de los individuos y los gobiernos, han obligado a las organizaciones a convertirse en actores clave del cuidado del medio ambiente

mediante la aplicación de la logística inversa. Los autores apuntan que las empresas que han implementado la logística inversa han mejorado su competitividad al reducir costos, reflejando credibilidad en el mercado por sus esfuerzos para minimizar la huella ambiental y concluyen que la aplicación de las prácticas propias de la logística inversa incrementa las posibilidades de diferenciación frente a la competencia, ya que generan confianza y seguridad en los consumidores.

Issah et al., 2024 establecen que la logística inversa tiene una influencia positiva y significativa sobre el desempeño organizacional. Asimismo, los autores indican que las organizaciones deben fomentar una cultura organizacional en la que se incentive a los empleados a formular preguntas, buscar nuevo conocimiento y experimentar con nuevas ideas; y que deben implementar sistemas de reconocimiento y recompensas que valoren el aprendizaje y la innovación.

Wang et al., 2021 indican que, debido al creciente nivel de complejidad de las cadenas de suministro, la incertidumbre en la cadena de suministro se ha convertido en un problema crítico, el cual obstaculiza el desarrollo de la logística moderna y la gestión de la cadena de suministro. Los autores establecen que existen cuatro tipos de incertidumbre en la cadena de suministro aplicables a la logística inversa, a los cuales se les denomina incertidumbre en la logística inversa. Los tipos de incertidumbre Tipo A y Tipo B corresponden a nuevas categorías de incertidumbre en la cadena de suministro dentro del contexto de la logística inversa, las cuales aún no han sido validados empíricamente en entornos industriales.

Moheb-Alizadeh et al., 2023 establecen que en los últimos años, el reciclaje y la disposición de productos electrónicos al final de su vida útil han despertado una atención considerable como respuesta a las preocupaciones sobre la recuperación de recursos y los impactos ambientales de los residuos electrónicos. Los autores indican que desarrollaron dos formulaciones diferentes de una red de logística inversa, a saber, un modelo óptimo del sistema y un modelo óptimo del usuario, para estimar tanto los efectos económicos como los ambientales de la legislación de devolución. Continuaron indicando los autores que en el modelo óptimo del sistema se estudió toda la red de logística

inversa asociada con el reciclaje y la remanufactura de los residuos electrónicos mientras que en el modelo óptimo del usuario se dividió la red logística en dos partes distintas con el fin de derivar una solución óptima desde el punto de vista de los usuarios.

Fernando et al., 2023 indican que una logística inversa basada en la economía circular (CERL, por sus siglas en inglés) enfatiza el efecto mediador de la logística inversa (RL) sobre el compromiso con los recursos sostenibles y el desempeño financiero. También indican los autores que la CERL genera oportunidades de investigación y desarrollo (I+D) para que las industrias identifiquen fuentes alternativas de ingresos y obtengan beneficios a partir de la inversión en recursos, al mismo tiempo que mantienen estándares ambientales mediante prácticas de logística inversa. que representa la relación resiliente de la economía circular con las prácticas de logística inversa.

Huscroft et al., 2013 establecen que la tecnología de la información es un facilitador clave del rendimiento logístico, pero que desafortunadamente, la mayoría de los sistemas de información logística se implementan pensando en los procesos de logística directa, con poca o ninguna consideración para el canal inverso, por lo que basándose en la teoría del ajuste tarea-tecnología, los autores buscan explorar cómo el uso de tecnologías de información complementarias para apoyar los procesos de logística inversa puede conducir a una mayor eficacia del proceso. También los autores indican que los resultados obtenidos de los modelos generados explican el 49 % y el 30 % de la varianza en la efectividad del costo y la efectividad del procesamiento de logística inversa, respectivamente, lo que demuestra que el uso de tecnología de la información y la innovación tecnológica en logística inversa mejoran la efectividad del costo, la compatibilidad de los sistemas de información y la innovación tecnológica.

Toledo Hernández et al., 2012 indican que un problema relevante para las empresas brasileñas es identificar cómo los diferentes programas de Logística Inversa pueden afectar los indicadores de desempeño empresarial, para lo cual el ANP (Analytic Network Process) es uno de los métodos de análisis, que puede ser usado para la toma de decisión con criterios múltiples y es el único que puede capturar las interdependencias entre los criterios y alternativas. Los autores establecen que este método fue adoptado para estudiar la influencia de las prácticas de logística inversa en el desempeño corporativo y que los resultados preliminares indicaron que el método puede ser utilizado por mostrar un resultado compatible con la realidad de las empresas brasileñas.

A. Logística Inversa Mediante Simulación

El objetivo principal de este trabajo es determinar el porcentaje del costo que representan las devoluciones en una

cadena de suministros de productos alimenticios mediante simulación. Kara et al., 2007 indican que tradicionalmente los consumidores desechan los productos al final de su ciclo de vida, por lo que las legislaciones de recuperación de productos introducidas por los gobiernos trasladan esta responsabilidad de los consumidores a los fabricantes. Como resultado, los fabricantes deben recolectar los productos al final de su vida útil y gestionar su recuperación o eliminación. Los autores indican que desarrollaron un modelo de simulación de redes logísticas inversas para la recolección de electrodomésticos en el Área Metropolitana de Sidney. Los resultados de la simulación muestran que el modelo presentado calcula el costo de recolección de manera predecible.

Lieder et al., 2025 establecen que la remanufactura es fundamental en los modelos de negocio circulares, ya que ofrece una forma sostenible de restaurar productos y reducir el consumo de recursos. Los autores desarrollaron una herramienta de soporte para la toma de decisiones basada en simulación para evaluar las operaciones de logística inversa en el mercado de repuestos automotrices, analizando el impacto económico y ambiental de las piezas remanufacturadas frente a las piezas nuevas. Utilizando una combinación de métodos de agentes y eventos discretos, la simulación analiza la efectividad de la red de logística inversa de Scania utilizando el filtro de partículas diésel como caso de estudio. Los resultados demuestran las ventajas de la remanufactura en costos (-82%), emisiones de huella de carbono (-92%) y ahorro de materiales vírgenes (-99%) frente a la producción nueva, apoyando así la integración de piezas remanufacturadas en modelos de negocio circulares.

Labelle & Frayret, 2023 indican que las redes de distribución tienen como objetivo llevar los productos adecuados a los consumidores en el momento y lugar correctos. Cuando los consumidores devuelven estos productos, entra en juego otro tipo de red logística. Esta función de devolver productos al final de su vida útil se conoce como logística inversa. Los autores establecen que no existe una herramienta o metodología establecida para evaluar el impacto de las decisiones de los consumidores en los flujos de materiales de la logística inversa. Por ello, proponen una herramienta de simulación basada en agentes para predecir el desempeño de una red de logística inversa, teniendo en cuenta la ubicación de los puntos de recolección, la información sociodemográfica, las actitudes hacia el desarrollo sostenible y el perfil de consumo. Específicamente, presentan la configuración, calibración y validación de una herramienta de simulación que modela la devolución de botellas de vidrio vacías en un pequeño grupo de municipios de Quebec, Canadá, demostrando la capacidad de la herramienta de simulación para proporcionar información útil que apoye el diseño de estrategias de recolección que maximicen las tasas de retorno y minimicen los costos de instalación y operación.

Bottani et al., 2019 presentan un estudio de simulación para evaluar el desempeño de un sistema real de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en el norte de Italia. Los autores desarrollaron un modelo de simulación detallado para reproducir el comportamiento de los diferentes actores del sistema. Para ello, se observaron previamente dos actores reales: una empresa de recolección de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y una planta de tratamiento, ambas ubicadas en el norte de Italia. Los datos sobre el flujo de entrada de sistema real de gestión de residuos y la producción de materiales reciclados se obtuvieron a partir de observaciones directas. Se determinaron indicadores clave de desempeño específicos y se utilizaron para evaluar el rendimiento de la red existente y de algunas configuraciones alternativas.

Georgiadis & Vlachos, 2004 indican que la logística inversa es un campo moderno de análisis, investigación y estudio, que aporta información valiosa sobre el funcionamiento de la cadena de suministro de ciclo cerrado, y que aunque sus orígenes se remontan a principios de los años noventa, no se ha propuesto ni consolidado un método estándar. Los autores presentan un nuevo enfoque para el estudio de la logística inversa y establecen que la Dinámica de Sistemas puede convertirse en una herramienta útil cuando se aplica al ámbito de la logística inversa la cual puede utilizarse para generar una herramienta sólida de apoyo a la toma de decisiones a largo plazo.

Abbate et al., 2025 indican que la logística inversa adquiere una importancia creciente dentro de las estrategias de economía circular, ya que posibilita la recuperación, remanufactura y reciclaje de productos al final de su vida útil. Los autores de este estudio desarrollan y aplican un marco de simulación multimétodo para modelar y evaluar cadenas de suministro de logística inversa. Los resultados de la simulación revelan importantes compensaciones entre costos y emisiones, demostrando el potencial de las herramientas de simulación para apoyar la planificación estratégica en sistemas de logística inversa.

B. Logística Inversa en Productos Alimenticios Mediante Simulación

Schiffmann et al., 2023 investigan el uso de la simulación para predecir los beneficios y los costos de la digitalización de las cadenas de distribución en frío. El estudio se centra en la distribución de carne de res refrigerada en el Reino Unido, donde se implementó la digitalización para redirigir los transportistas de carga. Al comparar simulaciones de cadenas de suministro digitalizadas y no digitalizadas, el estudio encontró que la digitalización puede reducir el desperdicio de carne y disminuir la cantidad de millas recorridas por entrega exitosa, lo que conduce a posibles ahorros de costos. Los autores indican que el estudio sugiere que la simulación puede desempeñar un papel crucial en la facilitación de decisiones

informadas sobre la implementación de tecnologías digitales en la cadena de suministro de alimentos que puede ayudar a las organizaciones a tomar decisiones más estratégicas y efectivas.

Kandemir et al., 2022 indican que el desperdicio de alimentos es un problema de importancia global. Los hogares generan más desperdicio de alimentos que cualquier otra fuente en los países de ingresos altos y medios. Los autores apuntan que existen muchas soluciones para reducir el desperdicio de alimentos en el hogar, pero medir el impacto de cada solución es costoso y, por lo tanto, generalmente no se lleva a cabo, lo que constituye una barrera importante para que los responsables de la toma de decisiones adopten soluciones efectivas. Adicionalmente indican que la modelización mediante simulación de eventos discretos está idealmente posicionada para superar estos problemas, el cual tiene flexibilidad de modelar varios tipos de alimentos, incluyendo numerosas dinámicas del hogar que pueden afectar el desperdicio de alimentos.

Yanikara, 2016 indica que, con el aumento de las preocupaciones ambientales, la recuperación de productos usados mediante diversas opciones ha ganado una atención significativa. Para recolectar, categorizar y reprocesar productos usados de manera eficiente en costo y tiempo, se requiere, en la mayoría de los casos, una infraestructura de red preevaluada además de las redes logísticas directas tradicionales existentes, conocidas como redes de logística inversa, las cuales imponen una incertidumbre inherente en el suministro de productos devueltos. El autor también indica que incorporar la incertidumbre en las decisiones de largo plazo relacionadas con la planificación de la red es especialmente importante en las redes de logística inversa, ya que tales decisiones son difíciles y costosas de ajustar posteriormente. Continúa indicando que la incertidumbre en las devoluciones de productos, así como el comportamiento dinámico y complejo del sistema, pueden modelarse como un sistema de colas utilizando una metodología de simulación de eventos discretos, por lo que desarrollaron una herramienta basada en simulación que puede utilizarse para evaluar y comparar configuraciones de redes de logística inversa.

Bajor et al., 2014 indican que la investigación científica sobre los sistemas de logística inversa en los sistemas logísticos en desarrollo es compleja, y a menudo no es realizada por las pymes, lo que genera de manera continua ciertos costos logísticos. Los autores apuntan que los sistemas logísticos desarrollados analizan las devoluciones de productos y tienden a detectar diferencias y oscilaciones en los flujos de productos devueltos, provenientes de distintos actores dentro de las cadenas de suministro. Continúan indicando que en su investigación se identifican las cantidades y los procesos relacionados con los productos eléctricos y electrónicos enviados a servicio por parte de los consumidores finales y de las cadenas minoristas y que los parámetros

relevantes recopilados servirán como base para un modelo de simulación de un centro de servicio centralizado en el mercado croata.

C. Procedimiento de Devolución de Pedidos Para el Caso de Estudio Seleccionado

La Fig. 1 resumen un procedimiento general del proceso de devoluciones de productos. El modelo de simulación desarrollado en este trabajo para la evaluación del costo de las devoluciones de productos alimenticios se concentra en la definición del modelo logístico.

La Fig. 2 ilustra de manera general el modelo logístico utilizado para la construcción del modelo de simulación para el cálculo de los costos de las devoluciones. Las órdenes de entrega son enviadas a los clientes desde el centro de distribución del fabricante de acuerdo con su plan de entregas semanales. Los camiones de despacho cargan los productos en el centro de distribución del fabricante, y transportan los pedidos hasta los centros de distribución de los clientes. Al arribo, proceden a realizar la descarga correspondiente. Posteriormente, si hay productos calificados para devolución se realiza la carga en el mismo camión que hizo las entregas y se devuelve al centro de distribución del fabricante donde se descargan para su deposición.

II. DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El presente trabajo se desarrolló tomando como base un fabricante de productos alimenticios, cuyo centro de distribución se ubica en San José de Costa Rica. Desde este centro de distribución se reabastecen a los centros de distribución de cinco cadenas de supermercados de canal moderno denominadas para efecto de este estudio como CDA1W, CDA4M, CDG3S, CDM2S, y CDP5M, de acuerdo con un plan de abastecimiento semanal.

La empresa fabricante cuenta dos tamaños de camión disponibles para entrega de pedidos y recolección de productos devueltos denominados “Camión Tipo 1” y “Camión Tipo 2”. El Camión Tipo 1 tiene una capacidad de almacenamiento de 12 tarimas, con un peso de carga por tarima estimado de 1000 kilogramos de carga en movimiento. El Camión Tipo 2 tiene una capacidad de almacenamiento de 24 a 30 tarimas, con un peso de carga por tarima estimado de 1000 kilogramos de carga en movimiento.

La Fig. 3 resume la definición del caso de estudio a simular para la determinación de los costos de entrega y recolección de productos devueltos.

Las Tabla I muestra el cronograma de entregas de los pedidos de los clientes, el tipo de vehículo que transportará la

carga a entregar y la capacidad de transporte correspondiente expresada en número de tarimas por camión.

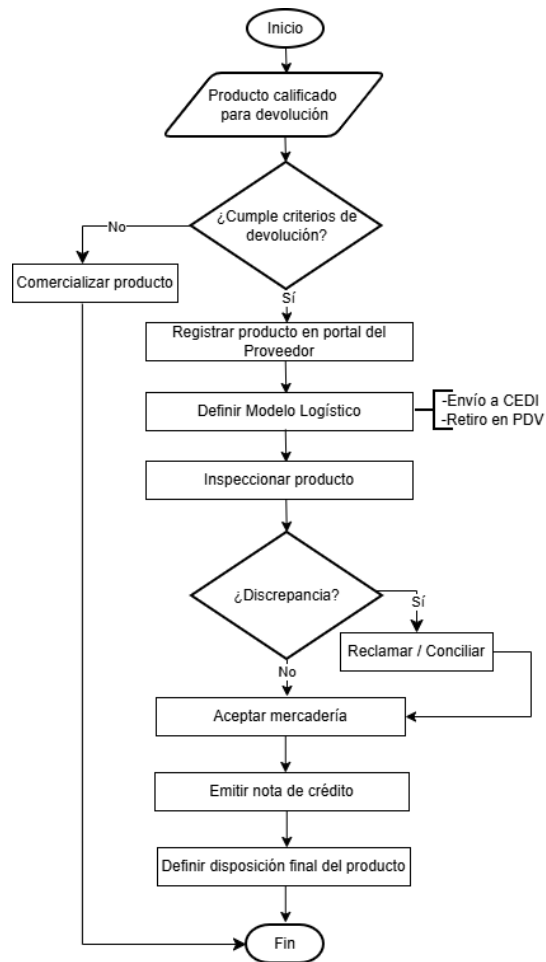


Fig. 1 Procedimiento General de Devoluciones

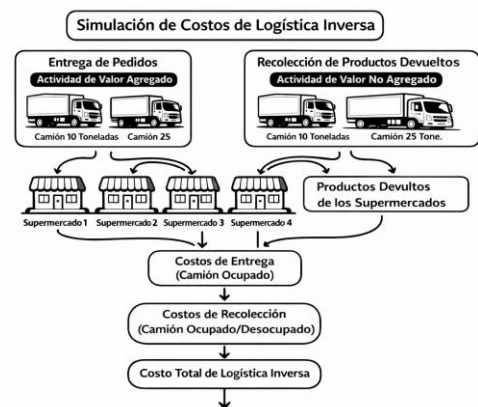


Fig. 2 Modelo Logístico Utilizado en el Modelo de Simulación Para El Cálculo de los Costos de Devoluciones

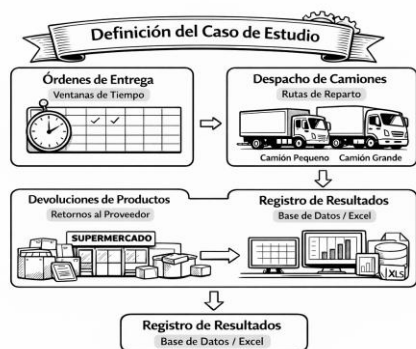


Fig. 3 Resumen del Caso de Estudio a Simular

TABLA I
CRONOGRAMA DE ENTREGAS, TIPO DE VEHÍCULO Y CAPACIDAD DE CARGA EXPRESADA EN TARIMAS POR TIPO DE CAMIÓN

	CDA1W	CDA4M	CDG3S	CDM2S	CDP5M
Días de Entrega	L, M, V ¹	L, M, V	V ³	K, J ²	K, J
Tipo de Vehículo	Camión Tipo 1 y 2	Camión Tipo 1 y 2	Camión Tipo 1 y 2	Camión Tipo 1 y 2	Camión Tipo 1 y 2
Capacidad de Carga en Tarimas	12 y de 24 a 30	12 y de 24 a 30	12 y de 24 a 30	12 y de 24 a 30	12 y de 24 a 30

1 Lunes, Miércoles, y Viernes 2 Martes y Jueves 3 Viernes

La Tabla II muestra las cantidades mínimas, promedio y máximas de kilogramos de productos alimenticios que la empresa fabricante envió a los centros de distribución de las cadenas de supermercados por cada entrega realizada de acuerdo con el programa de entregas establecido en la Tabla I.

TABLA II
REQUERIMIENTOS EN KILOGRAMOS DE PRODUCTO POR ENTREGA A LAS CADENAS DE SUPERMERCADOS ENTRE LOS AÑOS 2024 Y 2025

	CDA1W	CDA4M	CDG3S	CDM2S	CDP5M
Mínima (Kg)	28	580	624	1 903	600
Promedio (Kg)	32 533	2 874	5 305	7 400	3 863
Máxima (Kg)	99 528	11 505	22 558	16 441	20 136

La Tabla III muestra un extracto de la base de datos de devoluciones realizadas por las cadenas de supermercados en kilogramos de productos devueltos.

La Tabla IV presenta la estructura de costos estimada por hora de operación de un camión. Q, 2023 indica que el recorrido medio de un camión de carga pesada se estima entre 2,5 a 3,5 kilómetros por litro de diésel consumido. Con respecto a la velocidad promedio de un camión de carga pesada no existen datos actualizados en Costa Rica. La información publicada más reciente data del año 2016. Sin embargo, Rodríguez, 2024 indica que el parque vehicular costarricense al año 2024 es de 231 vehículos por cada 1000

habitantes, basada en estadísticas oficiales del país, flotilla que se ha triplicado en los últimos 20 años indica el autor. Consecuentemente, para el cálculo de la velocidad promedio se han utilizado las plataformas tecnológicas disponibles proporcionando una velocidad promedio de viaje de 26 kilómetros por hora, tomando en cuenta la distancia y el tiempo de viaje por carretera de las rutas correspondientes.

TABLA III
REQUERIMIENTOS EN KILOGRAMOS DE PRODUCTO POR ENTREGA A LAS CADENAS DE SUPERMERCADOS ENTRE LOS AÑOS 2024 Y 2025

Fecha	Devoluciones en Kg Por Cadena de Supermercado				
	CDA4M	CDG2S	CDM2S	CDP5M	CDA1W
9/5/2024	0	0	0	0	5481
9/10/2024	0	0	386	0	0
9/16/2024	0	0	6	0	0
9/17/2024	0	15	0	0	0
9/19/2024	0	0	24	0	0
9/20/2024	0	0	16306	0	0
9/24/2024	0	0	0	607.36	0
9/27/2024	0	969	0	0	0
10/1/2024	0	6	0	0	0
10/4/2024	0	0	13	0	0
10/8/2024	0	0	0	0	5188
10/9/2024	0	0	0	0	675
10/10/2024	0	6	0	0	0
...					
7/30/2025	4367	0	0	0	0
7/31/2025	0	0	98	0	0
8/8/2025	0	40	0	0	0
8/13/2025	0	0	31	0	0
8/18/2025	0	0	34	0	0
8/20/2025	123	0	0	0	0

TABLA IV
ESTRUCTURA DEL COSTO TOTAL POR HORA DE OPERACIÓN DEL CAMIÓN

Componente de Costo Por Hora	Costo
Combustible	\$9.64 USD
Mantenimiento y Llantas	\$1.99 USD
Seguro y Depreciación	\$1.99 USD
Salarios	\$ 7.13 USD
Peajes	\$10.40 USD
Total	\$31.15 USD

III. METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL COSTO DE DEVOLUCIONES

La Fig. 4 resume la metodología utilizada para la construcción del modelo de simulación que permite el cálculo del costo de las devoluciones de productos desde los centros de distribución de los clientes.

La metodología de simulación establece en el paso dos el “Procesado y Normalización de Datos” como un camino previo al cálculo de los patrones de probabilidad de las cantidades de producto devueltas. Este paso metodológico

tiene varios objetivos entre los cuales se destacan prevenir las inconsistencias en la información, evitar anomalías en las operaciones, mejorar la integridad de los datos y mejorar la calidad del análisis y la toma de decisiones.

Banks et al., 2010 indican que los parámetros de demanda, tiempos, costos, devoluciones, flujos y niveles de inventario deben ser coherentes entre sí pues la simulación requiere datos integrados, especialmente cuando se combinan costos, inventarios y flujos logísticos. La falta de consistencia entre tablas o fuentes de datos produce modelos no válidos.

Law et al., 2015 enfatizan que la modelación de entradas (input modeling) es uno de los pasos más críticos de cualquier estudio de simulación. Señalan que los datos deben ser consistentes, completos y representativos, ya que cualquier error o inconsistencia se propaga al modelo y afecta los resultados.

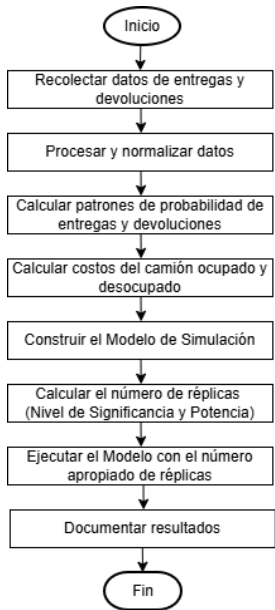


Fig. 4 Metodología de Simulación

Yanikara et al., 2014 establecen que debido a la incertidumbre en la cantidad, calidad y momento de las devoluciones, el diseño de una red de logística inversa impone desafíos adicionales a los de las cadenas de suministro tradicionales por lo que proponen una metodología basada en simulación que evalúa configuraciones de redes de logística inversa considerando las fuentes de incertidumbre y variabilidad relacionadas con las devoluciones de productos, el transporte y actividades como la clasificación y el procesamiento.

Para la especificación de los patrones de probabilidad de las devoluciones en cada una de las cadenas de supermercados estudiadas se procedió a realizar las pruebas de bondad de ajuste correspondientes a partir de los datos históricos proporcionados por los fabricantes. En el caso de las entregas

se utilizó el supuesto de que los datos siguen una distribución triangular. Véase el apartado “C. Supuestos del Modelo” para una explicación del uso de este supuesto sobre las cantidades entregadas a cada una de las cadenas de supermercados.

La Tabla V resume los patrones de probabilidad utilizados para generar el tamaño de las cantidades de producto devueltas y entregadas.

TABLA V
 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LAS ENTREGAS Y DEVOLUCIONES DE PRODUCTO

Cadena de Supermercados	Distribución de Probabilidad	
	Devoluciones	Entregas
CDA1W	Triangular (166,519,13600)	Triangular (28, 32533, 99528)
CDA4M	Exponencial (1360)	Triangular (580,2874,11505)
CDG3S	Weibull (85.8, 0.467)	Triangular (624,5305,22558)
CDM2S	Discreta (0.01, 3, 0.844, 5277, 0.906, 10550, 0.938, 15824, 0.969, 21097, 1.0, 26371)	Triangular (1903,7400,16441)
CDP5M	Triangular (125, 640, 861)	Triangular (600,3863,20136)

IV. MODELO DE SIMULACIÓN

A. Construcción del Modelo

La Fig. 5 muestra la lógica de modelado de simulación propuesto en la Fig. 2. El modelo de simulación comienza con el proceso de entrega de los pedidos a las cadenas de supermercados, y posteriormente si hay productos calificados para devolución se realiza la carga en el mismo camión que hizo las entregas y se devuelve al centro de distribución del fabricante donde se descargan para su deposición.

El propósito del modelo propuesto es evaluar la asignación de recursos de transporte y el impacto del tamaño de los pedidos sobre la utilización de la flota y la operación logística. El modelo se estructura como una secuencia de decisiones y actividades que reproducen el flujo real de despacho desde el origen hasta los centros de distribución de los clientes y viceversa.

El modelo de simulación diseñado inicia con la generación y caracterización del tamaño de los pedidos, expresado en número de tarimas a entregar. Esta variable constituye una entrada fundamental del modelo, ya que determina las decisiones posteriores relacionadas con la selección del tipo de camión y la cantidad de unidades de transporte requeridas. El tamaño del pedido puede variar entre clientes y periodos, permitiendo capturar la variabilidad inherente a la demanda.

Una vez definido el tamaño del pedido, el modelo incorpora una lógica de decisión para la asignación del tipo de camión, considerando dos configuraciones de capacidad: camiones con capacidad para 12 tarimas y camiones de mayor capacidad, comprendida entre 24 y 30 tarimas.

La selección del vehículo se realiza en función del volumen del pedido, buscando un uso eficiente de la capacidad de transporte disponible. En los casos en que el tamaño del pedido excede la capacidad máxima de un solo camión, el modelo determina de manera automática el número de camiones necesarios para completar la entrega. Esta lógica permite simular despachos y devoluciones compuestos por múltiples unidades de transporte, asegurando que las restricciones de capacidad sean respetadas y que el pedido sea entregado en su totalidad.

El simulador de Arena®, el cual es una marca registrada de Rockwell Automation, Inc. fue seleccionado para simular el cálculo de los costos de la logística inversa.

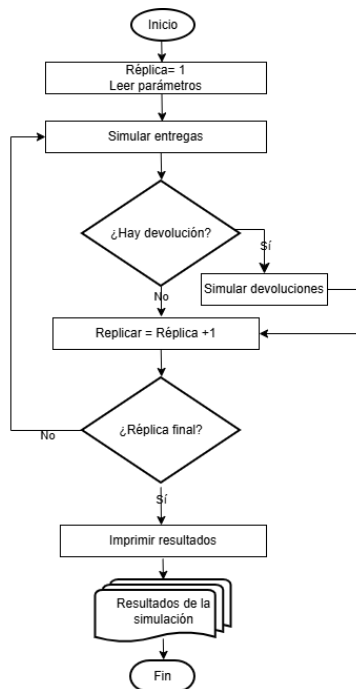


Fig. 5 Lógica del Modelo de Simulación

Arena es particularmente adecuado para la simulación de sistemas de logística inversa debido a su capacidad para modelar flujos de devolución complejos y no lineales, incorporar la variabilidad estocástica inherente a los procesos de retorno y realizar una evaluación detallada del desempeño de las operaciones de logística inversa basada en costos.

La Fig. 6 muestra un extracto del modelo de simulación desarrollado en el simulador de Arena. En este segmento el simulador toma la decisión de enviar un camión con capacidad para 12 tarimas o bien uno con capacidad de 24

a 30 tarimas. Esta decisión la toma en función del tamaño de la carga a devolver.

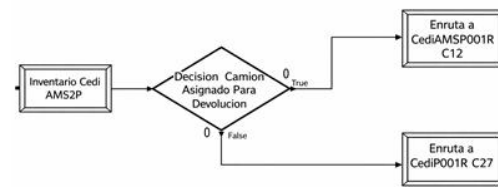


Fig. 6 Extracto del Modelo de Simulación Desarrollado en Arena

B. Número de Réplicas

Para el cálculo del número apropiado de réplicas se hizo una corrida preliminar de 10 réplicas. La gráfica de normalidad mostrada en la Fig. 7 indica que al 95% de confianza existe evidencia suficiente para creer que los datos de costo total de las devoluciones se comportan de manera normal.

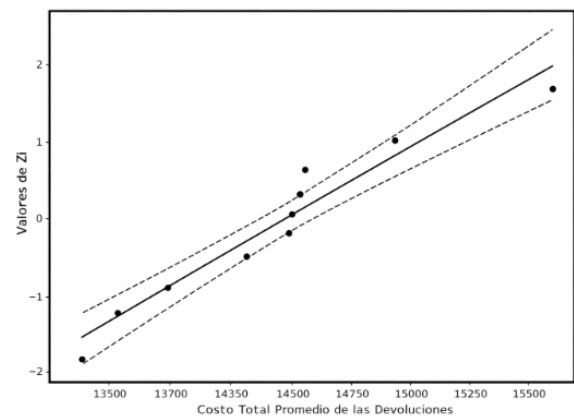


Fig. 7. Gráfica de Probabilidad del Costo de las Devoluciones en la Corrida Preliminar

Aún más, una prueba de normalidad de Shapiro Wilks de 95% de confianza indica que hay evidencia suficiente para creer que los datos siguen una distribución normal, con un valor P de 0.599. Con base en este resultado y para un nivel de significancia de 5% y una potencia de la prueba de 90% los datos indican que se requieren 237 réplicas para alcanzar un error máximo de estimación de 120 dólares en la estimación del costo total promedio de las devoluciones. Para efectos de este trabajo se realizaron en total 240 réplicas.

C. Supuestos del Modelo

Los datos disponibles para el análisis de tiempos de entrega se limitaron exclusivamente a tres estimaciones proporcionadas por los fabricantes: el valor mínimo, el valor más probable y el valor máximo de las cantidades entregadas a las cadenas de supermercados. Ante la ausencia de una base de

datos más amplia o de una distribución empírica que permitiera ajustar un modelo probabilístico más complejo, se optó por emplear una distribución triangular, dado que esta se construye precisamente a partir de esos tres parámetros. Esta distribución resulta especialmente adecuada en contextos donde la información es limitada pero se cuenta con estimaciones expertas que permiten acotar el comportamiento de la variable. En consecuencia, su utilización garantiza coherencia metodológica y aprovecha de manera óptima los datos disponibles para representar la incertidumbre asociada a los tiempos de entrega. Ver Distribución triangular, s. f., 2026.

V. RESULTADOS OBTENIDOS

La Fig. 8 resume el comportamiento de los costos totales de las devoluciones los cuales incluyen los costos totales de valor no agregado por carga y descarga de productos devueltos, así como los costos totales de transporte que incluye los costos descritos en la Tabla IV. Una prueba de bondad de ajuste de Shapiro Wilks indica que los costos totales de las devoluciones mostrados en la Fig. 8 se comportan de manera normal con un valor P de 0.77. La Fig. 9 muestra el histograma de frecuencias con ajuste normal de los datos de costo total de devoluciones simulados, lo cual ratifica los hallazgos encontrados con la prueba de Shapiro Wilks.

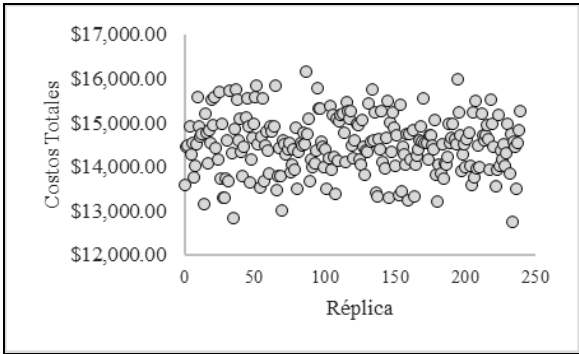


Fig. 8 Comportamiento de los Costos Totales de Devoluciones

Con el propósito de cuantificar el comportamiento económico de los costos asociados a las devoluciones de productos alimenticios, se ejecutaron 240 réplicas independientes del modelo de simulación. Este tamaño muestral permite obtener estimaciones estadísticamente robustas del desempeño del sistema de logística inversa bajo condiciones operativas variables, según se indicó en la sección de cálculo del número de réplicas.

La Tabla VI muestra los estadísticos descriptivos correspondientes de los resultados de la simulación. La baja magnitud del error estándar obtenido sugiere que el número de réplicas ejecutadas es suficiente para garantizar la estabilidad estadística del estimador, reduciendo la incertidumbre

asociada a la variabilidad inherente de los procesos logísticos inversos.

El costo promedio estimado de devoluciones fue de \$14,486.06, con un error estándar de \$41.55, lo que indica una alta precisión en la estimación del parámetro poblacional.

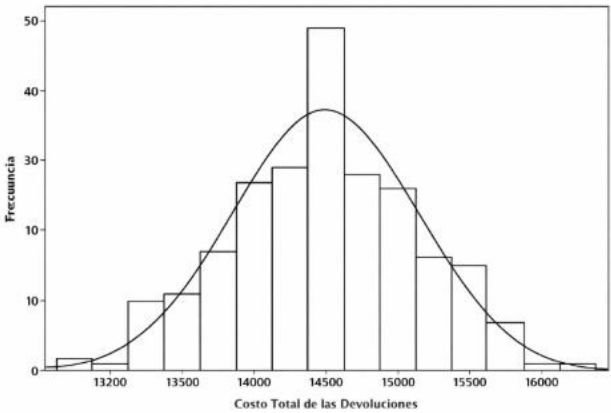


Fig. 9 Comportamiento de los Costos Totales de Devoluciones

TABLA VI
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS COSTOS
SIMULADOS DE DEVOLUCIONES

Medida	Valor
Promedio	\$14,486.06
Error Estándar	\$41.55
Mediana	\$14,497.13
Coefficiente de Variación	4.44%
Desviación Estándar	\$643.66
Varianza de la Muestra	\$414,299.42
Curtosis	-0.20
Coefficiente de Asimetría	-0.05
Cuartil 1	\$14,032.04
Cuartil 3	\$14,914.04
Rango Intercuartílico	\$882.00
Mínimo	\$12,728.33
Máximo	\$16,154.59
Número de Réplicas	240
Nivel de Confianza (95.0%)	\$81.85
Límite Inferior de Confianza	\$14,404.21
Límite Superior de Confianza	\$14,567.90

El intervalo de confianza de 95% para el costo promedio de las devoluciones se ubicó entre \$14,404.21 y \$14,567.90, con una amplitud total de \$163.69. Este resultado confirma la consistencia del modelo y permite establecer rangos confiables para la planeación financiera del proceso de devoluciones dentro de la cadena de suministro.

En términos de dispersión, la desviación estándar observada fue de \$643.66, mientras que el coeficiente de

variación alcanzó un valor de 4.44%. Estos resultados indican que, aunque existen fluctuaciones en los costos de devoluciones, el sistema presenta un comportamiento relativamente estable, lo cual es consistente con sistemas logísticos donde las devoluciones dependen de variables estocásticas controladas, tales como tasas de caducidad, daños por manipulación, errores de surtido y variabilidad en la demanda.

El análisis de la forma de la distribución muestra un coeficiente de asimetría de -0.05 y una curtosis de -0.20, valores que sugieren una distribución aproximadamente normal con ligera tendencia platicúrtica. Esto implica una menor probabilidad de ocurrencia de eventos extremos, reduciendo el riesgo financiero asociado a picos inesperados en los costos de devoluciones.

El análisis por cuantiles muestra que el rango intercuartílico fue de \$882.00, con valores de Q1 y Q3 iguales a \$14,032.04 y \$14,914.04, respectivamente. Este resultado indica que el 50% central de los escenarios simulados se concentra en un intervalo relativamente estrecho alrededor del promedio, reforzando la predictibilidad del sistema.

Aún más, el rango total observado del costo de las devoluciones varió entre \$12,728.33 y \$16,154.59, lo cual permite identificar los límites operativos del sistema bajo las condiciones modeladas y sirve como referencia para análisis de escenarios de estrés financiero.

La Fig. 10 muestra el porcentaje del costo que representan las devoluciones con respecto al costo total del Transporte.

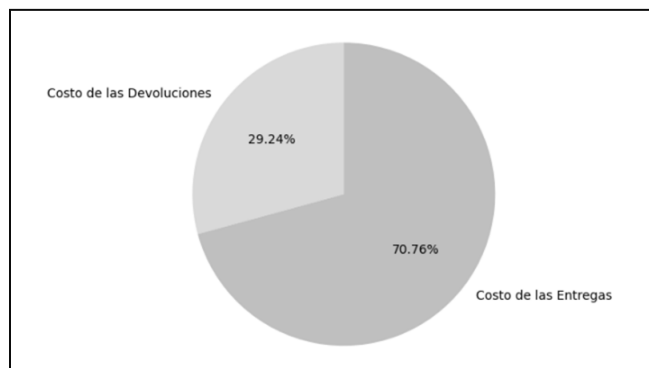


Fig. 10 Porcentaje del Costo de las Devoluciones con Respecto al Costo Total de Transporte

El gráfico anterior muestra que el costo de las devoluciones representa el 29.24% del costo total del sistema de transporte, el cual constituye un componente económicamente significativo dentro de la estructura logística analizada. Aunque en términos absolutos el costo de las entregas mantiene la mayor participación (70.76%), resulta particularmente relevante que casi una tercera parte del gasto

total esté asociada a flujos de devoluciones o flujos inversos. Desde la perspectiva de las cadenas de suministro en supermercados, esta proporción confirma que la logística inversa no puede considerarse una actividad secundaria o marginal. Las devoluciones derivadas de caducidad, daños en manipulación, errores de surtido o variabilidad en la demanda generan una carga operativa sustancial que impacta directamente la eficiencia global del sistema de transporte. La magnitud observada sugiere que las decisiones relacionadas con políticas de devolución, gestión de inventarios y coordinación con proveedores influyen de manera determinante en el desempeño económico de la red logística.

Finalmente, en términos estratégicos, la reducción incluso moderada del costo asociado a devoluciones podría traducirse en mejoras proporcionales en el costo total del sistema. Por tanto, el análisis cuantitativo del peso relativo de las devoluciones proporciona un fundamento significativo para priorizar iniciativas de optimización en la logística inversa dentro del sector minorista alimentario.

VI. CONCLUSIONES

Los resultados de la simulación evidencian una estimación robusta del costo promedio de devoluciones de productos alimenticios, respaldada por un bajo error estándar y un intervalo de confianza de 95% de confianza estrecho, confirmando la estabilidad estadística del modelo y su idoneidad como herramienta cuantitativa para la evaluación de costos en sistemas de logística inversa.

El coeficiente de variación de 4.44% refleja una baja dispersión relativa de los costos simulados, lo que evidencia que el sistema de logística inversa presenta un comportamiento operativo consistente bajo las condiciones modeladas, facilitando procesos de planificación y toma de decisiones basados en escenarios predecibles.

Los coeficientes de asimetría y curtosis cercanos a cero indican que la distribución de los costos simulados es aproximadamente normal, lo que respalda la validez estadística del modelo y permite la aplicación rigurosa de técnicas paramétricas en el análisis de los resultados.

La concentración de los valores alrededor de la media, junto con un rango intercuartílico moderado, sugiere que el sistema no presenta variaciones extremas frecuentes en los costos de devoluciones, lo que fortalece la confiabilidad del desempeño económico del proceso de logística inversa evaluado mediante simulación.

El Costo de las Devoluciones representa el 29.24% del costo total del sistema de transporte, lo cual confirma que

la logística inversa constituye un componente estructural dentro de la red de distribución analizada.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a Gonzalo Araya Umaña, PhD, por facilitar el acceso a la información requerida para el desarrollo del estudio. Asimismo, se agradece a Alfonso Azofeifa Palavicini por su apoyo durante la fase de gestión, seguimiento y facilitación del acceso oportuno a la información solicitada.

REFERENCIAS

- [1] M. Mbago, J. M. Ntayi, M. Mkansi, S. Namagembe, B. R. Tukamuhabwa, y N. Mwelu, "Implementing reverse logistics practices in the supply chain: a case study analysis of recycling firms", *Mod. Supply Chain Res. Appl.*, vol. 7, núm. 2, 2025, doi: 10.1108/MS CRA-01-2025-0003.
- [2] Banguera, Leonardo, Carlos Barreto, Otto Vasquez, and Rina Nicola. "The Importance of Reverse Logistics and Green Logistics for Sustainability in Supply Chains." *Journal of Business and Entrepreneurial Studie* 7 (October 2023): 46–72. <https://doi.org/10.37956/jbes.v7i4.351>.
- [3] J. E. R. Sánchez, M. L. González-Illescas, y L. P. C. Fuentes, "La logística inversa como estrategia de diferenciación para los mercados dinámicos", *INNOVA Res. J.*, vol. 5, núm. 2, pp. 140–156, may 2020, doi: 10.33890/innova.v5.n2.2020.1291.
- [4] Issah, O., Agboyi, R., Obiri -Yeboah, H., & Adarkwa, A. (2024). Reverse Logistics Practices and Organizational Performance. The Moderating Role of Organizational Learning Capabilities. *International Journal of Supply Chain and Logistics*, 8, 60-84. <https://doi.org/10.47941/ijsc1.2404>
- [5] M. Wang, B. Wang, y R. Chan, "Reverse logistics uncertainty in a courier industry: a triadic model", *Mod. Supply Chain Res. Appl.*, vol. 3, núm. 1, pp. 56–73, 2021, doi: 10.1108/MS CRA-10-2020-0026.
- [6] H. Moheb-Alizadeh, A. H. Sadeghi, A. S. fakhrrabad, M. K. Jaunich, E. Kemahlioglu-Ziya, y R. B. Handfield, "Reverse Logistics Network Design to Estimate the Economic and Environmental Impacts of Take-back Legislation: A Case Study for E-waste Management System in Washington State", el 24 de enero de 2023, arXiv: arXiv:2301.09792. doi: 10.48550/arXiv.2301.09792.
- [7] Y. Fernando, M. S. Shaharudin, y A. Z. Abideen, "Circular economy-based reverse logistics: dynamic interplay between sustainable resource commitment and financial performance.", *Eur. J. Manag. Bus. Econ.*, vol. 32, núm. 1, pp. 91–112, ene. 2023, doi: 10.1108/EJMBE-08-2020-0254.
- [8] J. R. Huscroft, B. T. Hazen, D. J. Hall, y J. B. Hanna, "Task-technology fit for reverse logistics performance", *Int. J. Logist. Manag.*, vol. 24, núm. 2, pp. 230–246, 2013, doi: 10.1108/IJLM-02-2012-0011.
- [9] C. Toledo Hernández, R. Cespón Castro, F. A. Silva Marins, y J. A. Rodríguez Durán, "USING THE ANALYTIC NETWORK PROCESS TO EVALUATE THE RELATION BETWEEN REVERSE LOGISTICS AND CORPORATE PERFORMANCE IN BRAZILIAN COMPANIES.", *Investig. Oper.*, vol. 33, núm. 1, pp. 13–22, feb. 2012.
- [10] S. Kara, F. Rugrungruang, y H. Kaebemick, "Simulation modelling of reverse logistics networks", *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 106, núm. 1, pp. 61–69, mar. 2007, doi: 10.1016/j.ijpe.2006.04.009.
- [11] M. Lieder, T. Tryggvadottir, y F. M. A. Asif, "Simulation Models for Reverse Logistics Decisions: Insights from a Case Study of Diesel Particulate Filter Remanufacturing", *J. Circ. Econ.*, vol. 3, núm. 1, feb. 2025, doi: 10.55845/EWRV7492.
- [12] A. Labelle y J.-M. Frayret, "First-mile reverse logistics: An agent-based modelling and simulation application for glass bottle recovery", *J. Clean. Prod.*, vol. 422, p. 138574, oct. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.138574.
- [13] E. Bottani, R. Montanari, y M. Rinaldi, "Simulation and performance improvement of a reverse logistics system for waste electrical and electronic equipment: a case study in Italy", *Int. J. Simul. Process Model.*, vol. 14, núm. 3, pp. 308–323, ene. 2019, doi: 10.1504/IJSPM.2019.101037.
- [14] P. Georgiadis y D. Vlachos, "Decision making in reverse logistics using system dynamics", *Yugosl. J. Oper. Res.*, vol. 14, núm. 2, pp. 259–272, sep. 2004, doi: 10.2298/YJOR0402259G.
- [15] R. Abbate et al., "Agent-Based and Discrete-Event Simulation of Reverse Logistics: A Case Study from the SIIP Project", *IFAC-Pap.*, vol. 59, núm. 10, pp. 891–896, ene. 2025, doi: 10.1016/j.ifacol.2025.09.151.
- [16] O. Schiffmann, B. Hicks, A. Nassehi, J. Gopsill, y M. Valero, "A Cost-Benefit Analysis Simulation for the Digitalisation of Cold Supply Chains", *Sensors*, vol. 23, núm. 8, p. 4147, abr. 2023, doi: 10.3390/s23084147.
- [17] C. Kandemir et al., "Using discrete event simulation to explore food wasted in the home", *J. Simul.*, vol. 16, núm. 4, pp. 415–435, jul. 2022, doi: 10.1080/17477778.2020.1829515.
- [18] F. S. Yanikara, "A simulation-based methodology to compare reverse logistics system configurations considering uncertainty", M.S., 2016. Consultado: el 3 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.proquest.com/pq1academic/docview/1802783425/abstract/8DAC437ADF83489DPQ/7>
- [19] Bajor, I., Babić, D., & Průša, P. (2014). Reverse logistics simulation modelling. *16th International Conference on Harbor, Maritime and Multimodal Logistics Modelling and Simulation, HMS 2014*, 146–153. https://www.researchgate.net/publication/288223294_Reverse_logistics_simulation_modelling
- [20] Q, O. (2023, enero 30). Consumo de diésel de un camión por kilómetro: ¿este es su cálculo! Ubícalo®. <https://www.ubicalo.com.mx/blog/consumo-de-diesel-por-kilometro/>
- [21] Rodríguez, J. (2024). Flotilla vehicular se triplica en 20 años. *Diario Extra*
- [22] Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-Event System Simulation*. Prentice-Hall. <http://www.worldcat.org/oclc/427956811>
- [23] Law, A. M., & Kelton, W. D. (2015). *Simulation Modeling and Analysis* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- [24] Yanikara, F. S., Kuhl, M. E., & Thorn, B. K. (2014). Comparing Reverse Logistics Network Configurations Using Simulation. *IISE Annual Conference. Proceedings*, 2864-2873.
- [25] Distribución triangular. (s. f.). [Mtbtopic]. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/supporting-topics/distributions/triangular-distribution/>