

Optimización integral del desempeño logístico y financiero mediante la gestión de riesgos de seguridad y salud ocupacional en entornos industriales urbanos: evidencia en la ciudad de Panamá

Integrated Optimization of Logistics and Financial Performance through the Management of Occupational Health and Safety Risks in Urban Industrial Environments: Evidence from Panama City

Carlos Chen¹, Alexis Chen², Miguel Pandales³, José Luis Georget⁴, Michael Castillo⁵ y Alex Blandford⁶

¹Universidad de Panamá, carlos.chen@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0001-9288-6635>, Panamá

²Universidad de Panamá, alexis.chen@up.ac.pa, <https://orcid.org/0009-0008-8297-5552>, Panamá

³Universidad de Panamá, miguel-a.pandales-d@up.ac.pa, <https://orcid.org/0009-0006-8658-2567>, Panamá

⁴Universidad de Panamá, jose.georget-j@up.ac.pa, <https://orcid.org/0009-0000-1232-2814>, Panamá

⁵Universidad de Panamá, michael.castillo-g@up.ac.pa, <https://orcid.org/0009-0007-0466-863X>, Panamá

⁶Universidad de Panamá, alex-a.blandford-c@up.ac.pa, <https://orcid.org/0009-0000-4836-8814>, Panamá

Información del Artículo

Trazabilidad:

Recibido 27-02-2026

Revisado 02-03-2026

Aceptado 31-03-2026

Palabras Clave:

Logística urbana

Seguridad y salud ocupacional

Desempeño financiero

Optimización multiobjetivo

Gestión de riesgos

Keywords:

Urban logistics

Occupational health and safety

Financial performance

Multi-objective optimization

Risk management

RESUMEN

La creciente complejidad de los entornos industriales urbanos ha intensificado los desafíos asociados a la eficiencia logística, la sostenibilidad financiera y la gestión de riesgos laborales. En este contexto, la seguridad y salud ocupacional (SSO) ha sido tradicionalmente abordada como un requisito normativo, sin integrarse de manera sistemática en los modelos de optimización del desempeño organizacional, lo que limita la capacidad de las empresas para gestionar de forma integral su productividad y rentabilidad (International Labour Organization [ILO], 2019; World Health Organization [WHO], 2022). El presente estudio tiene como objetivo optimizar el desempeño logístico y financiero mediante la integración de riesgos de SSO en entornos industriales urbanos, tomando como caso de estudio la ciudad de Panamá. Metodológicamente, la investigación adopta un enfoque cuantitativo, explicativo y aplicado, basado en la formulación de un modelo de optimización multiobjetivo que integra variables logísticas, financieras y de riesgo ocupacional. Asimismo, se emplea simulación Monte Carlo para modelar la incertidumbre asociada a los incidentes laborales y su impacto en los costos operativos, tiempos de entrega y rentabilidad (Bevilacqua et al., 2017; Ivanov, 2020). Los resultados esperados indican que la incorporación de variables de SSO en los procesos de toma de decisiones permite reducir los costos asociados a interrupciones operativas, mejorar los tiempos de entrega y aumentar el nivel de servicio, generando un impacto positivo en la rentabilidad organizacional. En particular, la disminución de la frecuencia y severidad de incidentes laborales contribuye significativamente al incremento del retorno sobre la inversión (ROI) y a la estabilidad del sistema logístico (Aven, 2016; Levi et al., 2018). El estudio aporta un enfoque interdisciplinario que articula ingeniería industrial, logística, gestión del riesgo y finanzas, contribuyendo al desarrollo de modelos integrados para la toma de decisiones en sistemas complejos, especialmente en contextos urbanos emergentes como Panamá.

ABSTRACT

The increasing complexity of urban industrial environments has intensified challenges related to logistics efficiency, financial sustainability, and occupational risk management. Occupational health and safety (OHS) has traditionally been treated as a regulatory requirement rather than as a strategic variable in decision-making models, limiting its integration into logistics and financial optimization frameworks (International Labour Organization [ILO], 2019; World Health Organization [WHO], 2022). This study aims to optimize

logistics and financial performance through the integration of OHS risk management in urban industrial environments, using Panama City as a case study. Methodologically, the research adopts a quantitative, explanatory, and applied approach based on a multi-objective optimization model that incorporates logistics, financial, and occupational risk variables. Additionally, Monte Carlo simulation is employed to model the uncertainty associated with workplace incidents and their impact on operating costs, delivery times, and profitability (Bevilacqua et al., 2017; Ivanov, 2020). The expected results suggest that incorporating OHS variables into decision-making processes reduces costs associated with operational disruptions, improves delivery times, and enhances service levels, generating a positive impact on organizational profitability. Reducing the frequency and severity of occupational incidents contributes significantly to increasing return on investment (ROI) and improving system stability (Aven, 2016; Levi et al., 2018). This study provides an interdisciplinary framework that integrates industrial engineering, logistics, risk management, and finance, contributing to the development of advanced decision-making models in complex systems, particularly in emerging urban contexts such as Panama.

INTRODUCCIÓN

Contexto global, regional y Panamá

En las últimas décadas, las redes logísticas han experimentado una transformación significativa impulsada por la urbanización, la globalización del comercio y la creciente demanda de eficiencia en la distribución de bienes. Las ciudades se han convertido en nodos críticos dentro de las cadenas de suministro, donde la logística urbana desempeña un papel fundamental en la competitividad económica y la sostenibilidad organizacional (Gevaers et al., 2014; World Bank, 2021). Sin embargo, este crecimiento ha venido acompañado de mayores niveles de complejidad operativa, congestión, presión por tiempos de entrega y exposición a riesgos laborales.

A nivel global, la seguridad y salud ocupacional (SSO) representa un desafío estructural para los sistemas productivos. Según la International Labour Organization (ILO, 2019), cada año ocurren más de 2.7 millones de muertes relacionadas con el trabajo, mientras que millones de trabajadores sufren lesiones o enfermedades ocupacionales que afectan la productividad y generan costos económicos significativos. Asimismo, la World Health Organization (WHO, 2022) destaca que los riesgos laborales impactan directamente en la eficiencia operativa y la sostenibilidad de las organizaciones.

En América Latina, los sistemas logísticos urbanos enfrentan limitaciones adicionales relacionadas con infraestructura, informalidad laboral y debilidades en la gestión del riesgo, lo que incrementa la vulnerabilidad de los trabajadores y de las operaciones logísticas (CAF, 2020). En este contexto, la ciudad de Panamá se posiciona como un hub logístico estratégico en la región, debido a su conectividad interoceánica, infraestructura portuaria y dinamismo comercial. No obstante, el crecimiento urbano acelerado, la congestión vial y la intensificación de actividades logísticas han incrementado la exposición a riesgos de SSO, especialmente en operaciones de transporte, distribución y mantenimiento.

Problema de investigación

A pesar de la relevancia de la SSO en los sistemas productivos, los modelos tradicionales de optimización logística han priorizado variables como costos, tiempos de entrega y nivel de servicio, dejando en segundo plano la incorporación de riesgos laborales como un componente estratégico del sistema. Esta omisión limita la capacidad de las organizaciones para gestionar de manera integral su desempeño, dado que los incidentes laborales generan impactos directos e indirectos sobre la continuidad operativa, los costos logísticos y la rentabilidad (Aven, 2016; Levi et al., 2018).

En entornos industriales urbanos, donde las operaciones logísticas se desarrollan bajo condiciones de alta presión y variabilidad, la falta de integración de la SSO en los modelos de decisión puede generar ineficiencias sistémicas, incrementando la probabilidad de interrupciones operativas, pérdidas económicas y deterioro del desempeño organizacional.

Brecha científica

La literatura científica ha avanzado significativamente en el estudio de la optimización logística y la resiliencia de las cadenas de suministro (Ivanov, 2020; Ivanov & Dolgui, 2021). Sin embargo, existe una brecha importante en la integración de modelos que incorporen de manera simultánea:

- Variables logísticas (costos, tiempos, nivel de servicio)
- Variables financieras (rentabilidad, costos operativos)
- Riesgos de seguridad y salud ocupacional
- Incertidumbre asociada a eventos laborales

La mayoría de los estudios abordan estos elementos de manera aislada, lo que limita la comprensión del sistema desde una perspectiva integral y multidisciplinaria.

Justificación

La integración de la SSO en los modelos de optimización logística representa un avance significativo tanto desde el punto de vista teórico como práctico. Desde una perspectiva académica, permite ampliar el marco conceptual de la ingeniería industrial y la logística hacia enfoques más sistémicos que incorporan el factor humano como elemento central del desempeño organizacional.

Desde el punto de vista práctico, la incorporación de la SSO como variable estratégica permite a las organizaciones reducir riesgos, optimizar recursos y mejorar su desempeño financiero. En contextos como Panamá, donde la logística urbana es un pilar del desarrollo económico, este enfoque resulta especialmente relevante para fortalecer la competitividad y sostenibilidad del sector.

Objetivo general

Optimizar el desempeño logístico y financiero mediante la integración de riesgos de seguridad y salud ocupacional en entornos industriales urbanos en la ciudad de Panamá.

Objetivos específicos

- Identificar los principales riesgos de SSO en entornos industriales urbanos
- Analizar el impacto de los incidentes laborales en el desempeño logístico
- Evaluar la relación entre riesgos de SSO y desempeño financiero
- Diseñar un modelo de optimización multiobjetivo
- Simular escenarios de incertidumbre mediante técnicas probabilísticas

Hipótesis de investigación

H1: La integración de variables de seguridad y salud ocupacional en modelos de optimización logística mejora significativamente el desempeño logístico y financiero en entornos industriales urbanos.

H0: La integración de variables de seguridad y salud ocupacional no tiene un efecto significativo sobre el desempeño logístico y financiero.

Cierre de la introducción (enfoque del estudio)

En respuesta a esta problemática, el presente estudio propone un enfoque interdisciplinario basado en la integración de la optimización multiobjetivo y la simulación Monte Carlo, con el fin de modelar la interacción entre variables logísticas, financieras y de seguridad laboral bajo condiciones de incertidumbre. Este enfoque permite generar herramientas avanzadas para la toma de decisiones en sistemas logísticos urbanos complejos, contribuyendo al desarrollo de modelos más robustos, resilientes y sostenibles.

Fundamentos teóricos

Teoría de la optimización en ingeniería industrial

La optimización constituye uno de los pilares fundamentales de la ingeniería industrial, orientada a la toma de decisiones eficientes mediante la asignación óptima de recursos limitados. En entornos complejos, caracterizados por múltiples objetivos en conflicto, la optimización multiobjetivo permite abordar simultáneamente criterios como costo, tiempo, calidad y riesgo, proporcionando soluciones balanceadas (Hillier & Lieberman, 2021). Este enfoque resulta especialmente relevante en sistemas logísticos urbanos, donde las decisiones deben considerar múltiples variables interdependientes bajo condiciones de incertidumbre.

Teoría de la logística y cadena de suministro

La logística urbana forma parte integral de la cadena de suministro, particularmente en la etapa de distribución de última milla, la cual representa uno de los segmentos más costosos y complejos del sistema logístico (Gevaers et al., 2014). Desde la perspectiva de la gestión de la cadena de suministro, el desempeño logístico se evalúa a través de indicadores como el costo logístico, el tiempo de entrega y el nivel de servicio (Christopher & Peck, 2004).

En este contexto, la resiliencia de la cadena de suministro ha emergido como un concepto clave, definido como la capacidad del sistema para resistir, adaptarse y recuperarse ante disrupciones (Ivanov, 2020). No obstante, gran parte de los estudios se han enfocado en riesgos externos, como eventos climáticos o fallas de infraestructura, dejando de lado los riesgos internos asociados a la seguridad laboral.

Teoría de la seguridad y salud ocupacional (SSO)

La seguridad y salud ocupacional se centra en la identificación, evaluación y control de riesgos laborales con el objetivo de proteger la integridad física y mental de los trabajadores. De acuerdo con la International Labour Organization (ILO, 2019), los accidentes laborales generan pérdidas significativas en términos de productividad, costos directos e indirectos y sostenibilidad organizacional.

Desde un enfoque sistémico, la SSO no solo debe ser considerada como un requisito normativo, sino como un elemento estratégico que influye directamente en el desempeño operativo y financiero de las organizaciones (World Health Organization [WHO], 2022). La gestión adecuada de los riesgos laborales permite reducir interrupciones operativas, mejorar la eficiencia y fortalecer la resiliencia organizacional.

Teoría del riesgo y desempeño financiero

La teoría del riesgo operacional establece que los eventos adversos, como los incidentes laborales, generan impactos económicos significativos que afectan la estabilidad financiera de las organizaciones (Aven, 2016). Estos impactos incluyen costos directos (indemnizaciones, atención médica) e indirectos (pérdida de productividad, interrupciones operativas, deterioro reputacional).

Estudios recientes han demostrado que la gestión efectiva del riesgo puede mejorar indicadores financieros como el retorno sobre la inversión (ROI) y la rentabilidad, al reducir la incertidumbre y optimizar el uso de recursos (Levi et al., 2018).

Estudios previos (internacionales y Panamá)

A nivel internacional, diversos estudios han abordado la relación entre logística, riesgo y desempeño organizacional. Ivanov (2020) propone modelos de cadenas de suministro viables que integran resiliencia, agilidad y sostenibilidad, destacando la importancia de considerar múltiples dimensiones del riesgo. Asimismo, Ivanov y Dolgui (2021) desarrollan el concepto de “digital supply chain twin”, que permite simular escenarios complejos y evaluar el impacto de disrupciones en tiempo real.

En el ámbito de la simulación, Bevilacqua et al. (2017) demuestran la utilidad de la simulación Monte Carlo para modelar la incertidumbre en sistemas industriales, permitiendo evaluar la variabilidad de los resultados y mejorar la toma de decisiones.

En América Latina, los sistemas logísticos urbanos presentan vulnerabilidades estructurales asociadas a infraestructura, informalidad y gestión del riesgo (CAF, 2020). En el caso de Panamá, investigaciones recientes evidencian la exposición del sistema logístico a múltiples riesgos operativos; sin embargo, existe una limitada evidencia empírica que integre la seguridad y salud ocupacional dentro de modelos de optimización logística y financiera (Ulloa et al., 2024).

Definición de variables

La variable independiente del estudio corresponde a la gestión de riesgos de seguridad y salud ocupacional (SSO), la cual se operacionaliza a través de indicadores como la frecuencia de accidentes, la severidad de los incidentes y el nivel de exposición al riesgo.

Por su parte, las variables dependientes se agrupan en dos dimensiones principales. La primera corresponde al desempeño logístico, medido mediante indicadores como el costo logístico total, el tiempo de entrega y el nivel de servicio. La segunda dimensión corresponde al desempeño financiero, evaluado a través de la rentabilidad, el retorno sobre la inversión (ROI) y los costos operativos.

Desarrollo del modelo conceptual

El modelo conceptual propuesto establece una relación sistémica en la cual la gestión de riesgos de SSO actúa como un factor determinante del desempeño logístico y financiero. La reducción de accidentes laborales contribuye a disminuir los costos operativos y las interrupciones en los procesos logísticos, lo que a su vez mejora el nivel de servicio y la eficiencia del sistema.

Asimismo, la estabilidad operativa derivada de una adecuada gestión de la SSO permite optimizar el uso de recursos, generando un impacto positivo en la rentabilidad organizacional. Este enfoque se fundamenta en la Teoría General de Sistemas (Bertalanffy, 1968), la cual concibe a las organizaciones como sistemas abiertos donde los distintos componentes interactúan de manera dinámica.

Modelo integrado propuesto

El modelo teórico integra tres dimensiones fundamentales: la dimensión operativa (logística), la dimensión de riesgo (SSO) y la dimensión financiera. Estas dimensiones se articulan mediante un enfoque de optimización multiobjetivo y simulación probabilística, permitiendo analizar el comportamiento del sistema bajo condiciones de incertidumbre.

Cierre del marco teórico

En síntesis, la literatura revisada evidencia la necesidad de integrar la seguridad y salud ocupacional dentro de los modelos de optimización logística y financiera, superando los enfoques tradicionales que analizan estas variables de forma aislada. Esta integración permite avanzar hacia modelos más robustos y realistas, capaces de capturar la complejidad de los entornos industriales urbanos y mejorar la toma de decisiones estratégicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque metodológico

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y alcance explicativo, orientado a analizar la relación entre la gestión de riesgos de seguridad y salud ocupacional (SSO) y el desempeño logístico y financiero en entornos industriales urbanos. Este enfoque permite establecer relaciones causales entre variables y modelar su comportamiento bajo condiciones de incertidumbre (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Asimismo, el estudio incorpora un enfoque interdisciplinario, integrando principios de ingeniería industrial, logística, gestión del riesgo y finanzas, lo cual resulta consistente con investigaciones recientes en sistemas complejos y cadenas de suministro (Ivanov, 2020).

Tipo y diseño de investigación

El diseño de la investigación corresponde a un estudio:

- **No experimental**, al no manipular directamente las variables
- **Transversal**, basado en datos representativos de condiciones actuales
- **Analítico-explicativo**, al evaluar relaciones causales entre variables
- **Basado en simulación**, mediante el uso de modelos probabilísticos

Este tipo de diseño es ampliamente utilizado en estudios de optimización logística y análisis de riesgo (Ivanov & Dolgui, 2021).

Población y muestra (Panamá)

La población de estudio está conformada por las **operaciones logísticas urbanas en la ciudad de Panamá**, incluyendo:

- Empresas de distribución y transporte
- Centros logísticos y almacenes
- Talleres de mantenimiento industrial

Considerando la estructura del sector logístico en Panamá y la disponibilidad de información, se estima una población aproximada de $N \approx 120$ unidades operativas relevantes.

La muestra se determina mediante un enfoque no probabilístico intencional, seleccionando $n = 35$ unidades operativas, bajo criterios de:

- Intensidad logística
- Nivel de exposición a riesgos laborales
- Accesibilidad de datos

Este enfoque es adecuado en contextos donde el acceso a información es limitado y se requiere un análisis especializado (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se emplean las siguientes técnicas:

- Encuestas estructuradas (escala Likert de 5 puntos)
- Revisión documental (registros operativos y reportes de incidentes)

- Análisis de datos secundarios (costos logísticos y financieros)

El instrumento se diseña en función de las variables del estudio, incluyendo indicadores de SSO, desempeño logístico y desempeño financiero.

Validación del instrumento

La validez de contenido se establece mediante el método de Lawshe (1975), ajustado por Tristán (2008), a través de un panel de expertos en logística, SSO e ingeniería industrial.

Se calcula el índice de validez de contenido (IVC), considerando valores aceptables superiores a 0.58, lo que garantiza la pertinencia de los ítems del instrumento.

Confiabilidad del instrumento

La confiabilidad se evalúa mediante el coeficiente Alpha de Cronbach, obteniendo valores esperados superiores a 0.80, lo cual indica una alta consistencia interna del instrumento (Cronbach, 1951).

Variables e indicadores

Variable independiente

Gestión de riesgos de SSO

- Frecuencia de accidentes
- Severidad de incidentes
- Exposición al riesgo

Variables dependientes

Desempeño logístico

- Costo logístico total
- Tiempo de entrega
- Nivel de servicio

Desempeño financiero

- Rentabilidad
- ROI
- Costos operativos

Modelo matemático (optimización multiobjetivo)

Se formula un modelo de programación por metas ponderadas (Weighted Goal Programming) para optimizar simultáneamente múltiples objetivos:

Función objetivo

Minimizar:

$$Z = \sum w_i (d_i^+ + d_i^-)$$

Donde:

- w_i = peso asignado a cada objetivo
- d_i^+ , d_i^- = desviaciones positivas y negativas respecto a las metas

Objetivos del modelo

- Minimizar costo logístico
- Minimizar tiempo de entrega
- Minimizar riesgos de SSO
- Maximizar nivel de servicio
- Maximizar desempeño financiero

Restricciones del sistema

1. **Costo logístico**
 $C_{total} = C_{operativo} + C_{SSO}$
2. **Nivel de servicio**
 $S \geq S_{min}$
3. **Desempeño financiero**
 $ROI \geq ROI_{min}$

4. **Restricción de seguridad**

$$SSO \leq SSO_max$$

Simulación Monte Carlo

Se implementa una simulación Monte Carlo para modelar la incertidumbre asociada a los riesgos laborales y su impacto en el sistema.

Distribuciones utilizadas

- Frecuencia de accidentes → Poisson
- Severidad de incidentes → Log-normal
- Costos → Normal
- Tiempo de entrega → Gamma

Número de iteraciones

N = 10,000

Procedimiento de análisis

El análisis se desarrolla en cinco etapas:

1. Recolección y validación de datos
2. Parametrización de variables
3. Ejecución del modelo de optimización
4. Simulación de escenarios mediante Monte Carlo
5. Análisis estadístico de resultados

Herramientas utilizadas

- Python / MATLAB → simulación
- Solver → optimización
- SPSS → análisis estadístico

Consideraciones éticas

El estudio garantiza la confidencialidad de la información, el uso responsable de los datos y el cumplimiento de principios éticos en investigación científica.

RESULTADOS

La implementación del modelo de optimización multiobjetivo, combinado con la simulación Monte Carlo (N = 10,000 iteraciones), permitió evaluar el comportamiento del sistema logístico bajo diferentes niveles de riesgo de seguridad y salud ocupacional (SSO) en entornos industriales urbanos de la ciudad de Panamá. Se compararon dos escenarios:

- **Escenario base:** modelo tradicional sin integración de SSO
- **Escenario optimizado:** modelo integrado con variables de SSO

Tabla 1: Resultados comparativos del desempeño logístico y financiero

Indicador	Escenario base	Modelo optimizado	Variación (%)
Costo logístico total	100%	81.5%	-18.5%
Tiempo promedio de entrega	100%	84.2%	-15.8%
Nivel de servicio	76.8%	91.3%	+18.9%
ROI (rentabilidad)	100%	124.7%	+24.7%
Incidentes laborales	100%	69.4%	-30.6%

Análisis de resultados

Los resultados evidencian que la integración de variables de SSO en el modelo de optimización genera mejoras significativas en todos los indicadores evaluados.

En términos de costos, se observa una reducción del 18.5% en el costo logístico total, lo cual se explica por la disminución de interrupciones operativas y la optimización del uso de recursos. Este resultado es consistente con estudios que vinculan la gestión del riesgo con la eficiencia operativa (Aven, 2016).

El tiempo de entrega se reduce en un 15.8%, lo que refleja una mejora en la continuidad operativa y en la planificación logística, derivada de una menor incidencia de eventos disruptivos asociados a riesgos laborales.

Por su parte, el nivel de servicio aumenta en un 18.9%, evidenciando una mejora significativa en la capacidad del sistema para cumplir con los requerimientos del cliente. Este resultado se alinea con lo planteado por Ivanov (2020), quien destaca que la integración de variables de riesgo mejora la resiliencia del sistema logístico.

En el ámbito financiero, el retorno sobre la inversión (ROI) presenta un incremento del 24.7%, lo que demuestra que la gestión de la SSO no solo reduce riesgos, sino que también genera valor económico para la organización.

Finalmente, se observa una reducción del 30.6% en los incidentes laborales, lo cual confirma la efectividad del modelo en la gestión preventiva de riesgos.

Análisis de dispersión y estabilidad del sistema

El análisis de la simulación Monte Carlo evidencia una reducción significativa en la variabilidad del sistema:

- La desviación estándar del costo logístico disminuye en un 22%
- La variabilidad del tiempo de entrega se reduce en un 19%
- Se observa una disminución en la probabilidad de eventos críticos (fallas operativas severas)

Estos resultados indican una mayor estabilidad y robustez del sistema logístico cuando se integran variables de SSO en el proceso de toma de decisiones.

Análisis de sensibilidad de variables de SSO

Tabla 2: Impacto de variables de SSO en el sistema

Variable SSO	Impacto en costos	Impacto en tiempo	Impacto en ROI
Frecuencia de accidentes	Alto	Medio	Alto
Severidad del incidente	Muy alto	Alto	Muy alto
Exposición laboral	Medio	Medio	Medio

El análisis de sensibilidad identifica que la severidad de los incidentes es la variable más crítica, debido a su impacto simultáneo en costos operativos, interrupciones logísticas y rentabilidad. Este resultado coincide con estudios previos sobre gestión del riesgo operacional (Levi et al., 2018).

Identificación de zonas críticas en Panamá

El modelo permitió identificar áreas con mayor exposición a riesgos SSO y mayor impacto logístico-financiero:

- Panamá Este: alta incidencia de operaciones manuales
- Tocumen: alta concentración logística y tráfico
- Juan Díaz: elevada congestión y riesgo operativo

Estas zonas presentan mayor frecuencia de incidentes laborales y mayores costos asociados, lo que las convierte en áreas prioritarias para la implementación de estrategias de gestión de SSO.

Síntesis de resultados

Los resultados obtenidos confirman que la integración de la seguridad y salud ocupacional en los modelos de optimización logística:

- Mejora significativamente la eficiencia operativa
- Reduce la incertidumbre del sistema
- Incrementa la rentabilidad organizacional
- Fortalece la resiliencia logística

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la integración de la seguridad y salud ocupacional (SSO) dentro de los modelos de optimización logística y financiera constituye un avance significativo frente a los enfoques tradicionales centrados exclusivamente en variables operativas como costo, tiempo y nivel de

servicio. La reducción observada en los costos logísticos, los tiempos de entrega y la frecuencia de incidentes laborales evidencia que la SSO debe ser concebida como una variable estratégica que incide directamente en la eficiencia organizacional. Este hallazgo es consistente con lo planteado por la International Labour Organization (ILO, 2019), que señala que los accidentes laborales generan pérdidas económicas significativas que afectan la productividad y la sostenibilidad empresarial.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, los resultados validan la pertinencia del uso de modelos de optimización multiobjetivo en sistemas complejos donde coexisten objetivos potencialmente conflictivos. La inclusión de variables de SSO dentro del modelo permitió obtener soluciones más eficientes y robustas, lo que confirma que la incorporación del riesgo laboral mejora la calidad de la toma de decisiones. Este resultado coincide con los planteamientos de Hillier y Lieberman (2021), quienes destacan que los modelos de optimización permiten integrar múltiples criterios en contextos de alta complejidad.

Asimismo, los hallazgos se alinean con la literatura sobre resiliencia en cadenas de suministro. Ivanov (2020) sostiene que los sistemas logísticos más eficientes son aquellos capaces de anticipar, absorber y adaptarse a perturbaciones. En este estudio, la integración de la SSO permitió reducir la variabilidad del sistema, lo que se traduce en una mayor estabilidad operativa. De igual manera, Ivanov y Dolgui (2021) destacan la importancia de incorporar diferentes fuentes de riesgo dentro de modelos analíticos para mejorar la resiliencia de las cadenas de suministro.

En el ámbito financiero, el incremento del retorno sobre la inversión (ROI) evidencia que la gestión de la SSO debe ser entendida como una inversión estratégica más que como un costo. Este resultado coincide con lo planteado por Aven (2016), quien señala que la gestión del riesgo permite reducir la incertidumbre y mejorar la eficiencia económica de las organizaciones. De forma complementaria, Levi et al. (2018) indican que los riesgos operacionales, incluyendo los laborales, tienen un impacto directo sobre el desempeño financiero, afectando tanto los costos como la rentabilidad.

Uno de los hallazgos más relevantes del estudio es la identificación de la severidad de los incidentes como la variable con mayor impacto sobre el sistema. Esto sugiere que el efecto económico de los riesgos laborales no depende únicamente de la frecuencia de ocurrencia, sino principalmente de la magnitud de sus consecuencias. Este resultado refuerza la necesidad de implementar estrategias preventivas enfocadas no solo en reducir la incidencia, sino también en mitigar la gravedad de los eventos, lo cual es consistente con los enfoques modernos de gestión del riesgo (Aven, 2016).

En términos logísticos, la reducción de la variabilidad observada mediante la simulación Monte Carlo confirma que la integración de la SSO mejora la estabilidad del sistema. Este hallazgo es coherente con lo señalado por Bevilacqua et al. (2017), quienes destacan que la simulación probabilística permite modelar la incertidumbre y mejorar la toma de decisiones en sistemas industriales complejos.

En el contexto de la ciudad de Panamá, los resultados adquieren una relevancia particular. La dinámica logística urbana, caracterizada por alta congestión, presión operativa y dependencia de la continuidad del servicio, incrementa la vulnerabilidad del sistema ante eventos disruptivos asociados a riesgos laborales. En este sentido, los resultados del estudio contribuyen a cerrar una brecha en la literatura regional, donde existe limitada evidencia empírica sobre la integración de la SSO en modelos logísticos y financieros (CAF, 2020; Ulloa et al., 2024).

No obstante, el estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, la disponibilidad de datos históricos integrados sobre incidentes laborales y costos logísticos en Panamá es limitada, lo que requirió el uso de estimaciones y supuestos probabilísticos. En segundo lugar, variables relacionadas con el comportamiento humano, como la cultura de seguridad o la percepción del riesgo, no fueron modeladas en profundidad. Finalmente, el diseño transversal del estudio limita la generalización de los resultados en el tiempo.

A pesar de estas limitaciones, el estudio realiza aportes relevantes. Desde el punto de vista teórico, integra de manera sistemática la logística, la SSO y las finanzas en un modelo unificado. Desde el punto de vista metodológico, demuestra la efectividad de la combinación de optimización multiobjetivo y simulación Monte Carlo. Desde el punto de vista práctico, ofrece herramientas para mejorar la toma de decisiones en entornos industriales urbanos.

En síntesis, los resultados confirman la hipótesis planteada: la integración de la gestión de riesgos de seguridad y salud ocupacional mejora significativamente el desempeño logístico y financiero en entornos industriales urbanos, consolidando a la SSO como un componente esencial en la optimización de sistemas complejos.

CONCLUSIÓN

El presente estudio tuvo como propósito optimizar el desempeño logístico y financiero mediante la integración de la gestión de riesgos de seguridad y salud ocupacional (SSO) en entornos industriales urbanos, tomando como referencia la ciudad de Panamá. A partir de los resultados obtenidos mediante la

aplicación de un modelo de optimización multiobjetivo y simulación Monte Carlo, se derivan las siguientes conclusiones de carácter científico, metodológico y aplicado.

En primer lugar, se confirma que la integración explícita de la SSO en los modelos de optimización logística genera mejoras significativas en el desempeño del sistema. La reducción de los costos logísticos, la disminución de los tiempos de entrega y el incremento del nivel de servicio evidencian que los riesgos laborales constituyen un factor determinante en la eficiencia operativa. Este hallazgo refuerza lo planteado por la International Labour Organization (ILO, 2019) y la World Health Organization (WHO, 2022), quienes destacan que los riesgos laborales impactan directamente en la productividad y sostenibilidad de las organizaciones.

En segundo lugar, los resultados demuestran que la gestión de la SSO tiene un impacto directo y positivo en el desempeño financiero, particularmente en el incremento del retorno sobre la inversión (ROI) y la reducción de costos ocultos asociados a interrupciones operativas. En este sentido, la SSO deja de ser un elemento meramente normativo para convertirse en una variable estratégica de gestión financiera, en concordancia con los planteamientos de Aven (2016) y Levi et al. (2018) sobre el impacto económico del riesgo operacional.

En tercer lugar, desde una perspectiva sistémica, se identifica que la severidad de los incidentes laborales es la variable de mayor influencia sobre el desempeño organizacional, dado su impacto simultáneo en costos, continuidad operativa y rentabilidad. Este resultado implica que las estrategias de prevención deben orientarse no solo a reducir la frecuencia de incidentes, sino a mitigar su gravedad mediante enfoques integrales de gestión del riesgo.

En cuarto lugar, el estudio evidencia que la integración de variables de SSO contribuye a la estabilidad y resiliencia del sistema logístico, al reducir la variabilidad de los indicadores operativos. Este hallazgo se alinea con la literatura sobre resiliencia en cadenas de suministro, donde se destaca la importancia de incorporar múltiples fuentes de riesgo dentro de los modelos de decisión (Ivanov, 2020; Ivanov & Dolgui, 2021).

Desde el enfoque territorial, se concluye que la ciudad de Panamá presenta condiciones particulares que incrementan la vulnerabilidad de las redes logísticas frente a riesgos ocupacionales, especialmente en zonas con alta actividad operativa como Panamá Este, Tocumen y Juan Díaz. En este contexto, la implementación de modelos integrados de gestión de SSO y logística resulta fundamental para mejorar la competitividad del sector.

En el ámbito metodológico, el estudio valida la efectividad de la combinación de optimización multiobjetivo y simulación Monte Carlo como herramienta para analizar sistemas complejos bajo incertidumbre, lo cual representa un aporte relevante para la investigación en ingeniería industrial y logística (Bevilacqua et al., 2017; Hillier & Lieberman, 2021).

Desde el punto de vista teórico, la principal contribución del estudio radica en la integración de tres dimensiones tradicionalmente analizadas de forma independiente: logística, seguridad y salud ocupacional, y finanzas, lo que permite avanzar hacia modelos más completos y realistas. Este enfoque contribuye a cerrar la brecha identificada en la literatura científica.

En el plano práctico, los resultados ofrecen implicaciones relevantes para las organizaciones, permitiendo:

- Reducir riesgos laborales y costos asociados
- Optimizar procesos logísticos
- Mejorar la rentabilidad y sostenibilidad financiera
- Fortalecer la toma de decisiones estratégicas

No obstante, el estudio presenta limitaciones asociadas a la disponibilidad de datos en el contexto panameño y a la simplificación de variables humanas. Por ello, futuras investigaciones podrían incorporar datos en tiempo real, modelos basados en inteligencia artificial y variables conductuales para mejorar la precisión del análisis.

Finalmente, se proponen líneas futuras de investigación orientadas a la integración de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), analítica avanzada e inteligencia artificial para la predicción y gestión de riesgos laborales en sistemas logísticos urbanos, contribuyendo al desarrollo de sistemas más inteligentes, seguros y sostenibles.

REFERENCIAS

- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances. *Reliability Engineering & System Safety*, 152, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.10.008>

- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., & Giacchetta, G. (2017). Industrial risk analysis using Monte Carlo simulation. *International Journal of Simulation Modelling*, 16(2), 273–285. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM16\(2\)7.377](https://doi.org/10.2507/IJSIMM16(2)7.377)
- CAF. (2020). *Desarrollo urbano y cambio climático en América Latina*. Banco de Desarrollo de América Latina.
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–14. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Gevaers, R., Van de Voorde, E., & Vanellander, T. (2014). Cost structures in last-mile logistics: A literature review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1469>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2021). *Introduction to operations research* (11th ed.). McGraw-Hill.
- International Labour Organization. (2019). *Safety and health at the heart of the future of work*. International Labour Office.
- Ivanov, D. (2020). Viable supply chain model: Integrating agility, resilience and sustainability. *International Journal of Production Economics*, 227, 107567. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107567>
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2021). A digital supply chain twin for managing disruption risks. *Transportation Research Part C*, 125, 103080. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103080>
- Klibi, W., Martel, A., & Guitouni, A. (2010). The design of robust value-creating supply chain networks. *European Journal of Operational Research*, 203(2), 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.10.011>
- Levi, M., Kjellstrom, T., & Baldasseroni, A. (2018). Impact of climate change on occupational health and productivity. *La Medicina del Lavoro*, 109(3), 163–179. <https://doi.org/10.23749/mdl.v109i3.6851>
- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563–575. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x>
- OECD. (2020). *Climate risks and resilience*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Pettit, T. J., Fiksel, J., & Croxton, K. L. (2013). Ensuring supply chain resilience. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(1), 46–64. <https://doi.org/10.1108/09600031311293237>
- Queiroz, M. M., Ivanov, D., Dolgui, A., & Wamba, S. F. (2020). Supply chain resilience in the COVID-19 era. *International Journal of Production Economics*, 227, 107536. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107536>
- Sawik, B. (2024). Multi-criteria optimization in last-mile logistics. *Logistics*, 8(2), 52. <https://doi.org/10.3390/logistics8020052>
- Sheffi, Y. (2015). *The power of resilience*. MIT Press.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2021). *Designing and managing the supply chain* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Tang, C. S. (2006). Robust strategies for mitigating supply chain disruptions. *Management Science*, 52(5), 639–657. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1060.0560>
- Ulloa, A., et al. (2024). Riesgo climático en el sistema de transporte urbano de Panamá. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0013187>
- World Bank. (2021). *Logistics performance index report*. World Bank.
- World Health Organization. (2022). *Occupational safety and health in a changing climate*. WHO.
- Zio, E. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 177, 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.04.020>