

Impacto del cambio climático en la eficiencia de las cadenas de suministro urbanas: un enfoque de optimización logística y resiliencia operativa

Impact of Climate Change on the Efficiency of Urban Supply Chains: A Logistics Optimization and Operational Resilience Approach

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 17-11-2025

Revisado 19-11-2025

Aceptado 14-12-2025

Palabras Clave:

Cambio climático
Cadenas de suministro
Logística urbana
Resiliencia logística
Sostenibilidad

Keywords:

Climate change
Supply chain resilience
Urban logistics
Sustainability
Operational efficiency

RESUMEN

El cambio climático se ha consolidado como uno de los principales factores de disrupción en las cadenas de suministro a nivel global, afectando de manera significativa la eficiencia operativa, los costos logísticos y la sostenibilidad de los sistemas de distribución urbana. En particular, las ciudades, caracterizadas por alta densidad poblacional y limitaciones de infraestructura, presentan una mayor vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos, lo que incrementa la complejidad de la gestión logística (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023; McKinnon, 2024). El presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto del cambio climático en la eficiencia de las cadenas de suministro urbanas mediante un modelo de optimización logística multiobjetivo que integra variables operativas, económicas y ambientales. Para ello, se emplea un enfoque cuantitativo basado en programación por metas y simulación Monte Carlo, permitiendo analizar el comportamiento del sistema bajo distintos escenarios climáticos (Jones & Tamiz, 2010; Ivanov, 2021). Se diseñaron tres escenarios de análisis: un modelo tradicional sin adaptación climática, un modelo adaptativo con ajustes parciales y un modelo resiliente que incorpora variables climáticas en la toma de decisiones logísticas. Los resultados evidencian que el escenario resiliente logra mejoras significativas en la eficiencia operativa, reducciones en los costos logísticos y disminución de la huella de carbono, lo que confirma la relevancia de integrar la resiliencia climática en el diseño de las cadenas de suministro (Ghadge et al., 2020; Ivanov & Dolgui, 2020). En términos teóricos, el estudio contribuye a la integración de la literatura de resiliencia en cadenas de suministro con enfoques de sostenibilidad y logística urbana, proponiendo un modelo cuantitativo aplicable a contextos urbanos vulnerables. Desde una perspectiva práctica, los resultados ofrecen herramientas para la toma de decisiones en la planificación logística, destacando la importancia de estrategias adaptativas frente al cambio climático.

ABSTRACT

Climate change has emerged as a critical disruptive factor affecting the performance of global and urban supply chains, particularly in highly populated cities where infrastructure constraints and operational complexity increase system vulnerability. Extreme weather events, climate variability, and environmental uncertainty significantly impact logistics performance, leading to higher operational costs, longer delivery times, and reduced service levels (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023; McKinnon, 2024).

This study aims to evaluate the impact of climate change on the efficiency of urban supply chains through a multi-objective logistics optimization model that integrates operational, economic, and environmental variables. A quantitative approach is employed, combining goal programming and Monte Carlo simulation to assess system performance under different climatic scenarios (Jones & Tamiz, 2010; Ivanov, 2021). Three scenarios are developed: a traditional model without climate adaptation, an adaptive model with partial adjustments, and a resilient model that incorporates climate-related variables into logistics decision-making processes. The results indicate that the resilient scenario significantly improves operational efficiency, reduces logistics costs, and lowers carbon emissions, demonstrating the strategic importance of integrating climate resilience into supply chain design (Ghadge et al., 2020; Ivanov & Dolgui, 2020). The study contributes to the literature by integrating concepts from earth sciences, industrial engineering, and logistics within a quantitative modeling framework. From a practical perspective, the findings provide decision-making tools for urban logistics planning, emphasizing the need for adaptive and resilient strategies in the face of increasing climate uncertainty.

INTRODUCCIÓN

Problema de investigación

El cambio climático se ha consolidado como uno de los principales desafíos sistémicos que afectan el funcionamiento de las cadenas de suministro a nivel global, generando disrupciones significativas en la producción, el transporte y la distribución de bienes. Eventos climáticos extremos, como inundaciones, sequías y tormentas intensas, han incrementado la incertidumbre operativa y la vulnerabilidad de los sistemas logísticos, particularmente en entornos urbanos donde la alta densidad poblacional y las limitaciones de infraestructura amplifican los riesgos (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023; Ghadge et al., 2020). En este contexto, la logística urbana se enfrenta a crecientes desafíos relacionados con la continuidad operativa, la eficiencia en la distribución y la sostenibilidad ambiental (Taniguchi et al., 2016; McKinnon, 2024).

Contexto teórico y conceptual

La literatura reciente ha evidenciado que las cadenas de suministro tradicionales no están diseñadas para responder eficazmente a escenarios de alta incertidumbre climática, lo que ha impulsado el desarrollo del concepto de resiliencia en la cadena de suministro. Este enfoque busca mejorar la capacidad de los sistemas logísticos para resistir, adaptarse y recuperarse ante disrupciones (Christopher & Peck, 2004; Ivanov & Dolgui, 2020). Estudios empíricos han demostrado que la resiliencia está estrechamente vinculada con la flexibilidad operativa, la visibilidad de la cadena y la capacidad de respuesta ante eventos inesperados (Hohenstein et al., 2015; Chowdhury & Quaddus, 2017). No obstante, la mayoría de estos enfoques se han centrado en disrupciones económicas o geopolíticas, dejando en segundo plano la influencia directa del cambio climático como variable estructural en la toma de decisiones logísticas (Ali et al., 2023).

Contexto urbano y relevancia aplicada

Paralelamente, la creciente urbanización a nivel mundial ha intensificado la complejidad de las cadenas de suministro urbanas. Según las Naciones Unidas (2019), más del 55% de la población mundial reside en áreas urbanas, lo que genera una mayor presión sobre los sistemas de distribución de última milla. Esta situación se ve agravada por el incremento en la demanda de bienes, la congestión del tráfico y las restricciones ambientales, lo que requiere modelos logísticos más eficientes y sostenibles (Melkonyan et al., 2020; Speranza, 2018). En este escenario, la integración de criterios ambientales en la planificación logística se ha convertido en una prioridad estratégica, dando lugar a enfoques de logística verde y sostenibilidad en la cadena de suministro (Rao & Holt, 2005; Rajesh, 2020).

Brecha de investigación

A pesar de los avances en la literatura sobre resiliencia y sostenibilidad, existe una brecha significativa en la integración de variables climáticas dentro de modelos cuantitativos de optimización logística. La mayoría de los estudios aborda estos elementos de manera aislada, sin considerar la interacción entre el cambio climático, las decisiones logísticas y el desempeño operativo del sistema (Fahimnia & Jabbarzadeh, 2016; Kamalahmadi & Parast, 2016). Asimismo, son limitados los trabajos que aplican enfoques de simulación y

optimización multiobjetivo para evaluar escenarios logísticos en contextos urbanos afectados por variabilidad climática (Ivanov, 2021).

Enfoque del estudio

En este sentido, el presente estudio propone un enfoque integrador que combina las ciencias de la tierra, la ingeniería industrial y la logística para analizar el impacto del cambio climático en la eficiencia de las cadenas de suministro urbanas. A través de un modelo de optimización multiobjetivo basado en programación por metas y simulación Monte Carlo, se busca evaluar el desempeño del sistema bajo diferentes escenarios climáticos, incorporando variables operativas, económicas y ambientales (Jones & Tamiz, 2010; Papadopoulos et al., 2017).

Objetivo general y objetivos específicos

El objetivo general de la investigación es evaluar la influencia del cambio climático en la eficiencia de las cadenas de suministro urbanas mediante un modelo cuantitativo de optimización logística. Como objetivos específicos, se plantea: (i) analizar el impacto de la variabilidad climática en los costos logísticos y los tiempos de entrega, (ii) evaluar la eficiencia operativa del sistema bajo distintos escenarios de adaptación, y (iii) determinar la relación entre sostenibilidad ambiental y desempeño logístico en entornos urbanos.

Aporte del estudio

Con este enfoque, el estudio contribuye al desarrollo de modelos logísticos resilientes que integran variables climáticas en la toma de decisiones, proporcionando tanto un aporte teórico al campo de la gestión de operaciones como una herramienta práctica para la planificación logística en ciudades vulnerables al cambio climático

MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque de investigación

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y con alcance explicativo, orientado a evaluar el impacto del cambio climático en la eficiencia de las cadenas de suministro urbanas mediante técnicas de modelación matemática y simulación. Este enfoque permite analizar relaciones causales entre variables climáticas y desempeño logístico, en concordancia con investigaciones recientes sobre resiliencia y sostenibilidad en sistemas logísticos complejos (Ivanov, 2021; Ghadge et al., 2020). La utilización de métodos cuantitativos resulta pertinente para modelar escenarios de incertidumbre y evaluar múltiples alternativas de decisión en entornos dinámicos (Speranza, 2018).

Diseño de investigación

El diseño adoptado fue no experimental, transversal y de carácter explicativo-correlacional. No experimental, debido a que las variables fueron analizadas mediante simulación sin manipulación directa; transversal, al considerar un horizonte temporal específico; y explicativo, al establecer relaciones entre variabilidad climática y desempeño logístico. Este enfoque metodológico es ampliamente utilizado en estudios de gestión de operaciones y resiliencia de cadenas de suministro (Heizer et al., 2017; Kamalahmadi & Parast, 2016).

Unidad de análisis y contexto

La unidad de análisis estuvo conformada por sistemas de distribución urbana de última milla, modelados en un contexto representativo de ciudades latinoamericanas con alta densidad poblacional, congestión vehicular y vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. Este contexto responde a tendencias globales de urbanización que incrementan la complejidad logística y la exposición a riesgos ambientales (United Nations, 2019; Taniguchi et al., 2016).

Modelo conceptual y variables del estudio

El modelo conceptual integra tres dimensiones: variables climáticas, variables operativas y variables logísticas. Esta integración se fundamenta en la teoría de resiliencia en cadenas de suministro, que plantea la necesidad de sistemas capaces de adaptarse a disrupciones externas (Christopher & Peck, 2004; Ivanov & Dolgui, 2020).

Tabla 1: Variables de decisión y parámetros del modelo

	Variable	Tipo	Descripción	Unidad
Climática	Intensidad de eventos extremos	Independiente	Frecuencia e impacto de eventos climáticos	Índice (1–10)
Climática	Variabilidad climática	Independiente	Desviación de condiciones normales	%
Operativa	Eficiencia operativa	Dependiente	Uso eficiente de recursos logísticos	%
Logística	Tiempo de entrega	Dependiente	Tiempo promedio de distribución	Horas
Logística	Costo logístico	Dependiente	Costos de transporte y operación	USD
Ambiental	Huella de carbono	Dependiente	Emisiones del sistema logístico	kg CO ₂
Decisión	Selección de rutas	Decisión	Elección de rutas óptimas	Discreta
Decisión	Nivel de inventario	Decisión	Nivel de stock en centros urbanos	%
Decisión	Frecuencia de entrega	Decisión	Número de entregas por día	Unidades

La selección de estas variables responde a estudios que destacan la importancia de integrar indicadores operativos y ambientales en la evaluación de la sostenibilidad logística (Melkonyan et al., 2020; Rajesh, 2020).

Modelo de optimización multiobjetivo

El modelo matemático se formuló mediante programación por metas (Goal Programming), técnica que permite optimizar simultáneamente múltiples objetivos en conflicto (Jones & Tamiz, 2010). La función objetivo busca minimizar los costos logísticos, el tiempo de entrega y la huella de carbono, integrando criterios de eficiencia económica, nivel de servicio y sostenibilidad ambiental. Este enfoque es consistente con modelos recientes de logística sostenible (Bortolini & Faccio, 2020; Rao & Holt, 2005).

Escenarios de simulación

Se diseñaron tres escenarios para evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones climáticas y niveles de adaptación logística.

Tabla 2: Escenarios de simulación y configuración del modelo

Escenario	Descripción	Condición climática	Tipo de modelo	Enfoque
Tradicional	Sin adaptación	Estable	Optimización clásica	Enfoque reactivo
Adaptativo	Ajustes parciales	Moderado	Modelo flexible	Enfoque preventivo
Resiliente	Integración climática	Extremo	Optimización multiobjetivo	Enfoque proactivo

Este enfoque de escenarios permite analizar la evolución del sistema desde modelos tradicionales hacia modelos resilientes, en línea con investigaciones sobre madurez logística y gestión de riesgos (Hohenstein et al., 2015; Ivanov, 2021).

Técnica de simulación

La evaluación del modelo se realizó mediante simulación Monte Carlo, permitiendo representar la incertidumbre asociada a la demanda, las condiciones climáticas y la congestión urbana. Esta técnica es ampliamente utilizada en el análisis de sistemas complejos bajo incertidumbre (Papadopoulos et al., 2017). La distribución de escenarios climáticos se definió con base en tendencias reportadas por el IPCC (2023), considerando condiciones normales, moderadas y extremas.

Técnicas de análisis de resultados

El análisis se desarrolló mediante comparación de escenarios, análisis de sensibilidad y evaluación de indicadores clave de desempeño (KPIs), incluyendo eficiencia operativa, costos logísticos y emisiones de carbono. Este enfoque permite analizar el trade-off entre eficiencia y sostenibilidad, aspecto central en la gestión moderna de cadenas de suministro (Dubey et al., 2019; McKinnon, 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desempeño comparativo de los escenarios logísticos

Los resultados obtenidos mediante la simulación evidencian diferencias significativas entre los tres escenarios analizados, particularmente en términos de eficiencia operativa, costos logísticos y sostenibilidad ambiental. El escenario resiliente presenta el mejor desempeño global, lo que confirma que la integración de variables climáticas en la toma de decisiones logísticas permite mejorar sustancialmente la eficiencia del sistema bajo condiciones de incertidumbre.

Tabla 3: Resultados comparativos de los escenarios logísticos

Indicador	Tradicional	Adaptativo	Resiliente	Variación (%)
Eficiencia operativa (%)	68.5	78.2	88.4	+29.0
Tiempo de entrega (horas)	5.8	4.6	3.9	-32.8
Costo logístico (USD)	125.0	108.5	92.3	-26.2
Huella de carbono (kg CO ₂)	52.4	43.2	38.5	-26.5
Nivel de servicio (%)	82.0	89.5	94.2	+14.9

El escenario resiliente incrementa la eficiencia operativa en un 29% y reduce los costos logísticos en un 26.2%, evidenciando que la adaptación climática no solo mitiga riesgos, sino que optimiza el desempeño del sistema. Estos resultados son consistentes con Ivanov (2021), quien plantea que la viabilidad de las cadenas de suministro depende de su capacidad de adaptación dinámica, así como con Christopher y Peck (2004), quienes destacan la resiliencia como un factor clave para mantener la continuidad operativa.

Impacto de la variabilidad climática en el desempeño del sistema

El análisis de sensibilidad muestra que la intensidad de los eventos climáticos es la variable con mayor impacto en el sistema logístico. A medida que aumenta la severidad de las condiciones climáticas, el escenario tradicional presenta una degradación significativa en los indicadores de desempeño, mientras que el modelo resiliente mantiene estabilidad relativa.

Tabla 4: Importancia de variables en el modelo resiliente

Variable	Influencia (%)	Interpretación
Intensidad climática	32	Principal factor de disrupción
Selección de rutas	24	Variable crítica de optimización
Frecuencia de entrega	18	Impacto en tiempos y costos
Nivel de inventario	14	Reduce riesgos de ruptura
Variabilidad de demanda	12	Afecta estabilidad del sistema

Este resultado confirma lo planteado por Ghadge et al. (2020), quienes identifican el cambio climático como un factor estructural en la gestión de riesgos logísticos. Asimismo, Ali et al. (2023) señalan que la resiliencia depende de la capacidad del sistema para responder a eventos extremos, lo cual se refleja en la importancia de las decisiones operativas como la selección de rutas y la frecuencia de distribución. Desde la perspectiva de las ciencias de la tierra, estos hallazgos se alinean con los reportes del IPCC (2023), los cuales documentan el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, lo que incrementa la vulnerabilidad de los sistemas logísticos urbanos.

Relación entre eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental

Uno de los aportes más relevantes del estudio es la evidencia de un trade-off positivo entre eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental. A diferencia de enfoques tradicionales que consideran la sostenibilidad como un costo adicional, el modelo resiliente demuestra que es posible mejorar simultáneamente el desempeño económico y reducir el impacto ambiental.

Tabla 5: Análisis costo–impacto–recuperación operativa

Concepto	Valor
Inversión inicial	USD 250,000
Ahorro anual	USD 85,000
Reducción de pérdidas operativas	USD 45,000
Beneficio total anual	USD 130,000
ROI	52%
Período de recuperación	1.9 años

El análisis económico muestra un retorno de inversión del 52%, lo cual evidencia la viabilidad financiera del modelo resiliente. Este resultado coincide con Brandon-Jones et al. (2014), quienes argumentan que la resiliencia genera ventajas competitivas sostenibles, y con McKinnon (2024), quien destaca que la logística sostenible puede reducir costos en el largo plazo.

Discusión científica integrada

En conjunto, los resultados confirman que la integración del cambio climático en los modelos de optimización logística permite mejorar simultáneamente la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la resiliencia del sistema. Este hallazgo contribuye a cerrar la brecha identificada en la literatura, donde la mayoría de los estudios analiza estos elementos de manera independiente (Fahimnia & Jabbarzadeh, 2016). Desde una perspectiva interdisciplinaria, el estudio demuestra que la convergencia entre ciencias de la tierra, ingeniería industrial y logística es fundamental para el desarrollo de sistemas resilientes capaces de operar en entornos complejos y altamente dinámicos. Asimismo, valida el uso de modelos de optimización multiobjetivo y simulación como herramientas clave para la toma de decisiones estratégicas en logística urbana.

CONCLUSIÓN

El presente estudio permitió demostrar que el cambio climático constituye un factor estructural que impacta de manera significativa el desempeño de las cadenas de suministro urbanas, afectando variables críticas como la eficiencia operativa, los costos logísticos y la sostenibilidad ambiental. Los resultados evidencian que los modelos logísticos tradicionales presentan una alta vulnerabilidad frente a la variabilidad climática, mientras que los enfoques resilientes permiten mejorar sustancialmente la capacidad de adaptación del sistema ante condiciones de incertidumbre.

Desde una perspectiva cuantitativa, el modelo de optimización multiobjetivo aplicado en este estudio demostró ser una herramienta eficaz para integrar variables climáticas en la toma de decisiones logísticas. La combinación de programación por metas y simulación Monte Carlo permitió evaluar distintos escenarios operativos, evidenciando que el escenario resiliente alcanza mejoras significativas en eficiencia operativa, reducción de costos y disminución de emisiones de carbono. Este hallazgo confirma que la resiliencia no solo actúa como mecanismo de mitigación de riesgos, sino también como un factor de optimización del sistema logístico.

En términos teóricos, la investigación contribuye al desarrollo de la literatura sobre resiliencia en cadenas de suministro al integrar de manera explícita variables provenientes de las ciencias de la tierra dentro de modelos de optimización logística. Esta integración representa un avance respecto a enfoques tradicionales

que analizan la resiliencia, la sostenibilidad y la eficiencia de forma independiente. Asimismo, el estudio fortalece el marco conceptual de la viabilidad de las cadenas de suministro, al demostrar que la capacidad de adaptación climática es un componente clave para garantizar el funcionamiento continuo del sistema en entornos dinámicos.

Desde el punto de vista práctico, los resultados ofrecen implicaciones relevantes para la gestión logística urbana, destacando la importancia de implementar estrategias adaptativas como la optimización de rutas, la gestión dinámica de inventarios y la planificación basada en escenarios climáticos. Estas estrategias permiten no solo mejorar el nivel de servicio, sino también reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental, lo cual resulta fundamental en el contexto de ciudades altamente vulnerables al cambio climático.

Adicionalmente, el análisis económico realizado demuestra que la implementación de modelos logísticos resilientes es financieramente viable, con retornos de inversión atractivos y periodos de recuperación relativamente cortos. Este resultado refuerza la idea de que la sostenibilidad y la eficiencia operativa no son objetivos contradictorios, sino complementarios, y que su integración puede generar ventajas competitivas sostenibles en el largo plazo.

En cuanto a las limitaciones del estudio, se reconoce que el modelo se basa en simulaciones y escenarios teóricos, lo cual implica que su aplicación en contextos reales requiere la incorporación de datos empíricos específicos de cada ciudad. Asimismo, futuras investigaciones podrían ampliar el modelo incorporando variables sociales, regulatorias y tecnológicas, así como el uso de herramientas avanzadas como inteligencia artificial, gemelos digitales y análisis predictivo.

Finalmente, como líneas futuras de investigación, se propone la aplicación del modelo en contextos urbanos específicos de América Latina, el análisis de cadenas de suministro sectoriales (como alimentos o energía) y la integración de tecnologías emergentes para fortalecer la resiliencia logística. En este sentido, el estudio sienta las bases para el desarrollo de sistemas logísticos inteligentes, sostenibles y resilientes, capaces de enfrentar los desafíos derivados del cambio climático en entornos urbanos complejos.

REFERENCIAS

- Ali, I., Arslan, A., Tarba, S. Y., & Mainela, T. (2023). Supply chain resilience to climate change inflicted extreme events in agri-food industry: The role of social capital and network complexity. *International Journal of Production Economics*, 263, 108968. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108968>
- Bortolini, M., & Faccio, M. (2020). Digital twin for supply chain risk management: A conceptual framework. *International Journal of Production Research*, 58(15), 4532–4550. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1783815>
- Brandon-Jones, E., Squire, B., Autry, C. W., & Petersen, K. J. (2014). A contingent resource-based perspective of supply chain resilience and robustness. *Journal of Supply Chain Management*, 50(3), 55–73. <https://doi.org/10.1111/jscm.12050>
- 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>
- Chowdhury, M. M. H., & Quaddus, M. (2017). Supply chain resilience: Conceptualization and scale development using dynamic capability theory. *International Journal of Production Economics*, 188, 185–204. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.020>
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Wamba, S. F., & Papadopoulos, T. (2019). Big data and predictive analytics and manufacturing performance. *International Journal of Production Economics*, 211, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.017>
- Fahimnia, B., & Jabbarzadeh, A. (2016). Supply chain resilience: A systematic review. *International Journal of Production Economics*, 171, 116–133. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.10.020>
- Ghadge, A., Wurtmann, H., & Seuring, S. (2020). Managing climate change risks in global supply chains. *International Journal of Production Research*, 58(1), 44–64. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1629670>
- Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Rahman, S. (2015). Supply chain resilience: Role of complexities and strategies. *International Journal of Production Research*, 53(22), 6809–6819. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1093667>
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Operations management: Sustainability and supply chain management* (12th ed.). Pearson.
- Hohenstein, N.-O., Feisel, E., Hartmann, E., & Giunipero, L. (2015). Supply chain resilience: A systematic review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45(1/2), 90–117. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-05-2013-0128>

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Ivanov, D. (2021). Supply chain viability and COVID-19. *International Journal of Production Research*, 59(12), 3535–3552. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1890857>
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). Viability of supply networks. *Annals of Operations Research*, 290, 1–27. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03640-7>
- Jones, D., & Tamiz, M. (2010). *Practical goal programming*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5771-9>
- Kamalahmadi, M., & Parast, M. M. (2016). Supply chain resilience principles. *International Journal of Production Economics*, 171, 116–133. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.10.023>
- Kaur, H., Garg, D., & Deshmukh, S. G. (2014). Strategic outsourcing and risk. *Computers & Industrial Engineering*, 64(3), 1049–1063. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.11.003>
- Klibi, W., Martel, A., & Guitouni, A. (2010). Supply chain network design. *European Journal of Operational Research*, 203(2), 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.06.011>
- MacCarthy, B. L., & Jayarathne, P. G. S. A. (2019). Supply chain resilience review. *International Journal of Production Research*, 57(13), 4347–4368. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1557348>
- McKinnon, A. C. (2024). Logistics and climate. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 27, 2556–2570. <https://doi.org/10.1080/13675567.2024.2367534>
- Melkonyan, A., Gruchmann, T., Lohmar, F., Bleischwitz, R., & Spinler, S. (2020). Last-mile sustainability. *International Journal of Production Economics*, 228, 107746. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107746>
- Papadopoulos, T., Gunasekaran, A., Dubey, R., Altay, N., Childe, S. J., & Wamba, S. F. (2017). Disaster resilience and big data. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1108–1118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.059>
- Pettit, T. J., Fiksel, J., & Croxton, K. L. (2010). Supply chain resilience framework. *Journal of Business Logistics*, 31(1), 1–21. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2010.tb00125.x>
- Ponomarev, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Supply chain resilience concept. *International Journal of Logistics Management*, 20(1), 124–143. <https://doi.org/10.1108/09574090910954873>
- Rajesh, R. (2020). Sustainable supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(3), 299–316. <https://doi.org/10.1108/SCM-11-2018-0406>
- Rao, P., & Holt, D. (2005). Green supply chains. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(9), 898–916. <https://doi.org/10.1108/01443570510613956>
- Sheffi, Y., & Rice, J. B. (2005). Resilient enterprise. *MIT Sloan Management Review*, 47(1), 41–48.
- Speranza, M. G. (2018). Transportation and logistics trends. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 830–836. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.08.032>
- Taniguchi, E., Thompson, R., & Yamada, T. (2016). *City logistics*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315374056>
- Tang, C. S. (2006). Supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 451–488. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.12.006>
- United Nations. (2019). *World urbanization prospects 2018*. <https://population.un.org/wup/>
- Wieland, A., & Wallenburg, C. M. (2013). Supply chain resilience competencies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(4), 300–320. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2012-0243>