



Educación

Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®
Instituto Tecnológico de Orizaba

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

“ANÁLISIS Y GESTIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A POLÍTICAS
GUBERNAMENTALES QUE IMPACTAN EL DESEMPEÑO DE
LAS CADENAS DE SUMINISTRO, MEDIANTE
SIMULACIÓN DINÁMICA”

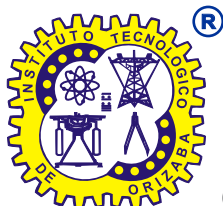
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTORA EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA

PRESENTA:

M.I.I. Laura Valentina Bocanegra Villegas

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Cuauhtémoc Sánchez Ramírez



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

MAYO 2026



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Orizaba

Departamento de División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, 07/05/2026

Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**

Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

LAURA VALENTINA BOCANEGRA VILLEGAS

Candidato a Grado de Doctor en:

CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

P R E S E N T E.-

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

**"ANÁLISIS Y GESTIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A POLÍTICAS GUBERNAMENTALES QUE IMPACTAN EL
DESEMPEÑO DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO, MEDIANTE SIMULACIÓN DINÁMICA"**

Comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

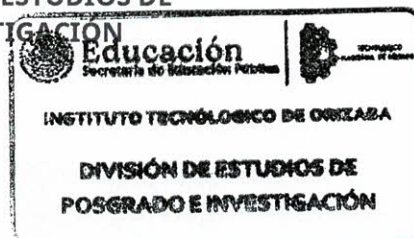
ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

DR. OSCAR BÁEZ SENTIES

**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



2026
año de
**Margarita
Maza**



Av. Oriente 9 #852 Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Veracruz
Tel. 01 (272) 1105360 info@orizaba.tecnm.mx www.orizaba.tecnm.mx



Instituto Tecnológico de Orizaba
Departamento de División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **29/abril/2026**
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

C. ÓSCAR BÁEZ SENTÍES
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

LAURA VALENTINA BOCANEGRA VILLEGAS

La cual lleva el título de:

"ANÁLISIS Y GESTIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A POLÍTICAS GUBERNAMENTALES QUE IMPACTAN EL DESEMPEÑO DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO, MEDIANTE SIMULACIÓN DINÁMICA"

Y concluyen que se acepta.

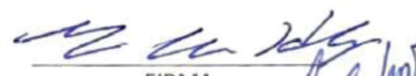
ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA-TÉCNICA-CULTURA®

PRESIDENTE: DR. CUAUHTÉMOC SÁNCHEZ RAMÍREZ



FIRMA

SECRETARIO: DR. GINER ALOR HERNÁNDEZ



FIRMA

VOCAL: DR. GUILLERMO CORTÉS ROBLES

FIRMA

VOCAL: DR. ULISES JUÁREZ MARTÍNEZ



FIRMA

VOCAL: DR. GALO RAFAEL URREA GARCÍA



FIRMA

VOCAL SUPLENTE: DRA. ROCÍO RAMOS HERNÁNDEZ



FIRMA

A mamá, con amor,

*Aparte de ser la mejor mamá del mundo y la persona a quien más quiero en esta vida, me enseñó
todo lo que sé sobre cómo ser una mujer alegre, amorosa, fuerte y resistente.*

CONTENIDO

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES	17
1.1. Planteamiento del problema	17
1.2. Objetivo	24
1.2.1. Objetivo general	24
1.2.2. Objetivos específicos.....	24
1.3. Justificación	25
1.4. Aportaciones.....	36
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	37
2.1 Búsqueda bibliográfica	37
2.2 Riesgo	40
2.3 Gestión de riesgo	43
2.4 Cadenas de suministro	45
2.5 Políticas públicas	45
2.5.1 Políticas públicas relevantes en México.....	55
2.6 Dinámica de sistemas en la gestión de riesgos	63
2.6 Síntesis y brecha identificada en la literatura	71
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA.....	72
3.1 Metodología.....	72
3.1.1 Caracterización de la cadena de suministro.....	73

3.1.2	Identificación de los eventos disruptivos en bibliografía e investigación de campo	74
3.1.3	Análisis del impacto en los procesos logísticos clave	77
3.1.4	Definición de variables clave	78
3.1.5	Identificación de relaciones entre las variables clave y creación de un diagrama causal	79
3.1.6	Desarrollo de un modelo de simulación	80
3.1.7	Identificación de estrategias de mitigación	81
3.1.8	Evaluación de riesgos	83
3.1.9	Análisis de resultados	84
3.1.10	Conclusiones.....	85
CAPÍTULO 4 RESULTADOS		87
4.1	Caracterización de la cadena de suministro.....	87
4.1.1	Sector Manufacturero Analizado	87
4.1.2	Entorno regulatorio que puede afectar al sector automotriz mexicano	91
4.2	Identificación de los eventos disruptivos en bibliografía e investigación de campo	96
4.2.1	Revisión bibliográfica	96
4.2.2	Empresas del sector automotriz.....	100
4.2.3	Mecanismos de transmisión de los riesgos	101
4.2.4	Análisis comparativo: literatura vs. realidad de campo	107
4.3	Análisis del impacto en los procesos logísticos clave	107
4.4	Definición de variables clave	112
4.5	Identificación de relaciones entre las variables clave y creación de un diagrama causal	122
4.6	Desarrollo de un modelo de simulación	137

4.6.1	Formulación del modelo	141
4.6.2	Validación	151
4.6.3	Resultados del modelo de simulación.....	153
4.6.4	Manual de usuario.....	162
4.7	Identificación de estrategias de mitigación	168
4.8	Evaluación de riesgos	173
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO		177
5.1	Conclusiones	177
5.2	Trabajo futuro	179
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		180
PRODUCTOS ACADÉMICOS		225

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Monitoreo de las políticas arancelarias de la administración Trump (THEWHITEHOUSE, 2025A).....	27
Tabla 2 Síntesis de investigaciones clave en dinámica de sistemas aplicadas a la gestión de riesgos en cadenas de suministro.....	32
Tabla 3 Países con Políticas públicas que impactan las cadenas de suministro a nivel mundial	50
Tabla 4 Investigaciones académicas políticas públicas que han afectado a la cadena de suministro	53
Tabla 5 Artículos de políticas públicas, gestión de riesgos y nearshoring	59
Tabla 6 Políticas públicas evaluadas con dinámica de sistemas	69
Tabla 7 Matriz Integral de Variables Externas que afectan la CS automotriz en México. ..	91
Tabla 8 Clasificación de impacto e incertidumbre	96
Tabla 9 Matriz de caracterización de eventos disruptivos y políticas públicas con impacto en la cadena de suministro.....	98
Tabla 10 Perfil demográfico de las empresas analizadas y su nivel de exposición al entorno regulatorio.....	100
Tabla 11 Matriz de caracterización de mecanismos disruptivos: Dinámica de impacto y estrategias de mitigación en el sector automotriz.....	103
Tabla 12 Caracterización de procesos logísticos e indicadores críticos.....	109
Tabla 13 Catálogo de eventos disruptivos priorizados	111
Tabla 14 Definición de las variables clave del sistema	113
Tabla 15 Marco conceptual, variables clave del modelo de simulación	122
Tabla 16 Ejemplo de prueba de parsimonia	124
Tabla 17 Comparativa de Software de Dinámica de sistemas.....	140
Tabla 18 Índice estacional (<i>StP</i>) para la producción.....	144
Tabla 19 Validación estadística de datos históricos observados en escenarios con y sin aranceles.	152
Tabla 20 Resumen de estrategias y acciones por categoría.....	169

Tabla 21 Aranceles de Importación y Condiciones Preferenciales para Vehículos de Pasajeros por País y Continente.....	171
Tabla 22 Catálogo de riesgos.....	175

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Metodología PRISMA para la selección de documentos.....	38
Figura 2 Distribución temporal de las publicaciones	39
Figura 3 Relación causa-efecto en diagramas causales	65
Figura 4 Metodología propuesta para la gestión de riesgos en una red de suministro	73
Figura 5 Histórico de Producción, exportaciones y empleo de vehículos ligeros en México (INEGI, 2025b).....	90
Figura 6 Metodología PRISMA para la selección de documentos.....	97
Figura 7 Diagrama causal del modelo general	125
Figura 8 Bucle B1: Economía - Inflación.....	126
Figura 9 Bucle B2: Economía - Tasa de Interés	127
Figura 10 Bucle B3: Economía - Tasa de Cambio	128
Figura 11 Bucle B4: Aprovisionamiento – Costos de Producción.....	128
Figura 12 Bucle B5: Costos de producción, exportaciones, comercio exterior, aranceles.	129
Figura 13 Bucle B6: Inflación, Producción, Costos de Producción, Competitividad del País, Comercio Exterior, Aranceles	130
Figura 14 Bucle b7: Economía, Tasa de Interés, Inflación, Tasa de Cambio, Comercio Exterior, Aranceles	130
Figura 15 Bucle B8: Costos de producción, IED, comercio exterior, aranceles, exportaciones	131
Figura 16 Bucle B9: Tasa de interés, costos de producción, economía, tasa de cambio....	131
Figura 17 Bucle B10: Aprovisionamiento, Costos de Producción, Exportaciones, Comercio Exterior	132
Figura 18 Bucle R1: Incentivos Fiscales - IED	132
Figura 19 Bucle R2: Incentivos fiscales - aranceles.....	133
Figura 20 Bucle R3: Nuevos mercados - exportaciones.....	133
Figura 21 Bucle R4: Nuevos Mercados - Competitividad del País.....	133
Figura 22 Bucle R5: Empleo – economía.....	134
Figura 23 Bucle R6 y R7: Comercio exterior, exportaciones, importaciones, aranceles ...	134
Figura 24 Bucle R8: Competitividad del país, comercio exterior, aranceles	135

Figura 25 Bucle B9: Economía, tasa de interés, aprovisionamiento, costos de producción	136
Figura 26 Bucle R10: Tasa de Interés, Inflación, Producción, Importaciones	136
Figura 27 Diagrama causal del modelo de simulación acotado	138
Figura 28 Bucle R1: la búsqueda de nuevos mercados por parte del sector automotriz mexicano.....	139
Figura 29 Bucle B5: Mecanismos de transmisión del impacto de los aranceles.....	140
Figura 30 Prueba de condiciones extremas: Cambio en los aranceles	153
Figura 31 Pronóstico de producción sin aranceles.	154
Figura 32 Pronóstico de exportaciones sin aranceles.	155
Figura 33 Pronóstico de la fuerza laboral sin aranceles.	155
Figura 34 Pronóstico del PIB del sector automotriz sin aranceles.	156
Figura 35 Comparación del comportamiento de la producción en diferentes escenarios: aranceles del 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%.	157
Figura 36 Comparación del comportamiento de la fuerza laboral bajo diferentes escenarios: aranceles del 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%.	158
Figura 37 Impacto de un arancel del 25 % y cambios en la elasticidad de la producción .	160
Figura 38 Impacto de un arancel del 25 % y variaciones en la elasticidad de la demanda laboral.	161
Figura 39 Inicio-Efectos de las políticas arancelarias en las de suministro manufactureras de México	163
Figura 40 Introducción al software.....	163
Figura 41 Simulación de exportaciones, producción, empleados y PIB.	164
Figura 42 Pronóstico de las variables clave.....	165
Figura 43 Simulación de escenarios con diferentes niveles arancelarios	166
Figura 44 Impacto de los aranceles y la diversificación del mercado sobre la producción del sector automotriz mexicano.....	168

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1	143
Ecuación 2	143
Ecuación 3	144
Ecuación 4	144
Ecuación 5	145
Ecuación 6	146
Ecuación 7	146
Ecuación 8	147
Ecuación 9	148
Ecuación 10	148
Ecuación 11	149
Ecuación 12	149
Ecuación 13	150
Ecuación 14	150
Ecuación 15	150
Ecuación 16	151
Ecuación 16	151

RESUMEN

La volatilidad geopolítica y comercial contemporánea ha transformado la cadena de suministro global en un sistema frágil, donde cambios en políticas públicas como los aranceles, restricciones sanitarias, conflictos internacionales, generan disrupciones en cascada que afectan economías enteras. A diferencia de impactos económicos convencionales causados por ciclos de mercado, estas disrupciones de política son frecuentemente no-lineales e impredecibles.

El sector automotriz en México representa un caso paradigmático de esta vulnerabilidad sistémica: representa el 3.5% del PIB nacional, 5% del empleo formal, que depende crítica y asimétricamente de mercados externos, especialmente EE. UU. Los aranceles estadounidenses del 25% simulados en esta investigación generan, según los modelos desarrollados, contracciones de exportación del -7.42% que persisten indefinidamente sin mecanismo de recuperación automática.

Se desarrolló una metodología basada en dinámica de sistemas, permitiendo modelar el comportamiento no lineal de las variables y los efectos de retroalimentación a lo largo del tiempo para analizar y gestionar los riesgos asociados a políticas gubernamentales que impactan las cadenas de suministro mediante la simulación dinámica. El modelo desarrollado permite validar la metodología propuesta, ofreciendo apoyo a los tomadores de decisiones mediante la cuantificación del efecto de los aranceles en variables críticas como el PIB, la competitividad del mercado, los empleos y los despidos del sector automotriz mexicano.

Los resultados expusieron que las políticas restrictivas generan efectos significativos en indicadores clave como los empleados directos, producto interno bruto y unidades producidas.

Palabras Clave: Gestión de riesgos, Políticas públicas, Cadena de suministro, Dinámica de sistemas.

ABSTRACT

Contemporary geopolitical and trade volatility have transformed the global supply chain into a fragile system, where changes in public policies, such as tariffs, sanitary restrictions, and international conflicts, generate cascading disruptions that affect entire economies. Unlike conventional economic impacts caused by market cycles, these policy disruptions are frequently non-linear and unpredictable.

The automotive sector in Mexico represents a paradigmatic case of this systemic vulnerability, accounting for 3.5% of the national GDP and 5% of formal employment, and it depends critically and asymmetrically on external markets, particularly the United States. The 25% US tariffs simulated in this research, according to the developed models, generate export contractions of -7.42% that persist indefinitely without an automatic recovery mechanism.

A methodology based on Systems Dynamics was developed, enabling the modeling of non-linear behavior and feedback effects over time to analyze and manage risks associated with government policies that impact supply chains through dynamic simulation. The developed model validates the proposed methodology, supporting decision-makers by quantifying the impact of tariffs on key variables, including GDP, market competitiveness, employment, and layoffs, in the Mexican automotive sector.

The results showed that restrictive policies have a significant impact on key indicators, including direct employment, Gross Domestic Product, and units produced.

Keywords: Risk management, Government Policies, Supply Chain, System Dynamics.

INTRODUCCIÓN

Las cadenas de suministro son redes complejas que conectan a proveedores, fabricantes, distribuidores y consumidores en diversas ubicaciones geográficas, formando una red de interdependencias económicas, logísticas y financieras. Estas redes son sistemas adaptativos caracterizados por interacciones y dependencias multifacéticas (Massari & Giannoccaro, 2024). En este contexto de creciente globalización, las políticas públicas desempeñan un papel importante en la mejora de la resiliencia de la cadena de suministro (CS) al proporcionar un marco para mitigar las interrupciones y garantizar la continuidad (García-Pérez-de-Lema et al., 2022). Sin embargo, la investigación académica ha mostrado tradicionalmente una atención limitada hacia el análisis sistemático de cómo las intervenciones gubernamentales generan disrupciones en cascada que se propagan a través de sistemas de suministro altamente interconectados (Colon & Hochrainer-Stigler, 2023; Meng, 2025).

Las perturbaciones ocasionadas por políticas públicas como las arancelarias, regulaciones comerciales, normativas ambientales, estándares laborales y restricciones geopolíticas, no operan de manera aislada, interactúan con la estructura inherentemente frágil de las redes globales de suministro, amplificando sus efectos iniciales y generando dinámicas de riesgo sistémico (Grossman et al., 2024; Qian & Qiu, 2023). La pandemia de COVID-19 y sus secuelas revelaron que aproximadamente el 33% de las perturbaciones en los tiempos de entrega global fueron atribuibles directamente a disrupciones en la cadena de suministro. Mientras tanto, los efectos externos de la política comercial y de salud fueron mecanismos importantes que aumentaron los impactos en la producción industrial mundial y en la inflación (Grossman et al., 2024).

Recientemente, el panorama de riesgos asociados a políticas gubernamentales se ha intensificado significativamente. Las medidas arancelarias impuestas durante los conflictos comerciales entre grandes potencias han alcanzado niveles sin precedentes, con tasas de arancel acumulativas hasta del 50% sobre importaciones desde determinados orígenes (Zheng et al., 2023). Estos instrumentos de política comercial son herramientas para regular precios y son impulsores de cambios importantes en cómo se organizan las redes de valor

globales, provocando interrupciones que afectan diferentes sectores y países (Ciuriak et al., 2018; Swenson, 2024). Algunas estimaciones sugieren las disminuciones de los volúmenes de importación en 4.9% en China y 4.5% en los EE. UU generadas por los aumentos arancelarios, durante la primera disputa comercial, entre Estados Unidos (EE. UU.) (Zheng et al., 2023).

Por otro lado, políticas como la integración de las regulaciones ambientales, sociales y de gobierno (ESG) en las estrategias corporativas tienen un impacto multifacético en la rentabilidad de las empresas y en su capacidad para cumplir con los requisitos reglamentarios. Las prácticas ESG pueden mejorar la rentabilidad al reducir los costos, mejorar la reputación y facilitar el acceso al capital, aunque los efectos pueden variar significativamente según los diferentes sectores y regiones (Ekonomi et al., 2025). Las Directrices de Sostenibilidad Corporativa de la Unión Europea (CSRD) (Novicka & Volkova, 2024), la Ley de Devida Diligencia de Cadenas de Suministro alemana (LkSG) (Lichuma, 2024) y Uyghur Forced Labor Prevention Act (UFLPA) generan requerimientos de trazabilidad, auditoría y verificación que alteran la estructura de decisiones en procesos de aprovisionamiento y generan perturbaciones en los flujos logísticos normalizados (Salcito, 2023).

Las sanciones económicas y restricciones geopolíticas constituyen otra fuente de riesgo derivado de políticas públicas. La guerra Rusia-Ucrania (Nesterenko et al., 2021; Queiroz et al., 2020; Rozhkov et al., 2022), las tensiones comerciales EE. UU.-China (Autor et al., 2024; Flaaen & Pierce, 2024) y la creciente fragmentación geopolítica global han interrumpido accesos a materias primas críticas, semiconductores, y energéticos, generando efectos en cascada que se propagan a través de múltiples industrias. El acceso restringido a semiconductores, por ejemplo, ha impactado tanto la industria automotriz como la de electrónica de consumo, demostrando la naturaleza sistémica de estas disrupciones (Frieske & Stieler, 2022; Mohammad et al., 2022).

A pesar de los riesgos, persiste una brecha de estudios académicos sobre métodos que integren la manera de entender, modelar y prever cómo las políticas del gobierno afectan el rendimiento de las cadenas de suministro globales (J. Hong et al., 2023; Yücesan, 2025). Los enfoques predominantes en la gestión de riesgos de cadena de suministro se han concentrado

históricamente en fases de identificación, evaluación y selección de estrategias de tratamiento de riesgos, dejando significativas carencias en las fases de monitoreo, control y modelado de interacciones sistémicas (Pham et al., 2022; Polyviou et al., 2022).

Además, la investigación existente en el campo de disrupciones de cadenas de suministro y política comercial tiende a adoptar perspectivas estáticas o de corto plazo, sin capturar adecuadamente la naturaleza dinámica, no-lineal y retroalimentada de los sistemas de suministro con políticas cambiantes (J. Hong et al., 2023; Hughes et al., 2025).

Los modelos econométricos tradicionales, aunque útiles para estimaciones de corto plazo, frecuentemente tienen limitaciones en representar los bucles de retroalimentación entre decisiones de aprovisionamiento, ajustes de inventario, cambios en capacidad de producción, y reacciones de política pública que caracterizan la evolución temporal de perturbaciones sistémicas (Debnath et al., 2022).

Dinámica de sistemas (SD), ofrece un marco metodológico robusto para abordar estas limitaciones (Crabolu et al., 2023; S. Liu et al., 2024). Los modelos de dinámica de sistemas permiten la representación explícita de bucles de realimentación positiva y negativa, retrasos temporales, y comportamientos emergentes que caracterizan la respuesta de cadenas de suministro complejas ante políticas públicas disruptivas (Hamed et al., 2024; L. Zhang et al., 2024; X. Zhang et al., 2024). Este enfoque facilita la exploración de escenarios, el análisis de sensibilidad, y la evaluación de estrategias alternativas de mitigación en un entorno controlado y de bajo riesgo (Hawkins et al., 2020; ISO, 2018; B. Li et al., 2021; Tavakoli Haji Abadi & Avakh Darestani, 2021).

El contexto actual de volatilidad política, fragmentación geográfica de cadenas de suministro, y creciente tensión entre objetivos de eficiencia económica y requisitos de resiliencia sistémica hacen particularmente relevante el desarrollo de capacidades analíticas que integren análisis de riesgos, política gubernamental, y dinámicas de sistemas complejos. Cuando las empresas operan en entornos de cadena de suministro global, enfrentan un conjunto de decisiones estratégicas sin precedentes respecto a reconfiguración de redes de proveedores (nearshoring, reshoring, friendshoring), diversificación de fuentes de abastecimiento, y ajustes en modelos de inventario (Fu et al., 2020; Jiang & Martek, 2021; Maneejuk & Yamaka, 2021; van Hassel et al., 2022; Xu et al., 2023).

La presente investigación desarrolla un marco integrado de análisis y gestión de riesgos donde se caracterizan las políticas públicas que generan interrupciones en cadenas de suministro del sector manufacturero en México, para la construcción de un modelo de simulación dinámica para capturar los comportamientos no-lineales y retroalimentaciones sistémicas para desarrollar una metodología para la toma de decisiones estratégicas en contextos de incertidumbre política.

La tesis está organizada en cuatro capítulos. En el Capítulo 1, se definen los conceptos básicos en los que se fundamenta esta investigación, como cadena de suministro, sector manufacturero, los tipos de riesgos, dinámica de sistemas y la metodología propuesta para su gestión en las redes de suministro. También, se expone el planteamiento del problema, los objetivos general y particulares, la hipótesis, las aportaciones y justificación de la tesis.

En el Capítulo 2 se analizan los eventos disruptivos que han afectado las redes de suministro, agrupándolos en desastres naturales, crisis económicas, conflictos armados, crisis sanitarias, y políticas públicas, para comprender cómo estos eventos impactan la logística empresarial, recursos, estrategias para gestionarlos y países con mayor exposición. Por último, se revisan las políticas públicas que han afectado a las redes de suministro globales, en especial las relacionadas con el nearshoring y con la transición energética en México y en los diez primeros países del Ranking de Competitividad Mundial.

En el Capítulo 3, se explican los modelos matemáticos que se usan para simular cómo funciona una cadena de suministro en la industria manufacturera. También se presenta el diagrama causal creado para la investigación y se hacen pruebas para comprobar si la simulación refleja la realidad del sistema.

En el Capítulo 4, se presentan los diferentes escenarios de sensibilidad desarrollados. Además, analiza las variables clave y su influencia a través del tiempo. Se identifican áreas críticas y la dinámica del sistema bajo diferentes supuestos y configuraciones para la toma de decisiones estratégicas.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

1.1.Planteamiento del problema

Las políticas públicas gubernamentales constituyen una categoría distintiva de riesgo para las cadenas de suministro, diferente cualitativa y cuantitativamente. Mientras una falla de proveedor afecta a un eslabón de la cadena, políticas como aranceles, embargos, regulaciones ambientales o restricciones de capital pueden reconfigurar estructuralmente la viabilidad económica de cadenas enteras, afectando simultáneamente múltiples eslabones y geografías.

Entre los casos recientes que ilustran impactos regulatorios se destaca la guerra de aranceles EE. UU.-China (2018-Presente), generada por la imposición de aranceles sobre importaciones chinas (escaló de 10% en 2018 a 25% en 2019, y se mantiene con fluctuaciones hasta 2025); creó la reconfiguración masiva de cadenas de suministro globales. Empresas manufactureras norteamericanas enfrentaron la decisión de absorber costo de aranceles (reduciendo márgenes), relocalizarse fuera de China (requiriendo inversión de capital y reentrenamiento de personal) o trasladar costos a consumidores (mediante incremento de precios).

Los datos muestran que aproximadamente el 30% de las empresas evaluadas (Fortune 500) modificaron geografía de proveedores; otro 40% absorbió costos mediante reducción de márgenes; el 30% restante utilizó combinaciones. El impacto sistémico fue reposicionamiento global de inversión en manufactura: México, Vietnam, Indonesia ganaron capacidad manufacturera, mientras que países de origen de capitales (EE. UU., UE) iniciaron políticas de "nearshoring" (Mao & Görg, 2020; Swenson, 2024). Evidenciando una política comercial creada por decisión ejecutiva modificó geografía productiva global dentro de 18-24 meses; por lo que las políticas públicas tienen velocidad de impacto mucho mayor que cambios tecnológicos o de mercado.

Las restricciones de exportación de China sobre tierras raras (2010-2015, 2023-2025), que controla aproximadamente 65% de extracción y 85% de refinado a nivel mundial, hicieron que los precios globales se incrementaran 800% en algunos elementos. Países como Japón, Corea del Sur y EE. UU. fueron afectados inmediatamente. Cadenas de manufactura de

defensa experimentaron disrupciones. Además, la transición energética global (que depende críticamente de tierras raras para paneles solares y turbinas eólicas) se vio amenazada, entre otras. Analizando de qué manera una restricción a la exportación generada por política pública puede convertirse en un arma geopolítica con efectos sobre cadenas que no tienen alternativas a corto plazo (Analytica, 2023; Ferreira & Critelli, 2022). Una política de restricción de exportación de un país concentrador de recurso crítico puede paralizar cadenas en múltiples sectores simultáneamente, demostrando interdependencia tecnológica como nueva vulnerabilidad de cadenas.

Por otro lado, las políticas nacionales de vacunación durante la pandemia de COVID-19 generaron inestabilidad entre los países. Los que priorizaban exportación de vacunas (India) experimentaron presión interna. Los países que producían ingredientes activos (Sudáfrica) enfrentaron regulaciones de patentes que limitaban la localización de producción. Además, los consumidores experimentaron fluctuaciones de política (cierre de fronteras intermitente) que impactaron la logística. Por lo tanto, las disrupciones de COVID-19 no fueron únicamente sanitarias, también fueron elecciones de política pública sobre quién tenía acceso, qué precio y en qué momento (Núñez et al., 2021). Demostrando que las políticas de salud pública pueden reconfigurar la geografía de producción de bienes críticos, exponiendo que categorías tradicionales de riesgo (operacional, financiero) son insuficientes sin incorporación explícita de riesgos de políticos (Núñez et al., 2021; Weil, 2023).

La guerra Rusia-Ucrania (2022-Presente), generó una respuesta coordinada de gobiernos occidentales mediante sanciones económicas complejas: restricciones de exportación tecnológica, congelamiento de activos, prohibición de comercio de sectores críticos (energía, semiconductores), embargo de ciertas materias primas; que impactaron a Rusia y las cadenas globales: restricciones de exportación de petróleo/gas ruso impactaron precios energéticos en Europa; restricciones de neón ruso (5% de oferta global) que impactaron producción de semiconductores; el embargo de fertilizantes rusos amenazó la seguridad alimentaria global (He et al., 2023; Liadze et al., 2023; Queiroz et al., 2020; Saltzman, 2022a, 2022b).

Al mismo tiempo, países neutrales como India, Brasil y los del sudeste asiático sintieron la presión de gobiernos occidentales para que cumplieran con las sanciones. Esto muestra cómo las políticas de un país, como las sanciones, pueden ejercer presión en otros países (Kulikova

et al., 2024). Por lo tanto, las políticas de sanciones geopolíticas generan una serie de efectos que afectan a países, empresas y cadenas que no están directamente involucrados en el conflicto, mostrando cómo están conectadas las cadenas globales.

También, la creciente necesidad de alineación con Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el consumo sostenible y políticas como la Ley de Reducción de la Inflación de 2022, cuyo objetivo es reducir las emisiones de CO₂ en aproximadamente un 40% para 2030 con respecto a los niveles de 2005 (K. Jordan et al., 2023). Las fluctuantes tasas de interés en el Reino Unido desde el Brexit (Oliver, 2023) y el ataque de Gaza (Yasir et al., 2020). Generan una alta vulnerabilidad e incertidumbre de las cadenas de suministro internacionales desde el lado de la demanda y de la oferta (van Hassel et al., 2022).

Las regiones manufactureras dependen principalmente de recursos como alimentos, energía y minerales. Y estos a su vez dependen de los productos procesados para continuar. Esta interconexión de los países expone las cadenas de suministro a diferentes eventos que pueden afectar la continuidad de las operaciones, acelerar la gestión de riesgos para prever y anticiparse a las dificultades durante la recuperación y formular estrategias adecuadas para garantizar la supervivencia de sus negocios y cadenas de suministro (Clarke & Boersma, 2015; Paul et al., 2021; Siebert et al., 2020).

Entre Asia y EE. UU., el costo del transporte marítimo pasó de USD 1,400 por contenedor a USD 20,000 en 2020 (*Viewpoint: 2021 Is the Year of the Freight Service Embargo - FreightWaves*, 2021). Este aumento afectó a numerosos importadores de mercancías voluminosas y de bajo valor por unidad de peso–volumen (por ejemplo, muebles de madera), quienes no pudieron trasladar completamente el alza a precios finales y, en consecuencia, dejaron de realizar pedidos de materia prima (Sheffi, 2021). Ante este contexto, se ha impulsado la relocalización de actividades hacia países con prácticas comerciales similares y vínculos culturales, lingüísticos e ideológicos más estrechos (Barbieri et al., 2020; Chiquiar et al., 2024). El objetivo es fortalecer la resiliencia de las cadenas de suministro, generar sinergias con empresas cercanas, reducir costos logísticos y mitigar interrupciones potenciales, lo cual se traduce en menores costos de producción, entregas más rápidas y una menor huella de carbono (Camacho-Vallejo et al., 2023; van Hassel et al., 2022).

Esta reconfiguración de las cadenas de suministro puede posicionar a México como un nuevo centro de operaciones logísticas para las empresas ubicadas en países como China, de acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (Chiquiar et al., 2024) por su proximidad con EE. UU. (Fratocchi & Mayer, 2023; Perez-Batres & Trevino, 2023).

Por otro lado, los aranceles, utilizados históricamente como instrumentos para salvaguardar las industrias nacionales, presentan una naturaleza cíclica, oscilando entre la liberalización comercial y el proteccionismo en función de las condiciones económicas predominantes; la perspectiva clásica plantea que los aranceles resguardan los intereses de los productores nacionales contra la competencia extranjera (Rogers et al., 2024).

El sector manufacturero de México está altamente integrado en las Cadenas Globales de Valor y es un factor clave entre la economía de México y EE. UU., contribuyendo al crecimiento económico, desarrollo tecnológico y creación de empleo. Esta integración ha dado lugar a cadenas de suministro complejas donde los componentes cruzan las fronteras varias veces antes del ensamblaje final (Canis et al., 2017). Sin embargo, esta integración se enfrenta a los desafíos derivados de los cambios en la política comercial de EE. UU (Karkason, 2024; Medina Chamorro & De La Peña Cárdenas, 2020; Pappalardo et al., 2022).

La imposición de aumentos arancelarios por parte de EE. UU. genera preocupación por posibles perturbaciones y cambios en la dinámica comercial establecida durante décadas a través de acuerdos como el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Hubo un aumento del 53% en las exportaciones estadounidenses a México desde 1993 (Gachúz Maya, 2022). Su sucesor, el Acuerdo entre EE. UU., México y Canadá (USMCA), que ha sido fundamental en el crecimiento del sector automotriz al reducir las barreras comerciales y aumentar los requisitos de contenido regional (Crossa, 2024; Silvia & Arce, 2019).

Los impactos económicos de los aranceles pueden afectar los volúmenes comerciales, los flujos de inversión y los mercados laborales, con implicaciones significativas para la estabilidad económica y el crecimiento regional. En primer lugar, se anticipa una reducción en los volúmenes comerciales entre EE. UU. y México, dado que el incremento de los costos podría mermar la competitividad de las exportaciones mexicanas en el mercado estadounidense (Higuera Cota et al., 2023). La contracción del comercio podría ralentizar el

crecimiento económico en ambos países, dado que esto constituye un componente esencial del PIB mexicano y un factor significativo para determinadas industrias estadounidenses (Vite López & Vite Gómez, 2024).

Respecto a la inversión y la integración económica, los aranceles podrían disuadir la inversión extranjera directa (IED) en México al incrementar los riesgos y costos vinculados a la exportación al mercado estadounidense. Este efecto podría socavar los avances logrados en la integración económica de América del Norte, impulsados por los acuerdos comerciales (GIRAULT, 2024). La incertidumbre causada por estas políticas comerciales podría influir en las decisiones de inversión a largo plazo, haciendo que las multinacionales reconsideren cómo organizan sus cadenas de suministro y dónde ubican sus fábricas (Teorema Stolper-Samuelson et al., 2023).

Los aranceles podrían generar efectos adversos en el sector, impactando tanto a los países exportadores como a los consumidores del país importador (Rogers et al., 2024), al reducir la competitividad y la estabilidad económica, con el potencial de dañar ambas economías mediante la disminución de los volúmenes comerciales, el aumento de los precios y la desestabilización de las cadenas de suministro, repercutiendo en el empleo y el crecimiento económico (GIRAULT, 2024; Higuera Cota et al., 2023; US-Mexico Trade War Would Harm Both Economies, 2024). Además, influyen en los costos de producción y la dinámica de las cadenas de suministro, lo que podría provocar desvíos comerciales y alteraciones en los patrones de producción globales (Gachúz Maya, 2022; Rogers et al., 2024; Wang, 2023).

Durante la revisión de literatura académica, se identificó que la gestión de riesgos de cadena de suministro (SCRM) se ha enfocado predominantemente en tres tipos de riesgos:

- a) Riesgos operacionales (fallas de proveedores, problemas de calidad, tiempos de ciclo).
- b) riesgos ambientales/climáticos (desastres naturales, cambios climáticos, impactos de sostenibilidad), y
- c) riesgos financieros (volatilidad de precios, tipos de cambio, acceso a crédito).

Sin embargo, existe una brecha significativa en investigación que aborde los riesgos generados explícitamente por políticas públicas como variables endógenas de incertidumbre

y disrupciones sistémicas en cadenas de suministro (Bazile & Su, 2024; Feng et al., 2023). Específicamente, la brecha investigativa presenta tres dimensiones:

- a) Carencia de marco teórico integrado: No hay un marco teórico claro que reúna los diferentes tipos de políticas públicas que impactan las cadenas, como aranceles, regulaciones ambientales, restricciones de exportación, leyes laborales, control de cambios, sanciones y requisitos de localización. Además, hay mecanismos de transmisión de impacto (cómo una política se traduce en reconfiguración de cadena), dinámicas temporales (cómo impactos evolucionan en tiempo, exhiben inercia, generan retroalimentaciones) y estrategias de resiliencia político-específicas (qué hacer ante cada tipo de política). Mientras existe literatura sobre cada componente individual (economía política, SCRM, gestión de disrupciones).
- b) Ausencia de una metodología con dinámica de sistemas: Aunque SD ha demostrado utilidad en modelar dinámicas de política pública en contextos macroeconómicos, y aunque ha sido aplicada a varios problemas de cadena de suministro (inventarios, resiliencia operacional, sostenibilidad). No existe literatura que explícitamente integre modelado de políticas públicas arancelarias con operaciones de cadena de suministro de un sector simultáneamente. Es decir, no existen modelos que permitan simular: "Si el gobierno implementa un arancel que incrementa 20% anualmente, ¿cuál es el impacto, cómo se reconfigura en mi cadena de suministro, etc.?"
- c) Falta de validación empírica en contextos Latinoamericanos: Mientras la literatura existente sobre SCRM proviene predominantemente de contextos norteamericanos y europeos (con cadenas integradas y mercados maduros), existe un vacío particularmente crítico en aplicación a contextos latinoamericanos. En estos países, las políticas públicas fluctúan significativamente con variaciones de gobiernos. Además, las cadenas son frecuentemente menos integradas y más vulnerables a cambios regulatorios. Además, la capacidad de adaptación tecnológica está más limitada.

Los estudios disponibles en EBSCO, Scopus y ScienceDirect sobre cadenas de suministro con perspectiva latinoamericana representan el 20% de la literatura total, e incluso menos de este 20% aborda específicamente la política como variable de riesgo.

Ante las complejidades mencionadas, esta investigación busca abordar la brecha en la comprensión y gestión de los riesgos asociados a las políticas públicas que impactan el desempeño de las cadenas de suministro. A través de dinámica de sistemas, se analizarán las repercusiones de determinadas políticas fiscales en las operaciones de estas cadenas, con el fin de facilitar la toma de decisiones tanto para empresas como para responsables políticos. De esta manera, se promoverá una adaptación proactiva a los cambios políticos y la mitigación de posibles interrupciones (Schiffmann et al., 2023).

Fortaleciendo la resiliencia y eficiencia de las cadenas de suministro, a través de la evaluación de estrategias de mitigación de riesgos y recomendaciones que refuercen su capacidad frente a disrupciones provocadas por políticas públicas.

El buen desempeño de la cadena de suministro es clave para el funcionamiento de las economías; su fracaso puede generar cuellos de botella con efectos adversos en la productividad y el crecimiento económico, ocasionando un efecto dominó (Salvatore, 2020). Ante la falta de respuestas resilientes en muchas industrias, se plantea la necesidad de adoptar cambios estratégicos que identifiquen la exposición al riesgo. Por lo que se abordará a través de las siguientes preguntas de investigación:

- i. ¿Cuáles son los procesos logísticos clave impactados por políticas públicas en una red de suministro que presentan mayores riesgos?
- ii. ¿Cuánto tiempo de interrupción puede tolerar la cadena de suministro antes de que se produzca un paro crítico de producción derivado de políticas públicas?
- iii. ¿Cuáles son los posibles impactos a corto, mediano y largo plazo de una disrupción asociada a políticas públicas en una red de suministro?

1.2.Objetivo

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto de investigación.

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de gestión de riesgos para formular estrategias considerando las políticas gubernamentales a las que se ven sometidas las redes de suministro.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar los procesos logísticos clave de una red de suministro modificados por una política gubernamental.
2. Desarrollar un diagrama causal con las políticas gubernamentales que han impactado a los procesos logísticos clave para visualizar las relaciones de retroalimentación y retraso.
3. Formular un modelo de simulación que permita evaluar el impacto de las políticas gubernamentales en una red de suministro, para definir estrategias que atenúen las interrupciones bajo diferentes escenarios.

1.3.Justificación

Las disrupciones en las redes de suministro se han convertido en una de las amenazas más importantes que enfrentan las empresas en casi todos los sectores. En un entorno empresarial cada vez más complejo por la interconexión a través de cadenas y redes de valor globales, estudiar, mapear y comprender las interacciones entre los proveedores de primer, segundo e incluso tercer nivel es esencial. Esto es necesario para mantener las empresas operativas, proteger la rentabilidad y la reputación.

Esta investigación examina acontecimientos como la disminución en las exportaciones por las políticas arancelarias impuestas por EE. UU. entre 2018 y 2020, con escalonamientos y ajustes en las tasas de los aranceles a lo largo del tiempo que han generado incertidumbre en el sector automotriz mexicano, especialmente en lo referente a los costos de producción y la competitividad internacional. Durante la administración en EE. UU. entre el 2017 y el 2021, se aplicaron aranceles a diferentes productos originarios de México valuados en 380 mil millones de dólares entre 2018 y 2019 (Congressional Research Service, 2020). Entre las políticas fiscales relevantes se destacan los ajustes anunciados en mayo de 2019 a las tarifas sobre acero y aluminio; políticas similares han sido reactivadas a partir de 2025.

Entre el 2018 y el 2020, también se observó una tendencia decreciente en las exportaciones de vehículos ligeros de México a EE. UU. con respecto al año anterior (INEGI, 2025b). Estudios posteriores han demostrado que estas medidas de aumento de aranceles no lograron estimular la generación de empleo en EE. UU. y, por el contrario, afectaron negativamente al sector manufacturero al aumentar los costos de los insumos y desencadenar represalias internacionales (Autor et al., 2024; Flaaen & Pierce, 2024).

Con el inicio del nuevo periodo presidencial de EE. UU. en el 2025, entraron en vigor múltiples aranceles, además de iniciar investigaciones relacionadas con políticas arancelarias. El 28 de enero de 2025, se anuncia la consideración de aranceles del 25% a los bienes importados de Canadá, México y China, fundamentados en la Ley de Poderes Económicos de Emergencia Internacionales (IIEPA), con su implementación prevista para el 4 de febrero del mismo año. Sin embargo, los aranceles dirigidos a México recibieron una prórroga de 30 días, entrando en efecto el 4 de marzo del mismo año. El 5 y el 6 de marzo,

el presidente eximió a las importaciones indefinidamente; la tarifa aplicable del 25% se reemplazaría con un arancel recíproco del 12%, excluyendo las importaciones del USMCA más adelante (Aime Williams et al., 2025).

El 2 de abril del 2025 se introducen aranceles recíprocos a todos los países que aplican tarifas a exportaciones estadounidenses; se comunicó de estos impuestos a más de 50 socios comerciales y a las importaciones no estadounidenses de Canadá y México a una tasa del 10%, tras la finalización de los aranceles de fentanilo de IEEPA, así como los aranceles actualizados de automóviles, acero y aluminio (TheWhiteHouse, 2025b).

Sobre tarifas específicas por producto, el 1 de febrero de 2025 se añadieron el acero, aluminio, cobre y semiconductores, que son importantes para hacer vehículos en varias partes, como las estructurales, eléctricas y del motor. Esto afecta los costos de producción. La Tabla 1 resume la información principal sobre las políticas comerciales, enfocándose en las tarifas que se aplican a las importaciones a EE. UU. Esto ayuda a entender mejor las regulaciones arancelarias que impactan la cadena de suministro de los proveedores y el producto final.

Tabla 1 Monitoreo de las políticas arancelarias de la administración Trump (*THEWHITEHOUSE, 2025A*)

Objetivo	Fecha del anuncio	Fecha de implementación	Importaciones afectadas	Tasa aplicable	Autoridad
México	1 de febrero; originalmente prevista para el 4 de febrero, pero pospuesta por 30 días.	Vigente desde el 4 de marzo; exenciones de 30 días otorgadas el 5 y 6 de marzo; prórrogas indefinidas.	Hasta 236 mil millones USD mientras las exenciones estén en vigor.	25%; a ser reemplazado posteriormente por un 12% de “arancel recíproco”, excluyendo las importaciones del T-MEC.	IEEPA
Canadá	1 de febrero	El evento estaba programado para el 4 de febrero, pero se pospuso 30 días. Entró en vigor el 4 de marzo. Se concedieron exenciones de 30 días el 5 y 6 de ese mes, y estas se extendieron indefinidamente.	Hasta 253 mil millones de USD mientras las exenciones estén en vigor.	25% para productos no energéticos; 10% para energía y potasa; a ser reemplazado posteriormente por un 12% de “arancel recíproco” sobre importaciones fuera del T-MEC, excluyendo energía y potasa.	IEEPA
China	1 de febrero	Feb 4; aumentado Mar 4.	\$430 mil millones.	10% inicialmente; aumentado al 20%, más un 125% adicional bajo los aranceles de “reciprocidad”.	IEEPA
Aranceles de “reciprocidad”	Anunciado el 13 de febrero; recomendaciones previstas para el 1 de abril; firmado el 2 de abril.	Primer 10% vigente desde el 5 de abril, con aumentos específicos por país pospuestos 90 días el 9 de este mes; para China, su incremento aplazado 90 días el 12 de mayo; aumento para la UE al 50% anunciado el 23 de mayo, pero diferido el 25.	1.3 billones de USD, excluyendo automóviles, autopartes, acero, aluminio, energía, electrónicos, Canadá y México.	10% base; tasas más altas para ciertas jurisdicciones, incluyendo 125% para China.	IEEPA

Acero y aluminio	10 de febrero	Mar 12; incremento anunciado el 30 de mayo, vigente desde el 4 de junio.	Fin de las exenciones al acero por 29 mil millones de USD. Fin de las exenciones al aluminio por 12 mil millones de USD. Se propone ampliar la cobertura a derivados por 44.000 millones USD, efectiva desde la próxima revisión. Además, contenido metálico por 100.000 millones de USD adicionales.	25%; aumentado al 50%	Sección 232
Automóviles y Autopartes	12 de febrero	Abril 2	Automóviles: 153 mil millones de USD; Autopartes: 279 mil millones de USD; montos calculados asumiendo la exclusión del T-MEC.	25%	Desconocida
Cobre	Investigación iniciada el 25 de febrero	Informe previsto para el 22 de noviembre.	17 mil millones de USD	Desconocida	Sección 232
Semiconductores y productos farmacéuticos	Anuncio realizado el 27 de enero; tasa detallada el 18 de febrero.	Investigaciones iniciadas el 1 de abril.	Desconocido (productos y categorías no especificados)	25%	Desconocida
Madera, tablones y derivados	1 de marzo	Informe previsto para el 26 de noviembre.	Madera y productos de madera: 22,9 mil millones de USD.	Desconocida	Sección 232
Productos agrícolas	3 de marzo	Desconocida.	Desconocido (productos y categorías no especificados)	Desconocida	Desconocida
Minerales críticos y derivados	Investigaciones iniciadas el 15 de abril	Desconocida	Desconocido (productos y categorías no especificados)	Desconocida	Sección 232

Camiones

Investigaciones
iniciadas el 22 de
abril

Desconocida

Desconocido (productos y
categorías no especificados)

Desconocida

Sección 232

Debido a la complejidad inherente de los aranceles en las redes de suministro en México, se involucran múltiples factores interrelacionados. Estos incluyen las políticas comerciales, las fluctuaciones del mercado, las decisiones estratégicas de los actores involucrados y la ubicación de la empresa focal, los proveedores y el mercado final. Por lo tanto, resulta indispensable utilizar una metodología capaz de capturar estas interdependencias. Invertir en el estudio de las vulnerabilidades antes de que ocurra una disrupción permite mitigar el impacto sobre la cadena de suministro o, al menos, acelerar su tiempo de recuperación. En este contexto, las empresas requieren adoptar un enfoque holístico que favorezca la visibilidad integral de lo que ocurre a lo largo de la cadena, haciendo evidente dónde se originan los problemas, los envíos tardíos, las deficiencias de calidad o los retrasos imprevistos, con el fin de proponer iniciativas para contribuir a la construcción de un mejor desempeño en escenarios de alta incertidumbre.

La metodología de dinámica de sistemas ha demostrado ser adecuada para el estudio y modelación de sistemas complejos (Forrester, 1968; Meadows, 2008). Facilita la construcción de modelos de simulación desde una perspectiva global, en la cual se analizan los elementos que conforman un sistema y sus interacciones a lo largo del tiempo. A partir de este enfoque estructural, se reconoce que, si la configuración de los procesos determina el comportamiento del sistema, y el comportamiento del sistema condiciona el rendimiento de la cadena de suministro, entonces la clave para un intercambio de información efectivo y una toma de decisiones más robusta radica en comprender la relación entre los procesos y el fenómeno, así como en gestionar los bucles de retroalimentación dominantes para diseñar políticas orientadas a atenuar comportamientos no deseados en la toma de decisiones (Hamed et al., 2024; L. Zhang et al., 2024; X. Zhang et al., 2024).

Por lo tanto, se sugiere usar un método de dinámica de sistemas para evaluar cómo se comporta la cadena de suministro frente a diferentes interrupciones relacionadas con políticas públicas, y también para estudiar su cambio a lo largo del tiempo.

En la Tabla 2 se organiza la información de los estudios más citados identificados en el campo de dinámica de sistemas, los riesgos y las cadenas de suministro, a partir de la ecuación de búsqueda “System Dynamics” AND Risk AND “Supply Chain” en la base de datos ScienceDirect, para el periodo comprendido entre 2000 y 2024. En total se identificaron

2,987 artículos y revisiones bibliográficas. La Tabla 2 sintetiza los autores, año de publicación, variables analizadas, tipos de riesgos considerados, indicadores clave, principales hallazgos y las recomendaciones de trabajos futuros.

Tabla 2 Síntesis de investigaciones clave en dinámica de sistemas aplicadas a la gestión de riesgos en cadenas de suministro.

Autor	Año	Variables	Riesgos	Indicadores clave	Principales hallazgos	Trabajos futuros
(L. Zhang et al., 2024)	2024	Tasa de crecimiento de la IED, del precio de la vivienda y del PIB.	Riesgo de flujo de capital, riesgo de inversión, riesgo de cuenta de capital, riesgo de fluctuación en la balanza de pagos, Riesgo de cambio de divisas, riesgo de política monetaria y fiscal.	Grado de apertura de la cuenta de capital, la volatilidad del tipo de cambio y la dependencia del comercio exterior.	El riesgo de contagio tiene el mayor impacto en el riesgo financiero y grandes afectaciones en el tiempo, seguido del riesgo de la balanza de pagos.	Análisis extenso de los cambios en el riesgo financiero y el desarrollo de estrategias de control de riesgo.
(X. Zhang et al., 2024)	2024	Riesgo climático y el riesgo geopolítico.	Mano de obra, capacidad de transporte y factores ambientales.	Rendimiento de los envíos, mano de obra, capacidad de transporte, restricciones normativas y factores ambientales.	El impacto combinado de los riesgos climáticos y geopolíticos puede alterar la productividad, y se esperan retrasos importantes cuando su impacto combinado supere el 0,7.	Es necesario seguir investigando para desarrollar decisiones de respuesta a los riesgos (RRD) eficaces a fin de mitigar los impactos de la CR y la GR en el SGSC.
(Hamed et al., 2024)	2024	Capacidad minera, tasas de reciclaje, cooperación internacional y regulaciones ambientales.	Dependencia de China, impactos ambientales de la minería y la posible pérdida de cuota de mercado debido a la insuficiencia de las medidas políticas.	Cuota de mercado, demanda insatisfecha y los indicadores de sostenibilidad ambiental.	Las intervenciones gubernamentales directas aumentan significativamente la cuota de mercado y reducen la demanda insatisfecha. Lo más eficaz es una estrategia combinada de expansión de la capacidad, reciclaje y cooperación.	Equilibrio entre el desarrollo económico, la gestión ambiental y la percepción pública en las políticas mineras.
(Jahani et al., 2023)	2023	Costo de almacenamiento y su impacto financiero	Políticos (impuestos por	Riesgo del entorno de inversión, avance y	Función de demora para la política fiscal, arancelaria,	

			políticas), sociales (de la sociedad y las personas) y ambientales naturales (recursos naturales).	madurez de la tecnología y capacidad de investigación (capacidad de I+D).	industrial y las políticas impositivas	
(Raj et al., 2023)	2023	Estudios sísmicos, operaciones de mantenimiento, almacenamiento, transporte en la cadena de suministro de petróleo y gas, emisiones de gases de efecto invernadero, cambio a productos sustitutos.	Efecto de la pandemia COVID-19 en el desempeño de la cadena de suministro de petróleo y gas.	Emisiones totales de GEI, Impacto sobre el medio ambiente, sostenibilidad social, bienestar de la comunidad y reputación social	Modelo de demanda para conocer los efectos de la pandemia en la capacidad de producción, almacenamiento, emisiones de GEI, sostenibilidad social y costos.	Estudio intermedio y downstream de la CS.
(W. Liu et al., 2023)	2023	Materiales sustitutos, recuperación de material y los riesgos geopolíticos	Geopolíticos de suministro y su impacto en la demanda de vehículos eléctricos chinos.	Precios del cobalto y las mejoras en la tecnología, que afectan a la capacidad de suministro y la resiliencia.	Cuando se produce una reducción del 20%, 50% y 100% en las importaciones de cobalto de China debido a eventos geopolíticos, el precio del cobalto aumenta a partir de 2026 en un 8,24%, 10,67% y 15,01% en 2027. Las mejoras en la tecnología de reciclaje y la gestión del inventario pueden mejorar la resiliencia.	Las investigaciones futuras podrían explorar medidas de resiliencia adicionales y los impactos a largo plazo de la demanda de vehículos eléctricos en la cadena de suministro.
(Ding et al., 2023)	2023	Emisiones de CO ₂ , los beneficios netos y la vida útil de los productos.	Costos de adopción de las tecnologías de IoT.	Los beneficios netos totales y las emisiones de CO ₂ .	La IoT puede mejorar la sostenibilidad y el rendimiento económico en las cadenas de suministro, pero la mayoría de los estudios son teóricos y	Más investigaciones cuantitativas con información sobre la implementación de una gestión sostenible de la cadena de

					carecen de estudios de casos cuantitativos.	suministro basada en el IoT.
(Yin & Lam, 2022)	2022	Políticas de transición energética, Planes quincenales de Gobierno de China.	Sobrecarga de las terminales, aumento de los volúmenes de importación, dependencia de flotas petroleras extranjeras.	Crecimiento de las importaciones, requerimientos de transporte, capacidad de almacenamiento y desarrollo tecnológico.	La transición del carbón al gas impulsará el crecimiento de las importaciones, pero la capacidad de la flota nacional de petroleros no podrá satisfacer la demanda futura.	Estudio de una ampliación de la infraestructura y mejora de las capacidades de producción nacional para mitigar las interrupciones en la cadena de suministro.

La presente investigación contribuye a la literatura de gestión de riesgos de la cadena de suministro al desarrollar una metodología de modelado con dinámica de sistemas que captura las no-linealidades en impactos de política y validarla en el contexto latinoamericano donde la brecha de investigación es mayor, junto con un conjunto de indicadores para el monitoreo de riesgos asociados.

La presente investigación, además, aporta a las aplicaciones de Dinámica de Sistemas, al extender la metodología hacia un análisis integrado de políticas y operaciones. Este enfoque es menos estudiado que aquellos que se centran solo en cuestiones macroeconómicas u operativas. También contribuye a la economía política de las cadenas de suministro al formalizar cómo las preferencias gubernamentales se traducen en resultados dentro de la cadena; examina las dinámicas de adaptación empresarial ante cambios regulatorios y permite identificar ganadores y perdedores frente a políticas específicas.

En 2025, la razón práctica para estudiar esto es más importante debido al aumento del nacionalismo económico y la implementación de medidas proteccionistas (como aranceles, requisitos de localización y restricciones de compra). También está la geopolitización de tecnología (semiconductores, energía renovable, materiales críticos) que está transformando la geografía de cadenas. Además, hay regulaciones ambientales aceleradas (net-zero policies, circular economy mandates). También hay inseguridad geopolítica (Rusia-Ucrania, Israel-Hamas, potencial China-Taiwán) que requiere la reconfiguración de procesos, materias primas, energía y logística.

Además del crecimiento exponencial de producción científica: análisis bibliométrico de 143 artículos en período 2014-2024 muestra que mientras 2014-2019 promediaba 6-10 artículos anuales, el período 2020-2025 ha escalado a 28-35 artículos anuales (incremento de 350-500%), principalmente concentrados en temas de "supply chain resilience under policy uncertainty", "geopolitical disruptions", "circular economy policy impact", "critical materials security". Este crecimiento exponencial refleja que la comunidad académica, financiadores y sector privado reconocen la urgencia y oportunidad de investigación en este espacio.

1.4.Aportaciones

Las aportaciones de este trabajo son las siguientes:

- i. *Contribución al conocimiento o académica:* La investigación contribuye a la construcción de conocimiento teórico al integrar dinámica de sistemas para modelar los efectos de diferentes políticas públicas en las redes de suministro y aporta nuevos conocimientos sobre la causalidad y la retroalimentación que influyen en los comportamientos observados. Proporcionando una visión holística de la estabilidad y eficiencia de las redes. Permitiendo desarrollar una mayor capacidad de anticipación y gestión de riesgos futuros, contribuyendo a mejorar la precisión de las predicciones sobre cómo las políticas afectan los flujos comerciales y la logística local y/o global.
- ii. *Contribución a la ciencia:* Desarrollo de una metodología para la gestión de riesgos generados por políticas públicas que afectan las redes de suministro para contribuir a la mejora de la eficiencia y la resiliencia de la red de suministro. Además, explorar cómo los cambios en las políticas pueden desencadenar efectos no lineales en la cadena de suministro. Este enfoque multidisciplinario genera nuevas líneas de investigación sobre el impacto de las decisiones gubernamentales.
- iii. *Contribución técnica o industrial:* Simulación para anticipar cómo las políticas públicas impactarán en la operación de su cadena de suministro, ayudando en la planificación de estrategias resilientes y ágiles. Las empresas pueden utilizar estos modelos para evaluar el riesgo y diseñar cadenas de suministro más resistentes a las fluctuaciones políticas. Identifican cuellos de botella y áreas de ineficiencia causadas por políticas no analizadas o cambios regulatorios repentinos. Esto facilita la adopción de soluciones logísticas que reduzcan costos operativos y tiempos de entrega.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

El presente capítulo establece el fundamento conceptual para analizar los impactos de las políticas públicas en las cadenas de suministro del sector manufacturero. El objetivo es revisar y articular los campos teóricos clave que enmarcan la tesis a partir de la revisión bibliográfica y conceptos de riesgo. También se aborda la cadena de suministro entendida como sistema dinámico, la influencia de políticas públicas en entornos productivos y la importancia del análisis sistémico para abordar problemas complejos.

2.1 Búsqueda bibliográfica

Se realizó una revisión sistemática de la literatura sobre publicaciones académicas en inglés con el método PRISMA por haber sido utilizado en estudios similares en el área de Ingeniería y Ciencias de la Computación (Ben-Assuli, 2021; Bueno et al., 2021; Górska-Warsewicz et al., 2021; Shi & Ling, 2022). En el título o las palabras clave se incluyeron los artículos en idioma inglés o español. También se incluyó documentación disponible en las colecciones institucionales de la Universidad del Valle, publicaciones arbitradas (peer-reviewed), texto completo digital, y publicadas entre el 2014 y el 2024.

También se activaron amplificadores de búsqueda basados en palabras relacionadas, permitiendo recuperación de sinónimos y variantes terminológicas mediante algoritmos de Tesauro académico; y materias equivalentes, asegurando captura de documentación clasificada bajo descriptores disciplinares alternativos (Figura 3). Con los siguientes criterios de inclusión:

1. Artículos que aborden la gestión de riesgos en cadenas de suministro como tema principal.
2. Investigaciones que utilicen simulación dinámica, modelado de sistemas, o metodologías cuantitativas similares.

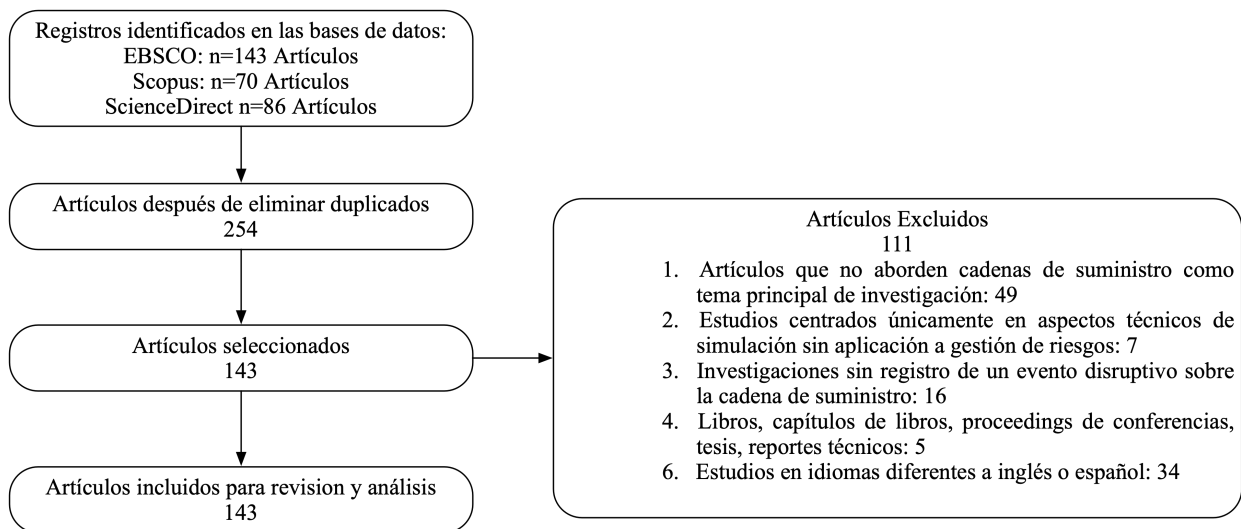


Figura 1 Metodología PRISMA para la selección de documentos

Los criterios de exclusión fueron:

1. Artículos que no aborden cadenas de suministro como tema principal de investigación
2. Estudios centrados únicamente en aspectos técnicos de simulación sin aplicación a gestión de riesgos.
3. Investigaciones sin registro de un evento disruptivo sobre la cadena de suministro.
4. Libros, capítulos de libros, resúmenes de conferencias, tesis, reportes técnicos
5. Artículos duplicados o versiones preliminares de investigaciones
6. Estudios en idiomas diferentes a inglés o español

Se identificaron 143 documentos procesados de manera sistemática desde tres bases de datos multidisciplinarias: Academic Search Ultimate (EBSCO, n=102), Scopus (n=11) y ScienceDirect (n=30).

La distribución temporal de 143 artículos (2014-2024) (Figura 4) revela una transición de crecimiento exponencial acelerado a través de cuatro fases: emergencia (2014-2016, 5.7 art/año, 11.9% del total), consolidación (2017-2019, 8.0 art/año, +41.2% vs. anterior), aceleración post-COVID (2020-2022, 13.0 art/año, +62.5% vs. anterior) y explosión reciente (2023-2024, 31.5 art/año, +142.3% vs. anterior).

El 71.3% de los artículos (102 artículos) concentrados en los últimos 5 años evidencia transición desde investigación académica exploradora hacia la transformación en un área prioritaria. La inflexión crítica ocurre en 2022-2023 (+64.7%) correlacionada con crisis mencionadas en la sección 2.4, donde la temática de cadena de suministro asciende a categoría de seguridad nacional con financiamiento masivo.

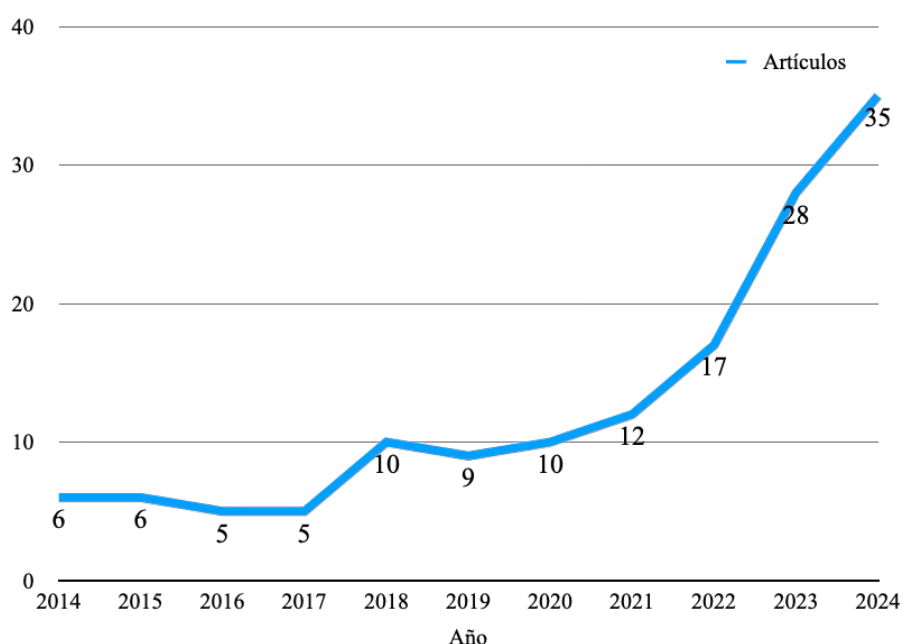


Figura 2 Distribución temporal de las publicaciones

El crecimiento entre fases indica que la velocidad aumenta progresivamente, con proyecciones para 2025 de 40-41 artículos en un escenario moderado.

En total, se identificaron y caracterizaron 19 documentos de alto impacto con distribución asimétrica por base: ScienceDirect (promedio 8.11/10, n=9), EBSCO (8.00/10, n=4) y Scopus (7.67/10, n=6); conforme a criterios de relevancia temática (integración explícita de gestión de riesgos en cadena de suministro, políticas públicas como variables disruptivas, y modelado mediante dinámica de sistemas).

La estructura de autoría demuestra predominancia de colaboración, promediando 4 autores por documento distribuidos en 2-4 instituciones de múltiples países, siendo 70% de artículos financiados por entidades gubernamentales, organismos europeos o fundaciones de investigación dedicadas.

La metodología predominante es System Dynamics y modelado dinámico en 52.4% de documentos, complementada por revisiones sistemáticas de literatura (19.0%), análisis empíricos de casos (14.3%) y desarrollo de marcos conceptuales (14.3%). La cobertura geográfica muestra un dominio en investigación en inglés (85%), con una presencia destacada en el ámbito hispanohablante (15%, concentrada en EBSCO, enfocándose en cadenas de Latinoamérica). Temáticamente, hay coincidencias en temas como la resistencia de la cadena de suministro, dinámicas de sistemas, impacto de políticas, interrupciones geopolíticas, economía circular y materiales críticos.

A continuación, se presentan los conceptos clave relacionados con la investigación:

2.2 Riesgo

El riesgo se define como la probabilidad de que un evento adverso ocurra, con consecuencias contraproducentes para una organización, proyecto o inversión. Se asocia con la incertidumbre y se evalúa considerando tanto la probabilidad de que el evento en cuestión se materialice como el impacto que este podría tener en la situación (Sheffi, 2021). La gestión de riesgos en la cadena de suministro se ha transformado en un campo fundamental para la sostenibilidad y competitividad de las organizaciones en un entorno caracterizado por su naturaleza global, dinámica e interdependiente (Taschner & Charifzadeh, 2020).

Históricamente, la evolución del riesgo empresarial revela que su gestión ha acompañado al desarrollo del comercio y la economía global. La historia de los riesgos empresariales se remonta a la época de la antigua Grecia, donde los comerciantes y los marineros enfrentaban peligros como naufragios, saqueos y cambios en los precios de las mercancías (Camacho-Vallejo et al., 2023; van Hassel et al., 2022). Con el tiempo, la globalización y el aumento de las actividades comerciales a nivel internacional hicieron que los riesgos empresariales se volvieran más complejos y variados (Fratocchi & Mayer, 2023; Perez-Batres & Trevino, 2023). La creciente conectividad global ha profundizado los grados de exposición, dependencias y propagación sistémica de estos riesgos.

Durante la Edad Media y el Renacimiento, los comerciantes en Europa enfrentaban riesgos similares, así como problemas adicionales como la inestabilidad política y las guerras (Camacho-Vallejo et al., 2023; van Hassel et al., 2022). En ese momento, los comerciantes comenzaron a buscar formas de protegerse a sí mismos y a sus negocios, como la formación

de compañías comerciales y la creación de seguros marítimos. Cuando la industrialización y el capitalismo se expandieron en Europa y América durante el siglo XIX, los riesgos empresariales se multiplicaron y se volvieron más complejos, desencadenando varios estudios importantes sobre cómo hacer que las cadenas de suministro sean más resistentes (Rogers et al., 2024). En la era contemporánea, la gestión de riesgos de la cadena de suministro (SCRM) emerge como disciplina estratégica para anticipar, modelar y mitigar efectos adversos y perturbaciones globales.

Con el paso del tiempo, los riesgos empresariales han continuado evolucionando. Las empresas se enfrentan a nuevos desafíos en un mundo cada vez más globalizado y orientado hacia la tecnología, la subcontratación, la reducción de la base de suministro, los requerimientos para ser justo a tiempo y la disminución de los ciclos de vida. Esto aumenta el riesgo de que las empresas tengan problemas en la cadena de suministro (Fan & Stevenson, 2018). Las disrupciones han pasado de tener un carácter local en el siglo XX a ser cada vez más globales en el siglo XXI, con interrupciones que ocasionan perturbaciones aguas arriba y aguas abajo con un efecto duradero (Y. Li & Zobel, 2020), cobrando relevancia la gestión de riesgos de la cadena de suministro y las afectaciones al rendimiento de las organizaciones (Brusset & Teller, 2017), en consecuencia, es necesario poder elegir acciones de gestión adecuadas para los factores de riesgo identificados (Dong & Cooper, 2016).

Actualmente, el impacto de las políticas públicas como fuente de disrupción sistémica y generadora de riesgos para el funcionamiento y continuidad de las cadenas de suministro cobra un interés renovado. Esto es especialmente relevante frente a eventos contemporáneos como guerras comerciales, pandemias, sanciones internacionales, crisis logísticas y emergentes tendencias de nearshoring/regionalización.

Estos riesgos pueden clasificarse en dos categorías principales: internos y externos (Bode et al., 2013; Sarker et al., 2016; Sváček & Lenort, 2021). Los riesgos internos comprenden problemas de administración, operación o infraestructura (p. ej., mala gestión de recursos humanos, fallos en sistemas de producción, falta de mantenimiento) (Bode et al., 2013; El Ayoubi & Radmehr, 2023; Liang et al., 2023; Y. Zhang & Nan, 2023). Por otro lado, los riesgos externos están fuera del control directo de la empresa y pueden afectar su funcionamiento (Aljabhan, 2023; Basu R et al., 2023; VanderWilde et al., 2023).

Se destacan desastres naturales y eventos asociados al cambio climático (Huang et al., 2021; Koks et al., 2019; Mendelsohn et al., 2012), crisis económicas (Gaonkar & Viswanadham, 2007), conflictos armados (Bigerna et al., 2021), crisis sanitarias (Costa Junior et al., 2021; V. Kumar et al., 2017; Rodríguez Acosta et al., 2019) y cambios en las políticas públicas (van Hassel et al., 2022; Xu et al., 2023), que ocasionan un efecto dominó en los actores que conforman estas cadenas y planteando la necesidad de identificar causas, consecuencias y estrategias para mitigar el impacto. A continuación se describen brevemente:

- a) Desastres naturales y el cambio climático: Los desastres naturales (huracanes, terremotos, inundaciones, incendios) pueden causar interrupción de la producción, cierre de instalaciones, daños a la infraestructura, dificultades logísticas y sobre costos, con efectos de escasez y retrasos a lo largo de la cadena (Vafadarnikjoo et al., 2022).
- b) Conflictos armados: Los conflictos armados (nacionales o internacionales, de origen político, étnico o ambiental) generan impactos directos en la capacidad de producción, rutas logísticas y en el aprovisionamiento de materias primas críticas, provocando volatilidad de demanda, restricciones de capacidad y alteraciones de los precios globales (Cantillo & Garza, 2022; Chaparro-Narváez et al., 2023; Ito et al., 2024).
- c) Crisis económicas: afectan el crecimiento, el consumo, los precios y el funcionamiento de las cadenas; pueden desencadenar quiebras, desempleo, devaluaciones y reducción de la demanda, incrementando el riesgo en los eslabones de la red (Nesterenko et al., 2021; Persakis & Iatridis, 2015).
- d) Crisis sanitarias: Las crisis sanitarias (pandemias) afectan la producción, el transporte, la logística y el consumo, generando cambios abruptos en la demanda, interrupciones logísticas, congestión de infraestructuras, desabastecimiento, sobre costos y volatilidad de mercados (Attia et al., 2022; Rasul et al., 2021; Sheffi, 2021).
- e) Políticas públicas: Las regulaciones, políticas comerciales y económicas, normativas laborales, fiscales y ambientales establecen grandes restricciones operativas o incentivos (como subsidios) sobre las cadenas de suministro. Los cambios bruscos de política y la regulación sobre nearshoring pueden impulsar el crecimiento o bien, por

el contrario, obstaculizarlo (Fu et al., 2020; Jiang & Martek, 2021; Maneejuk & Yamaka, 2021; van Hassel et al., 2022; Xu et al., 2023). En la actualidad, los efectos de las políticas públicas (especialmente en su dimensión disruptiva y no lineal) constituyen uno de los principales desafíos para la anticipación y gestión efectiva de riesgos sistémicos.

2.3 Gestión de riesgo

La gestión de riesgos es un proceso estratégico y sistemático que pretende identificar, evaluar y mitigar los riesgos potenciales que pueden afectar los diferentes eslabones de la cadena de suministro, con el fin de minimizar su impacto y maximizar la capacidad de las organizaciones para lograr sus objetivos a pesar de los desafíos (Brandtner, 2023; Willumsen et al., 2019; Yan et al., 2019). Esta gestión es importante debido a la complejidad de las redes operativas y la cantidad de fuentes de interrupciones que pueden afectar simultáneamente diferentes partes de la CS (Riad et al., 2024).

La evaluación de riesgos en la cadena de suministro tiene como objetivo principal examinar la probabilidad y el impacto de riesgos específicos (Riad et al., 2024). Esta evaluación debe ser integral, considerando los riesgos internos controlables (operacionales, tecnológicos) y los riesgos externos sistémicos (geopolíticos, regulatorios, climáticos) que frecuentemente presentan correlaciones complejas y dinámicas de propagación no-lineales.

En particular, la evaluación de riesgos inducidos por políticas públicas ha cobrado relevancia creciente, reconociendo que decisiones gubernamentales pueden reconfigurar estructuralmente la viabilidad de cadenas enteras.

A nivel internacional se desarrolló la norma ISO 31000 en el contexto de las organizaciones, que condensa la gestión de riesgos en siete etapas. Inicialmente, se evalúa la presencia de planes de comunicación entre las partes encargadas de implementar el proceso y las partes interesadas, asegurando una comprensión compartida de las decisiones y acciones requeridas. Luego, se verifica la articulación de objetivos, definición de parámetros internos y externos para la gestión de riesgos, y se establecen alcance y criterios. Posteriormente, se enumeran riesgos, fuentes, eventos, causas y consecuencias, planteando las bases para su comprensión y estrategias de mitigación (ISO, 2018).

Esta norma, aunque es útil como referencia internacional, tiene limitaciones al aplicarse a riesgos de política pública. Esto se debe a que los análisis estáticos no son suficientes para captar las retroalimentaciones que muestran los impactos de la política y no hay métodos claros para prever y simular diferentes escenarios políticos.

También se destacan las evaluaciones cualitativas como matrices de riesgo y análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) que clasifican los riesgos según su impacto y probabilidad, permitiendo priorizar los riesgos más críticos (Ahsan & Özbek, 2022; Lee et al., 2022; van Hassel et al., 2022; J. Y. Wu et al., 2022; Zarghami & Dumrak, 2021). Estos métodos bidimensionales (probabilidad vs. impacto) proporcionan utilidad para clasificación inicial y comunicación ejecutiva; sin embargo, presentan limitaciones críticas cuando se aplican a riesgos de política pública, ya que asumen independencia entre ellos, omitiendo correlaciones y efectos dominó; operan con matriz estática, sin captar dinámicas temporales de evolución de política.

Entre las técnicas de simulación estocástica se destacan los modelos de simulación de Monte Carlo (Ivanov et al., 2022; Pavlov et al., 2019), análisis de Red Bayesiana (J. Zhou et al., 2023), optimización estocástica, teoría de juegos, análisis de impacto en el negocio (BIA), modelos de programación matemática, análisis de resiliencia de la cadena de suministro y modelos de dinámica de sistemas. Estos últimos merecen mención especial porque, a diferencia de técnicas de simulación estocástica pura (Monte Carlo, Bayesiana) que son excelentes para captar incertidumbre aleatoria, la dinámica de sistemas es particularmente potente para modelar incertidumbre estructural y comportamiento emergente derivado de retroalimentaciones complejas, característica clave de los impactos de políticas públicas en cadenas de suministro.

Para gestionar eficazmente los riesgos, las empresas deben comprender de manera holística las variables clave y las tendencias emergentes en las redes de suministro. La gestión de riesgos con dinámica de sistemas permite comprender en profundidad la naturaleza y las implicaciones de esos riesgos para tomar decisiones informadas sobre cómo gestionarlos (Gooran et al., 2020; Hawkins et al., 2020) e identificar los riesgos emergentes que no son evidentes en análisis lineales o estáticos (Hawkins et al., 2020; ISO, 2018; B. Li et al., 2021; Tavakoli Haji Abadi & Avakh Darestani, 2021).

2.4 Cadenas de suministro

Las cadenas de suministro son sistemas complejos, que integran proveedores, fabricantes, distribuidores y consumidores, operando en sinergia para transformar insumos en productos finales, garantizando su entrega al consumidor (Y. Zhou et al., 2022). Tradicionalmente, las definiciones de cadenas de suministro han adoptado un enfoque lineal que abarca desde el aprovisionamiento de materiales hasta la distribución de productos terminados. Sin embargo, este modelo secuencial ha quedado obsoleto frente a enfoques que reconocen la complejidad y la dinámica de las interacciones dentro de la cadena. En este contexto, la interdependencia entre los actores es importante, ya que las decisiones de un eslabón pueden afectar a toda la red, resaltando la necesidad de una coordinación adecuada (Arumugam & Pitchaimani, 2025).

Se identifican eslabones fundamentales: proveedores de materias primas, componentes, fabricantes, ensambladores, distribuidores, minoristas y clientes. El nivel de integración horizontal (alianzas estratégicas y colaboraciones en el mismo nivel) (Lotfi & Larmour, 2022) o vertical (control interno de fases productivas) (Matos, 2024) determina la resiliencia, la capacidad de adaptación y la flexibilidad de la cadena (Lotfi & Larmour, 2022; Philsoophian et al., 2021).

2.5 Políticas públicas

Las políticas públicas son directrices estratégicas que los gobiernos adoptan para influir en el desarrollo económico, social y político de una nación. Estas políticas se diseñan a partir de la identificación de prioridades nacionales, el análisis de escenarios futuros, y la consulta con diversas partes interesadas, como las industrias, expertos y la sociedad civil. El proceso de formulación sigue un ciclo continuo que abarca la identificación de problemas, el desarrollo de soluciones, su implementación, y una evaluación constante para realizar ajustes y mejoras necesarias (van Hassel et al., 2022; Xu et al., 2023).

Entre las políticas públicas que influyen en las cadenas de suministro, se destacan cinco categorías clave:

- a) Políticas comerciales y arancelarias: intervenciones gubernamentales sobre flujos comerciales internacionales mediante aranceles, cuotas de importación, y acuerdos comerciales bilaterales/multilaterales. Funcionan mediante mecanismos de precio (incrementando costo de importaciones) y acceso (restringiendo cantidad de bienes que pueden ingresar). Tienen un impacto directo y cuantificable sobre las cadenas de suministro porque afectan inmediatamente decisiones de costo de abastecimiento, selección de proveedores y viabilidad de localización productiva (López et al., 2025).
- b) Políticas regulatorias y normativas: Incluye regulaciones ambientales (estándares de emisión, prohibiciones de químicos), regulaciones laborales (salarios mínimos, estándares de seguridad), regulaciones técnicas (estándares de producto, certificaciones obligatorias) y regulaciones de cumplimiento (trazabilidad, sostenibilidad). Afectan las cadenas, transformando las tecnologías permitidas, costos de producción, y acceso a mercados. Son no-lineales en impacto, ya que pequeños cambios regulatorios pueden generar grandes reconfiguraciones (Egli, 2020; I. H. Hong et al., 2018; Sudan et al., 2023).
- c) Políticas de contenido local y requisitos de localización: Regulaciones que requieren que un porcentaje mínimo de contenido de bienes se produzca localmente, o que fases críticas de manufactura ocurran en territorio nacional. Transforman la decisión de localización productiva, requiriendo relocalización de plantas o reestructuración de cadenas de proveedores. México ha experimentado presiones recientes de este tipo (regulación de contenido regional de 75% en el sector automotriz bajo T-MEC) (Normativo Del T-mec & David Gaytán-Alfaro, 2022; Sudan et al., 2023).
- d) Políticas de sanciones y restricciones geopolíticas: restricciones de acceso a mercados, prohibiciones de comercio con ciertos países, congelamiento de activos, o restricciones de exportación de bienes estratégicos, implementadas por razones geopolíticas o de seguridad nacional. Pueden obstruir el acceso a proveedores o mercados críticos sin aviso previo y tienen carácter impredecible, como las sanciones a Rusia (2022-presente), restricciones de China sobre tierras raras (2010-2015, 2023-2025), restricciones EE. UU. sobre semiconductores y tecnología a China (Analytica, 2023; Ferreira & Critelli, 2022; He et al., 2023; Liadze et al., 2023; Mao & Görg, 2020; Queiroz et al., 2020; Saltzman, 2022a, 2022b; Swenson, 2024).

- e) Políticas fiscales y energéticas: subsidios a industrias, incentivos fiscales a inversión, cambios en tasas impositivas, y políticas de precios/disponibilidad de energía. Afectan decisiones de localización de manufactura porque determinan el costo relativo de producción en diferentes geografías. La volatilidad en políticas energéticas puede volver obsoletas tecnologías o plantas de producción (Azadeh & Vafa Arani, 2016; Komendantova et al., 2012; Prol-Ledesma & Morán-Zenteno, 2019; Schinko & Komendantova, 2016).

Lo que suele desencadenar riesgos sistémicos con efectos no lineales, al activar retroalimentaciones y cambios estructurales complejos de anticipar sin herramientas de análisis avanzadas. Algunos de los impactos históricos documentados que han afectado a las cadenas de suministro entre el 2008 y el 2025 son:

- a) 2008 y 2009: Crisis Financiera Global y Respuestas Proteccionistas, registró subsidios a industria automotriz en EE. UU., Unión Europea (UE) y Japón que distorsionaron mercados de componentes; restricciones temporales a importaciones de acero en China para proteger productores nacionales y apoyo fiscal a empresas de defensa con requisitos de contenido doméstico (DOOLEY et al., 2010; M. Li et al., 2015).
- b) 2016-2019: El nacionalismo económico resurge como ideología política dominante, generando restricciones comerciales y medidas proteccionistas de magnitud sin precedentes desde 1990 (López et al., 2025; Sheldon et al., 2018) entre las que se destaca:
 - a. Guerra comercial EE. UU. - China (2018-2019 y 2025): inicio con la implementación de aranceles por parte de EE. UU. del 10% sobre aproximadamente \$370 mil millones en importaciones chinas, enfocados en productos de alto contenido tecnológico (semiconductores, equipos médicos, componentes electrónicos) (H. Li et al., 2025; López et al., 2025). Posteriormente, se incrementaron a 25% sobre aproximadamente \$110 mil millones adicionales; en consecuencia, China implementó aranceles sobre productos de EE. UU. (agricultura, máquinas, química). En el 2025, durante la segunda administración de Trump, se implementan aranceles de hasta 145% sobre ciertos productos chinos, con retaliación china de hasta 125%

(TheWhiteHouse, 2025a). Las dinámicas de adaptación empresarial generan relocalizaciones de manufactura. Empresas como Apple, HP y Microsoft aceleran el traslado de la producción de China hacia Vietnam, Tailandia e Indonesia para evitar aranceles. Diversificación de proveedores, reingeniería de productos, algunos para reclasificarlos bajo códigos arancelarios diferentes o reingeniería para cambiar el país de origen. Ejemplo: componentes que salen de China para ensamble final en Vietnam, permitiendo la aplicación de aranceles preferenciales de la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN) (Anuar et al., 2025; Chan & Yang, 2025; Ju et al., 2024; Ngo & Dang, 2022).

- b. Brexit (2016-2020+): La desintegración regional del Brexit significó una ruptura política sin precedentes en el acuerdo comercial con la UE. Esto causó efectos en cadena en todas las industrias, con aranceles promedio del 5-15% según el sector y un aumento del 30-50% en el tiempo de despacho en los puertos (Oliver, 2023).
- c. El proteccionismo de la administración Trump (2017-2020), reconfiguró las cadenas de suministro norteamericanas al incorporar nuevos requisitos de contenido regional del 75% (para el sector automotriz) y contenido laboral (40-45%). Se destaca la decisión de empresas alemanas y asiáticas que optaron por la estrategia de pagar los aranceles adicionales. En México se generaron oportunidades de nearshoring masivo. Esto se debió al desarrollo del plan México, que incluyó una inversión de \$227B y la creación de más de 100 nuevos parques industriales, gracias al fortalecimiento de la integración regional generado por el acuerdo comercial entre EE. UU., México y Canadá (McDougall & Davis, 2024; Thakur-Weigold & Miroudot, 2024).
- d. Entre 2020 y 2022, la pandemia de COVID-19 provoca que se hable mucho sobre la política de las cadenas de suministro. Los gobiernos establecen controles sobre la exportación de productos importantes (como equipo de protección personal, semiconductores y vacunas) y toman medidas para garantizar que puedan producir lo que necesitan en casa. Generó disrupciones en las cadenas de suministro globales, en los sectores farmacéuticos,

alimentos, electrónicos, automotriz y aeronáutico; con una caída estimada del 13% únicamente en el sector automotriz. Ocasionado por el cierre de fronteras, restricciones de movilidad y paros de producción. Las empresas que más lo documentaron son: Apple (cierre Foxconn), Tesla (fábricas de Shanghái y California), Samsung, LG, Boeing, Airbus (Ju et al., 2024; Ngo & Dang, 2022).

Los efectos en México incluyeron el cierre de la frontera entre EE. UU. y México, afectando las maquiladoras, disrupción de las cadenas automotrices localizadas en el territorio e implementación de protocolos sanitarios fronterizos.

- e. Crisis global de semiconductores (2021-2022) parcialmente causada por restricciones geopolíticas y las interrupciones en el suministro derivadas de la pandemia COVID-19, generando el reshoring de la manufactura de semiconductores a EE. UU (H. Li et al., 2025; López et al., 2025).
 - f. La invasión de Rusia a Ucrania genera una respuesta coordinada de Occidente mediante sanciones económicas multilaterales (He et al., 2023; Liadze et al., 2023; Queiroz et al., 2020; Saltzman, 2022a, 2022b).
- c) 2023-2025: Afectaciones por la escalada Israel-Hamas con impactos en puertos del Mar Rojo y rutas logísticas (Everstream, 2023a, 2023b; MundoMaritimo, 2023a, 2023b); tensiones China-Taiwán que impactaron nuevamente a los semiconductores (Kurbangaleeva, 2025); la redefinición de la seguridad de las cadenas de suministro de los gobiernos, dando prioridad nacional, implementando políticas activas de "friendshoring" y "nearshoring".

Gobiernos implementan regulaciones sobre sostenibilidad que transforman tecnologías permitidas en manufactura con Normativas de la Unión Europea relacionadas con los criterios ambientales, sociales y de gobernanza (EU ESG Regulations (CSRD), (2024), afectando la manufactura, productos básicos y agricultura con mecanismos como obligación legal para las empresas de realizar un proceso exhaustivo de investigación y evaluación en relación con su impacto social, ambiental y de gobernanza (Corporate Sustainability Due Diligence Directive),

reportes de sostenibilidad y sanciones por incumplimiento (Gunasekara & Robb, 2025; D. Wu et al., 2024, 2025).

Estos riesgos pueden propagarse a través de las cadenas de suministro internacionales, afectando a las empresas directamente reguladas, a sus socios comerciales y proveedores en múltiples niveles. La propagación de riesgos se amplifica en cadenas de suministro globalmente integradas. Las decisiones políticas de un país pueden causar repercusiones en todo el mundo, afectando especialmente los costos, los tiempos de entrega y la reorganización de las rutas comerciales (Qian & Qiu, 2023).

Para documentar cómo las políticas públicas han impactado las cadenas de suministro globales, se presentan dos síntesis complementarias. La Tabla 3 sintetiza las políticas públicas implementadas por diversos países que han afectado significativamente sus redes de suministro, organizadas por año de implementación, tipo de intervención gubernamental, impacto específico en operaciones de cadena, y procesos logísticos afectados. Esta perspectiva geográfica ayuda a ver cómo se aplicaron regulaciones en diez economías importantes (EE. UU., China, Alemania, Reino Unido, Japón, Corea del Sur, México, Brasil, Canadá e India) entre 2018 y 2021, un tiempo marcado por un aumento del nacionalismo económico y el proteccionismo comercial.

Tabla 3 Países con Políticas públicas que impactan las cadenas de suministro a nivel mundial

País	Año	Tipo de política	Impacto en la cadena de suministro	Proceso logístico	Referencia
EE. UU.	2018	Políticas comerciales, aranceles, regulaciones ambientales.	Incremento de costos, retrasos en transporte internacional.	Aduanas, transporte transfronterizo.	(Donato et al., 2008; SteelFisher et al., 2012; TRATADO DE LIBRE COMERCIO DE AMERICA DEL NORTE, 1994; UNFCCC, 1983; Vargas-Hernández & Vargas-González, 2021)
China	2019	Regulaciones de exportación, restricciones comerciales.	Reducción de acceso a mercados internacionales, interrupciones en producción.	Exportaciones tecnológicas.	(14th Five-Year Plan: Modern Energy System Planning (2021-2025) - Climate Change Laws of

					the World, 2021; Black, 2022; J. Chen et al., 2022; Comisión Reguladora de Energía, 2020; Gallagher et al., 2008; Vargas-Hernández & Vargas-González, 2021; S. Zhang et al., 2019)
Alemania	2021	Políticas energéticas, regulaciones ambientales.	Aumento de costos energéticos, cambio en proveedores logísticos.	Gestión de suministros energéticos.	(Egli, 2020; National Hydrogen Strategy Update, 2020)
Reino Unido	2020	Políticas post-Brexit, acuerdos comerciales.	Reconfiguración de rutas de suministro, barreras comerciales.	Aduanas y certificaciones de productos.	(British Energy Security Strategy - Government.UK, 2022; Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution, 2020; Egli, 2020; SteelFisher et al., 2012)
Japón	2020	Incentivos fiscales, regulaciones de manufactura.	Relocalización de producción, aumento de costos operativos.	Producción de semiconductores.	(Green Growth Strategy, 2020, 2020; SteelFisher et al., 2012; Vargas-Hernández & Vargas-González, 2021)
Corea del Sur	2021	Políticas tecnológicas, incentivos de manufactura avanzada.	Incentivos para producción local, barreras tecnológicas.	Cadena de suministro de tecnología.	(Hydrogen Economy Roadmap, 2020; Lee et al., 2022)
México	2020	Tratados de libre comercio (T-MEC), política energética, regulaciones laborales.	Mayor integración con Norteamérica, reducción de tiempos logísticos, relocalización de empresas, nuevas tendencias migratorias.	Manufactura, industria automotriz, transporte.	(Comisión Reguladora de Energía, 2020; Donato et al., 2008; LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2012; LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE,

					2024; Programa Nacional Para El Aprovechamiento Sustentable de La Energía (PRONASE), 2020; SteelFisher et al., 2012)
Brasil	2019	Políticas fiscales, incentivos a la industria.	Incremento de inversiones en infraestructura logística.	Proyectos logísticos y portuarios.	(CAVALCANTI, 2016; Ministério de Minas e Energia, 2020; Pestana, 2022; RenovaBio (National Biofuels Policy), 2017)
Canadá	2020	Políticas medioambientales, tratados comerciales.	Aumento de costos operativos, reestructuración de procesos logísticos.	Exportación de recursos naturales.	(Canadian Net-Zero Emissions Accountability Act, 2021; Inflation Reduction Act of 2022 Internal Revenue Service, 2022; Investing in Canada Plan, 2021; Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change, 2016; United States-Mexico-Canada Agreement United States Trade Representative, 2020)
India	2021	Políticas comerciales, incentivos a la manufactura local.	Fortalecimiento de la cadena de suministro interna, disminución de importaciones.	Producción de bienes de consumo.	(Izadi et al., 2023; Singh et al., 2024)

La Tabla 4 muestra un resumen de estudios académicos que han analizado cómo las políticas públicas afectan las cadenas de suministro. Estos estudios están organizados por año de publicación (2005-2022) y cubren diferentes lugares y tipos de políticas, como las energéticas, ambientales, proteccionistas y de salud pública, entre otras. Complementando la

visión pragmática de la Tabla 4 con análisis científicos y magnitudes de impactos en la cadena de suministro.

Tabla 4 Investigaciones académicas políticas públicas que han afectado a la cadena de suministro

Año	Tipo de política	País	Impacto	Proceso logístico	Referencia
2012	Energética	Norte de África	Restricciones para la generación de energía renovable	Producción y distribución	(Komendantova et al., 2012)
2021	Proteccionista	EE. UU., Francia, Japón y China	Impacto de las políticas proteccionistas para incentivar la producción nacional	Aprovisionamiento, producción, distribución	(Vargas-Hernández & Vargas-González, 2021)
2007	Ambiental	Japón	Regulación japonesa de vehículos al final de su vida para reciclaje y reutilización con impacto en la exportación de vehículos usados a mercados emergentes	Aprovisionamiento, producción, distribución	(S. Kumar & Yamaoka, 2007)
2011	Desarrollo económico	EE. UU.	Recuperación y mitigación en la infraestructura de transporte tras desastres ante eventos adversos	Aprovisionamiento, producción, distribución	(Croope & McNeil, 2011)
2018	Ambiental	México	Reducción de emisiones de CO ₂ en transporte urbano con la evaluación del sistema de BRT en la Ciudad de México.	Aprovisionamiento, producción, distribución	(Bel & Holst, 2018)
2022	Salud pública	China	Planes de contingencia para garantizar la continuidad de la operación por el cierre parcial o total de ciudades y distanciamiento social.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(J. Chen et al., 2022)
2009	Agrícolas, Desarrollo Económico	México	Las barreras del mercado local limitan la respuesta de los agricultores a los incentivos, afectando tanto a las prácticas agrícolas como a la gestión.	Producción y distribución.	(Schmook & Vance, 2009)
2020	Económica	China	Gestión de los residuos sólidos municipales	Aprovisionamiento, producción, distribución	(Xiao et al., 2020)
2019	Económica	China	Impactos de las políticas públicas en el mercado de comercio de carbono estático y dinámico	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(S. Zhang et al., 2019)
2005	Económica	México	Estrategias de desarrollo económico en la atracción de General Motors a Guanajuato	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Rothstein, 2005)

2019	Energética, Desarrollo Económico y Fomento Industrial	China	Exportación y estímulo del mercado interno para reducir CO2 con el desarrollo de la industria fotovoltaica.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Shubbak, 2019)
2008	Desarrollo económico y fomento industrial	EE. UU. y México	Evidencia cómo la ausencia de intervenciones estratégicas puede limitar la competitividad de un país frente a otras naciones como China.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Gallagher et al., 2008)
2019	Gobernanza y colaboración internacional	EE. UU. y México	Análisis de barreras y facilitadores en la gestión de recursos hídricos compartidos entre EE. UU. y México con gobernanza colaborativa en la cuenca del río Colorado.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Sullivan et al., 2019)
2016	Salud pública	México	Políticas para enfrentar el sedentarismo y la falta de opciones saludables para prevenir la obesidad infantil y adolescente.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Aceves-Martins et al., 2016)
2008	Migración	EE. UU. y México	Impacto negativo en las condiciones laborales de migrantes mexicanos relacionadas con la Ley de Reforma y Control de la Inmigración de 1986 en EE. UU.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Donato et al., 2008)
2012	Salud pública	Argentina, Japón, México, Reino Unido y EE. UU.	Comparación de la adopción de conductas preventivas y vacunas durante la pandemia de gripe H1N1 de 2009.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(SteelFisher et al., 2012)
2016	Energética	Norte de África	Inversión en proyectos de energía renovable.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Schinko & Komendantova, 2016)
2018	Monetaria	China	Las fluctuaciones en las tasas de interés, la moneda y los tipos de cambio introdujeron incertidumbre en las inversiones de capital de los proyectos.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Duan et al., 2018)
2020	Energética, monetaria	Alemania, Italia y el Reino Unido	El riesgo político es uno de los cinco tipos de riesgo de inversión más importantes.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Egli, 2020)
2020	Energética, monetaria	Países en desarrollo	La inversión extranjera directa puede crear un cambio revolucionario en el mercado de la energía, evalúa la valoración de las inversiones,	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Shimbar & Ebrahimi, 2020)
2015	Leyes de cuotas de género	América Latina	Estudio de su uso para integrar a las mujeres en las instituciones.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Piscopo, 2015)

2014	Fiscal	México	Impacto de los impuestos sobre bebidas azucaradas y alimentos energéticos en el empleo y la economía.	Aprovisionamiento, producción	(Guerrero-López et al., 2017)
2022	Energía y Recursos Naturales	China	Tarifas de alimentación, inversión en I+D y su efecto en la generación de energía fotovoltaica.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Black, 2022)
2016	Energía y Recursos Naturales	Irán	Diseño de cadena de suministro considerando restricciones de agua y tierra.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Azadeh & Vafa Arani, 2016)
2019	Energía y Recursos Naturales	México	Inventarios de recursos geotérmicos por la evaluación de políticas para garantizar la disponibilidad de recursos.	Aprovisionamiento, producción, distribución.	(Prol-Ledesma & Morán-Zenteno, 2019)

2.5.1 Políticas públicas relevantes en México

En los últimos 20 años, México ha implementado diversas políticas que han tenido un impacto significativo en las cadenas de suministro y las decisiones de nearshoring en el país. Algunas de las más relevantes son:

- a) Política de Comercio Exterior - 2003 y actualizaciones continuas: México ha actualizado constantemente su política de comercio exterior, implementando medidas que facilitan la importación y exportación de bienes. La simplificación de procesos aduaneros y la modernización de infraestructuras han sido vitales para mejorar la competitividad de las cadenas de suministro y atraer nearshoring (Donato et al., 2008; SteelFisher et al., 2012).
- b) Ley de Impuesto Sobre la Renta (ISR) y Reformas Fiscales - 2007 y 2020: Las reformas en la ley del ISR y otros incentivos fiscales han sido clave para atraer inversión extranjera directa, promoviendo la instalación de plantas manufactureras y centros logísticos. Estos cambios han facilitado la relocalización de operaciones, reduciendo los costos fiscales para empresas que consideran el nearshoring (Comisión Reguladora de Energía, 2020; Donato et al., 2008; LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2012; LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE, 2024; Programa Nacional Para El

Aprovechamiento Sustentable de La Energía (PRONASE), 2020; SteelFisher et al., 2012).

- c) Ley General de Cambio Climático - 2012: Establece un marco para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 30% para 2020 y un 50% para 2050 en comparación con los niveles de 2000. La ley ha incentivado la adopción de tecnologías limpias y la eficiencia energética en sectores clave como la manufactura y el transporte en México (LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2012). Se acoge al Programa Especial de Cambio Climático (PECC) del 2009 (Programa Especial Del Cambio Climático 2009 2012, 1986), al Acuerdo de París (2015) (UNFCCC, 1983) y a regulaciones de la Unión Europea y EE. UU. Posteriormente, el país ha incorporado políticas como el Impuesto al Carbono (2014), Norma Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT, que regula las emisiones de gases contaminantes de los motores que utilizan diésel, y el Programa de Gestión Integral de Residuos (PGIR) para la gestión integral de residuos, lo que ha tenido un impacto en la gestión de las cadenas de suministro, incluyendo la logística inversa y la adopción de prácticas de economía circular.
- d) Reformas energéticas - 2013: La apertura del sector energético al capital privado permitió a empresas extranjeras invertir en la producción y distribución de energía en México. Esto mejoró la infraestructura energética del país, lo que dio como resultado una mayor competitividad en las cadenas de suministro, especialmente para industrias intensivas en energía (Reforma Energética, 2013). Se complementa con la Política de Energía Renovable y serie de Reformas a la Ley de la Industria Eléctrica – 2021, enfocadas en impulsar el uso de fuentes de energía renovables y priorizar a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) sobre las empresas privadas en la generación de electricidad. Afectando las decisiones de las empresas que buscan reducir su huella de carbono, impactando las decisiones de inversión. Factor clave para atraer inversiones sostenibles en el contexto de cadenas de suministro más responsables ambientalmente (Cruz Ake et al., 2024).
- e) Inversión en infraestructura logística - 2014 en adelante: A través del Programa Nacional de Infraestructura, el gobierno mexicano ha impulsado la modernización de puertos, aeropuertos, carreteras y ferrocarriles. Esta política ha mejorado la

capacidad del país para manejar mayores volúmenes de comercio internacional, haciéndolo más atractivo para las empresas que buscan establecer operaciones de nearshoring.

- a) Reformas Laborales - 2019: La implementación de nuevas normas laborales alineadas con el T-MEC, enfocadas en mejorar las condiciones laborales y sindicales, ha impactado las decisiones de inversión y nearshoring, garantizando una mayor certidumbre jurídica para las empresas extranjeras que establecen operaciones en México. Por otro lado, la Ley para la Subcontratación Laboral (Outsourcing) del 2022 prohibió la subcontratación de personal, obligando a las empresas a absorber sus plantillas de trabajadores. Afectó directamente la flexibilidad operativa de muchas industrias, lo que ha influido en las decisiones sobre el nearshoring y la gestión de cadenas de suministro en México. También es importante considerar la reforma del Sistema de Pensiones (2020) que ha generado preocupaciones entre los empleadores por los costos adicionales.
- f) Tratado entre México, EE. UU. y Canadá (T-MEC) - 2020: Este acuerdo reemplazó al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), proporcionando normatividad para la industria automotriz, normas laborales, propiedad intelectual y comercio digital. Ha fortalecido la integración regional, haciendo de México un destino atractivo para el nearshoring debido a su proximidad al mercado de EE. UU. y Canadá (TRATADO DE LIBRE COMERCIO DE AMERICA DEL NORTE, 1994).
- g) Cambios en la Sección 321: que se refiere al umbral de valor mínimo para las importaciones a EE. UU., afectando la eficiencia y gestión de costos de la cadena de suministro. Aunque facilita el comercio transfronterizo para pequeñas empresas, comercio electrónico, envíos personales y ayuda a agilizar el proceso aduanero, ya que no es necesario realizar trámites complejos para mercancías de bajo valor. Generando la migración de las operaciones a EE. UU., afectando el comercio electrónico (Rogers et al., 2024).
- h) Programa IMMEX (Industria Maquiladora, Manufacturera y de Servicios de Exportación) 2024: decretó la restricción de importación temporal de 138 líneas mediante el acto presidencial del 19 de diciembre del 2024, en el que se incrementa

la tarifa textil del 20-25% al 35%. Afectando al sector textil, confección y comercio electrónico, bajo la justificación de la protección de la industria nacional, pero ocasionando la pérdida de 79,000 empleos únicamente en el sector textil (Ferraz & Silva, 2024; Martínez et al., 2022).

Además, las políticas extranjeras también tienen un impacto significativo en las cadenas de suministro en México, por la alta integración comercial del país con economías como EE. UU., China y la Unión Europea. Un claro ejemplo es la guerra comercial entre EE. UU. y China, que ha generado una reconfiguración de las cadenas de suministro globales, beneficiando a México al posicionarse como un destino clave para el nearshoring de empresas estadounidenses que buscan reducir su dependencia de China (Rozhkov et al., 2022; Vargas-Hernández & Vargas-González, 2021).

Lo que se contrapone a las políticas comerciales proteccionistas de EE. UU. sobre la implementación de aranceles durante el mandato de Donald Trump y las políticas migratorias impuestas. Estas políticas afectaron temporalmente la disponibilidad de mano de obra y las exportaciones mexicanas, forzando a las empresas del país a diversificar mercados y ajustar sus procesos logísticos (Vargas-Hernández & Vargas-González, 2021).

Por otro lado, las normativas medioambientales y laborales más estrictas impuestas por acuerdos como el T-MEC, Adopción impuesta al carbono (K. Jordan et al., 2023), Acuerdo de París (Egli, 2020; I. H. Hong et al., 2018), Ley General de Cambio Climático (Cruz Ake et al., 2024), etc., han exigido que las empresas en México ajusten sus operaciones para cumplir con estándares más elevados, lo que ha aumentado los costos operativos, pero también ha fortalecido la competitividad y sostenibilidad de las cadenas de suministro (UNFCCC, 1983).

La Tabla 5 presenta un análisis de estudios relevantes relacionados con las políticas públicas, gestión de riesgos y nearshoring. Se identifican variables clave, riesgos, técnicas utilizadas, hallazgos principales y metodologías para tratar estos retos. Además, se identifican las direcciones sugeridas para futuros trabajos de investigación. Este enfoque integral facilita una comprensión más profunda de los riesgos asociados a la gestión de cadenas de suministro y las oportunidades para desarrollar soluciones innovadoras.

Tabla 5 Artículos de políticas públicas, gestión de riesgos y nearshoring

Autor	Año	Variables	Riesgos	Técnica	Principales hallazgos	Trabajos futuros
(Ellram et al., 2013)	2013	Divisa, peso, ubicación de materias primas, costos, mano de obra, logística, riesgo de interrupción de la cadena de suministro, acceso estratégico, riesgo país, políticas comerciales gubernamentales.	Distancia al cliente, terrorismo, desastre natural, inestabilidad política, riesgo de políticas comerciales, incertidumbre política y global, cuestiones medioambientales, social/ético, desastre natural, inestabilidad política, riesgo de regulación, ventajas fiscales, subvenciones, requisitos de comercio compensatorio.	Análisis factorial exploratorio con encuestas en EE. UU.	Factores que afectan las decisiones de ubicación de fabricación de las organizaciones.	Considerar la ubicación de los proveedores.
(Roza et al., 2011)	2011	Costos laborales, personal calificado, tamaño de la empresa, modo de gobierno, ubicación en empresas de diferentes dimensiones.		El análisis de varianza (ANOVA) se emplea para analizar las diferencias entre pequeñas, medianas y grandes empresas de los factores que impulsan la deslocalización.		Considerar las condiciones del mercado y los avances tecnológicos.
(Ashby, 2016)	2016	Materiales y MO de bajo costo, MO calificado, acceso a MP, condiciones comerciales ventajosas, acceso a la tecnología.	Aprovisionamiento.	Entrevistas		Realizar comparación de empresas que han repatriado o están en proceso de repatriar actividades de producción.

(Huq et al., 2016)	2016	Alteraciones de procesos, de demanda, oferta, costos relativos de producción por región, costos ocultos de operaciones distantes, cuestiones geopolíticas, accesibilidad de la logística, infraestructura, calidad de la fuerza laboral, Factores culturales, derechos de propiedad intelectual.	Defectos de calidad: interrupciones imprevistas en los procesos de fabricación, dificultades en el procesamiento de pedidos, entrega prematura de productos, desajuste entre la demanda del mercado y la capacidad de respuesta de los proveedores.	Entrevistas semiestructuradas con altos ejecutivos de la industria farmacéutica.	Destaca la necesidad de flexibilidad y adaptabilidad en el diseño de la cadena de suministro para mitigar los riesgos.	Explorar cómo los factores de perturbación afectan a las métricas de rendimiento de la cadena de suministro y para llevar a cabo estudios de casos detallados en diferentes sectores industriales. También recomiendan desarrollar modelos predictivos para ayudar a los gerentes a comprender los efectos de las perturbaciones.
(Bock, 2008)	2008	Salarios de los trabajadores, habilidades de los trabajadores y costos variables de fabricación.	Bajo nivel educativo.	El enfoque Tabu Search se aplica a diferentes configuraciones teóricas en varios países.	La atracción a países con bajos salarios laborales puede afectar las cualificaciones de los trabajadores.	
(Fernández-Miguel et al., 2022)	2022	Calentamiento global, emisiones de CO ₂ , sostenibilidad.	Crisis geopolíticas y sanitarias	Evaluación del ciclo de vida.	El nearshoring puede reducir los riesgos de suministro y las emisiones de CO ₂ .	El nearshoring se describe en producción, pero no lo suficiente abastecimiento de insumos.
(van Hassel et al., 2022)	2022	Costo de transporte, sector productivo, tiempo de transporte, subcontratación, infraestructuras logísticas, salarios.	Derechos de importación, Transporte: tiempo y coste, Estabilidad política, Valor de la moneda, Circunstancias laborales,	Análisis DOFA para nearshoring en Bélgica	Las industrias con productos de alto valor agregado se comportarán de manera diferente a aquellas con bajo	Realizar escenarios de sensibilidad del costo total de propiedad.

		Considera tres dimensiones: cultural, administrativa y económica.	idioma, educación, Infraestructura.		valor agregado. Evaluación de desempeño de un país para realizar nearshoring.	
(Zeraati Foukolaei et al., 2024)	2024	Inversión extranjera directa, costos de seguridad relacionados con las altas tasas de criminalidad y la violencia relacionada con las drogas desde 2007, limitaciones de infraestructura, impacto ambiental de la CS, prácticas sostenibles, energías renovables.	Estabilidad política	Enfoque híbrido de heurísticas de sistemas críticos (CSH), WASPAS, TOPSIS y el método Mejor-Peor (BWM).	Categoriza los productos de acuerdo con las preferencias sustentables de los consumidores estadounidenses. Este enfoque se alinea con los objetivos globales de sostenibilidad.	Existe una brecha en la literatura que aborda la importancia del hidrógeno dentro del marco de nearshoring.
(Xu et al., 2023)	2023	Riesgo de inversión, riesgo de mercado, riesgo técnico, riesgo de política, riesgo financiero, riesgo de costo, madurez tecnológica, capacidad de I+D independiente.	Riesgo de mercado, el riesgo técnico y el riesgo político.	Dinámica de sistemas.	Tendencia de desarrollo del riesgo de inversión en energía eólica dentro de 15 años. El riesgo político es el principal factor de riesgo, aunque el riesgo de mercado se convierte en la clave de riesgo de inversión en energía eólica después de 10 años.	Aplicación de la teoría de control de riesgos por parte de los inversores en la industria de la energía eólica para mitigar el riesgo de inversión y optimizar su rendimiento.
(Saidi et al., 2020)	2020	Infraestructura de transporte, PIB, entradas netas de inversión extranjera	Corredores para el transporte de mercancías, infraestructuras TIC y logística (por ejemplo,	Función de producción transformada de Cobb-Douglas, para	Mejoraron el alcance de la función de producción incorporando la	Estudio en los países en desarrollo para incluir diferentes modos de transporte

directa, infraestructura logística, consumo de energía, desarrollo financiero, inflación.

almacenes, conectividad con otros puertos locales e internacionales).

la producción nacional dependiente del capital y la fuerza laboral.

inversión extranjera directa, el consumo de energía y la apertura comercial junto con la urbanización, como factores adicionales que afectan al crecimiento económico.

más sostenibles, como el transporte ferroviario y marítimo.

En general, las regulaciones de exportación y restricciones comerciales han reducido el acceso a mercados internacionales, interrumpiendo la producción, en múltiples sectores. Las políticas energéticas y medioambientales han aumentado los costos y han forzado cambios en los proveedores logísticos, mientras que los acuerdos comerciales post-Brexit han generado barreras comerciales y reconfiguraciones en las rutas de suministro. Incentivos fiscales y regulaciones de manufactura han impulsado la relocalización de la producción, afectando especialmente la industria de semiconductores y la cadena de suministro tecnológica. Además, tratados de libre comercio como el USMCA han facilitado una mayor integración entre EE. UU., México y Canadá, mejorando los tiempos logísticos y relocalizando empresas en sectores como la manufactura automotriz y el transporte. Políticas fiscales e incentivos a la industria han generado un aumento en las inversiones en infraestructura logística, particularmente en proyectos portuarios y exportación de recursos naturales.

2.6 Dinámica de sistemas en la gestión de riesgos

Dinámica de Sistemas es una metodología utilizada para el análisis de sistemas complejos desarrollada por Jay Forrester en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) en los años 50. Se basa en el pensamiento sistémico y ofrece herramientas y técnicas para modelar, simular y entender cómo funcionan sistemas complejos que tienen muchas variables conectadas, ciclos de retroalimentación y comportamientos no lineales (De Silva et al., 2024; Forrester, 1968). Los conceptos clave de causalidad circular, ciclos de refuerzo y equilibrio, retrasos en el sistema y la relación entre estructura y comportamiento ayudan a entender el funcionamiento complejo de las cadenas de suministro.

La metodología se apoya en herramientas como los Diagramas Causales y Diagramas de Forrester, explicados a continuación:

2.5.1 Diagramas causales

El pensamiento sistémico se centra en identificar las interrelaciones entre las variables de un sistema, analizando cómo y por qué estas cambian o se mantienen constantes a lo largo del

tiempo. Este enfoque se representa mediante diagramas causales (DC), los cuales son representaciones gráficas que ilustran las relaciones causa-efecto entre las variables que componen el sistema, así como las estructuras de retroalimentación que influyen en su comportamiento (Forrester, 1968).

Los diagramas causales se componen de variables conectadas por flechas que muestran una relación causa-efecto ($A \rightarrow B$), positiva o negativa. El signo 'más' (+) en la cabeza de la flecha de la variable consecuencia (B) muestra una relación causal positiva, indicando que, si A aumenta, B también lo hará; o viceversa, si A disminuye, B también bajará. Por lo tanto, un cambio en la variable A (causa) provoca una modificación en la variable B (efecto) en la misma dirección. Una relación causal negativa, simbolizada con el signo 'menos' (-) en la cabeza de la flecha ($B \rightarrow C$), indica que, si B se incrementa, C se disminuirá; o viceversa. Así, en una relación causal negativa, el cambio en la variable B (causa), produce un cambio en la variable C (efecto) en la dirección contraria (Figura 3a) (Cedillo & Sánchez, 2008; Forrester, 1968; Meadows, 2008).

Un bucle de reforzamiento (*R*) es un ciclo de retroalimentación que, cuando se activa, genera un efecto acumulativo que se refuerza a sí mismo. Es decir, una acción inicial provoca un cambio en una dirección, y ese cambio, a su vez, produce un efecto adicional en la misma dirección, creando un efecto de "bola de nieve" o crecimiento exponencial. Este tipo de bucle puede ser positivo, generando crecimiento, o negativo, generando decrecimiento o deterioro, dependiendo de la naturaleza de las variables involucradas, en la Figura 3b se presenta un bucle de reforzamiento positivo.

Un bucle de balanceo (*B*) es un ciclo de retroalimentación que busca mantener el equilibrio del sistema. Cuando una variable del sistema aumenta, los efectos que se desencadenan tienden a actuar en la dirección opuesta para contrarrestar el cambio, estabilizando el sistema. Los bucles de balanceo son importantes para mantener el control y evitar que el sistema se desestabilice debido a factores internos o externos (Forrester, 1968; Meadows, 2008).

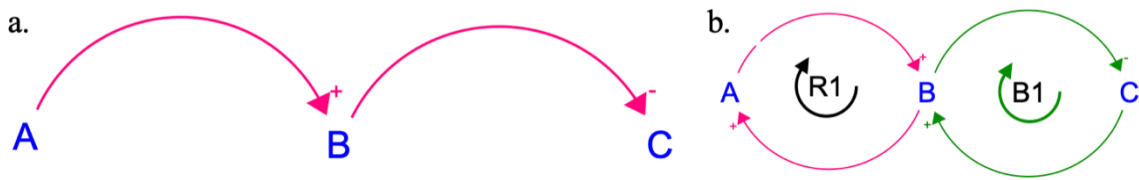


Figura 3 Relación causa-efecto en diagramas causales

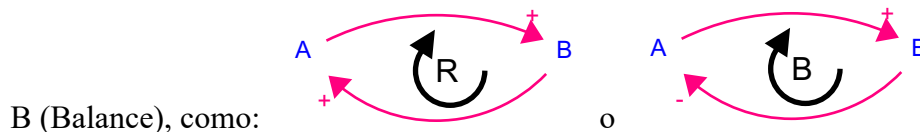
Para el mapeo de las relaciones, primero se determina si la relación entre las variables A y B es positiva (+) o negativa (-). En una relación positiva, si A aumenta, entonces B también; si A disminuye, entonces B lo hace también. En una relación negativa, si A aumenta, entonces B disminuye; si A disminuye, B aumenta. En algunos casos se debe incluir un retardo o tiempo de demora entre causa y efecto.

En la construcción del diagrama causal se deben considerar algunos elementos gráficos como:

- Variables: representadas por cajas o texto, ejemplo: A y B
- Flechas causales: Conectan variables con polaridad (+ o -), ejemplo:



- Bucles de retroalimentación: Identificados con etiquetas R (Reforzamiento) o



B (Balance), como:

- Retardos: Marcados en las flechas



Esto facilita la comprensión de cómo las decisiones tomadas en un punto de la red de suministro pueden tener un impacto en otros elementos clave. También permite analizar la complejidad y la incertidumbre en la gestión de la cadena de suministro, permitiendo una respuesta más ágil y eficaz a los cambios del entorno.

2.5.2 Diagramas de Forrester

Los diagramas de Forrester actúan como un lenguaje formal que convierte narrativas descriptivas sobre comportamientos complejos plasmadas en los DC en estructuras gráficas.

Cada elemento representa una variable y captura de forma cuantificable las dinámicas de retroalimentación. Esto permite validar matemáticamente el modelo, observar la evolución temporal de las variables y llevar a cabo un análisis de sensibilidad mediante ecuaciones matemáticas de primer orden. Con el objetivo de identificar estrategias que den como resultado mejores indicadores de desempeño (Forrester, 1968; Meadows, 2008).

Se deben considerar algunos elementos gráficos como:

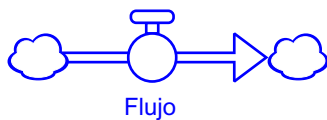
- a. Variables de nivel: Simbolizan las acumulaciones dentro del sistema (como

Stock



inventarios o capital). Recoge todo lo que entra, menos lo que sale

- b. Flujos: Representan las tasas de cambio que afectan los niveles.



- c. Variables auxiliares: almacena valores para constantes, define entradas externas al modelo, calcula relaciones algebraicas, sirve como repositorio para



funciones gráficas y en general, convierte entradas en salidas [Converter](#).

En cadenas de suministro se ha aplicado a la gestión de inventarios (Giedelmann-L et al., 2022), decisiones de capacidad (Bahadir & Akdag, 2019), estudio de interrupciones (Olivares-Aguila & ElMaraghy, 2021) y simulaciones ante cambios regulatorios/proteccionistas (Hamed et al., 2024; Olivares-Aguila & ElMaraghy, 2021; L. Zhang et al., 2024; X. Zhang et al., 2024). Integrando variables de diferentes niveles de agregación (desde decisiones operativas hasta indicadores macroeconómicos) y horizontes temporales (desde respuestas inmediatas hasta transformaciones estructurales de largo plazo) (Paine, 2022; Zanker & Bureš, 2022). La literatura resalta su aporte para anticipar dinámicas emergentes que de otro modo pasarían desapercibidas, evidenciando limitaciones de los métodos deterministas, fundamental para comprender cómo las políticas públicas, que típicamente se formulan a

nivel macro, se traducen en efectos específicos en empresas individuales y cadenas de suministro particulares.

La dinámica de sistemas también se ha aplicado a diversos sectores; se destacan estudios como Arumugam et al. 2025 (Arumugam & Pitchaimani, 2025) en la industria de semiconductores, que analiza cómo riesgos se propagan en cadenas interconectadas (automotriz, electrónica, dispositivos médicos) mediante índice de vulnerabilidad, combinando mediciones ponderadas de todos los actores. Identificando que la propagación de efectos es dinámica y no-lineal, donde pequeñas perturbaciones pueden amplificarse significativamente. El análisis subraya que el modelado de sistemas dinámicos es crítico para anticipar impactos ante disrupciones inesperadas de magnitud elevada.

Munikhah et al. (Munikhah et al., 2022) analizaron el impacto de las políticas gubernamentales indonesias que prohíben las exportaciones de mineral de níquel. Sus hallazgos revelaron que estas políticas causan retrasos en el procesamiento del níquel debido a la incapacidad de la industria nacional para el procesamiento aguas abajo, afectando la resiliencia de la cadena de suministro.

Layani et al. (Layani et al., 2023), evaluaron los efectos de las reformas de la política agrícola sobre la sostenibilidad ambiental en Irán, combinando un modelo integrado de Programación Matemática Positiva (PMP) y SD para analizar los efectos de las reformas de las políticas agrícolas en la sostenibilidad, el cambio climático y el crecimiento de la población, en los índices hídricos.

Ma et al. (Ma et al., 2023) utilizaron dinámica de sistemas para evaluar los impactos de cinco políticas gubernamentales en la oferta y la demanda de materiales producidos a partir del reciclaje de residuos inertes de construcción y demolición, como hormigón y ladrillos, como alternativa en aplicaciones de construcción, además de mejorar la supervisión del vertido ilegal, tarificación de vertederos, subsidios para las actividades de reciclaje, desarrollo de centros de reciclaje y restricción de la minería en Chongqing (China); destacando la necesidad de combinar políticas para obtener resultados efectivos, como los subsidios y las restricciones a la minería, para mejorar el mercado de áridos reciclados.

La literatura revisada destaca la versatilidad de la dinámica de sistemas para analizar diversos tipos de políticas en múltiples sectores. La Tabla 6 resume otros estudios de políticas evaluadas mediante esta metodología, proporcionando evidencia consistente de que la metodología puede capturar efectivamente las dinámicas complejas de las cadenas de suministro y evaluar el impacto de las políticas a largo plazo. Este enfoque permite a los responsables políticos comprender los sistemas complejos y predecir los resultados de diferentes escenarios políticos. Además, se pudo identificar una falta de conocimiento sobre cómo los aranceles afectan la cadena de suministro (Rogers et al., 2024) que consideren las implicaciones a largo plazo, la dinámica del mercado y la competencia. Lo que plantea la oportunidad de investigar sobre cómo estas políticas comerciales podrían modificar el ambiente macroeconómico futuro de México.

Tabla 6 Políticas públicas evaluadas con dinámica de sistemas

Referencia	País de aplicación	Descripción de la política pública analizada	Principal contribución al estudio	Trabajos futuros
(S. Liu et al., 2024)	China	Políticas de <i>gobernanza colaborativa</i> en ciudades inteligentes, incluyendo participación ciudadana, transparencia gubernamental y coordinación multi-stakeholder en desarrollo urbano.	Identificación de 5 factores clave para gobernanza colaborativa efectiva y desarrollo de marco para mejorar la coordinación multi-stakeholder en ciudades inteligentes.	Explorar la integración de tecnologías de IA en sistemas de gobernanza colaborativa y extender la metodología a otras ciudades con diferentes estructuras de gobernanza.
(Crabolu et al., 2023)	Italia/Europa	Políticas de <i>bioeconomía</i> en el sector agrícola europeo, incluyendo subsidios para biomasa, regulaciones de sostenibilidad y transición hacia economía circular.	Evaluación de la complejidad de las políticas usando diagramas de bucle causal y entendimiento de los compromisos entre diferentes objetivos en las políticas de bioeconomía en Europa.	Aplicar la metodología a otras regiones y sectores y desarrollar métricas cuantitativas para medir la complejidad de las políticas en diferentes contextos.
(Stankov et al., 2021)	Portugal	Políticas de sistemas de <i>salud</i> como prevención, atención primaria, hospitalización y coordinación intersectorial para enfermedades no transmisibles.	Método para convertir diagramas de bucle causal en escenarios futuros y su uso en la planificación de políticas en sistemas de salud hasta el año 2030.	Validar la metodología en otros países y sistemas de salud. Explorar la integración con aprendizaje automático para la generación automatizada de escenarios.
(Sy et al., 2020)	EE. UU.	Políticas de <i>respuesta a la pandemia</i> COVID-19, incluyendo cierres, pruebas masivas, rastreo de contactos, comunicación pública y coordinación federal-estatal.	Marco para el desarrollo de políticas en respuesta a una crisis y evaluación de efectividad de diferentes combinaciones de medidas.	Desarrollo de mecanismos de ajuste de políticas en tiempo real y la aplicación de la metodología a otras crisis más allá de las pandemias.
(de Gooyert et al., 2016)	Países Bajos	Políticas de <i>energías</i> renovables, eficiencia energética y regulación de monopolios naturales.	Identificación de mecanismos de resistencia de políticas en transiciones de sostenibilidad y desarrollo de estrategias para superarlos en sectores de servicios públicos.	Explorar la aplicación de estrategias a otros sectores y desarrollar herramientas para que los responsables políticos puedan anticipar y mitigar la resistencia.

(Zimmerman et al., 2016)	EE. UU.	Políticas de implementación de servicios de <i>salud</i> mental, incluyendo psicoterapias basadas en evidencia, capacitación de proveedores y coordinación de servicios.	Mejora de la participación de las partes interesadas y la precisión en la planificación de la implementación de políticas de salud mental.	Desarrollo de programas de capacitación para mejorar la capacidad de las organizaciones de salud.
(Awah et al., 2024)	Camerún	Políticas de <i>gestión de riesgo</i> , incluyendo sistemas de alerta temprana, infraestructura de protección y participación comunitaria.	Desarrollo de una metodología participativa para la gestión de políticas de riesgo de desastres, aplicada a la del manejo de inundaciones con participación comunitaria.	Ampliar la metodología a otros tipos de desastres y desarrollar indicadores para medir la mejora de la resiliencia comunitaria mediante enfoques participativos.
(Giordano et al., 2025)	España/Europa	Políticas integradas <i>agua-energía-alimentos</i> en cuenca mediterránea, incluyendo gestión hídrica, seguridad alimentaria y transición energética coordinada.	Construcción de un puente entre ideas y modelos numéricos para estudiar políticas, usando diagramas de bucle causal como herramienta de conexión.	Desarrollo de herramientas automatizadas para traducir los diagramas en modelos cuantitativos y su aplicación en otros contextos más allá de la región mediterránea.
(Pirouzrahi et al., 2025)	Global/Ciudades urbanas	Políticas de cambio modal en <i>transporte</i> urbano, incluyendo promoción de transporte público, infraestructura ciclista, precios de congestión y restricciones vehiculares.	Revisión exhaustiva de escenarios de políticas para el cambio modal, identificando las combinaciones más efectivas de políticas para la movilidad urbana sostenible.	Desarrollar herramientas de evaluación de políticas en tiempo real y explorar la integración de factores de comportamiento en el diseño de políticas de cambio modal.
(Cruden et al., 2024)	EE. UU.	Políticas de <i>prevención de maltrato</i> infantil, incluyendo programas de apoyo familiar, formación de profesionales y coordinación entre agencias de protección.	Operacionalización de estrategias para la prevención del maltrato infantil y desarrollo de modelos lógicos para el diseño de políticas.	Expansión a otros dominios de prevención y el desarrollo de protocolos estandarizados.

2.6 Síntesis y brecha identificada en la literatura

La revisión realizada evidencia avances significativos en la caracterización de la complejidad, riesgos y dinámica estructural de las cadenas de suministro modernas, así como en la identificación de los impactos de políticas públicas en su desempeño. Sin embargo, persiste una brecha: actualmente no existe un modelo dinámico y holístico que analice en profundidad el impacto de políticas públicas, tales como aranceles, en el contexto latinoamericano o de México. Los estudios vigentes tienden a ser parciales (centrados en procesos o subsectores), lineales (sin incorporar retroalimentaciones) y carecen de integración sistémica de variables regulatorias, operativas y de entorno internacional.

Este vacío explica y orienta el enfoque de esta tesis: desarrollar un modelo dinámico que tenga en cuenta diferentes factores y se ajuste al contexto mexicano, para simular cómo las interrupciones en las regulaciones y estrategias impactan la resiliencia y el rendimiento del sector manufacturero en el país. Así, el enfoque propuesto busca llenar una brecha conceptual y operativa, aportando una nueva perspectiva para la toma de decisiones públicas y privadas en un entorno global cada vez más incierto y desafiante.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

A continuación se describe la metodología empleada para analizar los riesgos derivados de las políticas públicas que afectan las cadenas de suministro con la metodología de dinámica de sistemas. Esto se debe a su capacidad para modelar sistemas complejos en los que interactúan múltiples variables interdependientes, como las políticas comerciales, las fluctuaciones del mercado y las decisiones estratégicas de los actores involucrados. Además, capta las dinámicas de retroalimentación y los efectos no lineales.

3.1 Metodología

En este capítulo se presenta la metodología desarrollada en la investigación para identificar los riesgos asociados a las políticas públicas que impactan las cadenas de suministro. El enfoque que se utiliza es el abductivo. A diferencia del razonamiento deductivo, que comienza con una premisa general (p) para llegar a una conclusión específica (q), el razonamiento abductivo empieza con un resultado que se ha observado (q) y busca una hipótesis plausible (p) que lo explique.

Este enfoque resulta especialmente valioso en sistemas complejos como las cadenas de suministro, donde los fenómenos emergentes suelen ser el resultado de múltiples interacciones causales no evidentes a primera vista. Así, la abducción facilita la generación de hipótesis que expliquen la dinámica observada y, simultáneamente, orienten la identificación de riesgos sistémicos. Para modelar dichos riesgos y comprender cómo las políticas públicas pueden alterar el comportamiento de las cadenas de suministro, se emplea dinámica de sistemas.

La metodología propuesta (Figura 4) se estructura en diez pasos secuenciales, con flexibilidad iterativa, guiando el análisis y la gestión de riesgos asociados a políticas públicas que afectan las cadenas de suministro.

Cada paso incluye una breve descripción de las actividades principales y de los productos o entregables esperados, los cuales constituyen los pilares sobre los que se sustenta todo el proceso de evaluación dinámica.

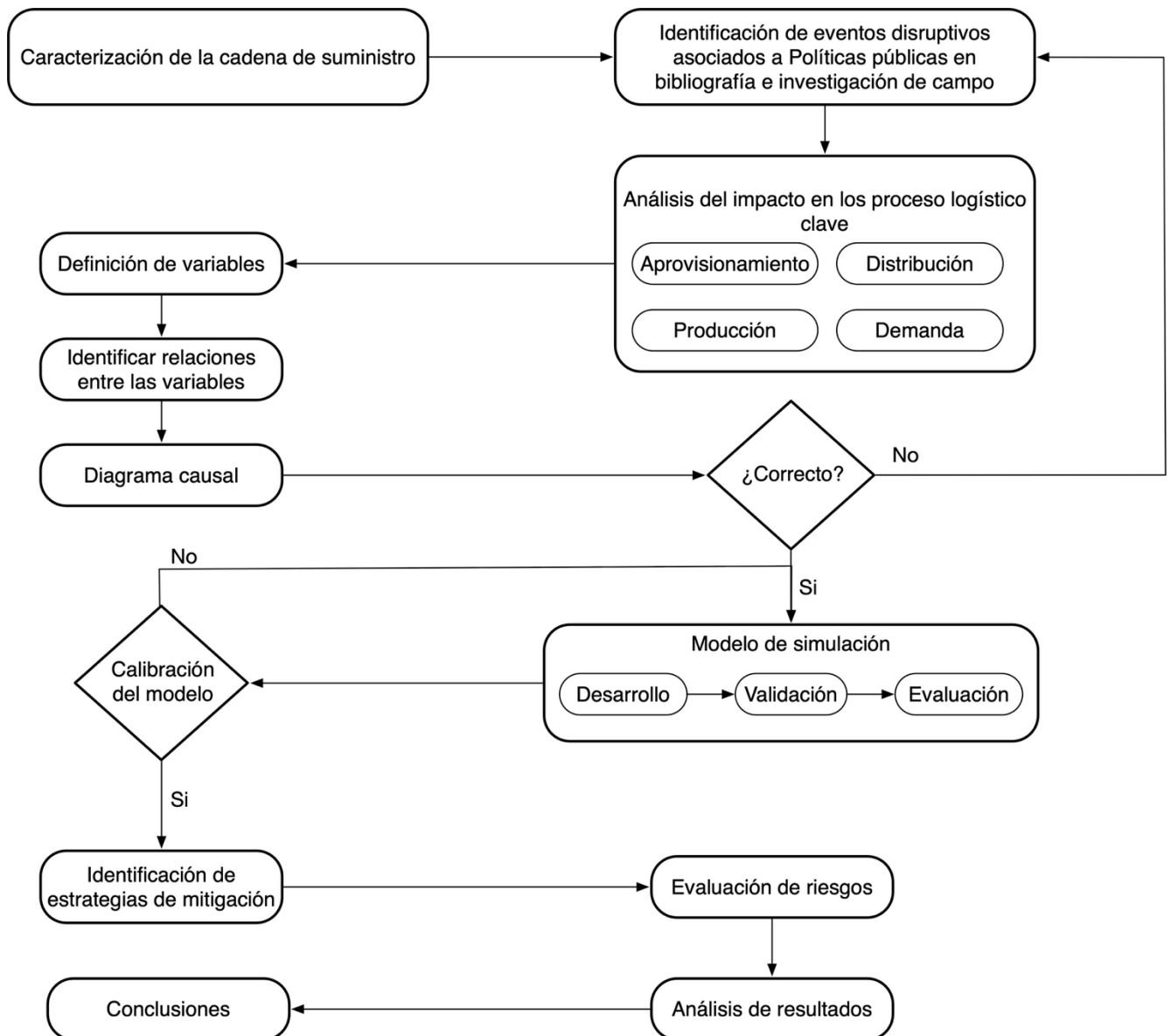


Figura 4 Metodología propuesta para la gestión de riesgos en una red de suministro

A continuación, se detallan los diez pasos de la metodología:

3.1.1 Caracterización de la cadena de suministro

Se analizan los flujos de materiales, información y recursos financieros que circulan a lo largo de la cadena, desde los proveedores de materia prima hasta los clientes finales; los eslabones logísticos (aprovisionamiento, producción, distribución y consumo).

En el establecimiento del alcance y límites del sistema se define qué aspectos se incluirán en el análisis, como:

- a) Sector: Definir con precisión el sector manufacturero analizado (ej. confecciones, alimentos, automotriz).
- b) Eslabones logísticos: Delimitar cuáles eslabones se van a analizar.
- c) Frontera geográfica: Establecer cobertura geográfica (nacional, regional, clúster industrial).
- d) Horizonte temporal: Definir período de recopilación de datos que capture variabilidad estacional y ciclos completos del sector.
- e) Límites del sistema: Identificar variables externas críticas que impactan la cadena, como políticas regulatorias, condiciones económicas, tecnologías disponibles, tendencias de demanda, disrupciones de suministro y factores geopolíticos.

Los entregables son:

- a) Informe de delimitación del alcance: Documento formal donde se especifica el sector manufacturero analizado (ej. textil, alimentos, automotriz), tipo de productos incluidos, eslabones logísticos considerados (aprovisionamiento, producción, distribución, consumo), frontera geográfica (nacional/regional/clúster) y horizonte temporal de estudio.
- b) Matriz de variables externas o límites del sistema que incluya los factores del entorno regulatorio que pueden afectar al caso de estudio seleccionado.

El resultado de esta caracterización integral de la cadena de suministro sirve como insumo esencial para las siguientes etapas de la investigación.

3.1.2 Identificación de los eventos disruptivos en bibliografía e investigación de campo

Para conocer los eventos que influyen en las políticas públicas y cómo afectan el rendimiento de la cadena de suministro, así como para entender su estructura, conexiones y debilidades, se recomienda revisar la literatura y hacer una investigación de campo con entrevistas semiestructuradas.

- a) Revisión bibliográfica sistemática: a partir del diseño de la ecuación de búsqueda que identifique las publicaciones sobre impacto de políticas públicas en cadenas de

suministro con énfasis en riesgos. Se proponen términos clave como: "políticas públicas" OR "regulaciones" AND "cadena de suministro" AND "riesgo" OR "disruption" OR "interrupción" OR "impacto". En bases de datos académicas: Scopus, Web of Science, Google Scholar en los últimos 5 años (2020-2025) en inglés y español. De artículos de revista, capítulos de libros, reviews, libros en publicaciones finales (excluir preprints).

Para la identificación inicial, se aplica la ecuación de búsqueda en cada base de datos; se registra el número total de resultados. A partir de la lectura del resumen, se seleccionan los artículos relevantes según criterios de inclusión:

- a) Artículos que aborden gestión de riesgos en cadenas de suministro como tema principal
- b) Artículos que reporten eventos disruptivos específicos

Y exclusión como:

- a) Artículos que no aborden cadenas de suministro como tema principal de investigación.
- b) Estudios centrados únicamente en aspectos técnicos sin el enfoque de gestión de riesgos.
- c) Investigaciones sin registro de un evento disruptivo sobre la cadena de suministro.
- d) Resúmenes de conferencias o reportes técnicos.
- e) Artículos duplicados o versiones preliminares de investigaciones.
- f) Estudios en idiomas diferentes al inglés o español.

Los artículos seleccionados, se revisan a texto completo y se extrae la información relevante en una tabla que incluye: Política/Evento Disruptivo, Fecha de implementación, Sector(es) Afectado(s), País/Región, Eslabones de la CS impactados, Resultado Reportado, Duración.

- b) Seleccionar empresas manufactureras representativas según: tamaño (pequeña, mediana, grande), sector (textil, alimentos, automotriz, etc.), nivel de exposición a

políticas (alto/bajo exportador, alto/bajo importador), e identificar los perfiles para la entrevista. Para formular preguntas como:

- a. ¿Cuál es el volumen anual de compras de materias primas?
- b. ¿Qué porcentaje proviene del exterior?
- c. ¿Cuáles son sus mercados principales (nacional/exportación)?
- d. ¿Cómo es la afectación de las políticas públicas (aranceles, regulaciones, inspecciones) en su cadena de suministro?
- e. ¿Cuáles políticas han tenido mayor impacto en su operación?
- f. ¿Ha experimentado cambios en costos de materias primas por política arancelaria?
- g. ¿De qué magnitud?
- h. ¿Con qué frecuencia experimentó demoras por inspecciones aduanales?
- i. ¿Ha enfrentado restricciones o prohibiciones de importación?
- j. ¿Cuál fue el impacto en plazos de entrega a clientes?
- k. ¿Identifica puntos vulnerables en su cadena donde políticas públicas causen mayor daño?
- l. ¿Qué medidas adoptó para mitigar riesgos asociados a políticas (diversificación de proveedores, inventarios de seguridad)?
- m. ¿Qué información o alertas necesitaría para anticipar impactos de nuevas políticas?
- n. ¿Ha observado que políticas afecten a sus proveedores o clientes de forma que indirectamente le impacten?
- o. ¿Cómo se propagan los impactos a lo largo de la cadena?

Se sugiere grabar entrevistas (con consentimiento), y transcribirlas posteriormente. Extraer información en una matriz que incluya: empresa, sector, evento/política, mes de afectación, tipo de impacto, magnitud, duración y respuesta adaptativa.

Al finalizar, se espera:

- a) Catálogo de eventos disruptivos: listado estructurado de las políticas/eventos con caracterización.

- b) Matriz de vulnerabilidades: cadenas de suministro identificadas como de alto/medio/bajo riesgo.
- c) Mecanismos de transmisión: cómo se propagan impactos (directo/indirecto, velocidad, amplitud).
- d) Análisis comparativo: literatura vs. realidad de campo.

Estos hallazgos constituyen insumo esencial para etapas posteriores de modelación (definición de shocks en sistemas dinámicos) y análisis de resiliencia de la cadena de suministro.

3.1.3 Análisis del impacto en los procesos logísticos clave

Profundiza en cómo cada evento disruptivo identificado de los indicadores clave del proceso, en una tabla que incluye: proceso, definición, actores principales, límites del proceso e indicadores críticos que reflejen desempeño operacional.

Se propone crear una tabla que muestre la conexión entre cada evento disruptivo y sus efectos específicos en indicadores. La tabla se llenará con datos numéricos de tres fuentes: literatura revisada, entrevistas en campo y registros operacionales de las empresas involucradas. La tabla debe incluir: evento disruptivo, proceso afectado, indicador, impacto, línea base, impacto post-evento, cambio porcentual, duración y fuente de información.

Para ver los efectos en cadena entre procesos, se traza cómo los impactos en uno provocan consecuencias en otros y se registran las relaciones en una tabla causal que incluye: evento inicial, proceso 1, indicador 1, cambio, proceso 2, indicador 2, cambio, proceso 3, indicador 3, cambio.

Este análisis integral de impactos en procesos logísticos clave proporciona la base cuantitativa para la modelación de cadenas de suministro bajo disrupciones. La documentación rigurosa de magnitudes, duraciones y mecanismos de transmisión garantiza que modelos posteriores reflejen dinámicas reales del sector manufacturero estudiado.

Se propone clasificar impactos en cuatro categorías para facilitar la modelación en:

- a) Impactos de tiempo (cambios en duración de procesos) como ciclo de aprovisionamiento y de distribución y retraso en respuesta a demanda.

- b) Impactos de costo (cambios en costos operacionales) como: costo de materia prima, costo de almacenamiento, costo de transporte.
- c) Impactos de capacidad (cambios en disponibilidad/utilización) como: capacidad de producción, disponibilidad de producto, utilización de planta.
- d) Impactos de calidad (cambios en defectos/cumplimiento) como: tasa de defectos, cumplimiento de especificaciones, satisfacción del cliente.

Para asegurar la confiabilidad de los impactos reportados, se plantea realizar:

- a. Triangulación de fuentes: Para cada impacto, confrontar información de literatura científica, entrevistas a gerentes y registros operacionales.
- b. Validación con expertos: Presentar matriz a panel de especialistas del sector para validar las magnitudes.

Este análisis de impactos en procesos logísticos clave proporciona la base para la modelación de cadenas de suministro bajo interrupciones. La documentación de magnitudes, duraciones y mecanismos de transmisión garantiza que modelos posteriores reflejen dinámicas reales del sector estudiado.

3.1.4 Definición de variables clave

En este paso se seleccionan y definen las variables críticas para comprender y medir la afectación a la red de suministro en los procesos logísticos clave. Se propone para su clasificación en:

- a. Variables exógenas: eventos externos del sistema, que no controlan, se debe incluir su magnitud y duración.
- b. Variables endógenas: estados y decisiones del sistema que evolucionan según las restricciones y dinámicas definidas, como niveles de inventario, capacidad, costos acumulados, etc.
- c. Variables de desempeño (output): Indicadores que resumen el funcionamiento del sistema bajo la acción de las variables exógenas y las decisiones en las variables endógenas. Se usan para comparar escenarios y políticas.

Al finalizar, se espera un listado de las variables clave con definiciones, indicadores y autores, si es necesario.

3.1.5 Identificación de relaciones entre las variables clave y creación de un diagrama causal

Se identifican las relaciones entre las variables mencionadas anteriormente para crear el diagrama causal, una representación visual del funcionamiento del sistema y de la interacción entre sus variables.

La evaluación de estas relaciones causales es un paso crucial en el proceso; se revisa si las variables y las relaciones causales identificadas son coherentes y congruentes con la dinámica del sistema. Con pruebas como:

- c) Consistencia de la polaridad de bucles, para verificar que los bucles de balance tienen un número par de relaciones negativas.
- d) Pruebas de completitud, para asegurar que todas las variables clave estén conectadas.
- e) Prueba de parsimonia, para eliminar relaciones redundantes o poco significativas.
- f) Validación con expertos con experiencia en campo y/o con la metodología de dinámica de sistemas.
- g) Puntos de apalancamiento para identificar las variables que, con leves cambios, pueden generar impactos significativos.

El diagrama debe ser validado por expertos del dominio antes de proceder al siguiente paso (Paso 3.1.6). Sin embargo, si se detectan incongruencias, se realiza una retroalimentación y revisión de la definición de las relaciones causales correspondientes.

Al final, se espera tener un diagrama causal completo que muestre todas las variables, relaciones y bucles de retroalimentación identificados, una descripción de su comportamiento a lo largo del tiempo y una lista ordenada de puntos clave para desarrollar estrategias de mitigación de riesgos.

3.1.6 Desarrollo de un modelo de simulación

En esta etapa, se convierte el diagrama causal del Paso 3.1.5 en un modelo de simulación dinámica. Esto permite analizar cómo se comporta la cadena de suministro frente a diferentes eventos disruptivos relacionados con políticas públicas, utilizando un diagrama de Forrester. Primero, se selecciona el software de simulación entre Vensim, Stella Architect®, AnyLogic y PowerSim.

Se debe considerar para su selección:

- a) Capacidad de manejo de bucles de retroalimentación complejos.
- b) Funciones de optimización y análisis de sensibilidad.
- c) Interfaz de usuario para interesados no técnicos.
- d) Exportación de resultados y reportes automatizados.

Una vez que se ha seleccionado el software, se construye el modelo de simulación y se desarrolla la validación y calibración mediante diversas pruebas, que pueden incluir:

- a) Validación estructural: revisión de ecuaciones
- b) Validación de comportamiento: comparación con patrones reales históricos
- c) Validación extrema: comportamiento del modelo en condiciones límite
- d) Validación de sensibilidad: análisis de elasticidad de parámetros críticos

Luego de superar todas las pruebas, se desarrolla la interfaz de usuario que incluya KPI's y alertas ante KPI fuera de rango.

Se espera como productos del paso 6:

- a. Un modelo de simulación funcional en la plataforma seleccionada con una interfaz de usuario interactiva. Se incluirá una biblioteca predefinida de escenarios validados con:
 - Escenario base: condiciones normales de operación.
 - Escenario de crisis.
 - Escenario optimista.

- b. Documentación de las ecuaciones utilizadas y generadas por el modelo de simulación, junto con su explicación detallada.
- c. Manual de usuario que explica controles e interpretación de resultados.
- d. Análisis de sensibilidad: que identifica variables de mayor apalancamiento.

El modelo constituye la base de los siguientes pasos para la identificación de estrategias de mitigación, evaluación de riesgos y análisis de resultados.

3.1.7 Identificación de estrategias de mitigación

Este paso presenta estrategias concretas para disminuir la debilidad de la cadena de suministro ante eventos disruptivos conocidos. Esto se hace al analizar las prácticas de mitigación actuales y al diseñar nuevas acciones basadas en los resultados de simulaciones.

Primero, se debe realizar el inventario de prácticas existentes, el proceso se apoya en entrevistas realizadas en fase 3.1.1 de caracterización, con preguntas clave como:

- a) ¿Qué acciones implementaron para enfrentar [evento específico]?
- b) ¿Cuál fue el costo de la medida?
- c) ¿Qué resultados obtuvieron?
- d) ¿Cuáles son las limitaciones de esta estrategia?

Las estrategias identificadas se clasifican en:

- a. Estrategias de redundancia (capacidad duplicada) que incluyen:
 - a. Múltiples proveedores de materia prima que reducen dependencia de proveedor único.
 - b. Centros de distribución en diferentes regiones para reducir las interrupciones logísticas.
 - c. Líneas de producción alternativas o subcontratación, reduciendo la capacidad interrumpida.
- b. Estrategias de flexibilidad (adaptabilidad):
 - a. Sistemas de pronóstico ágiles para ajustar producción a cambios, reduciendo el inventario no requerido.
 - b. Capacidad de cambiar proveedores rápidamente para reducir la rigidez de suministro.

- c. Líneas de producto que pueden adaptarse a diferentes insumos para reducir la dependencia de materiales específicos.
- c. Estrategias de inventario (amortiguamiento):
 - a. Incremento de stock de materia prima de seguridad para reducir interrupciones de suministro
 - b. Incremento de inventario de producto terminado para reducir incumplimientos de entrega e inventario intermedio en puntos críticos de la cadena.
- d. Estrategias de información y coordinación (visibilidad):
 - a. Sistemas de intercambio de información en tiempo real con proveedores (reduce incertidumbre).
 - b. Contratos colaborativos que especifican alertas y contingencias (reduce sorpresas).
 - c. Certificaciones regulatorias (OEA, ISO) que aceleran procesos aduanales.
- e. Estrategias financieras (protección de valor):
 - a. Coberturas y derivados financieros para proteger contra volatilidad de precios.
 - b. Seguros de interrupción de negocio y fondos de reserva para absorber shocks.

Cada estrategia identificada, se debe evaluar según criterios de desempeño en una matriz que incluya: estrategia, tipo, riesgos mitigados, costo de implementación, costo operacional anual y efectividad (%).

Posteriormente, se utiliza el modelo de simulación para probar ¿qué pasaría si? con diferentes estrategias de mitigación:

- a. Escenario base (sin intervención): Ejecutar modelo con parámetros actuales, los eventos disruptivos ocurren como lo documentado.
- b. Escenarios de intervención: Para cada estrategia, modificar parámetros del modelo y ejecutar simulación para escenarios en crisis y optimistas.

Para cada escenario simulado, observar y documentar el impacto en el sistema.

3.1.8 Evaluación de riesgos

En este paso se cuantifican los riesgos en cada eslabón de la cadena de suministro, utilizando los eventos disruptivos identificados y las relaciones causales establecidas para los procesos logísticos de la cadena de suministro a lo largo del horizonte de simulación, mediante modelización de eventos disruptivos y análisis de su impacto en indicadores clave de desempeño en cuatro fases descritas a continuación:

- a) Identificación y clasificación de riesgos: Sistematizar los riesgos identificados en fases anteriores (caracterización, eventos disruptivos, análisis de impactos) en categorías según origen en categoría de riesgo, fuente, ejemplos específicos, proceso(s) afectado(s) y tipo de impacto.

Para cada riesgo identificado, se debe documentar en una ficha de caracterización o ficha de riesgo con atributos clave: identificación, fuente, procesos, probabilidad, magnitud, alertas, tiempo a impacto, duración, vulnerabilidad, dependencias.

A continuación, se consolidan todos los riesgos en una matriz que permite visualizar riesgos por criterios que incluyan probabilidad (%), impacto potencial (\$m), impacto operacional, puntuación de riesgo y prioridad. El cálculo de puntuación de riesgo se realiza multiplicando la probabilidad (%) por impacto (\$m) por factor operacional.

- b) Modelización cuantitativa de riesgos: primero se traduce cada riesgo a variables exógenas (shocks) y su posterior integración a variables en el modelo. Definiendo el riesgo: variable exógena, definición, valor línea base, rango escenario disruptivo, unidad y distribución o comportamiento. Se sugieren distribuciones de probabilidad según tipo de riesgo:

- a. Eventos discretos/binarios (ocurre/no ocurre): distribución Binomial o Bernoulli.
- b. Eventos con retrasos/tiempos: distribución Normal o lognormal.
- c. Eventos con variabilidad de magnitud: distribución Uniforme o Normal.
- d. Eventos raros: distribución Poisson.

Posteriormente, se debe realizar la integración de variables de riesgo en el modelo y definir escenarios que combinan múltiples riesgos simultáneamente.

- c) Cuantificación del impacto de riesgos: Para cada proceso logístico, definir indicadores que midan el impacto de los riesgos y realizar una matriz de impacto cuantificado

después de ejecutar la simulación de cada escenario para registrar impactos en tabla consolidada.

Se debe identificar cuáles riesgos tienen mayor impacto en indicadores críticos y registrar la información en una matriz de elasticidad de impacto que incluya: riesgo, porcentaje de variación de parámetro y cambio de KPI clave.

- d) Caracterización de riesgos críticos: primero se identifican los riesgos que en simulación generan impactos >20% en indicadores críticos; riesgos de importancia media y los de baja criticidad.

Para cada riesgo crítico, se debe documentar el perfil de riesgo, incluyendo: perfil, probabilidad, magnitud típica, impactos cuantitativos, tiempo a impacto, duración, vulnerabilidad actual, variables clave de mitigación e indicador de alerta.

Los productos esperados son:

- a) Catálogo de riesgos con probabilidad, impacto, indicadores.
- b) Matriz de impacto cuantificado: escenarios con valores de indicadores bajo cada riesgo.
- c) Análisis de sensibilidad: mostrando riesgos críticos.

Estos productos alimentan la siguiente fase de diseño de estrategias de mitigación basadas en evidencia cuantitativa del impacto real de cada riesgo.

3.1.9 Análisis de resultados

Para una comprensión integral de las interdependencias complejas, se interpretan, analizan y sintetizan los resultados derivados de la simulación de la cadena de suministro bajo diferentes escenarios de riesgo. Se identifican vulnerabilidades, puntos críticos y dinámicas de resiliencia en los flujos logísticos a lo largo del horizonte de estudio. Esto permite la comparación rigurosa entre escenarios y la evaluación de la capacidad de adaptación de la red ante disrupciones. Se plantea realizar el proceso en tres fases:

- a) Extracción y validación de resultados: Se especifican las variables capturadas de la simulación para su análisis, organizándolas en categorías de desempeño según tipo, variable de salida, unidad, frecuencia de captura y método de agregación.

Para verificar que los resultados de simulación son coherentes y confiables, se deben llevar a cabo pruebas de validación como:

- a. Validación de estructura: ¿Los resultados reflejan la lógica del modelo?
 - b. Prueba extrema: ¿Qué sucede si elimino un parámetro? El resultado debe cambiar proporcionalmente.
 - c. Comparación con línea base: El escenario base debe mostrar estabilidad (sin shocks, resultados consistentes periodo a periodo).
 - d. Robustez: Si ejecuto simulación nuevamente con los mismos parámetros, ¿obtengo resultados similares?
 - e. Benchmarking con datos históricos: ¿Resultados de escenario base son comparables con datos operacionales históricos reales?
- b) Análisis de desempeño por escenario: Se deben resumir los resultados de cada escenario en una comparativa consolidada de todos los escenarios.
- c) Identificación de vulnerabilidades y puntos críticos: Realizar una matriz de vulnerabilidades para identificar dónde se generan los mayores impactos negativos bajo cada escenario. Y mapear cómo impactos se propagan desde un eslabón a otros (relaciones causa-efecto), detectando los procesos donde se concentran retrasos o cuellos de botella bajo cada escenario.

El análisis de resultados de simulación proporciona visibilidad integral de cómo la cadena responde a disrupciones, permitiendo tomar decisiones informadas. Identificar vulnerabilidades específicas, puntos críticos y dinámicas de recuperación ayuda a crear estrategias de mitigación centradas en los riesgos más importantes y en su implementación práctica dentro de la organización.

3.1.10 Conclusiones

Se formulan las conclusiones derivadas del estudio, destacando los hallazgos sistémicos sobre el impacto de los riesgos y la efectividad de las estrategias implementadas, proporcionando recomendaciones prácticas para mejorar la gestión de riesgos. Además, se documenta cuáles bucles causales generan mayor impacto, las políticas públicas con mayor potencial disruptivo, componentes de la cadena con mayor exposición al riesgo e intervenciones con mejor relación costo-beneficio.

También se sugiere un análisis de cómo se pueden complementar diferentes estrategias. También se proponen consejos, como vigilar de manera anticipada las señales de problemas para un sistema de alerta temprana, establecer protocolos de respuesta según el tipo de crisis y crear indicadores específicos para medir la resiliencia continua. Realizando:

- a) Resumen de los riesgos importantes: Se agrupan los riesgos que tienen mayor efecto en el rendimiento operativo en una tabla que contenga: riesgo importante, probabilidad, impacto máximo, proceso más afectado, indicador clave y clasificación.
- b) Bucles causales de mayor impacto: identificando los bucles de retroalimentación que amplifican o amortiguan impactos y pueden generar crisis sistémica si no se interviene rápidamente.
- c) Análisis de vulnerabilidades: matriz con los eslabones y procesos más vulnerables a los riesgos identificados. Además de especificar dónde se concentran retrasos y cuellos bajo disrupciones.
- d) Efectividad de estrategias de mitigación: a través de la comparación de las estrategias planteadas con métricas clave como efectividad, costo y viabilidad de cada estrategia de mitigación propuesta.
- e) Políticas públicas de mayor potencial disruptivo: desarrollo de un ranking de políticas por impacto que facilite el monitoreo continuo.
- f) Sistema de alerta temprana: plantear las señales que anticipan disrupciones antes de que ocurran.
- g) Protocolo de respuesta por tipo de crisis: definir las acciones específicas según el tipo.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

Este capítulo expone los resultados derivados de la aplicación sistemática de la metodología de investigación descrita en el Capítulo 3. Estos resultados se organizan de manera secuencial. Siguen el mismo flujo metodológico de la investigación: caracterización de la cadena de suministro, identificación de los eventos disruptivos en bibliografía e investigación de campo. También realizan análisis del impacto en los procesos logísticos clave, definición de variables clave, identificación de relaciones entre las variables clave y creación de un diagrama causal. También incluyen el desarrollo de un modelo de simulación, identificación de estrategias de mitigación, evaluación de riesgos y análisis de resultados.

4.1 Caracterización de la cadena de suministro

La caracterización de la cadena de suministro constituye el primer resultado fundamental de la investigación. Este apartado presenta el documento formal que define explícitamente el alcance analítico. Esto permite establecer de manera precisa los límites del sistema que se está estudiando y distinguir entre los aspectos que se analizarán en detalle y aquellos que se consideran variables externas.

4.1.1 Sector Manufacturero Analizado

México se ha consolidado como un importante centro de manufactura y exportación de vehículos y autopartes a nivel global, estableciéndose como el séptimo productor mundial de automóviles ligeros y, por su proximidad con EE. UU., es el cuarto fabricante de autopartes, surtiendo a este país el 43.21% de las mismas. Con más de 15 plantas ensambladoras que se distribuyen estratégicamente en tres clústeres manufactureros principales: la región fronteriza norte (Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Sonora) que alberga operaciones de Ford, General Motors, Stellantis, Kia y Hyundai; el corredor del Bajío, que concentra aproximadamente el 50% de la capacidad productiva nacional con Guanajuato (General Motors, Honda, Ford, Mazda, Toyota y Volkswagen), Aguascalientes (Nissan, Mercedes-Benz), San Luis Potosí (BMW, GM) y Querétaro (color azul) como centro de proveedores de nivel 1; y la región central, incluyendo Puebla (Audi, Volkswagen) y Jalisco (Honda), configuración que optimiza las economías de escala, reduce riesgos de concentración

geográfica y permite una respuesta ágil a las fluctuaciones de la demanda regional (AMIA-Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, 2025; PRODENSA, 2024).

El desempeño económico del sector durante el 2024, tuvo una producción récord de 3.989 millones de vehículos ligeros (+5.6% interanual) y exportaciones de 3.479 millones de unidades (+5.4%), lo que equivale al 87.2% de la producción; la producción de autopartes asciende a USD \$124.48 mil millones (+3.5%) y exportaciones a EE. UU. por USD \$37.4 mil millones, lo que representa una participación del 42.8% del mercado estadounidense de importaciones del sector automotriz (INEGI, 2025a), el 3.6% del Producto Interno Bruto (PIB) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2024; Thomson Reuters Mexico, 2025), con más de 1.02 millones de empleos directos, además de generar un efecto multiplicador que produce 2 millones de empleos indirectos según datos de la Industria Nacional de Autopartes (INA) (Promexico Industry, 2022).

La integración comercial ha sido posible gracias a acuerdos comerciales, como el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), que impulsó las exportaciones de México en un 53% desde 1993 hasta el 2020 (Gachúz Maya, 2022), hasta cuando entró en vigor su sucesor, el Acuerdo entre EE. UU., México y Canadá (USMCA), que establece requerimientos más estrictos de contenido regional (75% vs. 62.5% previo) y contenido de trabajo de alto salario (40-45% producido por trabajadores con salarios superiores a \$16/hora) (Stevens, 2020).

Las proyecciones econométricas de la Universidad de Pensilvania para el nuevo periodo presidencial de EE. UU. en el 2025, indican que los aranceles reducirán el PIB a largo plazo en aproximadamente 6% y los salarios en 5% (Kenichi Kawasaki, 2025); mientras que la investigación de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Hong Kong, que examinó si las políticas comerciales de Trump, particularmente la guerra comercial EE. UU.-China iniciada en 2018 y continuada en 2025, cumplieron las promesas de revitalizar la manufactura estadounidense, revela que los aranceles favorecerían la formación de nuevos negocios en EE. UU. Sin embargo, cuando se incluye la represalia china en el análisis, estas medidas superan los impactos positivos de la política de Trump (Min, 2025).

El régimen comercial implementado durante 2025 presenta una arquitectura compleja de medidas, el 28 de enero de 2025, se anunció la aplicación de aranceles del 25% a los bienes

importados de Canadá, México y China, fundamentados en la Ley de Poderes Económicos de Emergencia Internacionales (IEEPA), con su implementación prevista para el 4 de febrero del mismo año. Sin embargo, los aranceles dirigidos a México recibieron una prórroga de 30 días, entrando en efecto el 4 de marzo del mismo año. El 5 y 6 de marzo, el presidente Trump eximió a las importaciones indefinidamente; la tarifa aplicable del 25% se reemplazaría con un arancel recíproco del 12%, excluyendo las importaciones del USMCA más adelante (Aime Williams et al., 2025).

El 2 de abril del 2025 se introducen aranceles recíprocos a más de 50 socios comerciales y a las importaciones no estadounidenses de Canadá y México a una tasa del 10%. Esto ocurre tras la finalización de los aranceles de fentanilo de IEEPA, complementado con aranceles actualizados de automóviles, acero y aluminio (TheWhiteHouse, 2025b). Los aranceles específicos por producto, efectivos desde el 1 de febrero de 2025, incluyen materiales esenciales para la manufactura vehicular: acero, aluminio, cobre y semiconductores, componentes críticos en estructuras, sistemas eléctricos y del motor, trasladando incrementos directos a los costos de producción.

Las políticas comerciales de la Sección 232 (TheWhiteHouse, 2025a) son leyes que permiten al presidente hacer cambios en las importaciones a través de impuestos, límites o tarifas cuando el Departamento de Comercio vea que hay amenazas a la seguridad nacional. El gobierno identificó dos medidas arancelarias críticas que se anunciaron en febrero. Estas medidas se refieren a las tarifas aplicadas a las importaciones de los insumos listados en la columna Target, incluyendo las fechas de implementación y las tasas aplicables.

La primera, comunicada el 10 de febrero e implementada el 12 de marzo, afecta a los sectores del acero y aluminio mediante la eliminación de exenciones valoradas en \$29 mil millones y \$12 mil millones, respectivamente. Además, expande el alcance a derivados bajo los capítulos 73 y 76 (\$44 mil millones) y contenido metálico adicional por \$100 mil millones. Esto incrementa la tasa impositiva del 25% al 50%. De manera casi simultánea, el 12 de febrero se anunció la regulación para la industria automotriz, vigente a partir del 2 de abril. Esta impone una tasa del 25% a un volumen de importaciones de \$153 mil millones en automóviles y \$279 mil millones en autopartes. Esto configura un escenario de alta presión financiera para la cadena de suministro manufacturera de México.

A partir de la información estadística base que se obtuvo de fuentes oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Específicamente, se consultaron los tabulados interactivos del Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros (RAIAVL). Este instrumento valida los volúmenes de producción y comercialización necesarios para este estudio (INEGI, 2025b) de mano de obra directa, unidades producidas y exportaciones de vehículos ligeros entre enero del 2005 hasta julio del 2025.

En la Figura 5, se observa que las variables han tenido un crecimiento constante. Sin embargo, también ha tenido caídas. La primera fue relacionada con la recesión de EE. UU. durante el 2008, la cual afectó la compra de vehículos en el 2009 al ser el principal destino de las exportaciones mexicanas. Hubo una disminución del 83% en promedio durante los 7 meses de mayor afectación (INEGI, 2025b). El segundo descenso ocurrió en abril y mayo del 2020 en un 99% y 92% por la pandemia COVID-19.

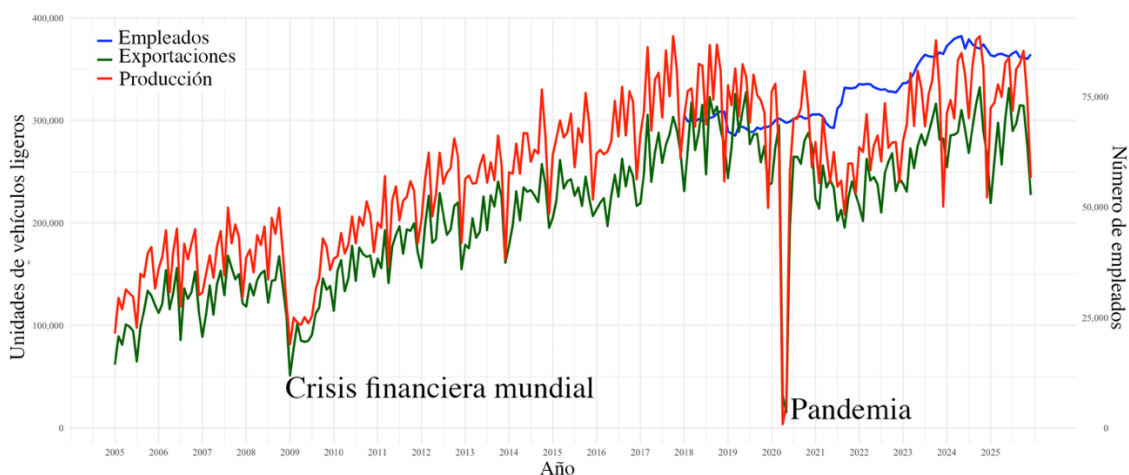


Figura 5 Histórico de Producción, exportaciones y empleo de vehículos ligeros en México (INEGI, 2025b)

Las políticas comerciales de EE. UU. representan un riesgo latente para el sector automotriz en México, capaz de alterar el desempeño de procesos logísticos críticos clave. Estas medidas pueden detonar disrupciones que impactan directamente la competitividad y generan pérdidas económicas. En la literatura se ha señalado que hasta un pequeño cambio en las políticas comerciales puede aumentar los costos de manera importante, lo que afecta a las cadenas de suministro que están conectadas a nivel global (Baldwin & Lopez-Gonzalez, 2013). Grossman et al., (2024) (Grossman et al., 2024) demuestran empíricamente que las políticas comerciales pueden generar contribuciones sustanciales de los cambios en el

abastecimiento de insumos y los costos de búsqueda, cuantificando pérdidas de bienestar del 0.2% del PIB en economías altamente integradas.

La elección de este sector como caso de estudio responde a su complejidad, donde convergen regulaciones cambiantes, la volatilidad del mercado y decisiones estratégicas, desde la empresa focal hasta los proveedores y el cliente final.

4.1.2 Entorno regulatorio que puede afectar al sector automotriz mexicano

La Tabla 7 resume 31 factores del entorno regulatorio, económico, comercial y geopolítico que afectan la resiliencia y vulnerabilidad de las cadenas de suministro automotrices entre EE. UU. y México.

Estas variables se identificaron mediante revisión sistemática de literatura especializada y análisis de documentos de política comercial y consulta a expertos del sector. La clasificación utilizada se basa en temas que agrupan factores similares: políticas públicas sobre proteccionismo aduanal, dinámicas de la economía, restricciones de origen, regulaciones ambientales y laborales, geopolítica internacional, capacidad de producción y comportamiento de los mercados.

Tabla 7 Matriz Integral de Variables Externas que afectan la CS automotriz en México.

Categoría	Variable externa	Descripción	Impacto en CS automotriz	Estado actual (2025)
POLÍTICAS PÚBLICAS ARANCELES	- Arancel base a vehículos completos (TheWhiteHouse, 2025b).	Tarifa arancelaria aplicada a vehículos ensamblados en México importados a EE. UU.	Muy Alto	25% general; 15% con cumplimiento T-MEC.
POLÍTICAS PÚBLICAS ARANCELES	- Arancel a vehículos no certificados T-MEC (TheWhiteHouse, 2025b).	Aplicado a vehículos que NO cumplen con 75% de contenido regional requerido.	Muy Alto	25% (aplica a aproximadamente 50% de vehículos mexicanos).
POLÍTICAS PÚBLICAS ARANCELES	- Arancel autopartes (TheWhiteHouse, 2025b).	Tarifa a componentes automotrices importados sin	Alto	Se aplica un 25% general y hay tasas diferenciadas según el tipo de parte.

			origen T-MEC verificado.		
POLÍTICAS PÚBLICAS ARANCELES	-	Posible aumento de aranceles (TheWhiteHouse, 2025b).	Anuncio de posible aumento a 30% si no se logran acuerdos comerciales.	Muy Alto	Anunciado, pero suspendido múltiples ocasiones; riesgo latente.
POLÍTICAS PÚBLICAS COMERCIAL	-	Reglas de origen T-MEC (TheWhiteHouse, 2025b).	Requisito de 75% de contenido regional para exención arancelaria.	Alto	75% (estricto); vehículos mexicanos promedio 74-76%.
POLÍTICAS PÚBLICAS COMERCIAL	-	Contenido estadounidense en vehículos (TheWhiteHouse, 2025b).	% de partes ensambladas en EE. UU. que califican como "originarias".	Alto	Aproximadamente 40% promedio de valor es ensamblado/originario EE. UU.
POLÍTICAS PÚBLICAS SEGURIDAD	-	Control fronterizo/antitráfico.	Justificación de aranceles vinculada al control de fentanilo en la frontera EE. UU.-México.	Medio	Políticas antidrogas en la frontera norte.
POLÍTICAS PÚBLICAS COMERCIAL COMPETENCIA	-	Aranceles preferenciales a competidores (TheWhiteHouse, 2025b).	Aranceles más bajos negociados por otros países.	Alto	UE 15%, Japón 15%, Corea del Sur 15%, Reino Unido 10%
POLÍTICA COMERCIAL MÉXICO		Respuesta arancelaria de México (El Economista, 2025).	Aranceles de represalia de México a productos estadounidenses.	Medio	México anunció aranceles hasta 50% a productos selectos EE. UU.
POLÍTICA COMERCIAL MÉXICO		Aranceles de México a autos chinos (GPI News, 2025).	Aumento de aranceles a vehículos eléctricos chinos (posible 50%).	Medio	En implementación; afecta competencia en mercado interno.
COMERCIO INTERNACIONAL		Competencia de vehículos eléctricos asiáticos (<i>Marcas Chinas de Autos Eléctricos Intensifican La Competencia En México Con Rebajas - Mobility Portal: Noticias</i>	Importación de vehículos eléctricos chinos a México y EE. UU.	Medio-Alto	Empresas como BYD expandiendo presencia en México.

<i>Sobre Vehículos Eléctricos, 2025).</i>				
ECONÓMICA	Tipo de Cambio USD/MXN (T. Li, 2025).	Fluctuación de tipo de cambio afecta costos de exportación mexicanos.	Alto	17-22 MXN/USD (histórico 2024-2025).
ECONÓMICA	Inflación EE. UU. (Dunbar et al., 2024).	Inflación en economía estadounidense afecta demanda de autos.	Medio-Alto	2.4-3.2% (2024-2025); impacta poder de compra consumidor EE. UU.
ECONÓMICA	Inflación México (Sofi & Vargas, 2024).	Inflación en economía mexicana afecta costos operacionales.	Medio	4.8-5.5% (2024-2025); presiona costos de mano de obra y energía.
ECONÓMICA	Tasa de interés EE. UU. (A. M. Johnson et al., 2025).	Tasas de interés en EE. UU. afectan demanda de crédito para compra de autos.	Medio	4.5-5.5% (2024-2025); presiona demanda de autos.
ECONÓMICA	Ciclo económico EE. UU. (J. Zhang, 2025).	Recesión/expansión en EE. UU. determina demanda final de autos.	Muy Alto	Riesgo de recesión 2025-2026; demanda presionada.
ECONÓMICA	Volatilidad de precios de acero/aluminio (X. Chen, 2023).	Fluctuación de precios de metales afecta costo de materias primas.	Medio-Alto	Acero: Aproximadamente \$400-500/tonelada; Aluminio: Aproximadamente \$2000-2200/tonelada (2025).
SUMINISTRO	Disponibilidad de semiconductores (Maharana, 2025)	Crisis global de semiconductores puede afectar producción de autos.	Medio	Mercado normalizado y con riesgo latente.
SUMINISTRO	Cadena de suministro global de autopartes (Basu R et al., 2023; Karamoozian et al., 2024).	Disrupciones en suministro global de componentes (ej. proveedores asiáticos).	Medio	Normalización post-COVID; riesgo en Asia (geopolítica China)
REGULACIÓN AMBIENTAL	Estándares de emisiones EE. UU./EPA (Ravi et al., 2023).	Regulaciones ambientales en EE. UU. pueden afectar	Medio	Estándares EPA vigentes; presión hacia vehículos eléctricos.

		especificaciones de autos.		
REGULACIÓN AMBIENTAL	Transición a vehículos eléctricos (VE) (Hou et al., 2023).	Presión regulatoria hacia la electrificación cambia demanda de tipos de vehículos.	Alto	Mandatos federales EE. UU. exigen 50%+ VE para 2030.
REGULACIÓN LABORAL	Salario mínimo México (Chava et al., 2023).	Cambios en salario mínimo afectan costos de producción en plantas mexicanas.	Medio-Alto	2024: \$248.93 MXN/día; 2025: \$248.93 MXN/día (estancado).
REGULACIÓN LABORAL	Estándares laborales T-MEC (Normativo Del T-mec & David Gaytán-Alfaro, 2022).	Requisitos laborales del T-MEC pueden aumentar costos de cumplimiento.	Medio	Implementación gradual de estándares T-MEC en el sector automotriz.
GEOPOLÍTICA	Relaciones EE. UU.-China (Min, 2025).	Tensiones comerciales EE. UU.-China pueden afectar cadenas de autopartes.	Medio-Alto	Tensión elevada; restricciones a componentes/tecnología china.
GEOPOLÍTICA	Estabilidad política en México (Bahmani-Oskooee & Harvey, 2023).	Cambios políticos en México pueden afectar negociaciones comerciales	Medio	Administración Sheinbaum (2024-2030); relación tensa con Trump.
GEOPOLÍTICA	Negociaciones Trump-AMLO/Sheinbaum (Balistreri, 2025).	Negociaciones bilaterales sobre aranceles, frontera, energía.	Alto	Negociaciones activas 2025; múltiples aplazamientos de aranceles.
TECNOLOGÍA	Disponibilidad de tecnología automotriz (Kainrath et al., 2024).	Acceso a tecnologías de propulsión, seguridad, conectividad.	Bajo	Transferencia tecnológica disponible; inversión lenta.
CAPACIDAD PRODUCTIVA	Inversión extranjera en plantas México (Desbordes & Franssen, 2019; Emako et al., 2022; Gopalan et al., 2023; Itakura, 2020; Jiang & Martek, 2021; Opoku & Boachie,	Decisiones de armadoras sobre expansión/reducción en México.	Muy Alto	Incertidumbre genera congelamiento de inversiones 2025.

	2020; Randelović & Martinović, 2022; Rekunen et al., 2021; van Hassel et al., 2022).			
MERCADO	Demanda de autos en EE. UU. (Basu R et al., 2023; Karamoozian et al., 2024).	Volumen total de compra de autos en el mercado estadounidense.	Muy Alto	2024: 15.7M autos; 2025: Presión a la baja (-5% estimado).
MERCADO	Competencia de fabricantes EE. UU. (Basu R et al., 2023; Karamoozian et al., 2024).	Presión de armadoras estadounidenses (GM, Ford, Stellantis) por protección.	Medio-Alto	Presión política para reducir importaciones mexicanas.
EMPLEO	Empleabilidad en el sector automotriz en México (Rísquez Ramos & Ruiz-Gálvez, 2024).	Capacidad de mantener empleo en plantas y proveedurías.	Muy Alto	Aproximadamente 1 millón de empleos directos e indirectos están en riesgo por los aranceles.

La complejidad inherente requiere la identificación de variables exógenas y su caracterización según dimensiones de riesgo diferenciado. Por lo tanto, la Tabla 8 es un análisis en dos dimensiones que incluye la magnitud de los efectos potenciales y el grado de previsibilidad de fenómenos del contexto.

Las diez variables seleccionadas en la clasificación corresponden a aquellas que presentan mayor relevancia estratégica para la cadena de suministro automotriz, según criterios de impacto potencial y capacidad de generación de disrupciones significativas.

La estructuración adoptada contempla cinco dimensiones analíticas: magnitud del impacto en el desempeño del sistema de distribución comercial, nivel de certidumbre basado en disponibilidad de información y predictibilidad de comportamiento, volatilidad entendida como amplitud de fluctuaciones esperadas, horizonte temporal de manifestación de cambios, y clasificación de criticidad que sintetiza la combinación de factores anteriores. El esquema de clasificación ayuda a encontrar áreas vulnerables donde la incertidumbre se mezcla con grandes impactos, creando situaciones de riesgo que requieren urgentemente sistemas de monitoreo y respuestas adaptativas.

Tabla 8 Clasificación de impacto e incertidumbre

Variable	Impacto en CDS	Nivel de certidumbre	Volatilidad	Horizonte de Cambio	Criticidad
Arancel base (15-25%)	Muy Alto	Alta	Media	Continuo (revisable)	CRÍTICA
Regla Origen T-MEC (75%)	Alto	Alta	Baja	Permanente	CRÍTICA
Posible aumento al 30%	Muy Alto	Baja	Muy Alta	Marzo-agosto 2025	CRÍTICA
Tipo de Cambio USD/MXN	Alto	Media	Muy Alta	Diario	ALTA
Demanda EE. UU.	Muy Alto	Media	Alta	Trimestral	CRÍTICA
Inversión extranjera	Muy Alto	Baja	Muy Alta	Anual/Evento	CRÍTICA
Ciclo económico EE. UU.	Alto	Baja	Media	Trimestral	ALTA
Competencia China (VE)	Medio-Alto	Media	Alta	Semestral	ALTA
Negociaciones bilaterales	Alto	Muy Baja	Muy Alta	Continuo (impredecible)	CRÍTICA
Estándares ambientales	Medio	Alta	Baja	Anual/Multianual	MEDIA

Entre las diez variables analizadas en la Tabla 8 de clasificación de riesgos, los aranceles se destacan por su magnitud de impacto y por su transmisión directa a variables críticas del sistema. La dependencia actual de México del mercado estadounidense (83% de las exportaciones automotrices) amplifica esta vulnerabilidad.

4.2 Identificación de los eventos disruptivos en bibliografía e investigación de campo

4.2.1 Revisión bibliográfica

El proceso de selección de artículos priorizó investigaciones que conjugaran la gestión de riesgos con la operación de la cadena de suministro, se utilizó la ecuación de búsqueda: risk, disruption, resilience, vulnerability, management, evento y “supply chain”.

Para garantizar la aportación de evidencia sobre la vulnerabilidad de la cadena y asegurar la validez de los hallazgos, la muestra se limitó a artículos de revista en inglés y español que

ofrecieran análisis de disrupciones o eventos específicos. Se descartaron duplicados, literatura gris (actas de conferencias, reportes técnicos), estudios sin análisis de eventos disruptivos concretos y versiones preliminares (Figura 6).

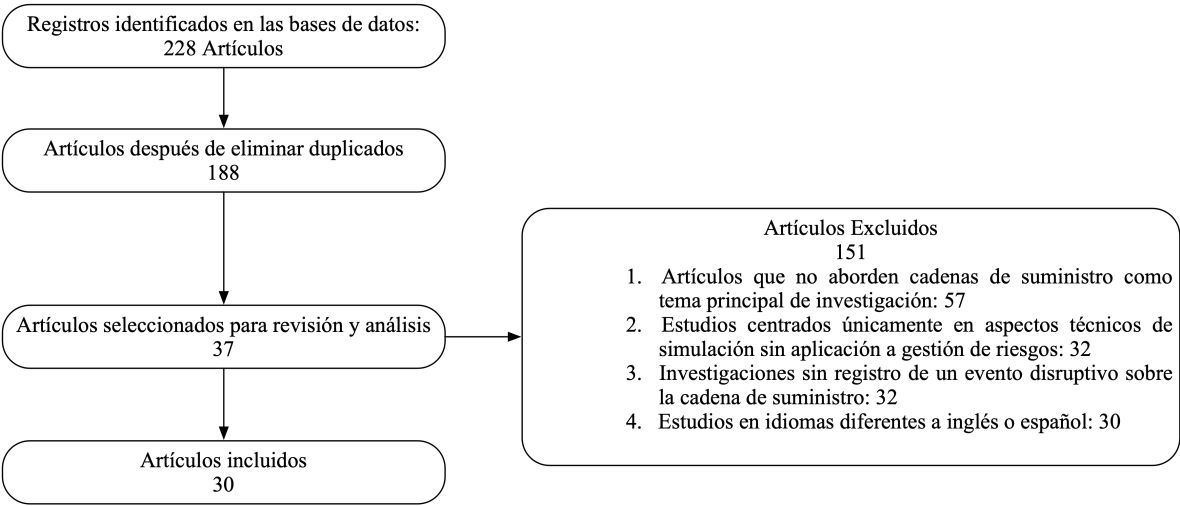


Figura 6 Metodología PRISMA para la selección de documentos

Como resultado de la revisión sistemática de la literatura y la aplicación de los criterios de inclusión descritos, se procedió a la extracción y estructuración de los datos relevantes. La Tabla 9 resume los hallazgos, organizando los eventos disruptivos y las políticas públicas identificadas según su fecha de implementación, alcance geográfico y sectorial. Lo que permite visualizar cómo eventos disruptivos clave han impactado los eslabones críticos de la cadena de suministro, correlacionando la naturaleza del evento con sus consecuencias operativas y duración reportada.

Tabla 9 Matriz de caracterización de eventos disruptivos y políticas públicas con impacto en la cadena de suministro

Año	Evento	País	Políticas públicas	Impacto	Proceso logístico	Referencias
2019-2023	SARS-CoV-2 (COVID-19)	China, EE.UU., India, España, Reino Unido, Italia, México, Argentina, Brasil	Confinamientos y cuarentenas obligatorias, distanciamiento social, restricciones de viaje y cierre de fronteras, subsidios a empresas y empleos, extensión de seguros de desempleo, reducción de tasas de interés, facilidades crediticias especiales, controles de exportación de productos esenciales, políticas de nearshoring/reshoring.	La demanda de ciertos productos y los cierres de fronteras, así como las restricciones al movimiento de personas y bienes, llevaron a la adopción de soluciones.	Aprovisionamiento, producción, distribución	(Attia et al., 2022; Erokhin & Gao, 2020; Goodman, 2021; A. K. Johnson et al., 2021; Rasul et al., 2021; Sheffi, 2021) (Felsenthal, 2020)
2022	Recesión económica	Rusia, Ucrania	Sanciones económicas masivas, reconfiguración energética, transformación de la política de defensa y seguridad, control de exportaciones tecnológicas, UE activó la directiva de protección temporal, programas de recuperación económica.	Escasez de bienes básicos, aumento del desempleo, devaluación de la moneda, modificación de rutas logísticas clave, crisis alimentaria global.	Aprovisionamiento, producción y distribución	(Nesterenko et al., 2021; Queiroz et al., 2020; Rozhkov et al., 2022) (Pereira et al., 2022) (Abbassi et al., 2022; Barria Cecilia, 2022; CEPAL, 2022; Y. Chen et al., 2023; Doerfler, 2022; Ghobarah et al., 2004; HERNÁNDEZ JOE et al., 2022; Liadze et al., 2023; Mutikani, 2022; Nan et al., 2022; Nicas, 2022; Randow, 2022; Terri, 2022)
2021	Guerra	Sudán	Cierre del puerto de Sudán (principal puerto), control de rutas de exportación, política monetaria caótica, política fiscal contractiva, políticas de	Impacto en la producción agrícola y alimentaria.	Aprovisionamiento, producción y distribución.	(Hassan, 2022; Olsen et al., 2021)

			control de precios y subsidios, políticas de guerra y recursos naturales, políticas de movilización militar y laboral.			
2023	Guerra	Israel y Palestina	Plan de Paz Trump 2025, Sanciones Económicas de la Unión Europea, Movimiento de Boicot, Desinversión y Sanciones (BDS), Políticas de Sanciones Estadounidenses, Políticas de Organismos de la ONU, Políticas de Gobiernos Árabes, Crisis Humanitaria y Políticas de Bloqueo.	Disrupción del transporte aéreo, marítimo, producción y exportación de procesadores informáticos y la industria farmacéutica.	Aprovisionamiento, producción y distribución.	(Everstream, 2023a, 2023b; MundoMaritimo, 2023a, 2023b)

Se identificó que el 76.7% de los artículos analizados se publicaron a partir de 2023, alcanzando un punto máximo en 2024, año que concentra el 40% de la producción científica (12 artículos). Este comportamiento exponencial muestra una gran productividad en el campo después del COVID, donde el enfoque de los investigadores ha pasado de reaccionar rápidamente a la pandemia a crear modelos de resiliencia a largo plazo en un mundo muy globalizado.

Los cambios en políticas ambientales y la gestión general de riesgos mantienen una presencia equitativa (13.3% cada una), destaca la emergencia de factores como las tensiones geopolíticas (6.7%) y la crisis de semiconductores.

Finalmente, en cuanto a la cobertura y alcance del sistema, predomina una visión holística y globalizada. El 96.7% de los estudios adoptan un enfoque global, con una presencia marginal de análisis puramente locales (3.3% para regiones específicas como EE. UU. o México). Esta tendencia se repite a nivel sectorial y operativo: la mitad de las investigaciones (50%) son multisectoriales y el 46,7% analizan la cadena de suministro en su conjunto, por encima de los estudios de eslabones aislados como la manufactura (30%) o la logística (16,7%). Esto evidencia que la gestión de riesgos se debe analizar como un fenómeno sistémico, por la interdependencia de los componentes.

4.2.2 Empresas del sector automotriz

La Tabla 10 presenta las empresas del sector automotriz localizadas en México y expuestas a las variaciones arancelarias. Se detalla la ubicación geográfica principal y se ofrece una clasificación sobre el grado de exposición a políticas públicas, para evaluar la vulnerabilidad de cada una ante las regulaciones del sector.

Tabla 10 Perfil demográfico de las empresas analizadas y su nivel de exposición al entorno regulatorio

Empresa	Ubicación principal	Nivel de exposición a políticas
General Motors	Coahuila, Guanajuato, Estado de México	Muy alto (aranceles, reglas USMCA, tarifas EE. UU., integración regional). Exporta >80% de su producción a EE. UU., inversión en electrificación
Ford Motor Company	Ciudad de México, Hermosillo, Chihuahua	Alto-muy alto (USMCA, reglas de origen, tarifas, negociaciones gobierno). Ensamble y motores; exporta pickups y SUV a EE. UU.
Stellantis (Chrysler)	Coahuila, México, Toluca	Muy alto (tarifas, USMCA, reglas de contenido regional). Ensamble de pickups, motores, exportación a EE. UU.

Volkswagen	Puebla, Guanajuato		Alto-muy alto (cumplimiento USMCA, exposición a aranceles EE. UU. y UE). Produce para EE. UU. y global.
Nissan	Aguascalientes, Morelos		Alto (reglas USMCA, tarifas) Exportaciones récord a EE. UU., Asia y Latinoamérica
Toyota	Guanajuato, California	Baja	Alto-muy alto (tarifas EE. UU., reglas de origen USMCA). Exporta Tacoma/Corolla a EE. UU.
Kia	Nuevo León		Alto-muy alto (aranceles EE. UU.). Planta que exporta >60% a EE. UU.; crecimiento continuo
Honda	Guanajuato, Jalisco		Alto-muy alto (tarifas, reglas USMCA). Ensamble HR-V y exportaciones.
BMW	San Luis Potosí		Alto (reglas USMCA, políticas de exportación). Planta exportadora de sedanes.
Audi	Puebla		Alto (políticas ambientales y automotriz, tarifas). Ensamble de SUVs para EE. UU.
Mercedes-Benz	Nuevo León		Alto-muy alto. Joint ventures con Nissan y una exposición global.

4.2.3 Mecanismos de transmisión de los riesgos

La metodología propuesta en el Capítulo 3 contemplaba la realización de entrevistas semiestructuradas con gerentes de compras, logística y cumplimiento normativo de empresas manufactureras del sector. Sin embargo, durante el período de recopilación de datos (segundo semestre del 2023 y 2024), la disposición de las empresas manufactureras para participar en entrevistas fue limitada por procesos internos de revisión de datos sensibles. Estos procesos ralentizaron aprobaciones y un enfoque empresarial en gestionar crisis de forma inmediata, restringiendo su prioridad a la participación en estudios académicos.

Para comprender el impacto de las disrupciones, la construcción de esta matriz de caracterización de mecanismos disruptivos debió basarse exclusivamente en información disponible entre 2020 y 2025 en:

- a) Información de fuentes secundarias (publicaciones académicas, reportes sectoriales)
- b) Análisis de noticias especializadas que documentan respuestas de ensambladora, armadoras y proveedores

c) Revisión de literatura sobre transmisión de riesgos en cadenas de suministro global

La Tabla 11 describe la tipología de cada amenaza, y analiza sus dimensiones de propagación: la velocidad con la que el impacto se materializa en la cadena y su amplitud o

alcance sistémico. Relacionando cada mecanismo teóricamente con ejemplos claros del sector automotriz y, sobre todo, con las estrategias más efectivas para reducir los riesgos en cada caso.

Tabla 11 Matriz de caracterización de mecanismos disruptivos: Dinámica de impacto y estrategias de mitigación en el sector automotriz

Mecanismo	Tipo	Descripción	Velocidad	Amplitud	Ejemplo automotriz	Mitigación	Sector Afectado Prioritario
Propagación directa	Directo	Disrupciones en proveedores: impactan fabricantes, afectan distribuidores/clientes.	Rápida (días)	Alta en flujo de materias primas	Tarifa de acero 50% - Incremento costo TIR 1 - Presión en OEM (GM, Ford).	Proveedores de respaldo, diversificación de fuentes, inventario de seguridad.	TIER 1 (ej.: Rassini, Nemak)
Propagación inversa	Directo	Disrupciones en demanda/distribución: afectan a fabricantes, retroceso a proveedores.	Moderada (semanas)	Alta en áreas de distribución	Caída de demanda en EE. UU. (recesión) - Reducción órdenes OEM - Despidos TIER 2/3.	Flexibilidad operativa, múltiples mercados, contratos flexibles.	TIER 2/3 (maquiladoras pequeñas), empleo
Propagación bidireccional	Directo	Las disrupciones en nodo intermedio se propagan hacia arriba y hacia abajo simultáneamente.	Muy rápida (días)	Muy alta: afecta todo el sistema.	Aumento arancel en México: afecta TIER 1 (costo), OEM (competitividad), proveedores (demanda).	Redundancia en múltiples puntos, coordinación interfuncional.	Todo el ecosistema (OEM + TIER 1 + TIER 2/3)
Efecto látigo (Pavlov et al., 2019)	Indirecto – Amplificación	Ligera fluctuación de demanda - Amplificación exponencial en pedidos upstream - Volatilidad excesiva.	Lenta inicialmente, aceleración progresiva (1-3 meses).	Crece progresivamente; puede multiplicar por 10x.	La demanda en EE. UU. cae un 5%. La cadena amplifica la caída a un 20% en TIER 2. Hay un exceso de inventario y	Información compartida (VMI: inventario gestionado por el proveedor), planificación de la demanda,	TIER 2/3, maquiladoras integradoras

					paros en la producción.	gestión de inventarios.	
Amplificación en flujo físico	Indirecto - Amplificación	- Disrupciones se amplifican al moverse el material (productos físicos).	Rápida (días a semanas).	Alta: amplificación observada.	Tarifa arancel: El costo del producto inicial aumenta un 5%. En TIER 1, el aumento es del 8%. En OEM, el aumento es del 12%. Esto incluye la complejidad del cumplimiento.	Inventario just-in-case, nearshoring, reducción de plazos de entrega.	OEMs y TIER 1 (mayor amplificación observada aquí).
Deterioro en flujo de información	Indirecto - Amortiguación	- Información sobre disrupciones se pierde/distorsiona en propagación: retraso en respuesta.	Lenta (1-3 semanas)	Baja inicialmente, pero crea retardo en reacción.	Tarifa anunciada - Comunicación llega con retraso - TIER 3 reacciona tarde - Falta ajuste rápido	Sistemas de visibilidad en tiempo real, EDI/API, tableros (dashboards) compartidos.	TIER 2/3, proveedores remotos, Pymes.
Contagio en flujo financiero	Indirecto - Amplificación	- Disrupciones físicas crean estrés financiero: - Falta de liquidez - Retrasos en pagos - Efecto cascada.	Moderada (2-4 semanas).	Alta: Puede causar quiebras en cadena.	Tarifa reduce ventas OEM - OEM reduce pagos a TIER 1 - TIER 1 TIER 2 - Pymes en quiebra	Financiamiento de la cadena de suministro, líneas de crédito garantizadas.	TIER 2/3 (mayor vulnerabilidad financiera).
En red	Directo/Indirecto	- Las disrupciones se propagan a través de las conexiones de red (si un nodo se ve afectado, todos los	Rápida (días).	Muy alta: proporcional a la densidad de conexión.	Proveedor crítico (ej.: semiconductor) - Afecta a 10+ OEMs	Diversificación de proveedores, mapeo de la cadena de	Componentes críticos (semiconductores, sistemas

			nodos conectados también lo estarán).			simultáneamente - Crisis de producción regional.	suministro, modularidad.	eléctricos, electrónica).
Transmisión de shock político	Directo Exógeno	-	Cambios de política (aranceles, regulaciones) se transmiten como shock sistemático a toda la cadena simultáneamente.	Muy rápida (instantánea si anunciada).	Muy alta: afecta todo el sistema a la vez.	Trump anuncia 25% de aranceles: impacto inmediato en todos los exportadores de México, revaluación del riesgo global.	Cobertura ante riesgos regulatorios, acuerdos comerciales, relaciones gubernamentales, planificación de escenarios.	Todas las empresas exportadoras México-EE. UU. (OEM, TIER 1, TIER 2/3).
Propagación de shock de demanda	Directo Exógeno	-	Cambios abruptos en demanda del cliente final se propagan hacia arriba en la cadena con amplificación.	Moderada inicialmente, acelera (1-2 semanas).	Crece hacia arriba: mayor amplitud en TIER 2/3.	Recesión EE. UU. (Demanda -5%) - OEM - 10% - TIER 1 - 15% - TIER 2/3 -25% (volatilidad amplificada).	Pronóstico de la demanda en tiempo real, inventario de seguridad, producción flexible.	TIER 2/3 (volatilidad extrema).
Vulnerabilidad JIT	Indirecto Amplificación	-	Sistemas JIT (sin stock) amplían impacto de cualquier disrupción al no tener buffer.	Muy rápida (horas a 1 día).	Muy alta: paros casi inmediatos.	Hay un retraso de 1 hora en un componente crítico. La línea de ensamblaje se detendrá en 2 horas, lo que generará una pérdida de \$10 millones por día.	Inventario estratégico, doble abastecimiento, nearshoring, inventario de seguridad.	OEMs con modelos JIT puro (riesgo más alto).

Cascada de costos de cumplimiento	Indirecto – Transmisión.	Nuevos requisitos regulatorios (seguimiento de origen, etiquetado, documentación) generan costos en cascada.	Lenta inicialmente (30-90 días), luego apresurada.	Variable: depende de la complejidad regulatoria.	Se endurecen las normas de contenido del T-MEC - Los fabricantes de equipos originales invierten 5 millones de dólares en sistemas - Presión en TIER 1 - TIER 2 compra sistemas - Pymes no pueden costear	Inventario estratégico, doble abastecimiento, nearshoring, inventario de seguridad.	TIER 2/3 (menor capacidad de absorber costos).
Cascada de cuello de botella logístico	Directo	Congestión puerto/frontera - Retrasos tránsito - Acumulación en siguiente punto - Efecto dominó.	Moderada-rápida (días)	Alta: Afecta a múltiples actores simultáneamente.	En la frontera entre México y EE. UU. hay congestión. La espera es de 3 días. Hay un retardo en la entrega de OEM y falta de componentes en la línea de ensamblaje.	Inventario estratégico, doble abastecimiento, nearshoring, inventario de seguridad.	Las empresas dependen de un sistema de distribución justo a tiempo.

Se identificó que los aranceles no generan un impacto único y determinado. En cambio, generan una cascada que se propaga inicialmente en días a los OEM/TIER 1, quienes comienzan un ajuste inmediato. Posteriormente (semanal a mensual) se amplifican hacia TIER 2 y 3, se comprimen y pueden llegar a generar crisis de liquidez. No hay punto de absorción en la cadena, las variaciones en los aranceles generan presión en TIER 1, TIER 2, y TIER 3 simultáneamente, sin posibilidad de amortiguamiento. Esta naturaleza multifásica implica que respuestas reactivas (esperar a que se materialice el arancel) son insuficientes; se requieren respuestas proactivas.

4.2.4 Análisis comparativo: literatura vs. realidad de campo

Durante la ejecución de la investigación, se presentaron restricciones en el acceso a las empresas manufactureras identificadas. Aunque esta limitación retrasó el desarrollo de la sección 4.2.3, esta nueva perspectiva incluye muchas fuentes de información y ejemplos que muestran cómo suelen reaccionar las cadenas automotrices a los cambios en las políticas públicas. Esto se validó mediante una revisión de la literatura sobre la transmisión de riesgos en cadenas globales. Las magnitudes de transmisión se estiman con base en datos, sin registros operacionales detallados. Las dinámicas de negociación entre proveedores y clientes no están detalladas y las decisiones de contingencia no se verifican directamente.

Aunque la ausencia de entrevistas empresariales constituye una limitación metodológica, la investigación no se comprometió en su capacidad de analizar mecanismos de transmisión de riesgos. La mezcla de literatura académica, el análisis de informes y la cobertura de noticias especializadas ofrece una base sólida para entender cómo se transmiten los riesgos en la industria automotriz de México debido a los aranceles estadounidenses. Los hallazgos deben verse como un análisis basado en evidencia observada en lugar de como un diagnóstico específico de ciertas empresas. Esta distinción es importante para entender correctamente los resultados.

4.3 Análisis del impacto en los procesos logísticos clave

Esta sección presenta el análisis cuantitativo de cómo cada evento disruptivo identificado impacta los procesos logísticos clave de la cadena de suministro del sector automotriz mexicano. La documentación detallada de cantidades, tiempos y formas de transmisión

ofrece la información necesaria para crear modelos de cadenas de suministro en situaciones de interrupción.

La optimización operacional de cadenas de suministro requiere la implementación de sistemas de medición integrados que permitan monitorear desempeño en múltiples eslabones funcionales. La tabla presenta un conjunto de 12 indicadores críticos distribuidos en los cuatro procesos principales: aprovisionamiento, producción, distribución y demanda. Tener una definición clara de estos indicadores ayuda a detectar áreas vulnerables donde las interrupciones externas (como cambios en la política comercial, variaciones de precios o problemas logísticos) pueden afectar más la cadena. La tabla que se presenta integra tanto métricas de eficiencia temporal (lead time, ciclo operacional) como económicas (costo unitario, costo logístico) y de confiabilidad (cumplimiento de entregas, disponibilidad de inventario, satisfacción del cliente), proporcionando una perspectiva multidimensional del desempeño de cadena. Este enfoque estructurado de medición apoya el análisis prospectivo de resiliencia y vulnerabilidad de cadenas de suministro bajo escenarios de políticas comerciales disruptivas.

Tabla 12 Caracterización de procesos logísticos e indicadores críticos

Proceso logístico	Actores principales	Límites del proceso	Indicador crítico	Unidad
Aprovisionamiento	Proveedores internacionales, proveedores nacionales, gerencia de compras, aduanas, recepción de almacén.	Desde emisión de orden de compra hasta recepción confirmada en almacén de MP de planta.	Tiempo ciclo compra	días
		Desde emisión de orden de compra hasta recepción confirmada en almacén de MP de planta.	Costo unitario MP	\$/unidad
		Desde emisión de orden de compra hasta recepción confirmada en almacén de MP de planta.	Cumplimiento de entregas de proveedores	%
		Desde emisión de orden de compra hasta recepción confirmada en almacén de MP de planta.	Disponibilidad de insumos críticos	días
Producción	Plantas manufactureras, operarios, supervisores, control de calidad, planificación de producción.	Desde recepción de MP confirmada en planta hasta almacenamiento de productos terminados.	Tiempo de ciclo de manufactura	días
		Desde recepción de MP confirmada en planta hasta almacenamiento de productos terminados.	Costo unitario de producción	\$/unidad
		Desde recepción de MP confirmada en planta hasta almacenamiento de productos terminados.	Capacidad utilizada	%
		Desde recepción de MP confirmada en planta hasta almacenamiento de productos terminados.	Tasa de defectos	%
Distribución	Centros de distribución, transportistas, logística, operadores logísticos, aduanas de egreso.	Desde almacén de PT en planta hasta recepción confirmada en cliente.	Tiempo ciclo distribución	días
		Desde almacén de PT en planta hasta recepción confirmada en cliente.	Costo logístico	\$/unidad

Demanda	Clientes mayoristas/minoristas, servicio al cliente, logística inversa, almacén de devoluciones	Desde almacén de PT en planta hasta recepción confirmada en cliente.	Cumplimiento de entregas a tiempo	%
		Desde almacén de PT en planta hasta recepción confirmada en cliente.	Disponibilidad de producto	%
		Desde recepción de orden de cliente hasta satisfacción reportada o procesamiento de devolución.	Volumen de órdenes recibidas	unidades/mes
		Desde recepción de orden de cliente hasta satisfacción reportada o procesamiento de devolución.	Plazo de respuesta a cliente	horas
		Desde recepción de orden de cliente hasta satisfacción reportada o procesamiento de devolución.	Tasa de devoluciones	%
		Desde recepción de orden de cliente hasta satisfacción reportada o procesamiento de devolución.	Satisfacción del cliente	Escala 1-5

En el contexto de cadenas automotrices binacionales México-EE. UU., el catálogo de eventos disruptivos que se presenta ha sido elaborado mediante integración del análisis de literatura académica especializada en disrupciones de cadena (30 artículos seleccionados mediante criterios sistemáticos de inclusión/exclusión) y la revisión de eventos recientes reportados en medios especializados de comercio e industria.

El catálogo comprende ocho eventos agrupados en siete categorías: política comercial (aranceles), regulación (inspecciones aduanales), mercado (volatilidad demanda), logística (transporte), económica (tipo de cambio), suministro (disponibilidad de materias primas), e inversión (decisiones de reubicación) (Tabla 13). Esto ayuda a identificar eventos importantes que necesitan activar protocolos específicos para reducir su impacto. También permite simular posibles escenarios difíciles usando modelos de dinámica de sistemas que incluyan eventos con diferentes probabilidades.

Tabla 13 Catálogo de eventos disruptivos priorizados

Evento Disruptivo	Categoría	Severidad potencial	Horizonte temporal	Justificación de priorización	Nivel de importancia
Aumento de arancel a vehículos (15%-25%-30%)	Política comercial	Muy Alta	Continuo (revisable)	Impacta directamente el costo de exportación.	Máxima - impacto directo alto
Aumento de arancel a autopartes (15%-25%)	Política comercial	Alta	Continuo (desde mayo 2025)	Impacta costo de MP importada; cascada en costo de producción.	Alta criticidad
Restricción inspecciones aduanales (retraso +5-10 días)	Regulación	Media-Alta	Permanente	Retrasos en liberación de MP; embotellamiento en frontera.	Alta criticidad
Volatilidad de demanda en EE. UU. ($\pm 20\%$)	Mercado	Alta	Trimestral	Reduce volumen de producción planificada; subutilización de capacidad.	Máxima: requiere monitoreo continuo.
Disrupciones de transporte/logística (retrasos +7-15 días)	Logística	Media-Alta	Eventual (episódico)	Retrasos en distribución; incumplimientos a clientes.	Moderada

Volatilidad de tipo de cambio USD/MXN ($\pm 15\%$)	Económica	Media	Continuo (diario)	Afecta competitividad de exportaciones; margen de precios.	Recurrente, pero impacto absorbible.
Restricción de suministro de MP crítica (25% de proveedores afectados)	Suministro	Media	Episódico	Produce stock-outs de insumos; detiene líneas de producción.	Moderada
Decisiones de reubicación de inversión (armadoras reducen capacidad)	Inversión	Muy Alta	Anual/Multianual	Reduce capacidad instalada; impacto a largo plazo.	Crítica por impacto permanente.

Los aranceles (para vehículos y autopartes) elevan el costo, generando impacto directo en competitividad de precios. Esta caída de competitividad produce volatilidad de demanda en EE. UU., visible en horizonte trimestral. La volatilidad de demanda sostenida genera decisiones de reubicación de inversión por parte de armadoras multinacionales que, ante perspectivas de margen negativo o reducido, trasladan capacidad instalada a ubicaciones de menor costo, representando impacto permanente a largo plazo conforme la Tabla 13 clasifica con severidad "Muy Alta" y horizonte "Anual/Multianual".

Las fricciones operativas (restricciones de aduanas +5-10 días, problemas logísticos +7-15 días, falta de suministro) se agravan en un entorno inestable, convirtiendo dificultades operativas en amenazas más serias. Sin una intervención inicial (negociación de aranceles) y/o absorción mediante diversificación geográfica, se genera un efecto en cascada.

4.4 Definición de variables clave

En la tabla 14 se presentan 21 variables clave seleccionadas para el análisis y gestión de riesgos asociados a políticas gubernamentales que impactan el desempeño de las cadenas de suministro agrupadas por dominios. Cada variable se define y se asocia con indicadores de rendimiento (KPI) que permiten monitorear su impacto en el aprovisionamiento, producción, distribución y demanda. La tabla también incluye los autores que han trabajado en la identificación y medición de estas variables.

Tabla 14 Definición de las variables clave del sistema

Dominio	Variable clave, tipo, [Unidad]	Definición	KPI
Comercial	Aranceles Exógena [Moneda]/[Cantidad] (Abd Hakim et al., 2022; Fernández Hernández & Bravo Benítez, 2023; Groß & Nowak-Lehmann Danzinger, 2022; Hamed et al., 2024)	Impuestos aplicados por un gobierno sobre los bienes que se importan y exportan. Pueden influir en las decisiones estratégicas de las empresas sobre la ubicación de sus cadenas de suministro. Las políticas arancelarias favorables entre países cercanos pueden hacer que el estado que los cobra sea una opción más atractiva, cuando los acuerdos comerciales regionales proporcionan tarifas arancelarias reducidas.	$C_{t_importación} = C_m + (C_m * T) + C_l + C_i$ $C_m = \text{Costo del producto en origen}$ $T = \text{arancel en origen}$ $C_l = \text{Costos logísticos (flete, seguro, almacenamiento, etc)}$ $C_i = \text{impuestos adicionales (IVA, derechos aduaneros, tasas portuarias, etc)}$ $C_{t_exportación} = C_p + C_l + C_a - S_e$ C_a: Costos arancelarios y de cumplimiento normativo en el país destino S_e: Subsidios o incentivos a la exportación (si aplica) T_p: Arancel Promedio Ponderado (%) $T_p = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{M_t} * T_i \right)$ M_i: Valor de importaciones del producto i M_t: Valor total de las importaciones T_i: Arancel aplicado al producto i Índice de Competitividad Arancelaria (ICA) $ICA = \frac{T_p \text{ país objetivo}}{T_p \text{ país competidor}}$
Inversión	Competitividad del país de desempeño <i>Adimensional, índice</i> (Ibrahim et al., 2021; Morina et al., 2020; Rekunen et al., 2021; van Hassel et al., 2022)	Se refiere a su capacidad para atraer inversiones extranjeras y fomentar el crecimiento empresarial en comparación con otros mercados. Considera la calidad de la infraestructura, el acceso a capital, la estabilidad financiera, el entorno	Índice de Desempeño Logístico (LPI) del Banco Mundial. -Eficiencia del despacho de aduanas y gestión fronteriza -Calidad de la infraestructura relacionada con el comercio y el transporte -Facilidad para organizar envíos internacionales a precios competitivos. -Competencia y calidad de los servicios logísticos

		regulatorio, y la disponibilidad de mano de obra calificada. Ofreciendo menores costos logísticos, incentivos fiscales y una mayor eficiencia en la cadena de suministro.	-Capacidad de rastreo y seguimiento de envíos -Frecuencia con la que los envíos llegan a tiempo a sus destinatarios. $LPI = \frac{LPI \text{ país objetivo}}{LPI \text{ país competidor}}$ Facilidad para hacer negocios, considera tiempo para abrir un negocio, cumplimiento de contratos y protección de inversionistas. Un país con alto puntaje es más atractivo para inversión en cadenas de suministro.
Políticas públicas	Programas educativos Exógena <i>Adimensional, índice</i> (Fratocchi & Mayer, 2023; Goczek et al., 2021; Maneejuk & Yamaka, 2021; Pal, 2023; Vittadini et al., 2022)	La calidad y el alcance de un sistema educativo influyen directamente en la capacidad de una nación para formar una fuerza laboral calificada y adaptable a las necesidades del mercado. Los países con sistemas educativos sólidos y una alta producción de conocimiento pueden ofrecer una fuerza laboral mejor preparada, lo que impacta positivamente la productividad y competitividad de las empresas que deciden instalarse en dichos territorios. Esto es especialmente relevante en sectores que requieren habilidades técnicas avanzadas, como la manufactura de alta precisión, la tecnología de la información, la ingeniería y la investigación y desarrollo (I+D).	Índice de desarrollo educativo (IDE): Mide el desarrollo educativo combinando alfabetización y escolarización. Un país con IDE alto tiene mejor acceso, calidad educativa y capital humano más calificado. $IDE = \frac{IDE \text{ país objetivo}}{IDE \text{ país competidor}}$ Trabajadores con educación técnica o universitaria $T_{técnica} = \frac{\text{Trabajadores con } T_o \text{ superior}}{\text{Total trabajadores}} * 100$ Tasa de Inserción Laboral (T_{IL}), considera el número de profesionales de la región, haciendo referencia a personas egresadas del Estado donde se localice la empresa focal. $T_{IL} = \frac{\text{Núm. profesionales de la región}}{\text{Núm Total de Empleados}} * 100$ Posteriormente, se sugiere tener en cuenta la cantidad de empleados en cada nivel organizacional.
Macroeconómico	Inflación Exógena <i>Adimensional, índice</i> (Boburjon & Shohruhxon, 2023; Jafari & Alikhademi, 2023; Jordan et al., 2023; M.	La inflación es el aumento sostenido y generalizado de los precios de bienes y servicios en una economía a lo largo del tiempo. Factores como los costos de producción, la demanda, políticas monetarias y fiscales pueden influir en la	Índice de precios al productor $IPP = \frac{\text{Precio actual de MP}}{\text{Precio base de MP}} * 100$ Índice de costo de materias primas

	Mohamed & Orabi, 2020; Morina et al., 2020; Yasir et al., 2020)	inflación. Una inflación puede desincentivar las inversiones extranjeras y nacionales, aumentar la incertidumbre sobre los costos futuros y afectar negativamente la investigación, el desarrollo y la innovación tecnológica. Por el contrario, una economía estable hace que el nearshoring sea más atractivo, permitiendo a las empresas planificar y predecir sus costos, facilitando decisiones estratégicas y promoviendo la expansión y la competitividad en mercados estratégicos.	$ICM = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$ P_i: precio de la MP i W_i: Peso o participación de esa materia en el costo total.
Inversión	Inversión extranjera directa (IED) Exógena <i>Adimensional, índice</i> (Desbordes & Franssen, 2019; Emako et al., 2022; Gopalan et al., 2023; Itakura, 2020; Jiang & Martek, 2021; Opoku & Boachie, 2020; Randelović & Martinović, 2022; Rekunen et al., 2021; van Hassel et al., 2022)	Flujo constante de capital, conocimiento técnico, transferencia de tecnología avanzada, que mejora la productividad. Factores como el crecimiento de la población, el consumo de energía, la calidad ambiental, la inversión en infraestructura pública, y el capital humano crean un entorno favorable para la inversión extranjera. Un entorno con infraestructura sólida y un marco regulatorio propicio para la innovación atrae mayores flujos de IED, lo que, a su vez, impulsa el crecimiento económico a largo plazo.	Flujo neto de IED (% del PIB) $IED_{flujo} = \frac{Flujo\ de\ IED}{PIB} * 100$ Un porcentaje alto indica una economía atractiva para inversores extranjeros. $IED = \frac{IED\ país\ objetivo}{IED\ país\ competidor}$
Macroeconómico	Tasa de cambio Exógena <i>Adimensional, índice</i>	Las fluctuaciones en la tasa de cambio pueden tener un impacto significativo en los costos de operación de las empresas internacionales, afectando tanto las	Volatilidad de la tasa de cambio (%) $V_{cambio} = \frac{\sigma}{\bar{T}} * 100$ σ: Desviación estándar de la tasa de cambio $\bar{T}$: Tasa de cambio promedio en el período

	(Hashchyshyn et al., 2020; Hudaya & Firmansyah, 2023; Morina et al., 2020; van Hassel et al., 2022)	importaciones como las exportaciones. Una tasa de cambio estable permite planificar los costos y ganancias, reduciendo la incertidumbre asociada a las variaciones del valor de la moneda. Aumenta el atractivo de un país, ya que mitiga los riesgos financieros que pueden surgir de devaluaciones o apreciaciones bruscas, garantizando un entorno más seguro para la expansión y operación de las empresas globales.	Índice de riesgo cambiario en la CS $R_{cambio} = \frac{\text{Pagos en moneda extrtanjera}}{\text{Costos Totales}} * 100$ Un índice alto indica mayor exposición al riesgo cambiario.
Macroeconómico	Tasa de Interés Exógena [Moneda] <i>Adimensional, índice</i> (Flores et al., 2021; Hashchyshyn et al., 2020; Hudaya & Firmansyah, 2023; Phan et al., 2021; van Hassel et al., 2022; Yasir et al., 2020)	La tasa de interés es un porcentaje de dinero prestado o rendimiento obtenido por una inversión, es un indicador clave en la economía y es un instrumento fundamental de la política monetaria. La previsión de la tasa de interés es fundamental para la valoración de derivados y activos de renta fija, lo cual impacta la gestión de riesgos financieros de las empresas. Un entorno con tasas de interés altas, como respuesta a una inflación elevada, incrementa el costo del capital, haciendo que los préstamos sean más caros para las empresas y desincentivando la inversión. Cuando las tasas de interés son bajas y la inflación está controlada, el entorno económico se vuelve más atractivo para el nearshoring. Un costo de capital reducido facilita la financiación de la relocalización de	Índice de Dependencia del Crédito en la Cadena de Suministro (%) $\text{Endeudamiento} = \frac{\text{Deuda total}}{\text{Activos total}} * 100$ Empresas con alta dependencia del crédito son más vulnerables a cambios en la tasa de interés. Plazo promedio de pago a proveedores (días) $PP = \frac{\text{Cuentas por pagar}}{\text{Costo de ventas}} * 365$ Un plazo más largo indica dificultades financieras o estrategias de liquidez. Índice de Tasa de Interés Real (%) $T_{real} = T_{nominal} - \text{Inflación}$ Una tasa de interés real alta encarece los préstamos y reduce la inversión.

operaciones y la expansión de infraestructura, haciendo que las inversiones sean más rentables y predecibles. Además, un entorno de baja inflación permite a las empresas proyectar de manera más precisa sus costos y márgenes de ganancia, lo que es crucial al considerar nuevos destinos para establecer operaciones productivas cerca de sus mercados de consumo.

Innovación
Nuevos mercados
Endógena

Adimensional, índice

Regiones geográficas, sectores industriales o segmentos de clientes a los que una empresa o país accede por primera vez o expande su presencia como parte de una estrategia económica o comercial. Puede hacer referencia a un enfoque geográfico, por los mercados abiertos por acuerdos comerciales o políticas gubernamentales como reducción de aranceles.

Penetración de nuevos mercados (PNM):

$$PNM = \frac{Ingreso_{N.mercados}}{Ingreso_{total}}$$

Tasa de crecimiento de nuevos mercados (CNM):

$$CNM = \frac{Ingreso_{N.mercados \text{ año } 2} - Ingreso_{N.mercados \text{ año } 1}}{Ingreso_{N.mercados \text{ año } 1}}$$

Macroeconómico
Economía
Exógena

Adimensional, índice

Sistema integral de producción, distribución y consumo de bienes y servicios dentro de un país. Está determinado por el valor total de la producción (PIB), ajustado por inflación (PIB real), que incluye sectores como industria, agricultura y servicios, influido por políticas fiscales, monetarias y comerciales.

Tasa de crecimiento del PIB:

$$PIB = \frac{PIB_{N=2} - PIB_{N=1}}{PIB_{N=1}} * 100$$

Tasa de crecimiento de la inflación:

$$\pi = \frac{\pi_{N=2} - \pi_{N=1}}{\pi_{N=1}} * 100$$

Innovación
Innovación y tecnología
Exógena

Adimensional, índice

Desarrollo, adopción y aplicación de nuevos procesos, herramientas, métodos o productos que mejoran la eficiencia, competitividad y

Tasa de Innovación Tecnológica (TIT)

$$TIT = \frac{Inversión \text{ en Tecnología}}{Costos \text{ Totales}} * 100$$

sostenibilidad en una cadena de suministro. Incluye avances que optimizan el aprovisionamiento, la producción y la distribución. También incluye políticas gubernamentales, incentivos o regulaciones que fomentan su adopción, como subsidios a I+D y estándares tecnológicos.

Comercial Comercio exterior (CE)
Exógena
[Moneda]

Intercambio de bienes, servicios y capital entre un país y el resto del mundo, abarcando tanto las exportaciones (bienes y servicios vendidos al extranjero) como las importaciones (bienes y servicios comprados del extranjero).

Balanza comercial:

$$BC = Exp - Imp$$

Participación del Comercio Exterior en el PIB:

$$CE_{PIB} = \frac{CE}{PIB} * 100$$

Macroeconómico Consumo interno (CI)
Exógena
[Moneda]

Es el consumo total realizado por hogares, empresas y el gobierno en bienes y servicios dentro de un país durante un período específico, excluyendo exportaciones netas (exportaciones menos importaciones). Representa la cantidad de bienes y servicios que la cadena de suministro debe satisfacer dentro del mercado doméstico, influida por factores como ingresos, inflación y políticas fiscales, es la demanda interna que impulsa la economía.

$$CI = C + G + I$$

Donde: C: Consumo de los hogares

G: Consumo del Gobierno

I: Consumo de las empresas

Comercial Importaciones (Imp)
Endógena
[Moneda]

Flujo de bienes y servicios que un país adquiere del extranjero para su uso interno, ya sea para consumo, producción o reexportación.

Valor total de importaciones por periodo

Dependencia de Importaciones

$$D_{imp} = \frac{Imp}{Consumo\ interno} * 100$$

			Tasa de crecimiento de Importaciones $Crecimiento_{imp} = \frac{Imp_{N=2} - Imp_{N=1}}{Imp_{N=1}} * 100$
Comercial	Exportaciones Endógena	[Moneda] Flujo de bienes y servicios producidos dentro de un país que se venden a mercados extranjeros, generando ingresos en moneda extranjera. Representa la salida de productos de la cadena de suministro hacia mercados internacionales, influida por políticas como aranceles, tasas de cambio y competitividad.	Valor total de exportaciones por periodo Dependencia de Importaciones $D_{exp} = \frac{Exp}{Consumo\ interno} * 100$ Tasa de crecimiento de Importaciones $Crecimiento_{exp} = \frac{Exp_{N=2} - Exp_{N=1}}{Exp_{N=1}} * 100$
Políticas públicas	Incentivos fiscales Exógena	[Moneda] Adimensional, índice Reducciones, exenciones o beneficios tributarios otorgados por el gobierno a empresas, industrias o sectores específicos para estimular actividades económicas deseadas, como inversión, producción, exportaciones o innovación. Que buscan ajustar el comportamiento económico, reduciendo la carga impositiva para fomentar crecimiento, empleo o competitividad.	Reducción de costos de producción $CP = \frac{CP_i - CP_f}{CP_i} * 100$ Tasa de incentivos fiscales $Tasa\ de\ Incentivos\ F = \frac{Beneficio\ fiscal}{Valor\ original\ de\ imp} * 100$
Cadena de suministro	Costos de Producción Endógena	[Moneda] Conjunto de gastos incurridos para transformar materias primas o insumos en bienes o servicios terminados dentro del proceso productivo. Incluye costos directos (materias primas, mano de obra) e indirectos (energía, maquinaria), siendo un determinante clave de la competitividad y los precios finales.	Costo unitario de producción $CP = \frac{CP_t}{Unidades\ producidas}$

Macroeconómico	Empleo Endógena	Un país que ofrece una mano de obra calificada a un costo competitivo permite a las empresas beneficiarse de menores costos laborales sin comprometer la calidad del trabajo. La capacidad de una región para formar y retener talento mediante salarios competitivos y programas de educación y formación continua, que reduzcan la emigración, es un factor esencial. Esto asegura que la fuerza laboral esté alineada con las necesidades de las industrias que buscan establecerse en la zona.	Productividad laboral $Plab = \frac{Producción\ total}{No\ empleados\ en\ la\ CS}$
	[Moneda] [Personas] (Camacho-Vallejo et al., 2023; Fernández Hernández & Bravo Benítez, 2023; Fratocchi & Mayer, 2023; Keller & Zoller-Rydzek, 2019; M. S. Kumar et al., 2020; M. M. A. Mohamed et al., 2022; Yakovlev, 2023)		
Innovación	Estrategias innovadoras Endógena	Planes, enfoques o iniciativas innovadoras creadas para hacer mejoras importantes en procesos, productos o modelos de negocio, con el fin de aumentar la eficiencia, la competitividad o la sostenibilidad en un entorno económico o de cadena de suministro.	Gasto en investigación y desarrollo (I+D) $Gasto\ I + D = \frac{Gasto\ I + D}{Ingreso\ total}$
	[Moneda]		
Cadena de suministro	Aprovisionamiento Endógena	Proceso de adquirir materias primas, insumos o componentes necesarios para la producción de bienes o servicios.	Dependencia de importaciones $Dependencia\ Imp = \frac{Imp}{MP\ compradas} * 100$
	[Moneda] Adimensional, índice		Eficiencia de aprovisionamiento Dependencia de Importaciones Nivel de inventario Tiempo promedio de entrega
Cadena de suministro	Producción Endógena	Transformación de materias primas o insumos en bienes o servicios terminados listos para su uso o venta.	Utilización de capacidad Costo unitario de Producción
	[Moneda] Adimensional, índice		

Cadena suministro	de	Distribución Endógena	Proceso de transportar y entregar productos terminados desde el momento de producción hasta el consumidor final o puntos de venta.	Costo de distribución por unidad Tiempo promedio de entrega Tasa de entrega a tiempo
		<i>[Moneda]</i> <i>Adimensional, índice</i>		

Para crear el modelo, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura académica, buscando las variables más mencionadas en estudios sobre dinámica de sistemas, logística y comercio internacional. Las variables seleccionadas se resumen en la Tabla 15.

Tabla 15 Marco conceptual, variables clave del modelo de simulación

Variable, autor	Definición
Producción (Zareian Beinabadi et al., 2024) (Hamidi & Salavati, 2026)	Proceso mediante el cual se transforman insumos o recursos en bienes o servicios destinados a satisfacer necesidades. Pilar fundamental de la vibrante cadena automotriz mexicana.
Mano de obra (Rísquez Ramos & Ruiz-Gálvez, 2024)	Representa el factor humano necesario para transformar los recursos en bienes o servicios. Sensible a fluctuaciones en demanda y estructura productiva; incluye despidos ante contracciones.
Despidos (Rísquez Ramos & Ruiz-Gálvez, 2024)	Reducción de la plantilla laboral por la disminución de la producción.
Exportaciones (F. Liu et al., 2025)	Venta y envío de bienes o servicios producidos en un país hacia otros mercados internacionales. Variable central del comercio internacional; susceptible a políticas comerciales.
Demanda (Chiang et al., 2023) (Parés Olguín et al., 2023)	Cantidad de bienes o servicios que los consumidores del mercado nacional e internacional están dispuestos y en condiciones de adquirir a un precio determinado en un periodo específico.
Diversificación de mercados (F. Liu et al., 2025)	Acceso estratégico a múltiples regiones (EE. UU., Canadá, Latinoamérica, Europa, Asia).
Contribución al PIB (Rebs et al., 2019)	Impacto macroeconómico del sector automotriz a través de dinámicas de cadena de suministro.

4.5 Identificación de relaciones entre las variables clave y creación de un diagrama causal

Posterior a la definición de variables clave, se procedió a la fase de validación de relaciones causales que fundamentan el modelo dinámico de la cadena de suministro. Este proceso de validación asegura la coherencia lógica, congruencia sistémica y utilidad analítica del modelo antes de su utilización para simulaciones cuantitativas. La presente sección documenta el proceso de validación ejecutado, incluyendo las pruebas realizadas, hallazgos, y el diagrama causal resultante que representa la estructura dinámica del sector automotriz mexicano bajo escenarios de disrupción por políticas públicas arancelarias.

Después de crear el modelo que une varios elementos de la cadena de suministro (aranceles, costos, capacidad, demanda, empleo), se realizó un proceso de validación sistemático siguiendo los métodos establecidos de modelación de dinámicas de sistemas (Forrester, 1968; Sterman, 2000). Este proceso de validación comprobó que las variables identificadas y las relaciones entre ellas eran coherentes con lo que se observa en el sector manufacturero automotriz en México. También se aseguró de que el modelo fuera lo suficientemente fuerte para llevar a cabo análisis de sensibilidad y simulaciones de escenarios posteriores.

El proceso de validación incluyó las siguientes pruebas específicas:

- a) Consistencia de polaridad: Verifica que los bucles de retroalimentación (del modelo) tengan lógica interna coherente. Específicamente, se verificó que los bucles de balance, que mantienen el sistema en equilibrio, presentaran un número impar de relaciones negativas. De manera complementaria, se verificó que los bucles de refuerzo, que amplifican cambios, tuvieran un número par de relaciones negativas.

Por ejemplo: el Bucle B1 Economía $\rightarrow (+)$ Inflación $\rightarrow (-)$ Economía, tiene un número impar de negativos. Es un bucle balanceador que estabiliza la economía. El bucle R1, que va de Incentivos Fiscales a Inversión Extranjera Directa (IED) y vuelve a Incentivos Fiscales, no tiene relaciones negativas. Es un bucle de refuerzo positivo.

- b) Prueba de completitud: Verifica que todas las variables clave del sistema estén interconectadas (directa o indirectamente) a través de relaciones causales. El criterio es que no existan variables aisladas, y que el modelo represente la interdependencia observada entre componentes de la cadena de suministro. La prueba requiere que cada variable tenga al menos una entrada causal (que la afecta) y al menos una salida causal (la que esa variable influye), con excepción de entradas exógenas (como aranceles, que no son causadas por variables internas).

Se validó la integridad estructural del modelo mediante el análisis de conectividad de sus variables. Los resultados destacan a la variable Economía (13), Aranceles (10) y Competitividad (10) como los nodos centrales que determinan la dinámica del sistema. Detrás de este núcleo, factores como los Costos de Producción y la

Producción (9 conexiones) tienen una fuerte relación, superando a indicadores económicos tradicionales como la Inflación (7), la Tasa de Interés (6) y el tipo de Cambio (6). Las variables de Empleo, Consumo Interno e Incentivos Fiscales, responden a los movimientos de las otras variables del sistema.

- c) Prueba de parsimonia: Asegura que el modelo evite relaciones causales repetidas o poco importantes (Forrester, 1968).

Se realizó revisión de más de 50 relaciones causales inicialmente identificadas y no se encontró ninguna relación redundante. Las "rutas duales" (camino alternativo) representan mecanismos causales DISTINTOS, no redundancia. La tabla 16 constituye un ejemplo de las pruebas de parsimonia desarrolladas.

Tabla 16 Ejemplo de prueba de parsimonia

Relación	Mecanismo 1	Mecanismo 2	Estatus
Economía a tasa de interés.	Directo: Control de demanda.	Indirecto: Respuesta a la inflación.	Ambos válidos
Aranceles a exportaciones.	Directo: Competencia menos favorable.	Indirecto: vía costos de producción.	Ambos válidos
Competitividad de exportaciones.	Directo: Venta en mercados existentes.	Indirecto: vía nuevos mercados.	Ambos válidos
Producción a economía.	Directo: Efecto en el PIB.	Indirecto: vía empleo a consumo.	Ambos válidos

La Figura 7 presenta el diagrama causal del modelo de dinámicas de sistemas validado. En total se identificaron 502 bucles, se seleccionaron diez bucles de balanceo y de retroalimentación para describir las relaciones causales entre ellos, se considera únicamente los bucles después de un análisis de apalancamiento, incluyendo los bucles con variables de mayor sensibilidad para el sistema.

Figura 7 Diagrama causal del modelo general

El Bucle B1 (Figura 8) permite entender cómo las condiciones macroeconómicas afectan la operación de la cadena de suministro y la necesidad de estrategias adaptativas ante cambios en el entorno económico.

Cuando la actividad económica crece por incremento del PIB, empleo y consumo, la inflación tiende a aumentar por el incremento de la demanda agregada que presiona los precios al alza, el empleo que genera mayor poder adquisitivo, más inversión y gastos empresariales que incrementan la demanda de insumos.

Por otro lado, cuando la inflación aumenta, la actividad económica tiende a disminuir. Esto se debe a la pérdida del poder adquisitivo que reduce el consumo, incertidumbre económica que desincentiva la inversión, políticas monetarias restrictivas, como el aumento de la tasa de interés, y mayor costo de las materias primas. Esto afecta la rentabilidad empresarial.

Algunas de las implicaciones para la cadena de suministro en fase expansiva o con alta actividad económica son mayor demanda de productos, alza en costos de materias primas y necesidad de incrementar el inventario de seguridad. Mientras que la fase inflacionaria genera aumento en los costos de transporte y almacenamiento, disminución de márgenes de utilidad y renegociaciones de contratos con proveedores. En una fase de moderación económica, se reduce la demanda y se ajustan los niveles de inventario.

El Bucle B1 busca un equilibrio dinámico donde la actividad económica y la inflación para evitar deflación e hiperinflación. Puede verse impactado por políticas monetarias, fiscales y de empleo.

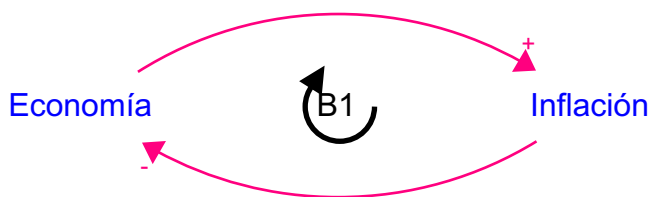


Figura 8 Bucle B1: Economía - Inflación

El bucle de balanceo B2 (Figura 9) muestra cómo las variaciones en la tasa de interés ayudan a regularse a sí mismas para estabilizar la economía y, por lo tanto, los costos financieros en

la cadena de suministro. Cuando la economía crece, el Banco Central de la República suele elevar la tasa de interés de referencia para controlar las presiones inflacionarias, lo que frena el crecimiento.

Un aumento en la tasa de interés encarece el crédito, reduciendo la inversión y el consumo, lo que desencadena menor gasto en este último, postergación de proyectos de inversión y caída en la demanda. Generando más costo de financiamiento de inventarios, poca viabilidad de proyectos de expansión y retrasos en los pagos. El bucle B2 tiende a controlar el crecimiento de la economía, evitando alta inflación y una recesión.

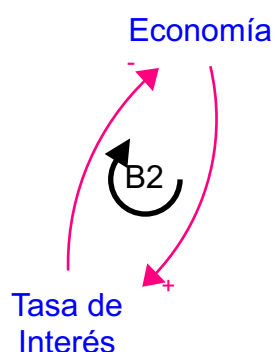


Figura 9 Bucle B2: Economía - Tasa de Interés

El bucle de balance B3 (Figura 10) tiende a estabilizar la economía con la tasa de cambio, moderando desequilibrios comerciales y las fluctuaciones excesivas de la moneda. Lo que impacta directamente los costos y la planificación financiera de la cadena de suministro.

El crecimiento económico puede presionar al alza o a la baja la divisa local frente a la tasa de referencia dependiendo del contexto, si hay déficit comercial persistente, genera devaluación de la moneda (tasa de cambio sube) lo que encarece las materias primas importadas; y si hay entrada de capitales por inversiones, se genera apreciación de la moneda (tasa de cambio cae) con un abaratamiento de las importaciones y estimulación de importaciones, aunque puede dañar la competitividad de exportaciones.

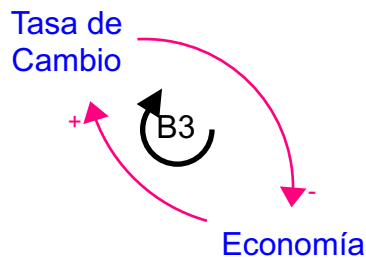


Figura 10 Bucle B3: Economía - Tasa de Cambio

El bucle de balance B4 (Figura 11) muestra cómo las decisiones de compra y los costos relacionados se afectan entre sí en un sistema que mantiene el nivel de inventario y cuida los márgenes de la cadena de suministro. Un mayor volumen de materias primas eleva los costos totales de producción al incurrir en más capital de inventario y gastos de almacenamiento adicionales.

Cuando los costos de producción suben, las empresas deciden reducir su nivel de aprovisionamiento para proteger los márgenes. El capital de trabajo debe equilibrarse para tener el nivel adecuado de inventarios sin afectar la operatividad de la producción o el flujo de caja.



Figura 11 Bucle B4: Aprovisionamiento – Costos de Producción

El bucle 5 (Figura 12) refleja que cuando los costos de producción aumentan, los precios de venta en mercados internacionales suben, reduciendo la competitividad del producto y como consecuencia, el volumen de las exportaciones. Altos volúmenes de exportación pueden generar medidas proteccionistas en el país destino, como aranceles que disminuyen la demanda.

Cuando los aranceles suben, se encarecen los productos importados, lo que lleva a las empresas a ajustar su estructura de costos o buscar proveedores alternativos. Altos costos de producción y aranceles generan un ciclo de pérdida de mercados que desencadena diversificación, negociación de acuerdos de comercio y mejora de la eficiencia productiva para compensar el alza de aranceles.

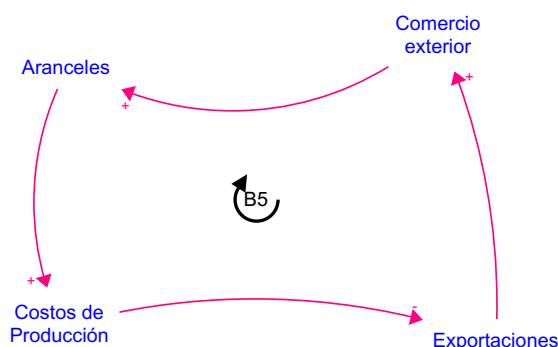


Figura 12 Bucle B5: Costos de producción, exportaciones, comercio exterior, aranceles

El bucle B6, Figura 13, muestra cómo factores económicos como la inflación, los costos y la competencia afectan la cadena de suministro. Esto sucede en un proceso que vincula el rendimiento interno con la competitividad internacional del país.

Una inflación elevada reduce el poder adquisitivo, lo que disminuye la demanda y contrae la producción, generando economías de escala negativas por la subutilización de la capacidad instalada. Mayores costos de producción reducen la competitividad internacional y el comercio exterior. Lo que impulsa a los gobiernos a incentivar la economía bajando los aranceles, reduciendo las presiones inflacionarias internas.

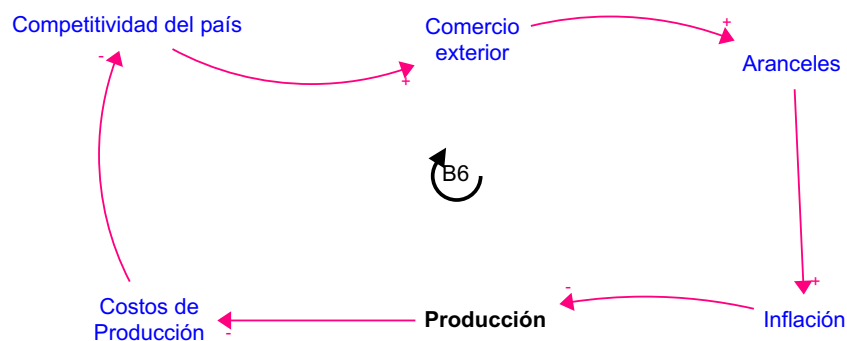


Figura 13 Bucle B6: Inflación, Producción, Costos de Producción, Competitividad del País, Comercio Exterior, Aranceles

El bucle causal B7 (Figura 14) muestra cómo el crecimiento económico, las políticas monetarias y el comercio internacional se relacionan. Estas interacciones ayudan al sistema a alcanzar un equilibrio y evitan problemas como la alta inflación, la devaluación o el proteccionismo excesivo.

Una expansión económica impulsa al alza las tasas de interés y de cambio, que terminan por encarecer las importaciones y pueden afectar las exportaciones si los insumos importados suben. El déficit comercial presiona para subir aranceles y proteger la industria nacional, lo que incrementa el costo de los productos importados y eleva los precios de bienes y servicios, afectando tanto a consumidores como a productores. Este aumento en los precios, combinado con menores niveles de competencia y un posible desajuste entre oferta y demanda, genera presiones inflacionarias que terminan afectando la economía.

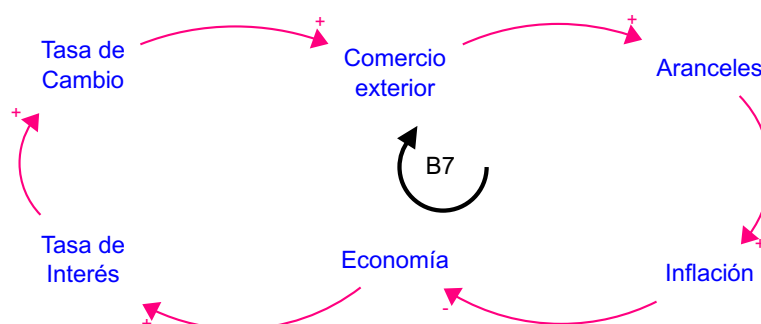


Figura 14 Bucle b7: Economía, Tasa de Interés, Inflación, Tasa de Cambio, Comercio Exterior, Aranceles

El bucle B8 de la Figura 15 indica que bajar costos mejora las exportaciones, atrae inversión extranjera directa (IED), fortalece el comercio exterior y lleva a políticas arancelarias más flexibles, lo que nuevamente da como resultado una reducción de los costos de producción.

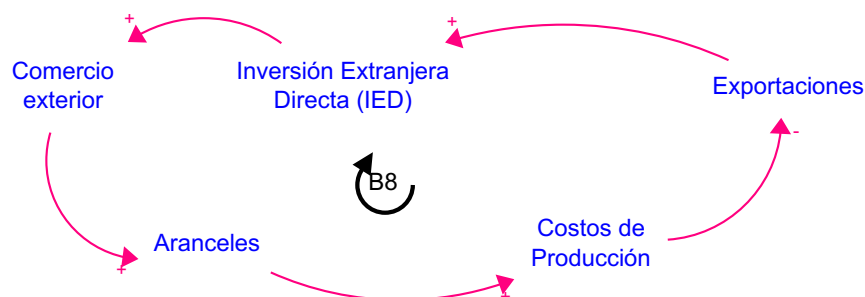


Figura 15 Bucle B8: Costos de producción, IED, comercio exterior, aranceles, exportaciones

El bucle B9 (Figura 16) refleja cómo altas tasas de interés, pueden tener un efecto apreciativo sobre la moneda local, por la atracción de IED y aumento de la demanda de la moneda. Lo que conlleva el aumento de los costos de producción, que reducen márgenes empresariales y frenan la economía al desincentivar inversión y consumo, presionando al banco central para modificar las tasas de interés.

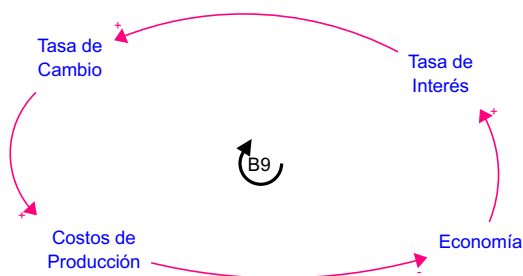


Figura 16 Bucle B9: Tasa de interés, costos de producción, economía, tasa de cambio

El bucle B10 (Figura 17) muestra cómo los costos de producción afectan la competitividad de precios. Cuando los precios son más altos, las exportaciones y el comercio exterior bajan, lo que a su vez reduce la necesidad de comprar materias primas para seguir produciendo. Por lo que se busca mantener niveles de materias primas alineados con la dinámica exportadora.

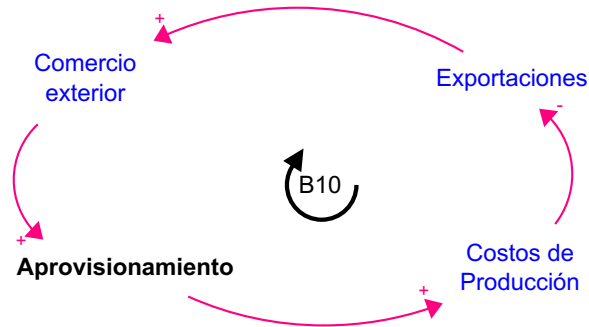


Figura 17 Bucle B10: Aproveccionamiento, Costos de Producción, Exportaciones, Comercio Exterior

El bucle de refuerzo R1 (Figura 18) muestra que las políticas de incentivos fiscales, como las exenciones fiscales, pueden crear un efecto bola de nieve que atrae capital extranjero. Esto fortalece toda la cadena de suministro al aumentar las inversiones en mejoras logísticas y tecnológicas.

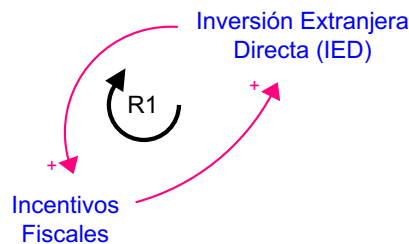


Figura 18 Bucle R1: Incentivos Fiscales - IED

El bucle R2 (Figura 19) muestra cómo los incentivos fiscales y los aranceles se calibran mutuamente para mantener un equilibrio entre competitividad, recaudación y apoyo a la industria nacional. Los aranceles más altos generan mayores ingresos aduaneros, lo que puede financiar la creación o ampliación de incentivos fiscales adicionales. Bajar aranceles reduce el costo de materia prima importada e incentiva la producción y exportaciones, mientras que los aranceles pueden limitar este proceso.

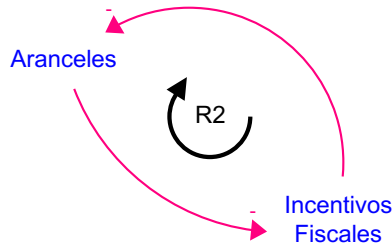


Figura 19 Bucle R2: Incentivos fiscales - aranceles

El bucle de Reforzamiento R3 (Figura 20), genera un efecto bola de nieve entre la apertura a nuevos mercados geográficos o de segmento que impulsa y el ciclo de crecimiento de las exportaciones, generando un ciclo de expansión sostenida en la operación internacional de la cadena de suministro.

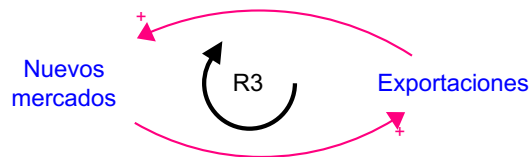


Figura 20 Bucle R3: Nuevos mercados - exportaciones

El bucle R4 (Figura 21) muestra cómo la apertura a mercados y la mejora de la competitividad nacional se realimentan, creando un mecanismo de crecimiento sostenible de innovación, adopción de mejores prácticas y economías de escala, aumentando el posicionamiento internacional de la cadena de suministro, mejores índices competitivos que atraen IED y fortalecen a las cadenas ante crisis en mercados individuales.

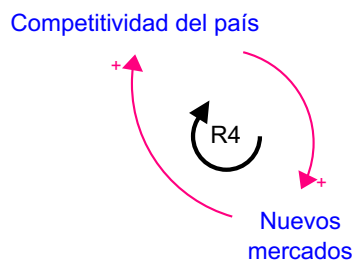


Figura 21 Bucle R4: Nuevos Mercados - Competitividad del País

El bucle R5 (Figura 22) muestra la conexión entre el crecimiento económico y el empleo; es un sistema que se refuerza a sí mismo y lleva a períodos de expansión continua. El aumento

del empleo incrementa los ingresos disponibles, lo que eleva la demanda, estimulando nuevamente el crecimiento económico y viceversa.

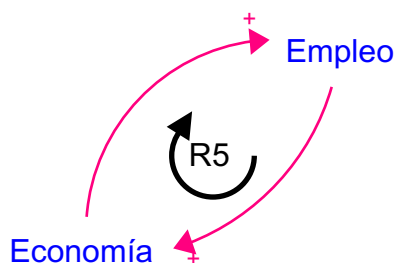


Figura 22 Bucla R5: Empleo – economía

Los bucles mostrados en la Figura 23 contribuyen a la estabilización del comercio. El aumento de los aranceles reduce tanto las exportaciones (R6) como las importaciones (R7), lo que genera una desaceleración en el comercio exterior. Un alto volumen de exportaciones fortalece los sectores nacionales, lo cual suele llevar a la implementación de aranceles más altos para proteger las industrias locales del país receptor.

Sin embargo, el incremento de los aranceles eleva los costos del comercio internacional, lo que a su vez disminuye el volumen de comercio exterior. Por otro lado, menos aranceles facilitan el acceso a productos extranjeros, lo que eleva las importaciones y puede generar presiones para aumentar las políticas arancelarias con el objetivo de proteger las industrias nacionales.

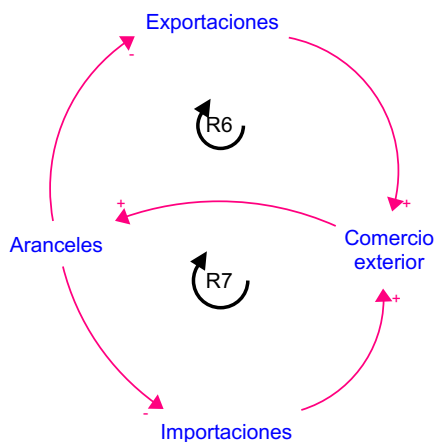


Figura 23 Bucla R6 y R7: Comercio exterior, exportaciones, importaciones, aranceles

El bucle R8 (Figura 24) articula el desarrollo de capital humano con dinámicas de inversión y competitividad regional. Los incentivos fiscales atraen inversión directa, generando empleo en actividades de mayor valor agregado; este aumento en empleo incrementa la demanda por programas educativos y de capacitación; lo que facilita la generación de innovación tecnológica y procesos productivos más eficientes; esta innovación eleva la competitividad territorial, justificando y perpetuando demandas de nuevos incentivos fiscales para atraer inversión de empresas de tecnología e industrias de alto valor.

Cada incremento en una variable amplifica los incrementos en las demás, creando un ciclo acumulativo de mejora. Sin embargo, también puede operarse como dinámica viciosa si se interrumpe: la ausencia de incentivos reduce inversión, erosiona empleo, disminuye demanda educativa, reduce innovación, y deteriora competitividad, generando un ciclo decreciente. Para México, este bucle es particularmente relevante, ya que las decisiones de inversión de OEMs y TIER 1 dependen de costos directos, de la disponibilidad de capital humano especializado e innovación.

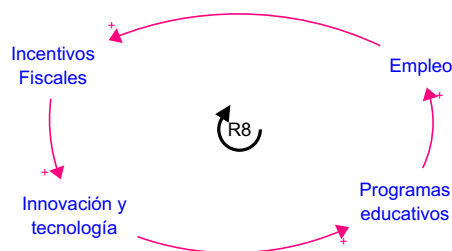


Figura 24 Bucle R8: Competitividad del país, comercio exterior, aranceles

El bucle R9 (Figura 25) muestra cómo la tasa de interés más alta reduce el crédito disponible, contrayendo la economía (efecto negativo inicial). Una economía contraída genera ineficiencias operativas que elevan costos de producción. Costos más altos reducen la competitividad de exportaciones, aumentando la presión sobre la moneda nacional (aumento USD/MXN). Finalmente, una depreciación del peso provoca inflación, obligando al banco central a elevar nuevamente las tasas de interés, cerrando el ciclo.

Este bucle aumenta la inestabilidad en la economía: cuando el peso se deprecia, las exportaciones son más competitivas en precio, pero al mismo tiempo, los proveedores y pequeñas empresas enfrentan mayores costos financieros. Además, la inflación que se genera lleva a políticas monetarias más restrictivas, lo que reduce aún más la demanda interna.

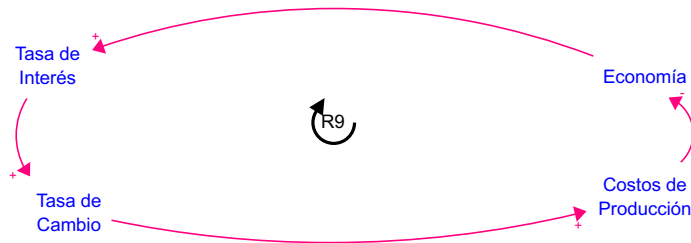


Figura 25 Bucle B9: Economía, tasa de interés, aprovisionamiento, costos de producción

El bucle R10 (Figura 26) evidencia cómo el incremento de las tasas de interés reduce el crédito para aprovisionamiento y producción, como consecuencia, se requiere incrementar las importaciones. Más importaciones, pueden generar presiones inflacionarias dentro de la economía por el incremento en los precios de los productos importados, el posible aumento de los costos de insumos y la depreciación de la moneda local, lo que eleva el costo general de los bienes y servicios en el mercado.

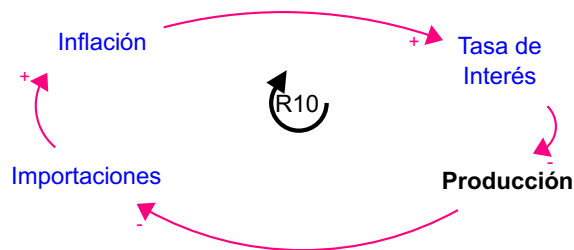


Figura 26 Bucle R10: Tasa de Interés, Inflación, Producción, Importaciones

Los bucles seleccionados cubren los cuatro procesos clave identificados y los riesgos asociados a políticas públicas identificados:

- Aprovisionamiento: bucles B4, B5, B9, B10
- Producción: bucles B5, B6, B8, R9, R10
- Distribución: bucles B7, B8, R3, R4
- Demanda: bucles R5, R8
- Riesgos: bucles B1, B2, B3, B7, B8, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9

El diagrama causal es una forma gráfica que muestra la estructura del sistema. Se usará para las simulaciones numéricas y el análisis de sensibilidad en las siguientes secciones.

4.6 Desarrollo de un modelo de simulación

Se identificó que el modelo conceptual completo con 502 bucles requiere de una delimitación. La variable aranceles, tiene 10 conexiones directas en todo el diagrama causal, indicando una alta centralidad con todos los dominios que puede capturar comportamientos críticos, enfocando los recursos de investigación en un área de alto impacto potencial.

Para investigar los aranceles, se desarrolló un marco conceptual que permite evaluar cómo las políticas arancelarias afectan las variables más críticas. Estas variables se obtuvieron a través de una revisión sistemática de la literatura y un análisis de documentos. El modelo considera la demanda nacional y exportaciones a EE. UU., el resto de América, Europa y Asia. Producción, que se refiere a la cantidad de unidades fabricadas en México, la cual está influenciada directamente por la demanda. Es decir, a mayor demanda, las empresas incrementan la producción para satisfacerla.

Los aranceles aplicados a los productos finales y a insumos para la producción, como el acero, el aluminio, el cobre y los semiconductores, mencionados en la Tabla 1 del Capítulo 1, pueden aumentar los costos de producción e importación. Esto disminuye la capacidad del sector para mantener su nivel de producción. Esto puede llevar a una disminución en la producción y, en consecuencia, en la mano de obra requerida para producir.

La Figura 27 muestra un diagrama de bucle causal que ilustra las relaciones entre las principales variables mencionadas en la literatura (Tabla 17). Además, muestra cómo reacciona el sector a los cambios en las políticas de tarifas internacionales, así como su impacto directo en los costos de producción e importación. Esto desencadena incertidumbre, disminución en la producción, demanda, comercio en el mercado nacional, despidos, exportaciones, el PIB y el empleo. Las variables clave se incluyen en el diagrama causal.

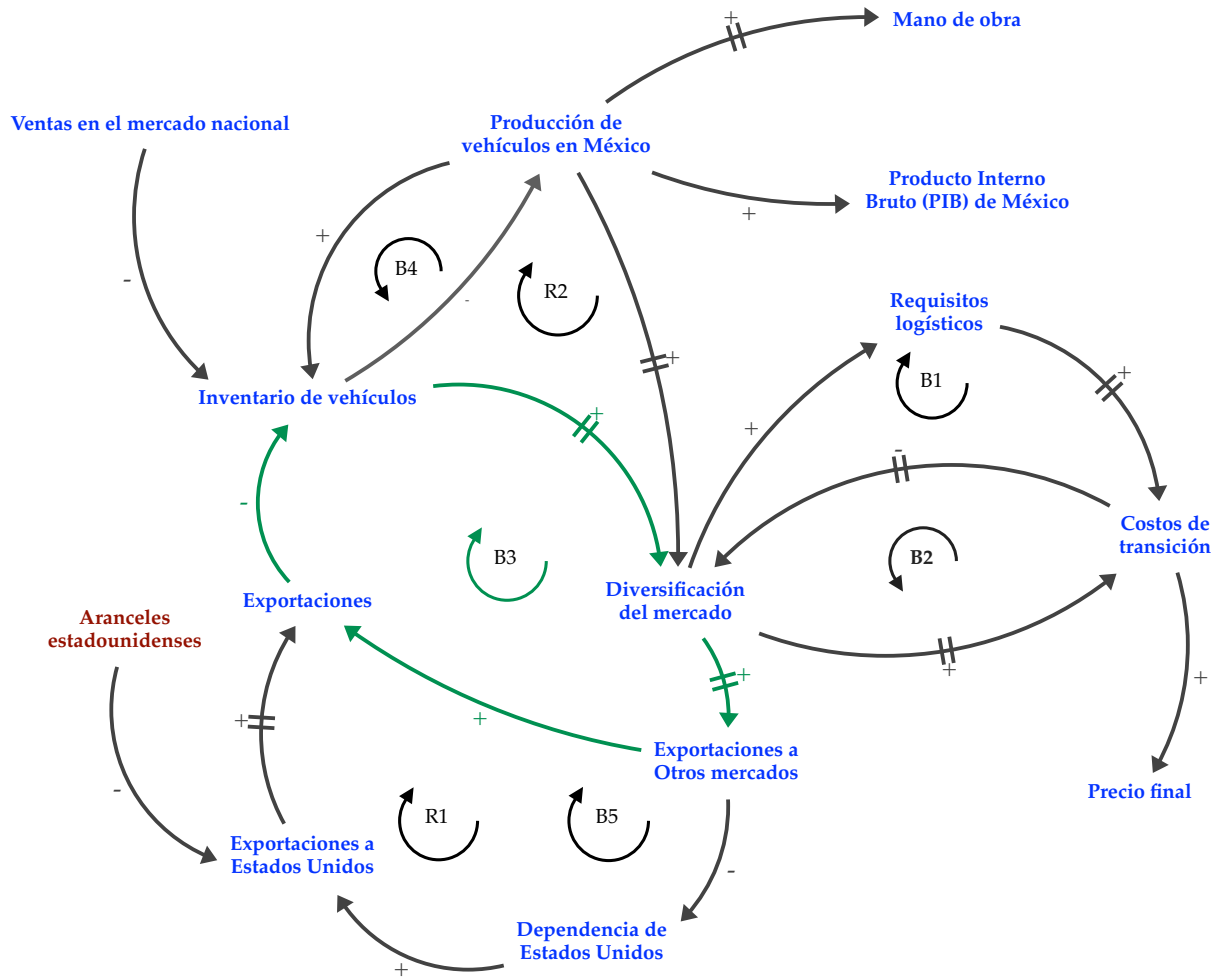


Figura 27 Diagrama causal del modelo de simulación acotado

El diagrama de bucle causal incluye:

Bucle R1: Cuando las exportaciones a Estados Unidos disminuyen, el volumen total de exportaciones se reduce, lo que genera una acumulación de inventario de vehículos terminados, es decir, unidades que no se venden en el mercado. Este excedente sostenido de inventario presiona al sistema para que diversifique sus mercados. A medida que esta diversificación supera las limitaciones logísticas y comerciales, las exportaciones a otros destinos aumentan, reduciendo la dependencia del mercado estadounidense. En consecuencia, a medida que disminuye esta dependencia, el sistema tiende a estabilizarse a largo plazo (Figura 28).

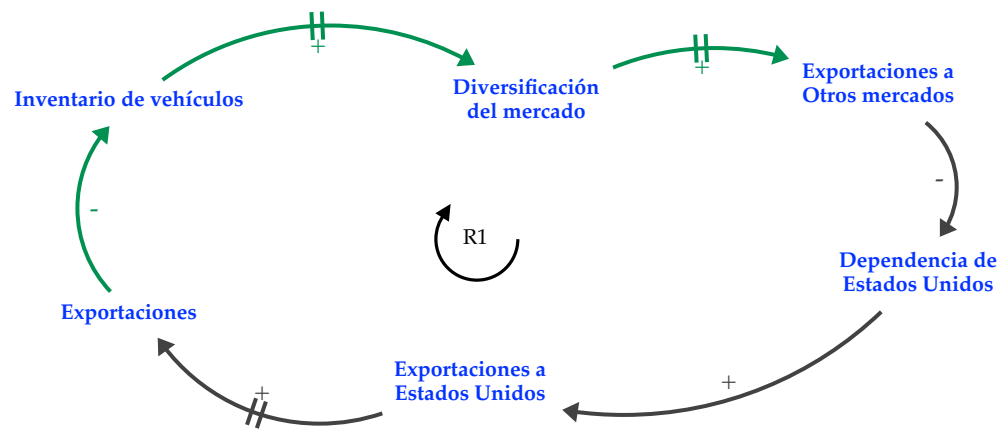


Figura 28 Bucle R1: la búsqueda de nuevos mercados por parte del sector automotriz mexicano.

Bucle R2: Cuando las exportaciones disminuyen, se acumula inventario de productos terminados y, en respuesta, la industria reduce la producción. Sin embargo, la diversificación de mercados comienza como una estrategia de ajuste, buscando nuevos destinos comerciales que permitan que los niveles de producción vuelvan a la normalidad. Una vez que los nuevos mercados se consolidan, las exportaciones aumentan, el inventario disminuye y la producción se estabiliza. Bucle B1: La mayor variedad de mercados aumenta las necesidades logísticas para exportar a nuevos lugares, lo que eleva los costos de transición relacionados con la adaptación a las normas, la coordinación de negocios y los gastos de distribución. Estos costos reducen la rentabilidad esperada y ralentizan la consolidación de nuevos destinos, actuando como un mecanismo de equilibrio que frena la diversificación.

Bucle B2: La diversificación de mercados eleva los costos de transición (adaptaciones técnicas, cumplimiento de regulaciones extranjeras y reconfiguración de contratos). Esto reduce el margen de beneficio neto, creando un desincentivo económico que ralentiza la expansión.

Bucle B3: El aumento de las exportaciones a mercados alternativos permite la distribución del inventario acumulado de vehículos terminados. La reducción de este excedente reduce la urgencia de diversificar, haciendo que el impulso inicial del ajuste sea menos fuerte y el sistema se estabilice. El bucle se presenta en verde.

Bucle B4: El sector automotriz ajusta sus niveles de producción en función de las señales de inventario de vehículos; cuando estos disminuyen debido a las ventas nacionales y las

exportaciones, la producción se ajusta en consecuencia. Bucle B5: Cuando las exportaciones a Estados Unidos disminuyen, las exportaciones totales se reducen, lo que incrementa el inventario vehicular y disminuye la producción en México. Sin embargo, cuando las estrategias para diversificarse empiezan a aumentar las exportaciones a otros lugares, la dependencia de Estados Unidos y de las exportaciones a ese país disminuye, creando un ambiente de producción más estable en México (Figura 29).

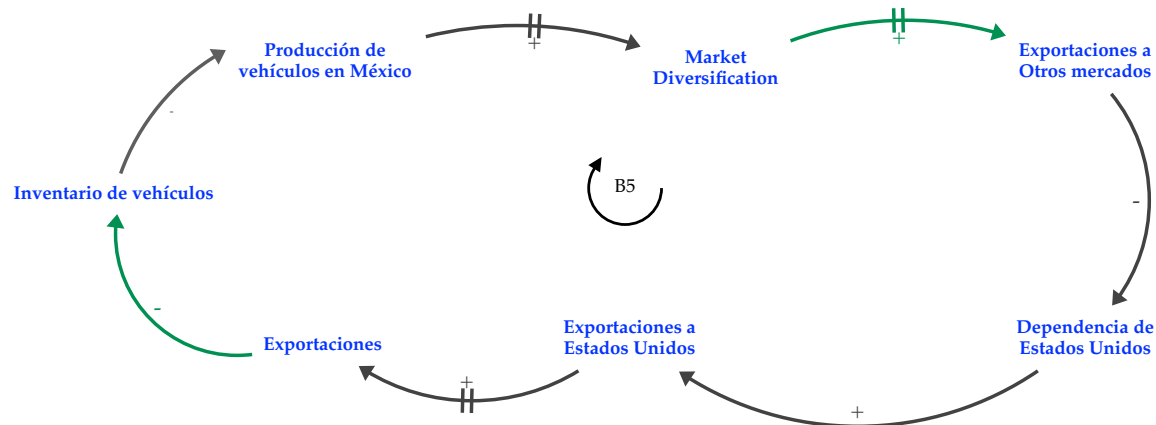


Figura 29 Bucle B5: Mecanismos de transmisión del impacto de los aranceles.

Se realizó la Tabla 17 para comparar las fortalezas de cada uno de los software de simulación disponibles.

Tabla 17 Comparativa de Software de Dinámica de sistemas

Criterio	Stella Architect®	Vensim	AnyLogic	PowerSim
Sistema operativo	Windows, Mac	Windows, Mac, Linux	Windows, Mac, Linux	Windows
Facilidad de uso	Interfaz intuitiva drag & drop.	Curva de aprendizaje moderada.	Complejo, múltiples paradigmas.	Interfaz técnica avanzada.
Visualización	Storytelling visual excepcional.	Diagramas causales estándar.	Gráficos 2D/3D avanzados	Dashboards empresariales.
Capacidades SD	Excelente para DS.	Líder en dinámica de sistemas.	SD como uno de varios métodos	Enfoque en business dynamics
Flexibilidad de modelado	Perfecto balance simplicidad/potencia.	Muy flexible para SD.	Máxima flexibilidad multimodo.	Orientado a procesos de negocio.

Análisis de sensibilidad	Monte Carlo integrado.	Herramientas avanzadas.	Capacidades estadísticas robustas.	Análisis de escenarios básico.
Bucles causales	Representación visual clara.	Representación visual clara.	Diagramas causales limitados	Mapas de influencia básicos.
Documentación	Excelente documentación integrada.	Extensa pero técnica.	Muy completa, pero compleja.	Documentación empresarial.
Precio	\$150 de por vida, con actualizaciones limitadas (excelente relación calidad-precio).	Versión gratis.	\$4,250 University Researcher, vitalicia.	\$3,500-\$8,000/año
Colaboración	Compartir modelos fácilmente.	Limitada	Capacidades colaborativas avanzadas.	Trabajo en equipo empresarial.
Exportación	Modelos interactivos web	Vensim	Aplicaciones standalone.	Reportes ejecutivos.
Soporte técnico	Soporte continuo	Bueno	Profesional pero costoso.	Soporte empresarial.
Optimización	Algoritmos de optimización integrados.	Herramientas básicas.	Optimización avanzada.	Optimización de políticas.
Base de usuarios	Educación + empresas medianas.	Academia + consultoría.	Grandes corporaciones.	Empresas de consultoría.
Integración de datos	Importar/exportar Excel sencillo.	APIs limitadas	Conectividad amplia.	Integración ERP.

La investigación se desarrolló en Stella Architect®, por su compatibilidad para diferentes sistemas operativos, flexibilidad de modelado, integración con Excel y la facilidad para compartir modelos interactivos en la web.

A continuación, se plantean las ecuaciones que permiten modelar el impacto de los cambios en las políticas arancelarias de EE. UU. en la producción del sector automotriz mexicano. Se consideran tendencias de producción y exportación, impactos arancelarios, ajustes en la mano de obra requerida y su efecto en el PIB de México.

4.6.1 Formulación del modelo

El modelo propuesto tiene como objetivo evaluar el impacto de los cambios en las políticas arancelarias de EE. UU. sobre el sector automotriz mexicano. Para ello, se ha diseñado una

estrategia de modelado en dos fases. A continuación, se presenta la formulación detallada de cada fase:

Fase I

Se realizó un análisis del desempeño de la industria automotriz de vehículos ligeros en México a través del repositorio oficial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), organismo responsable de generar y difundir estadísticas económicas y sociales en México (INEGI, 2025b). El período de análisis abarca desde enero de 2005 hasta diciembre de 2025, con una serie temporal de 252 meses. El análisis estadístico del primer conjunto de datos mostró que la producción de vehículos ligeros en el sector automotriz de México tiene una tendencia a aumentar a largo plazo y patrones estacionales que se repiten cada año. Esto concuerda con el método de suavizado exponencial triple (aditivo) propuesto por Holt y Winters. Este método descompone una serie temporal en tres componentes secuenciales: nivel, tendencia y estacionalidad.

Para el cálculo de la mano de obra directa en el sector automotriz de vehículos ligeros en México, se utilizó la clase 336,110 de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM), correspondiente al número de personas empleadas directamente por la unidad económica que fabrica automóviles y camiones. La variable H000A (empleados de la entidad jurídica) se seleccionó como indicador de empleo directo. La base de datos está disponible desde enero de 2018 hasta diciembre de 2025, conformando una serie temporal de 96 meses utilizada para el análisis (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2026). Después de revisar diferentes métodos de estimación, se seleccionó un modelo de regresión lineal que tiene una tendencia clara y una estacionalidad armónica relacionada con la producción. En comparación con los modelos estocásticos simples, este modelo presentó un mejor ajuste (R^2) y menores errores residuales. Incluir una tendencia determinista ayuda a mostrar el crecimiento inercial y los cambios estructurales del sector. Por otro lado, los componentes armónicos (senos y cosenos) representan los ciclos estacionales anuales, lo que ayuda a disminuir el ruido estadístico.

Para el PIB del sector automotriz, expresado en millones de pesos mexicanos, se recopilaron datos históricos del Sistema de Cuentas Nacionales de México, a los que se accedió a través del repositorio oficial del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI),

2026). El análisis de series temporales, que abarca el período de enero de 2005 a febrero de 2025, identificó una trayectoria de crecimiento. Para capturar la dinámica, se formuló un modelo de regresión polinómica no lineal, con una tendencia temporal cuadrática y estacionalidad armónica, lo que proporciona una base sólida para la proyección del PIB.

Producción de vehículos ligeros

Las ecuaciones 1 a 4 conforman el modelo de pronóstico de producción. La ecuación 1 calcula el nivel base ajustado por la temporada. Esto se hace al ponderar el valor observado, que se ha corregido por el componente estacional, y la proyección del nivel anterior, usando $\alpha=0,96$. Este valor equilibra la sensibilidad a las perturbaciones recientes con la estabilidad histórica del proceso de producción. En la simulación, se considera un valor inicial de 135.448 unidades de vehículos ligeros.

$$l_t^P = 0.96(y_t^P - S_{t-12}^P) + 0.04(l_{t-1}^P + b_{t-1}^P) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- $l_t^P(t)$: nivel de producción en el periodo t.
- y_t^P : volumen total de producción observado en el mes t.
- S_{t-12}^P : índice de producción estacional correspondiente al mismo mes, Tabla 18.
- l_{t-1}^P : nivel de producción en el periodo inmediatamente anterior.
- b_{t-1}^P : tendencia de producción para el periodo inmediatamente anterior.

La ecuación 2 actualiza la tendencia (b_t^P) capturando las variaciones en la tasa promedio de cambio del nivel de producción, combinando estas variaciones con la tendencia anterior mediante $\beta=0,06$. Para el inicio de la simulación, se definió una tendencia inicial de 2.825,56 unidades, obtenida calculando la pendiente promedio de la serie histórica de producción de vehículos ligeros durante el primer año del periodo de análisis (2005).

$$b_t^P = 0.06(l_t^P - l_{t-1}^P) + 0.94b_{t-1}^P \quad \text{Ecuación 2}$$

La ecuación 3 ajusta los índices estacionales (S_t^P) que cuantifican los patrones cíclicos anuales inherentes a la demanda industrial y los programas de producción, ponderando la

desviación estacional actual con respecto al patrón del mismo mes del año anterior usando $\gamma=0,16$, lo que confirma que los ciclos mensuales son altamente persistentes y predecibles.

$$S_t^P = 0.16(y_t^P - l_{t-1}^P - b_{t-1}^P) + 0.84S_{t-12}^P \quad \text{Ecuación 3}$$

La ecuación 4 se utiliza para generar la previsión de producción mensual $P(t)$. Esta variable se estima integrando los términos de nivel, tendencia y estacionalidad de las ecuaciones 1 a 3. En el marco de simulación, la previsión resultante se utiliza como trayectoria de producción de referencia, con la que posteriormente se evalúan los escenarios de choque arancelario.

$$P(t) = l_t^P + h b_t^P + S_{t+h-12(k+1)}^P, k = \frac{h-1}{12} \quad \text{Ecuación 4}$$

Los índices estacionales iniciales (S_t^P) se calcularon a partir de datos históricos de producción y se utilizaron para capturar la estructura cíclica recurrente del proceso de producción automotriz. En el modelo, estos índices ayudan a separar la variación estacional habitual y a no confundir los efectos de los aranceles con cambios que son causados por ciclos normales de producción. Esto incluye problemas de capacidad, paradas técnicas, mantenimiento y cambios en los inventarios (Tabla 18).

Tabla 18 Índice estacional (S_t^P) para la producción.

Mes	S_t^P
1	-17,428.58
2	-8,702.57
3	-1,562.32
4	-20,395.60
5	1,816.19
6	14,997.30
7	-29,992.64
8	23,937.65

9	10,907.12
10	33,815.92
11	21,867.11
12	-32,200.95

Exportaciones de vehículos ligeros

La ecuación 5 se utilizó para estimar el volumen mensual de exportaciones de vehículos ligeros $E(t)$, combinando el nivel de producción proyectado de la ecuación 4 con un componente estacional que representa las fluctuaciones anuales recurrentes. Para representar el ciclo estacional de 12 meses, se incorporaron términos armónicos (seno y coseno) a la ecuación. Su inclusión se basó en un análisis de transformada de Fourier de la serie residual histórica, realizado con Python 3.14.1® y las bibliotecas SciPy y NumPy.

$$E(t) = 727.04 + 0.702919P(t) + 213.7334t - 1626.53\sin\left(\frac{2\pi m_t}{12}\right) + 403.275\cos\left(\frac{2\pi m_t}{12}\right) \quad \text{Ecuación 5}$$

donde $m_t \in \{1, 2, \dots, 12\}$ es el índice estacional mensual para el periodo t , que toma valores de 1 a 12 y se repite cíclicamente cada año.

Mano de obra directa

La mano de obra directa $L(t)$ a lo largo del tiempo t depende de la producción actual, tres periodos de producción rezagados (Ecuación 4) y la mano de obra del periodo anterior $L(t)_{(t-1)}$ (Ecuación 6). Los rezagos de producción ($P(t)_{(t-n)}$) nos permiten modelar los tiempos de respuesta operativa de las empresas; la mano de obra no reacciona únicamente a la producción actual, se ajusta gradualmente tras observar la tendencia.

$$L(t) = 1385.8454 - 0.0017788P(t) + 0.0028174P(t)_{(t-1)} - 0.0027096P(t)_{(t-2)} - 0.0014637P(t)_{(t-3)} + 0.9969058L(t)_{(t-1)}$$

Ecuación
6

Producto Interno Bruto

El comportamiento del PIB se modeló mediante una relación no lineal con $P(t)$, incorporando un término cuadrático negativo $-0.000021P^2(t)$ para modelar las caídas asociadas al sector automotriz. También se incluyó un polinomio de segundo grado relacionado con el tiempo para ajustar la forma de la tendencia económica, que señala cambios en la tasa de crecimiento a largo plazo. La ecuación 7 se complementa con componentes armónicas (seno y coseno) basándose en la capacidad de la serie de Fourier para descomponer y reconstruir patrones cíclicos complejos. En este modelo, la combinación de ambas funciones permite ajustar tanto la amplitud como la fase de la estacionalidad anual. Esto asegura que el modelo reconozca un ciclo de 12 meses y la sincronización precisa (fase) de los picos y valles estacionales del PIB, logrando así una importante reducción en la variabilidad de los residuos en comparación con los métodos de variables categóricas.

$$PIB(t) = \rho_{GDP} \left\{ 600800.88 + 26.25P(t) - 0.000021P^2(t) - 15303.23t + 145.23t^2 - 172383.2\sin\left(\frac{2\pi m_t}{12}\right) - 61051.96\cos\left(\frac{2\pi m_t}{12}\right) \right\}$$

Ecuación
7

Fase 2

La segunda fase metodológica se estructuró en dos etapas. La primera etapa abarca el período de marzo a diciembre de 2025 para la calibración y validación del modelo ante la imposición de aranceles. Durante este lapso, se estimó la elasticidad inicial de las variables clave del sistema: producción ($P^\tau(t)$), exportaciones ($E^\tau(t)$), trabajo ($L^\tau(t)$) y PIB ($PIB^\tau(t)$), en respuesta a la imposición de aranceles. Después de ajustar y validar el sistema, se midió el efecto de las políticas comerciales a mediano plazo a través de un análisis de escenarios hipotéticos, enfocado en el periodo de enero de 2026 a diciembre de 2027. Este análisis se estructuró aplicando un arancel $\tau_n(t)$ diferenciado por destino geográfico n ($n = 1$: EE. UU.; $n = 2$: Latinoamérica; $n = 3$: Europa; y $n = 4$: Asia).

Para estimar la elasticidad de cada variable en respuesta a la imposición de aranceles durante el período de marzo a diciembre de 2025, se aplicó el siguiente procedimiento:

- a) Se cuantificaron los valores históricos totales con aranceles.
- b) Se pronosticaron las variables sin aranceles mediante las ecuaciones de la Fase 1.
- c) Se calculó la diferencia entre las variables históricas (Paso 1) y las variables pronosticadas (Paso 2).
- d) Se calculó la razón entre la diferencia del paso 3 y la previsión del paso 2 (Paso 3/Paso 2).
- e) La elasticidad agregada se estimó dividiendo el cambio porcentual (Paso 4) entre el arancel aplicado.

Según lo mencionado, se calcularon los coeficientes de elasticidad. Para la producción, el coeficiente fue de $-1,3756$, lo que indica una fuerte respuesta negativa a la imposición de aranceles. En el caso del trabajo y el PIB, los coeficientes estimados fueron de $-0,3634$ y $-0,288$, respectivamente, con magnitudes menores que reflejan un ajuste moderado. En conjunto, estos resultados cuantifican la respuesta de cada variable a la política arancelaria, proporcionando un indicador para evaluar escenarios alternativos.

Producción de vehículos ligeros

La ecuación 8 estima la producción ajustada por aranceles. Se calcula combinando la previsión de producción base de la ecuación 4 con el coeficiente de elasticidad de la producción asociado a los efectos arancelarios.

$$P^{\tau}(t) = P(t)(1 - 1.3756\tau_1) \quad \text{Ecuación 8}$$

La ecuación 9 muestra cómo el sector automotriz reacciona a las tarifas comerciales de EE. UU. y cómo se mueven los flujos comerciales hacia otros mercados, usando una ecuación diferencial de primer orden. Esta ecuación muestra cómo se acerca la cuota de mercado a un objetivo de diversificación ya definido. La tasa de cambio en la cuota de mercado n depende de forma lineal de la diferencia entre el estado actual y el objetivo.

Se incorporó el parámetro de tiempo de penetración, definido como el tiempo necesario para que la industria reduzca la diferencia entre su cuota de mercado inicial y el objetivo de

diversificación. Este parámetro muestra la inercia operativa, las limitaciones logísticas y los procesos de certificación. Esto asegura que el ajuste no ocurra de inmediato y tenga en cuenta el tiempo necesario para cambiar las condiciones de venta originales y establecer nuevos canales de exportación. Por tanto, el modelo muestra cómo pasa poco a poco de una estructura de mercado simple a una más variada. Esto ayuda a medir la resistencia del sector automotriz frente a problemas externos, como las barreras arancelarias, y ofrece un análisis para simular diferentes situaciones de cambio en el comercio.

$$\frac{dMC_n(t)}{dt} = \frac{M_n^* - MC_n(t)}{T_{m,n}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- $MC_n(t)$: Cuota de mercado o tasa de ventas alcanzada en el mercado durante el periodo t. Condiciones iniciales ($t = 0$: $MC_1 = 83\%$, $MC_2 = 7\%$, $MC_3 = 6\%$ y $MC_4 = 4\%$).
- $M_n^*(t)$: Objetivo de diversificación de mercado. Valores iniciales: $M_1^* = 50\%$, $M_2^* = 18\%$, $M_3^* = 17\%$ y $M_4^* = 15\%$.
- $T_{m,n}$: Meses necesarios para la entrada/salida en cada mercado: n. Valores asignados: $T_{m_1} = 24$, $T_{m_2} = 48$, $T_{m_3} = 48$ y $T_{m_4} = 48$).

La ecuación 10 se utiliza para determinar la producción efectiva $P_{ef}(t)$ en función del objetivo de entrada o salida para cada mercado. Esta formulación permite que el modelo ajuste los niveles de producción en función de la brecha detectada entre el objetivo de diversificación y la cuota de mercado actual para las exportaciones (Gf_n) y el mercado interno (N_m):

$$P_{ef}(t) = P^r(t) \left[\sum_{n=1}^n Gf_n + N_m \right] \quad \text{Ecuación 10}$$

La lógica de decisión para cada mercado se rige por los signos de la brecha con respecto al objetivo. Cuando el objetivo de diversificación supera la cuota de mercado actual ($M_n^*(t) > MC_n(t)$ o ($N_s^* > N_s$)), el objetivo es alcanzar el límite superior de la cuota de mercado, incentivando el flujo de producción hacia regiones con potencial de crecimiento, y se aplican las siguientes funciones: $Gf_n = \max(P_{s,n}, MC_n(t))$ y $Nm = \max(N_s^*, N_s)$. En mercados donde el objetivo es reducir la exposición, ($M_n^*(t) < MC_n(t)$ o ($N_s^* < N_s$)), las funciones

$Gf_n = \min(P_{s,n}, MC_n, t)$ y $Nm = \min(N_s^*, N_s)$. Este enfoque limita la producción al valor mínimo disponible, evitando el exceso de inventario y ajustando la producción en respuesta a condiciones de mercado desfavorables.

Para el mercado interno, (N_s se define como la cuota de mercado inicial (basada en el desempeño histórico del sector, se establece un valor inicial de 0,14), y N_s^* es la cuota de mercado objetivo definida para la diversificación del mercado.

Todas las tasas de cuota de mercado dentro del modelo están normalizadas (suman 1,0), lo que garantiza la coherencia en la asignación de recursos.

Exportaciones de vehículos ligeros

Para determinar el volumen final de exportación, se calcula el impacto de los aranceles sobre las exportaciones ($E^r(t)$). En la ecuación 11, $(1-0.3634\tau_n)$ actúa como coeficiente de contracción, donde τ_n representa la tasa arancelaria.

$$E^r(t) = E(t)(1-0.3634\tau_n) \quad \text{Ecuación 11}$$

Una vez ajustado el volumen de exportación, el flujo de exportaciones reales a cada mercado $E_{ef,n}(t)$ se modela mediante la ecuación 12 sobre la base de la participación de cada mercado a lo largo del tiempo y la producción real.

$$\frac{dE_{ef,n}(t)}{dt} = P_{ef}(t)MC_n(t) \quad \text{Ecuación 12}$$

Esta formulación garantiza que el flujo hacia cada región dependa de la capacidad real del sector para penetrar y consolidarse en ese destino.

Mano de obra directa

La ecuación 13 proyecta el nivel de mano de obra directa como un ajuste en la plantilla que responde a los cambios en el volumen de producción ($P^r(t)$). En lugar de asumir un ajuste

inmediato, el modelo reconoce que el sector automotriz tiene un desfase en el ajuste de la plantilla; no despiden ni contrata personal al mismo ritmo que cambian los cambios mensuales de producción. Este desfase se modela incluyendo desfases de dos y tres meses ($t - 2$) y ($t - 3$), que representan el tiempo de respuesta.

$$L^r(t) = [-2006.1772 - 0.00692666P^r(t) + 0.02142564P^r(t)_{(t-2)} - 0.00925005P^r(t)_{(t-3)}] \frac{\tau_n}{0.25} \quad \text{Ecuación 13}$$

El requerimiento de mano de obra en el período t , denotado por RMO_t , se calcula sobre la base de la relación de empleados por automóvil ($IEA = 0.232$) y el volumen total promedio de exportación durante los tres períodos anteriores (Ecuación 14).

$$RMO_t = IEA \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 E_{ef}(t - k) \quad \text{Ecuación 14}$$

La fuerza laboral efectiva ($L_{ef}(t)$) se calcula mediante la ecuación (15) a partir del requerimiento de mano de obra (ecuación (14)), con un valor inicial de $L_{ef}(0) = 70\,812$ empleados y un período de ajuste de mano de obra T_{Ladj} , medido en meses.

Para modelar la fuerza laboral efectiva ($L_{ef}t$), la ecuación 15 describe el ajuste de mano de obra del sector hacia el nivel deseado. Dado que los cambios no se producen instantáneamente, el modelo busca reducir gradualmente la brecha entre el personal requerido y el disponible a una tasa determinada por el tiempo de ajuste (T_{Ladj}). Este parámetro refleja la inercia administrativa y las demoras operativas inherentes a los procesos de contratación y despido en el sector automotriz, que se estiman en 2 meses.

$$\frac{dL_{ef}(t)}{dt} = \frac{RMO_t - L_{ef}(t-1)}{T_{Ladj}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Producto Interno Bruto

La ecuación 16 modela el impacto económico de las restricciones comerciales sobre el PIB. Se utiliza un coeficiente de elasticidad de -0,288, que cuantifica la sensibilidad del PIB sectorial a los cambios en la política arancelaria.

$$PIB^{\tau}(t) = PIB(t)(1 - 0.2887\tau_n) \quad \text{Ecuación 16}$$

La ecuación 17 es la ecuación de respuesta del PIB y estima la contribución efectiva al PIB del sector automotriz, denotada como $PIB_{ef}(t)$. Se calcula como una función del volumen de producción real, P_{eft} , multiplicado por la contribución marginal al PIB por unidad producida, representada por A_{PIB} . En el modelo, este coeficiente se fijó en 4,6% con base en la relación documentada entre la producción sectorial y la contribución al PIB. Dentro del marco de simulación, la ecuación 17 se utiliza para traducir los cambios en la producción real en cambios en la contribución efectiva al PIB del sector bajo condiciones arancelarias.

$$\frac{dPIB_{ef}(t)}{dt} = A_{PIB}P_{eft}(t) \quad \text{Ecuación 17}$$

4.6.2 Validación

Usando la información de la Figura 5 y las ecuaciones de la Sección 4.6.1, se verifican las ecuaciones propuestas para predecir el impacto de los aranceles en el empleo, la producción y las exportaciones.

Los resultados de la validación estadística confirman la alta precisión predictiva de la arquitectura híbrida propuesta. En el ajuste histórico sin tarifas, se hallaron coeficientes de correlación de Pearson mayores a 0,90 para todas las variables, resaltando un buen rendimiento para el empleo ($r = 0,976$) y el PIB ($r = 0,958$). En la simulación bajo impactos arancelarios, el modelo mantuvo una robustez significativa con un MAPE inferior al 12 % para las exportaciones, el PIB y el trabajo. La diferencia encontrada en la variable Producción (MAPE 30,67 %) es coherente con la inestabilidad natural del sector frente a cambios bruscos en el inventario. La correlación de 0,841 muestra que el modelo dinámico capta bien la tendencia y la dirección de los cambios en el sistema (Tabla 7).

Tabla 19 Validación estadística de datos históricos observados en escenarios con y sin aranceles.

Variable	Fase 1: Datos históricos sin aranceles				Fase 2: Datos históricos con aranceles			
	MAE	RMSE	MAPE (%)	Correlación de Pearson (r)	MAE	RMSE	MAPE (%)	Correlación de Pearson (r)
Exportación	22,109.85	28,456.12	8.94	0.935	31,987.56	45,618.32	11.21	0.792
Producción	41,235.18	52,901.44	14.52	0.912	99,442.22	114,834.70	30.67	0.841
Trabajo	1421.34	1894.22	1.87	0.976	2754.11	3122.45	3.24	0.887
PIB	542,118.3	689,451.9	6.12	0.958	1,189,523.6	1,421,902.1	10.14	0.815

Estos resultados confirman que el modelo es capaz de reproducir las tendencias generales y los patrones cíclicos presentes en la serie histórica. Por eso, se usaron las ecuaciones del modelo de simulación para predecir cómo se comportará el sector automotriz en diferentes situaciones. Esto permitió hacer predicciones que coinciden con los ciclos mensuales observados y simular futuros o cambios en las políticas de aranceles.

En la Fase 2, el periodo comprendido entre marzo y diciembre de 2025 se utilizó exclusivamente para la calibración de los parámetros de elasticidad y la validación del modelo base con aranceles. Los escenarios diseñados para evaluar la imposición de aranceles y la sensibilidad de la elasticidad de la demanda comienzan en enero de 2026 y se extienden a lo largo de un horizonte de 24 meses hasta diciembre de 2027.

También se valida el modelo con base en la prueba discutida por Forrester (Forrester et al., 1976) de condiciones extremas para verificar que proporciona resultados razonables y, por lo tanto, está libre de errores en su estructura en todas las hipótesis del diagrama causal que se muestran en la Figura 27. Sin embargo, para fines de visualización, la Figura 30 muestra la validación del efecto de las unidades exportadas en la Producción (a), Exportaciones (b) y Personal (c) PIB (d).

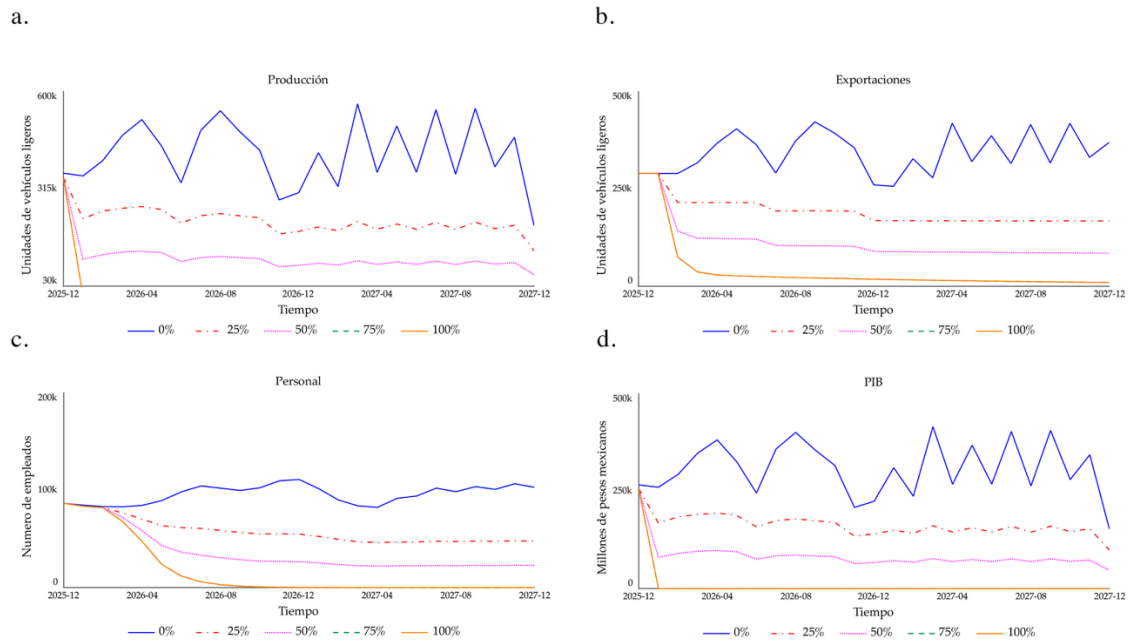


Figura 30 Prueba de condiciones extremas: Cambio en los aranceles

Se destacan los efectos negativos de los valores extremos de los aranceles. A medida que los aranceles se incrementan, se observa una disminución significativa en la producción, las exportaciones, el personal y el PIB, lo que indica que los aranceles elevados afectan negativamente la actividad económica. En particular, el empleo en el sector se ajusta gradualmente, con una estabilización a niveles más altos de aranceles, lo que sugiere que las empresas no pueden sostener la fuerza laboral en un entorno de altos costos y menores expectativas de crecimiento. Este comportamiento muestra que los altos aranceles tienen efectos negativos, afectando la producción y la economía a largo plazo, y destaca la necesidad de políticas comerciales justas que no detengan el crecimiento y la competitividad.

4.6.3 Resultados del modelo de simulación

Escenario Uno: Sin Aranceles

El escenario uno, correspondiente a un régimen de libre comercio sin aranceles con Estados Unidos, sirve como base para examinar la dinámica del sector automotriz mexicano. Este escenario permite observar el comportamiento de la producción, las exportaciones, el empleo y el PIB para analizar qué habría ocurrido si no se hubieran introducido aranceles.

La trayectoria de producción en la Figura 31 muestra un patrón oscilatorio durante el horizonte analizado, con picos de expansión de 563,517 unidades y mínimos de 206,921 unidades. Este patrón indica que, incluso en un sistema de libre comercio, funcionará con ciclos de crecimiento y ajuste que están relacionados con cambios en la demanda, la gestión de inventarios y el uso de la capacidad instalada.

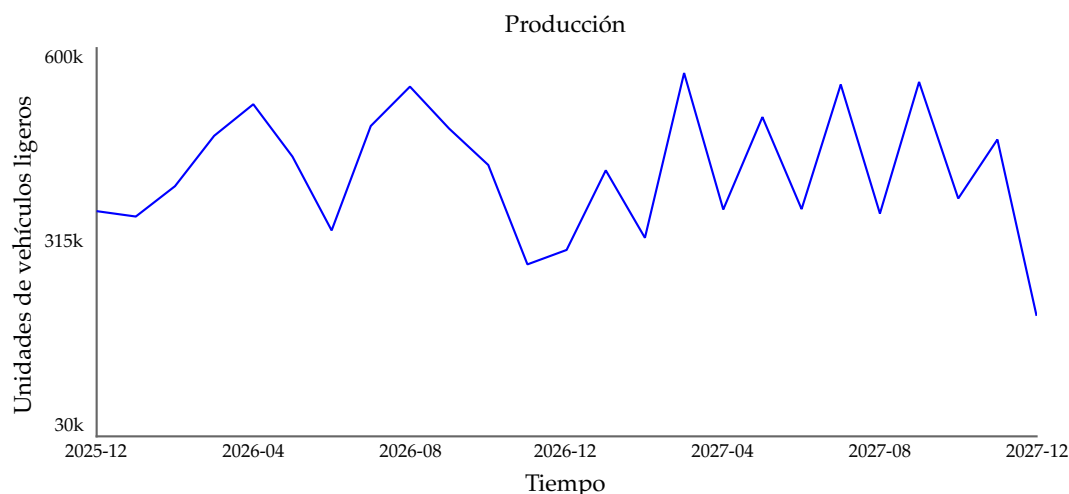


Figura 31 Pronóstico de producción sin aranceles.

Las exportaciones totales que se muestran en la Figura 32 se mantienen dentro de un rango aproximado de 255.582 a 419.918 unidades, con periodos de expansión y recuperación. Incluso en ausencia de restricciones comerciales, las fluctuaciones cíclicas de la demanda impulsan el desempeño de las exportaciones. El mercado estadounidense representa la mayor parte de los envíos, mientras que Latinoamérica, Europa y Asia tienen una participación marginal, lo que constituye una vulnerabilidad ante cambios en la política comercial de Estados Unidos.

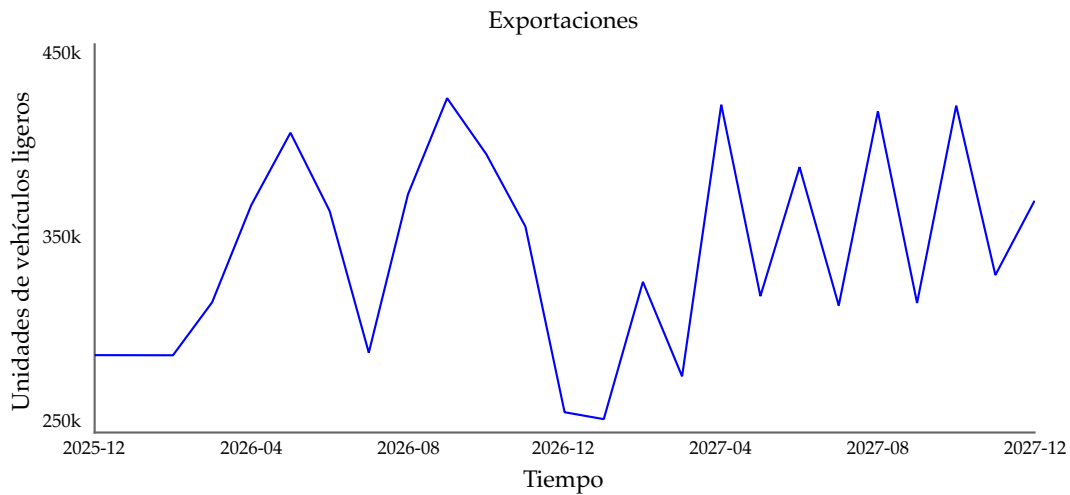


Figura 32 Pronóstico de exportaciones sin aranceles.

La fuerza laboral en la Figura 33 muestra una trayectoria relativamente estable, manteniéndose dentro de un rango de 82.421 a 111.062 personas, con una fase inicial de crecimiento, una corrección intermedia y una posterior recuperación parcial hacia el final del período. A diferencia de la producción, cuya dinámica es más volátil, el empleo presenta una respuesta más gradual. Este comportamiento indica que los ajustes en la producción y la actividad exportadora no se traducen de forma inmediata ni proporcional en la demanda de mano de obra. Esto revela una desvinculación parcial entre producción y trabajo, con implicaciones directas para la productividad y la eficiencia operativa del sector.

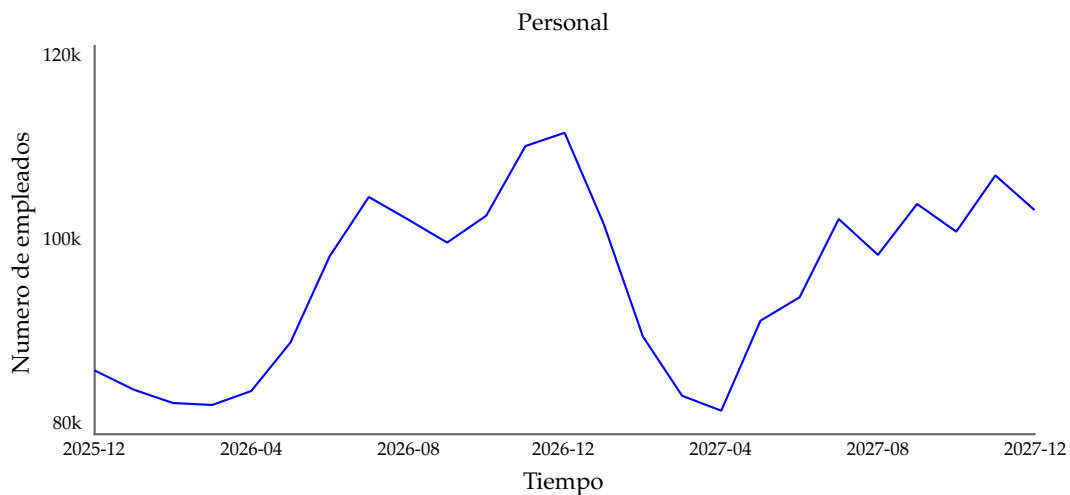


Figura 33 Pronóstico de la fuerza laboral sin aranceles.

El PIB en la Figura 33 sigue una trayectoria que va desde 1.722.731.148 hasta 4.691.589.004 millones de pesos, con un patrón que refleja casi directamente la dinámica de la producción, lo que confirma la dependencia del PIB del sector respecto a su desempeño industrial.

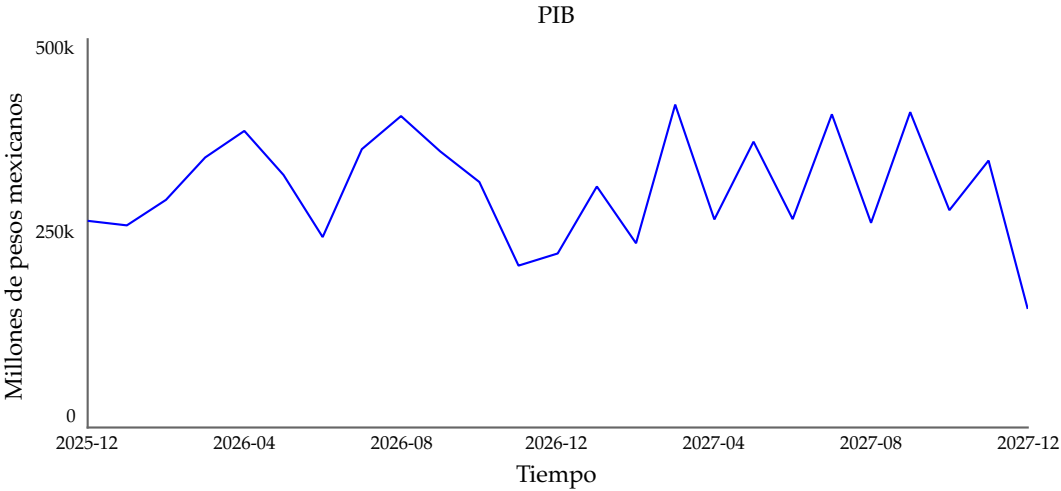


Figura 34 Pronóstico del PIB del sector automotriz sin aranceles.

El escenario base muestra una estructura de producción altamente dependiente del mercado estadounidense, con una diversificación incipiente hacia Latinoamérica, Europa y Asia, y una capacidad limitada del mercado interno para amortiguar las fluctuaciones. La fuerte correlación entre producción, empleo y PIB confirma la vulnerabilidad sistémica del sector ante perturbaciones externas.

Escenario Dos: Aumento Arancelario en EE. UU. (0–25%)

El escenario dos introduce la aplicación progresiva de aranceles en EE. UU., principal destino de las exportaciones automotrices mexicanas. Se evaluaron seis simulaciones con incrementos del 5% en el arancel, desde el 0% (línea azul continua), 5% (línea roja), 10% (línea rosa), 15% (línea verde), 20% (línea naranja continua) y, finalmente, 25% (línea morada), para analizar la sensibilidad del modelo a los cambios en la política comercial.

La Figura 35 presenta el comportamiento mensual de la producción automotriz bajo diferentes niveles arancelarios. La línea azul superior corresponde al escenario base, mientras

que las demás curvas reflejan las trayectorias a medida que aumenta el arancel. En general, todas las series mantienen un patrón cíclico, con picos y valles que se producen en los mismos periodos, lo que indica que la estructura temporal del sistema permanece estable. Sin embargo, la escala de producción disminuye significativamente, lo que confirma que el impacto altera la forma del ciclo y la magnitud del volumen fabricado.

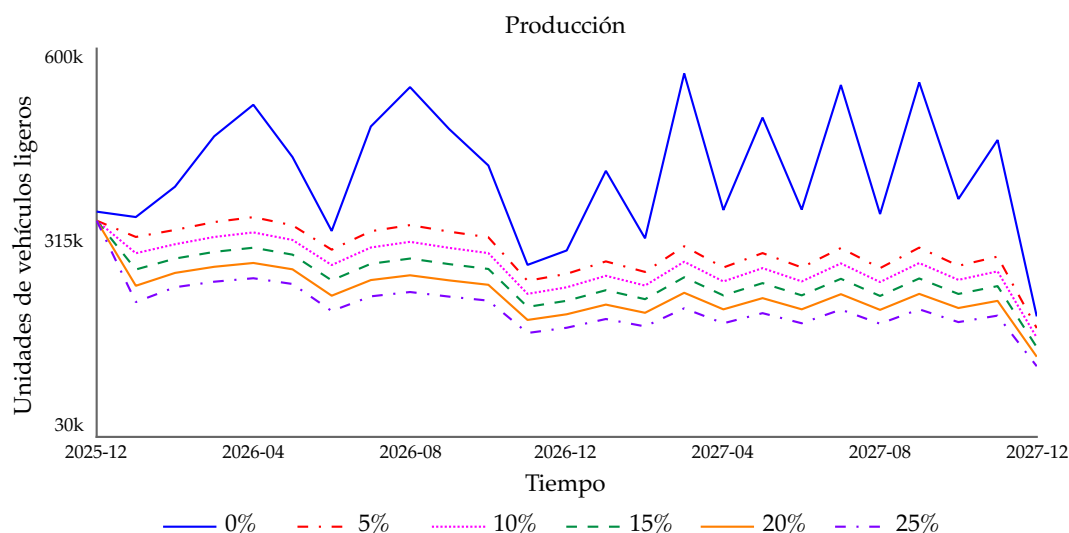


Figura 35 Comparación del comportamiento de la producción en diferentes escenarios: aranceles del 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%.

En términos acumulativos, el sistema pasa de 10.075.567 unidades en el escenario base a 6.610.544 unidades con un arancel del 25%, lo que representa una pérdida absoluta de 3.465.023 unidades y una contracción relativa del -34,39%. Esta disminución corresponde a una reducción estructural de la capacidad de producción.

Las exportaciones totales caen de 8.041.894 a 5.564.260 unidades, con una pérdida de 2.477.634 y una variación relativa del -30,81%. En concreto, las exportaciones a Estados Unidos disminuyeron de 7.419.235 a 4.821.380 unidades, lo que representa una reducción absoluta de 2.597.855 y una contracción del 35,01%. La proximidad entre esta disminución y la de la producción confirma que el mercado estadounidense es el principal destino de la demanda dentro del sistema. En febrero de 2026, el impacto se manifestó cuando las exportaciones a Estados Unidos cayeron a 183.528 unidades, una contracción mensual del 28,5% en comparación con el escenario base. A partir de ese momento, el sistema no logra restablecer el flujo de exportaciones anterior; el sector carece de la capacidad inmediata para

redirigir el comercio o de la flexibilidad suficiente para reconfigurar su cartera de destinos a la velocidad requerida.

La fuerza laboral confirma que el impacto externo contrae los flujos físicos y destruye la mano de obra asociada a la operación de la cadena de producción (Figura 36). La fuerza laboral acumulada disminuye de 2.311.556 a 1.605.716, con una pérdida absoluta de 705.840 equivalentes de mes-hombre y una variación relativa del -30,53%. Esta magnitud demuestra que la reducción de la actividad manufacturera se traduce en una contracción de la fuerza laboral.

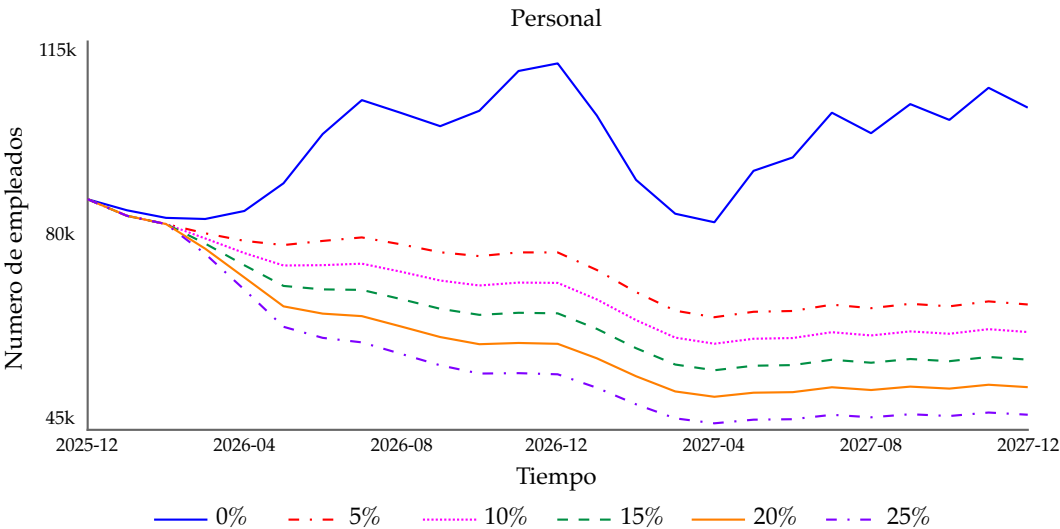


Figura 36 Comparación del comportamiento de la fuerza laboral bajo diferentes escenarios: aranceles del 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%.

El PIB sectorial cayó de \$83,884,621 a \$54,994,32 millones de pesos, lo que representa una pérdida de \$28,890,300 millones de pesos y una variación relativa del -34.44%. La estrecha correlación entre esta disminución y la disminución de la producción (-34.39%) muestra un vínculo directo entre la cantidad producida y el valor económico generado. Cuando el mercado estadounidense se contrae, disminuye la producción, la capacidad del sistema para transformar insumos, mano de obra y organización en valor agregado.

El análisis del Escenario Dos revela la alta vulnerabilidad sistémica del sector automotriz mexicano ante los aumentos arancelarios en Estados Unidos. La producción y las exportaciones muestran pronunciadas caídas, con efectos directos sobre el empleo y el PIB.

Aunque Latinoamérica, Europa y Asia aumentan su participación de mercado, su capacidad compensatoria es insuficiente para contrarrestar el daño en el mercado estadounidense, lo que genera mayor inestabilidad económica y posibles pérdidas de empleo en los sectores afectados. La elasticidad negativa de las variables clave muestra que el sector no tiene una buena capacidad para enfrentar problemas externos. Esto resalta la necesidad de crear estrategias logísticas para diversificar mercados, disminuir la dependencia y fortalecer el mercado interno. Este escenario resalta la necesidad de formular políticas industriales y comerciales orientadas a mitigar riesgos y garantizar la sostenibilidad del sector en contextos de alta incertidumbre global.

Escenario Tres: Arancel del 25 % y Cambio en los Coeficientes de Elasticidad de la Producción

Dado que Estados Unidos es el principal destino de las exportaciones de vehículos ligeros, las variaciones en la sensibilidad de la demanda a los cambios de precios afectan directamente la programación de la producción y la utilización de la capacidad instalada en el sector automotriz mexicano. Los parámetros se basan en la evidencia empírica reportada por Leard y Wu (Leard & Wu, 2023). Ellos estiman una elasticidad precio agregada de $-0,50$ para el mercado de vehículos ligeros nuevos y, al desagregar por segmento, obtienen valores de $-1,60$ para automóviles de pasajeros y $-0,85$ para camionetas ligeras (SUV, pickups y furgonetas). Se utilizó la referencia bibliográfica sobre la elasticidad de la demanda externa para entender la elasticidad de la producción, con la idea de que la respuesta del mercado impacta directamente la producción nacional, que es el mercado principal. En los gráficos, la línea azul representa una elasticidad de $-1,60$, la línea roja corresponde a $-0,50$ y la línea rosa refleja $-1,3756$, valor calculado como el coeficiente de elasticidad de la producción.

La comparación revela una penalización sistémica a medida que aumenta la elasticidad. La producción total disminuye de 8,63 millones de unidades en el escenario base a 6,47 millones en el escenario intermedio y a 5,91 millones en el escenario de alto crecimiento, lo que representa reducciones del 25,02 % y del 31,43 %, respectivamente. Se observa el mismo patrón de ajuste en las exportaciones totales, el PIB sectorial y el mercado interno. Mientras tanto, el empleo muestra una contracción relativamente menor en términos acumulados

(-18,44 % y -23,30 %). Esto sugiere una respuesta del mercado laboral menos inmediata que la observada en las variables reales del sistema.

La Figura 37 confirma que una disminución en la elasticidad de la demanda externa reduce la producción. Un cambio en la elasticidad de -0,5 a -1,6 disminuye el volumen total de producción en un 31,43%. Por otro lado, el escenario intermedio con una elasticidad de -1,3756 muestra una pérdida similar a la del escenario de alto crecimiento. En el último período, la producción por debajo de -1,6 representa solo el 68,57% de la observada con -0,5. El escenario de -1,3756 alcanza el 74,98%, lo que demuestra que una menor sensibilidad en el mercado estadounidense desplaza toda la trayectoria hacia un nivel de producción más bajo.

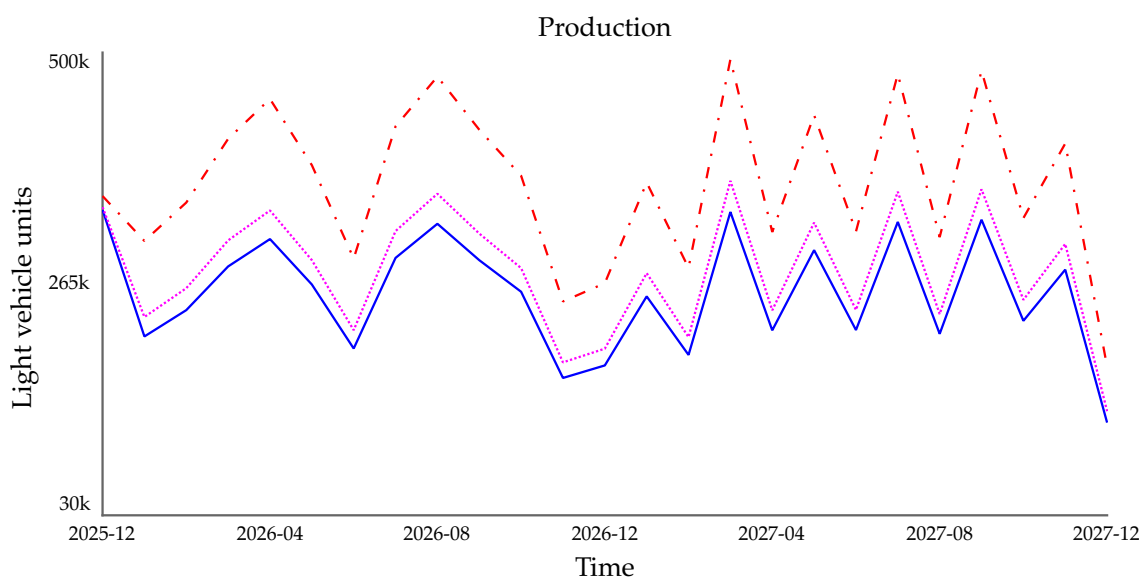


Figura 37 Impacto de un arancel del 25 % y cambios en la elasticidad de la producción

Las exportaciones se ajustan a este principio general, aunque con una concentración espacial significativamente mayor: las ventas a Estados Unidos son las más afectadas y constituyen la mayor parte de la contracción total de las exportaciones, mientras que Latinoamérica, Europa y Asia experimentan reducciones leves. En consecuencia, la disminución del comercio exterior no se debe a una redistribución homogénea entre destinos, es una alta dependencia del mercado estadounidense. Este hallazgo indica que la estructura exportadora carece de la flexibilidad necesaria para redirigir la capacidad ociosa hacia mercados

alternativos cuando la oferta en Estados Unidos se vuelve menos elástica; por lo tanto, una mayor reactividad por parte de los consumidores estadounidenses se traduce casi de inmediato en una menor producción nacional, menores volúmenes de exportación y menor utilización de la capacidad productiva.

El trabajo (Figura 38) se comporta de manera diferente a la producción y las exportaciones. En el primer período, el escenario -1.6 aún mantiene el 98.2% del empleo observado en el escenario -0.5, a pesar de que la producción ya ha caído a aproximadamente el 68.5% del nivel base. Este desacoplamiento temporal refleja el tiempo de ajuste de la mano de obra, durante el cual no puede reducirse instantáneamente al mismo ritmo que la disminución de la producción.

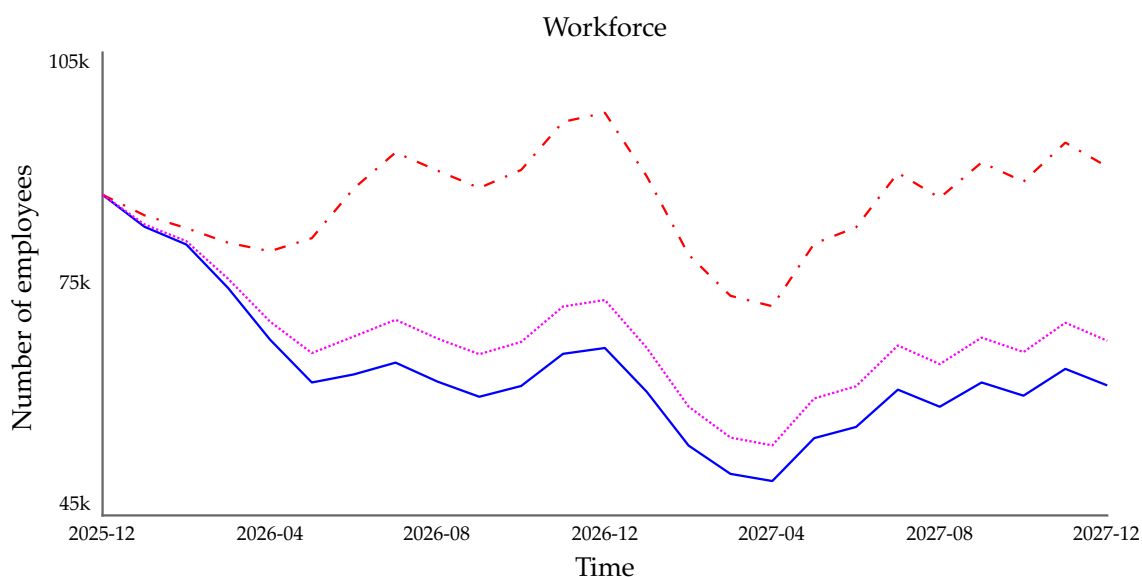


Figura 38 Impacto de un arancel del 25 % y variaciones en la elasticidad de la demanda laboral.

Sin embargo, a medida que avanza el horizonte de simulación, la producción se ajusta gradualmente al empleo, mientras que la absorción de la fuerza laboral experimenta un retraso temporal. Durante este período, el sistema incurre en un costo creciente de ineficiencia, ya que mantiene una fuerza laboral sobredimensionada en relación con el nuevo volumen de producción. Esta pérdida de eficiencia se evidencia en la relación empleo-

producción, que se deteriora significativamente en los primeros períodos bajo el escenario de menor elasticidad.

El PIB sectorial, por otro lado, refleja con exactitud el comportamiento de la producción. La reducción acumulada de la producción es del -25,02 % para el escenario de -1,3756 y del -31,43 % para el escenario de -1,6, idéntica a la observada en la producción y en el mercado interno.

La Tabla 20 resume los efectos acumulados y promedio de los cambios en la elasticidad precio de la demanda sobre las principales variables del sistema automotriz. Al comparar los escenarios de -0,5, -1,3756 y -1,6, se observa que la mayor sensibilidad absoluta del mercado estadounidense amplifica la contracción de la producción, las exportaciones, el PIB sectorial, el empleo y el mercado interno. Esto pone de manifiesto la vulnerabilidad logística del sistema ante cambios en el comportamiento del mercado con mayor influencia.

Tabla 20 Comparación cuantitativa de elasticidades, escenario 3.

Variable (Acumulada/Promedio)	Escenario -0.5	Escenario -1.3756	Escenario -1.6	% de cambio (-1.3756 vs. -0.5)	% de cambio (-1.6 vs. -0.5)
Producción	8,625,000	6,467,000	5,914,000	-25.02%	-31.43%
Exportaciones	7,450,000	5,640,000	5,180,000	-24.29%	-30.46%
PIB sectorial	71,800,000	53,835,000	49,233,000	-25.02%	-31.43%
Trabajo	2,060,000	1,680,000	1,580,000	-18.44%	-23.30%
Mercado interno	1,050,000	787,290	720,000	-25.02%	-31.43%

4.6.4 Manual de usuario

A continuación se desarrolla el manual de usuario para guiar el uso del modelo de simulación de los efectos de las políticas arancelarias en las de suministro manufactureras de México, disponible en <https://exchange.iseesystems.com/public/laura-valentina-bocanegra-villegas/effects-of-tariff-policies-on-national-production/index.html#page1>. Este manual permite analizar el comportamiento del efecto de los aranceles en las exportaciones por destino geográfico, producción y empleados directos. La Figura 39 muestra la ventana de este programa.



Figura 39 Inicio-Efectos de las políticas arancelarias en las de suministro manufactureras de México

La segunda ventana del programa muestra el diagrama causal que fundamenta la simulación y explicación del objetivo del modelo. Evaluar el impacto de los cambios en los aranceles sobre variables clave como la producción, el mercado interno, las exportaciones (a EE. UU. y otros mercados), el empleo y el PIB sectorial. Estas variables están interrelacionadas y se describen detalladamente en un diagrama causal visible en la pantalla (Figura 40).

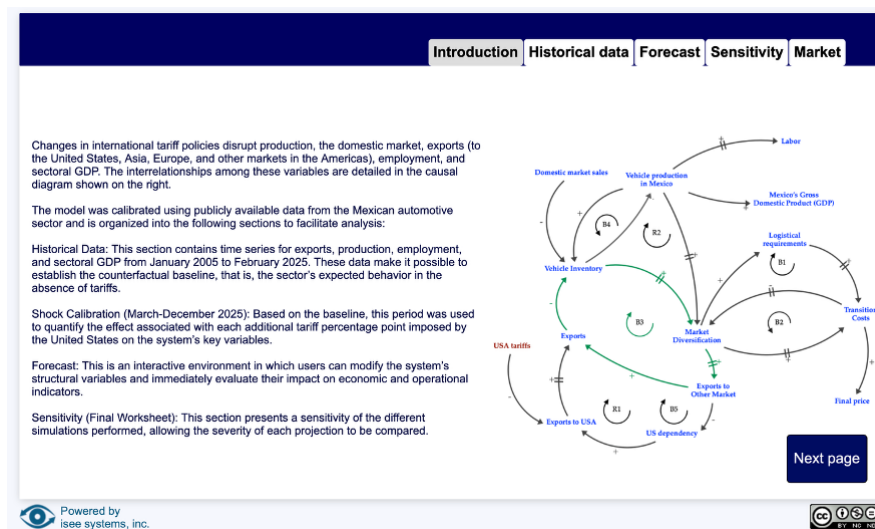


Figura 40 Introducción al software

En la pestaña Históricas, se presentan gráficas que van de enero de 2005 a agosto de 2025 sobre las principales variables del modelo: producción (Figura 41a), exportaciones (Figura 41b), número de empleados (Figura 41c) y PIB (Figura 41d).

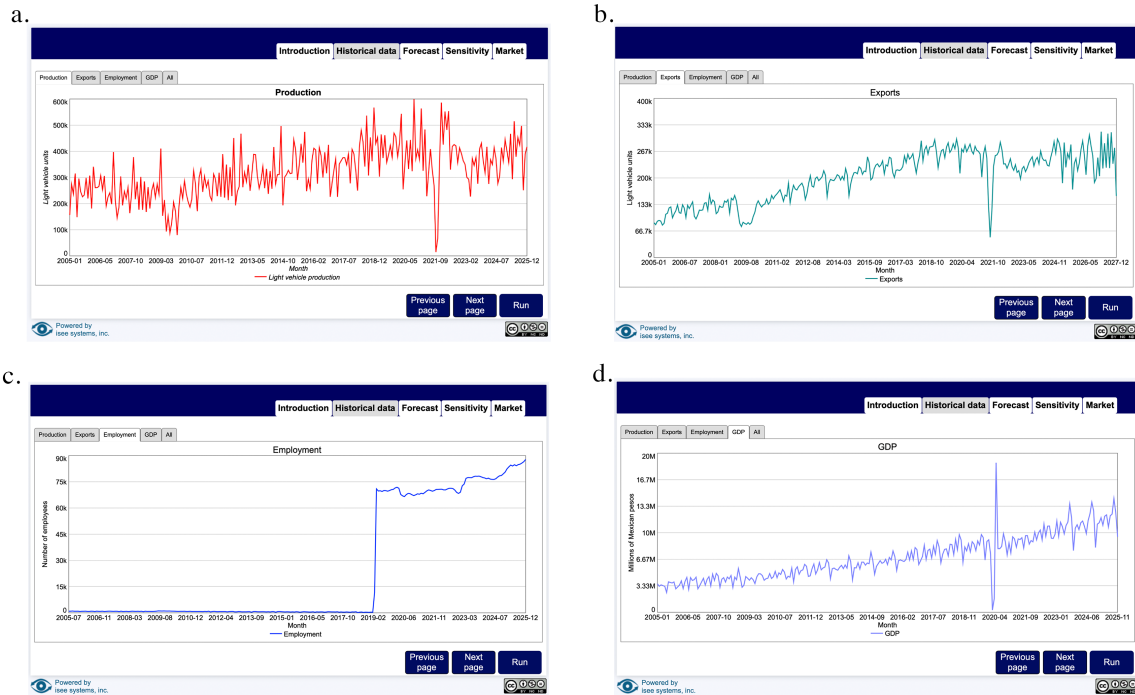


Figura 41 Simulación de exportaciones, producción, empleados y PIB.

La Figura 42 permite simular el impacto de cambios arancelarios en el sector automotriz mexicano. Los usuarios pueden ajustar parámetros clave como el porcentaje de arancel (entre 0% y 100%) utilizando el control deslizante en la parte izquierda de la ventana. Además, los usuarios pueden ajustar variables adicionales como el número de empleados necesarios para la fabricación de un automóvil, la contribución marginal al PIB, el ajuste laboral en meses y el índice de elasticidad. Esto permite medir cómo los cambios en los aranceles impactan la producción y el mercado laboral.

Los valores ajustados se reflejan inmediatamente en las proyecciones mostradas en el gráfico del lado derecho.

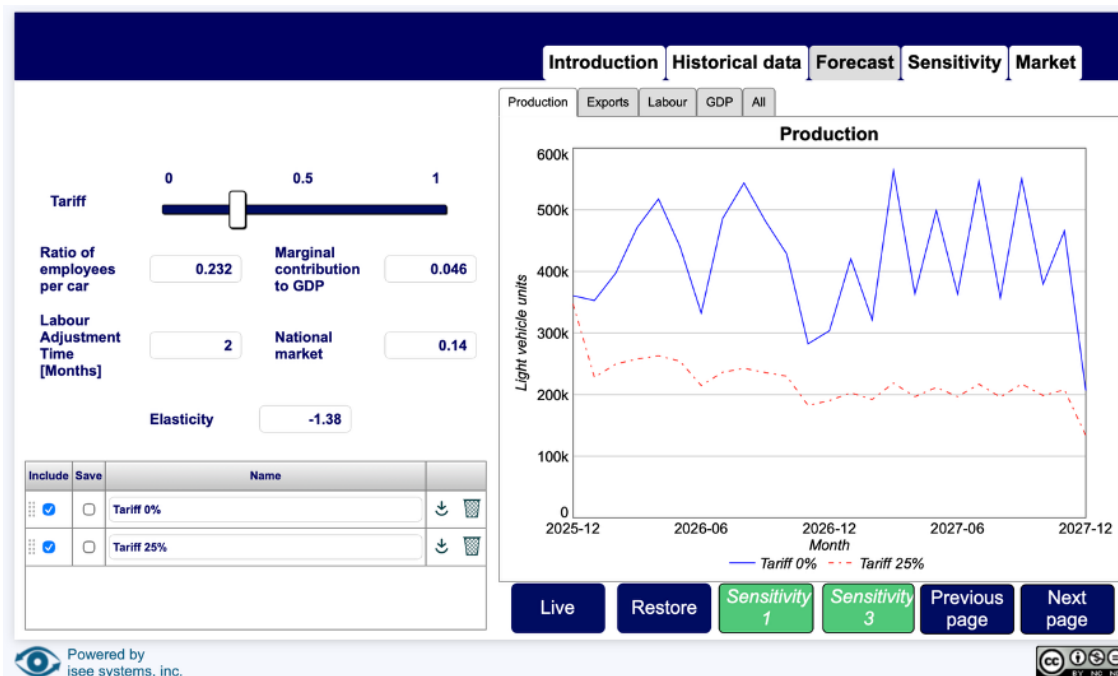


Figura 42 Pronóstico de las variables clave

En la Figura 43, los usuarios pueden simular los escenarios desarrollados en la sección 4.6.3, evaluando cómo las políticas arancelarias impactan en la producción del sector automotriz mexicano. En la parte inferior izquierda de la ventana, los usuarios pueden ver los aranceles y al hacer clic en el botón “Live”, el modelo ejecuta la simulación en tiempo real, actualizando el gráfico y las proyecciones de producción, exportación y PIB sectorial inmediatamente según los cambios realizados en los parámetros.

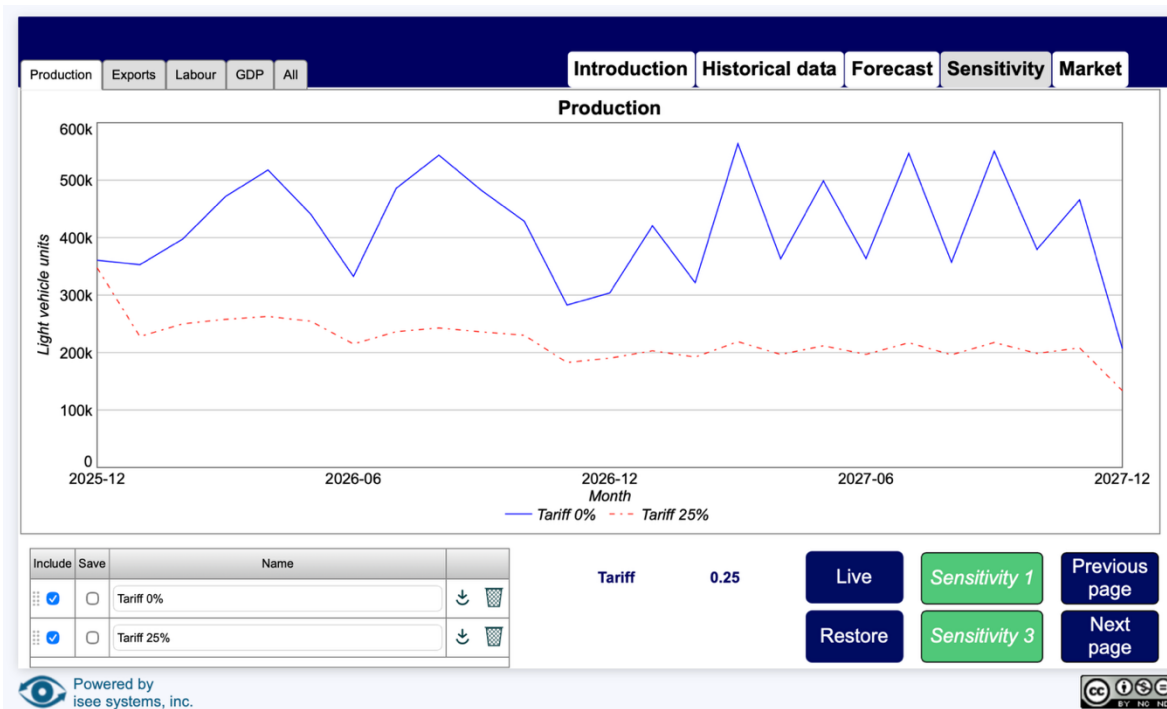


Figura 43 Simulación de escenarios con diferentes niveles arancelarios

En la Figura 44, los usuarios pueden simular el impacto de diferentes niveles de aranceles sobre el sector automotriz mexicano, pero con un enfoque en diversificación del mercado. En esta sección, se puede observar un conjunto de controles que permiten ajustar las variables clave para la simulación:

- **Control deslizante de aranceles:** A la izquierda, los usuarios pueden ajustar el nivel de arancel (de 0% a 100%) usando el control deslizante. Este parámetro afecta directamente la producción de vehículos y los resultados económicos de las simulaciones.
- **Opciones del mercado:** En la parte superior izquierda, se especifica la diversificación del mercado a los destinos principales: EE.UU, América, Europa y Asia.
- **Tiempo de ajuste laboral:** Este parámetro refleja el tiempo requerido para adaptar la fuerza laboral a cambios en la producción.
- **Porcentaje de ventas por región:** En este caso, el 83% de las ventas están dirigidas a EE. UU.
- **Tiempo de penetración del mercado:** Este valor indica cuántos meses se tarda en establecer una penetración significativa en el mercado estadounidense.

- Elasticidad: Indica la sensibilidad de la producción de vehículos ante variaciones en otros factores clave, como el precio de la mano de obra o las políticas comerciales internacionales. Un valor negativo de elasticidad (como -1.38) indica que un aumento en los costos (por ejemplo, los aranceles) lleva a una reducción en la producción, reflejando una relación inversa entre ambos factores. De esta manera, la elasticidad permite entender cómo cambios en los parámetros del modelo impactan el comportamiento de la producción y, en última instancia, las proyecciones económicas del sector.

A la derecha, el gráfico permite visualizar cómo cambian las variables clave en cada configuración. Los botones interactivos permiten:

- Live: ejecuta la simulación en tiempo real con los parámetros actuales, actualizando el gráfico de producción y otros indicadores económicos.
- Restore: Restaura los valores predeterminados del sistema, permitiendo volver a los parámetros originales antes de cualquier ajuste.
- Sensitivities 1 y 3: Permiten ejecutar simulaciones bajo escenarios de sensibilidad, variando diferentes factores del modelo para evaluar su impacto en los resultados.
- Previous page y Next page: Para navegar entre las diferentes secciones del modelo, para explorar otros análisis o parámetros.

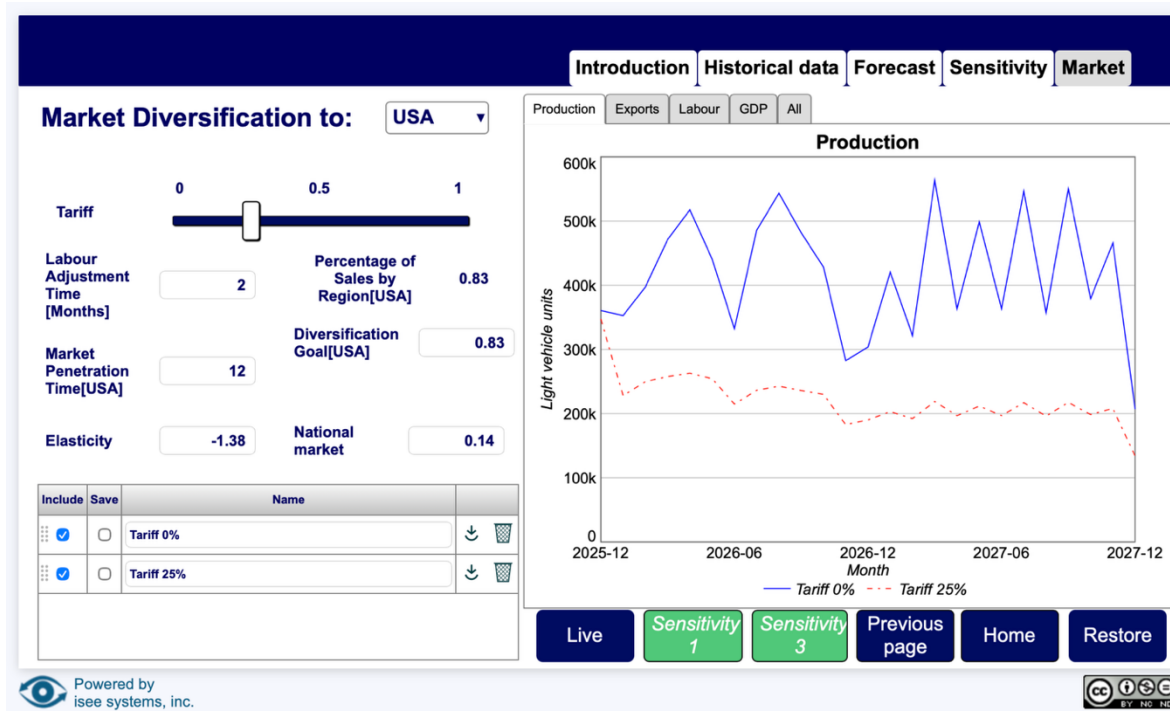


Figura 44 Impacto de los aranceles y la diversificación del mercado sobre la producción del sector automotriz mexicano

4.7 Identificación de estrategias de mitigación

Luego de caracterizar la cadena de suministro, identificar los riesgos asociados a políticas públicas arancelarias, y cuantificar mediante simulación el impacto de estos riesgos, esta sección se enfoca en la identificación y clasificación de estrategias de mitigación que las empresas manufactureras del sector automotriz mexicano pueden adoptar para reducir su exposición a disrupciones derivadas de variaciones en las políticas arancelarias.

La tabla 20 muestra las diferentes estrategias identificadas para transformar la vulnerabilidad en resiliencia; el planteamiento se basa en análisis previos de elasticidades y fuentes de información externas.

Tabla 21 Resumen de estrategias y acciones por categoría

Categoría	Estrategia	Descripción	Plazo	Impacto esperado	Responsable
Defensa comercial	Cumplimiento estricto USMCA/T-MEC.	Asegurar cumplimiento de Reglas de Origen (Contenido de Valor Regional (RVC)>75% para autos).	Inmediato (0-6 meses).	Evitar aranceles de 2.5%-25% en productos certificados.	Gobierno + armadoras
Defensa comercial	Negociación bilateral México-EE. UU.	Extensión de exenciones temporales, revisión 2026 USMCA.	Inmediato (0-3 meses).	Reducir aranceles de 25% a 10-15% o postergar implementación.	Gobierno (Presidencia)
Defensa comercial	Aprovechar los programas In-Bond e IMMEX para optimizar la operación.	Uso de IMMEX para diferir aranceles, In-Bond para retrasar los aranceles.	Corto (1-6 meses).	Diferir o evitar aranceles EE. UU. en tránsito México-Canadá.	Empresas + Agentes de carga
Diversificación geográfica	Desarrollo de mercados alternativos.	Expansión de exportaciones a Asia-Pacífico, Europa, América Latina.	Mediano (1-3 años).	Reducir exposición USA de 0.83 - 0.55 (diversificación intensa).	OEMs + TIER 1 + ProMéxico
Nearshoring	Nearshoring de componentes críticos a México.	Relocalizar la producción de Asia/China a México para cumplir RVC.	Mediano (1-3 años).	Aumentar RVC regional 62% - 75%, evitar aranceles.	OEMs + TIER 1/2
Reshoring	El ensamblaje final se realiza en EE. UU. mediante reshoring.	Trasladar ensamblaje final a plantas EE. UU. para evitar aranceles.	Largo (3-5 años)	Eliminar aranceles en vehículos completos (2.5-25%).	OEMs
Mejorar la eficiencia de la cadena de suministro	Diversificación de proveedores.	Reducir dependencia de una única fuente, crear redundancias.	Corto-mediano (6 meses-2 años)	Reducir 35% dependencia China, aumentar 28% el aprovisionamiento en México.	OEMs + TIER 1.
Innovación / transformación	Electrificación (componentes de los vehículos eléctricos).	Transición a componentes para vehículos eléctricos	Largo (3-5 años)	Reducir exposición a aranceles en componentes tradicionales.	OEMs + TIER 1

			(menores aranceles).			
Política fiscal	Incentivos fiscales para exportadores.		Reducción Impuesto Sobre la Renta (ISR), Valor Agregado IVA, impuestos combustibles para exportadores	Inmediato (0-6 meses)	Compensar parcialmente costos arancelarios (5-10% de reducción).	Gobierno (SAT, Secretaría de Economía), Departamento de Comercio de EE. UU.
Política fiscal	Programas de devolución de impuestos.		Devolución de del IVA a exportadores,	Corto (3-6 meses).	Mejorar flujo de caja, reducir 2-3% costos operativos.	Gobierno (SAT), Departamento de Comercio de EE. UU.
Colaboración sectorial	Consolidación TIER 2/3.		Fusiones/adquisiciones para lograr economías de escala.	Mediano-largo (2-4 años).	Aumentar competitividad, resistir presión arancelaria.	TIER 2/3.
Capacitación	Capacitar/mejorar las habilidades de la fuerza laboral		Capacitación para cumplir requisito \$16/hora USMCA.	Mediano (1-2 años).	Cumplir con el requisito de 40-45% de contenido de valor laboral.	Gobierno + Empresas + Universidades.
Gestión de riesgo	Coberturas/contratos a plazo sobre tipo de cambio		Cobertura de tipo de cambio ante volatilidad.	Inmediato (0-3 meses).	Reducir volatilidad 15% - 5-8%.	Directores de empresas + Bancos.
Gestión de riesgo	Planeación de escenarios y sistemas de alerta temprana.		Monitoreo activo de cambios en la política, activación de contingencias.	Inmediato (0-3 meses).	Anticipar cambios, reducir tiempo de respuesta de 3 meses a 2 semanas.	OEMs + TIER 1 + Consultores.

La estrategia de diversificación geográfica propone la expansión de exportaciones hacia nuevas regiones clave: Asia, Europa y América Latina, aprovechando los acuerdos comerciales existentes (Tabla 21). En Asia, los mercados prioritarios son India, con un crecimiento estimado de 8%, y países de la ASEAN como Tailandia y Vietnam. En América Latina, los focos son Brasil (Mercosur), Colombia y Chile; mientras que en Europa se busca profundizar presencia en la Unión Europea aprovechando los acuerdos existentes, así como en el Reino Unido en el contexto post-Brexit.

Tabla 22 Aranceles de Importación y Condiciones Preferenciales para Vehículos de Pasajeros por País y Continente

Continente	País	Exportaciones de Mx	Arancel de importación: vehículo de pasajeros	Condiciones preferenciales
América	USA	87.2%	25%	T-MEC y normas de origen (Crossa, 2024; Silvia & Arce, 2019; Wang, 2023) Aplicable a vehículos con contenido regional.
	Canadá		0%	T-MEC y normas de origen (Crossa, 2024; Silvia & Arce, 2019; Wang, 2023) Aplicable a vehículos con contenido regional.
	Brasil		0% o 20%	Arancel reducido con acuerdos preferenciales (<i>El Secretario de Economía Firma Acuerdo Con Brasil Para El Intercambio de Bienes En El Sector Automotriz</i> , 2015).
	Argentina		0% o 5%	Arancel reducido con acuerdos preferenciales (Todesca Bocco, 2022).
	Colombia	3.7%	0% o 20%	Preferencias arancelarias del TLC México-Colombia (Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2004).
	Chile		0%	Acuerdo preferencial con la Alianza del Pacífico (Aduanas Chile, 1999).
	Perú		0%	Acuerdo preferencial con la Alianza del Pacífico (Acuerdos Comerciales del Perú, 2012).
	MERCOSUR		0% 40% de contenido regional 20% fuera de cuota o no conforme	Arancel preferencial bajo acuerdos comerciales (Secretaría General de la ALADI, 2002).
Asia	China	1.7%	20% para autos	México no tiene un TLC específico con China para

			5-25% (autopartes)	vehículos de pasajeros (Asian Integration, 2017)
	Japón		0%	TLC México-Japón (Resumen Del Acuerdo Para El Fortalecimiento de La Asociación Económica Entre Los Estados Unidos Mexicanos y Japón, 2005).
	Corea del Sur		20% para vehículos de pasajeros y 5-25% para autopartes, acero y aluminio.	TLC México-Corea (Mexican Ministry of Economy, 2023a).
	India		20% (vehículos), 5-25% (autopartes).	No existe (Mexican Ministry of Economy, 2023b).
	Singapur		0%	Libre comercio ASEAN (Asociación de Naciones de Asia Sudoriental) (Mexican Ministry of Economy and Singapore's Ministry of Trade and Industry, 2022).
	Malasia		0%	Libre comercio ASEAN (Mexican Ministry of Economy and Malaysia's Ministry of International Trade and Industry, 2024).
	Tailandia		0%-20% NMF Arancel para los vehículos que no cumplen las reglas de origen del CPTPP.	Libre comercio ASEAN (Mexican Ministry of Economy and Malaysia's Ministry of International Trade and Industry, 2024).
	Unión Europea (UE)		0%	TLCUEM (Tratado de Libre Comercio entre México y la Unión Europea) y normas de origen (Mexican Ministry of Economy and European Commission, 2020).
Europa	Reino Unido	3.5%	0%	Acuerdo bilateral post-Brexit (arancel reducido) (Mexican Ministry of Economy and UK Department for International Trade, 2020).
	Suiza		0%	Acuerdo bilateral con la UE (Mexican Ministry of Economy and European Commission, 2020).

Noruega

0%

Acuerdo con el EEE (Mexican
Ministry of Economy and
European Commission, 2020).

Esta diversificación tiene como objetivo reducir la exposición al mercado de EE. UU. de 0.83 a 0.50, lo que se traduciría en un incremento de aproximadamente 4.41% en las exportaciones totales.

La viabilidad está condicionada a una inversión sostenida, a la coordinación entre OEMs, proveedores TIER 1, organismos de promoción como ProMéxico. También es importante crear canales de distribución efectivos, que incluyan distribuidores e importadores, así como estrategias de marketing y posicionamiento de marca en los nuevos mercados. Esto es necesario para generar reconocimiento, diferenciarse de la competencia y mantener una demanda constante a mediano plazo. Además, la adaptación del producto a las regulaciones locales, como estándares de emisiones Euro 6 en la UE, garantiza su conformidad normativa y su elegibilidad para comercialización.

4.8 Evaluación de riesgos

La elasticidad de la producción es un indicador clave para medir la sensibilidad de la producción ante cambios en factores externos, como las variaciones arancelarias o las condiciones del mercado. En el modelo, se ve que un valor de elasticidad negativo de -0.1210 para el mercado estadounidense muestra que hay una relación inversa entre la producción y su nivel de dependencia. En tanto, a medida que los aranceles se van incrementando, la producción de vehículos en México resulta afectada de forma negativa.

La estrategia de diversificación geográfica que se plantea busca reducir la dependencia del mercado estadounidense y bajar la sensibilidad de la producción a los aranceles al expandirse poco a poco hacia nuevos mercados. En este caso, se prevé que la dependencia del mercado estadounidense pase de un valor de 0.83 a 0.50, reduciendo así el impacto que los aranceles impuestos por EE. UU. pueden tener en la producción mexicana. Aunque esta estrategia tiene el potencial de mitigar los riesgos relacionados con cambios en la política arancelaria, no está exenta de desafíos y riesgos operacionales adicionales.

El proceso de diversificación geográfica abre oportunidades en mercados emergentes de Asia, Europa y América Latina, pero también introduce una serie de riesgos operacionales, regulatorios, económicos y geopolíticos. Estos riesgos pueden contrarrestar los beneficios anticipados de la diversificación. Por lo tanto, para evaluar estos riesgos, se ha desarrollado una evaluación de riesgos utilizando técnicas convencionales de análisis de riesgos, como la matriz probabilidad-impacto, que permite visualizar el impacto de los riesgos potenciales de cada región sobre la cadena automotriz.

La Tabla 23 muestra el catálogo de riesgos relacionados con la diversificación geográfica. Este catálogo se divide en categorías, tiene una descripción, las regiones afectadas, el impacto previsto, los indicadores que se usan para medirlos y las fuentes de información que apoyan la evaluación.

Tabla 23 Catálogo de riesgos

Categoría	Riesgo	Descripción	Regiones afectadas	Impacto	Indicador	Fuentes
Regulatorio	Incumplimiento de regulaciones locales (homologación, emisiones, seguridad).	Cada región (Asia, UE, Latinoamérica) tiene estándares diferentes para vehículos/componentes.	Asia (India: BHARAT stage), Europa (Euro 6), Latinoamérica (variado).	Alto	Tasa de rechazo en homologación (%)	(C. Jordan et al., 2022)
Operacional	Disrupciones logísticas en nuevas rutas (lead time > tolerancia).	Rutas Asia-México (40-50 días) vs. EE. UU. (7-10 días); variabilidad portuaria.	Asia (principal), Europa (secundario).	Medio-Alto	Lead time promedio (días)	(Tsao et al., 2025)
Económico	Volatilidad de tipos de cambio múltiples (INR, EUR, BRL vs. USD/MXN).	Exposición simultánea a 3-4 monedas extranjeras reduce eficacia de la cobertura.	Asia, Europa, América Latina	Medio	Volatilidad promedio (tipo de cambio, %)	(Kang et al., 2016)
Geopolítico	Tensiones comerciales / aranceles contra nuevos proveedores.	EE. UU. puede imponer aranceles sobre importaciones desde Asia (China).	Asia (Vietnam, Tailandia, India).	Alto	Arancel promedio aplicado (%)	(Balistreri, 2025)
Financiero	Costo de entrada a mercados (cumplimiento normativo, certificación, marketing).	Inversión requerida para entrar: Asia, aproximadamente \$50-100M; Europa, aproximadamente \$30-50M; Latinoamérica, aproximadamente \$15-25M.	Todas (Asia > Europa > Latinoamérica en costo).	Medio	Capex/Opex para entrada a mercado (\$M)	(Jetin, 2003; Whitby, 2020)
Político	Inestabilidad política / cambios en las políticas en destinos (elecciones en India, políticas en Brasil).	India: elecciones 2026, Brasil: volatilidad política recurrente.	Asia (India, Tailandia), América Latina (Brasil, Colombia).	Medio-Alto	Cambios regulatorios por año	(Das et al., 2024; Stuenkel, 2013)
Reputacional	Cumplimiento normativo laboral/ambiental en nuevos proveedores.	Asia y Latinoamérica tienen variabilidad en estándares laborales/ambientales.	Asia (especialmente Vietnam,	Medio	Incidentes de cumplimiento normativo.	(Grossman et al., 2024; Qian & Qiu, 2023)

			Tailandia), América Latina.			
Operacional	Falta de visibilidad/integración IT en nuevas cadenas.	Los nuevos proveedores pueden no tener sistemas compatibles. También pueden carecer de visibilidad sobre los retrasos.	Asia (principal), América Latina (secundario).	Bajo- Medio	Porcentaje de proveedores únicos de TI (%).	(Mattegunta, 2025)
Mercado	Competencia local / presión de precios en nuevos mercados.	Competidores locales (Tata en India, BYD en Asia) presionan márgenes.	Asia (especialmente India, China).	Medio	Margen promedio en región (%).	(Attia et al., 2022; Rasul et al., 2021; Sheffi, 2021)
Logístico	Congestión portuaria / problemas de infraestructura en destinos.	Puertos de Asia saturados (Shanghái, Port Klang); Latinoamérica, infraestructura limitada.	Asia, América Latina.	Medio	Días de retrasos promedio en puerto.	(Aldrighetti et al., 2021; Bastani et al., 2021; Hosseini et al., 2019; Kalubanga & Gudergan, 2022; Perera et al., 2021; Zarghami & Dumrak, 2021)

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este capítulo se presentan las conclusiones del análisis realizado en el Capítulo 4 y, adicionalmente, se proponen las líneas de trabajo futuro que podrán fortalecer y ampliar los resultados obtenidos.

5.1 Conclusiones

El objetivo principal de esta investigación fue crear una metodología sólida para analizar y manejar los riesgos relacionados con las políticas del gobierno que impactan las cadenas de suministro, utilizando dinámica de sistemas. El impacto de los aranceles que EE. UU. aplicó a México se usó como un caso significativo de estudio para comprobar esta metodología. Esto ayudó a modelar cómo las políticas comerciales afectan a variables importantes como la producción, el empleo, el PIB de los sectores y las exportaciones de automóviles.

Los resultados obtenidos del modelo desarrollado revelaron que, a pesar de los avances técnicos en la industria automotriz mexicana, el sector sigue siendo altamente vulnerable debido a su gran dependencia del mercado estadounidense, que históricamente ha absorbido más del 80% de las exportaciones del sector. Esta concentración en un solo lugar presenta riesgos importantes, que se hacen evidentes cuando hay cambios en la política comercial, como los aranceles del 25% impuestos por EE. UU. Estos cambios pueden causar pérdida de empleos, bajar el PIB y reducir la capacidad de producción en un contexto sin mercados variados.

El análisis destaca que la diversificación de mercados es una estrategia fundamental para mitigar las vulnerabilidades estructurales del sector. A medida que la dependencia del mercado estadounidense se reduce de 0.83 a 0.50, la elasticidad de las exportaciones mexicanas muestra que el sector se vuelve menos sensible a los cambios en los aranceles, aunque no se eliminan los riesgos por completo. Sin embargo, implementar esta estrategia de diversificación no está exento de riesgos adicionales, que incluyen:

- Riesgos operacionales y logísticos derivados de la reestructuración de las rutas de distribución y la reorganización de la cadena de suministro para nuevos mercados, lo que consume tiempo y recursos.

- Desafíos en la adaptación de la producción, ya que los componentes y especificaciones de los vehículos pueden variar significativamente entre los mercados estadounidense y los nuevos mercados objetivo (Asia, Europa, América Latina), lo que genera costos adicionales.
- Costos de reconversión de las líneas de producción y capacitación para ajustarse a los nuevos estándares de calidad y especificaciones de mercado.
- Limitaciones en el acceso inmediato a mercados alternativos, como América Latina (18%), Europa (17%) y Asia (15%), que podrían enfrentar barreras comerciales y logísticas para su plena incorporación.

Se supone que la demanda por productos automotrices mexicanos en los mercados alternativos permanece robusta y estable durante el horizonte de proyección. Sin embargo, factores macroeconómicos no modelados, como los ciclos económicos de los países receptores, la competencia de proveedores alternativos y las fluctuaciones en los tipos de cambio, podrían limitar esta demanda.

En infraestructura y logística, se asume que los proveedores de insumos intermedios pueden ampliar su oferta para cumplir con las nuevas especificaciones de los mercados. Mientras tanto, las cadenas logísticas existentes o nuevas pueden manejar volúmenes adicionales sin que los márgenes se vean deteriorados por los costos de transporte. Además, se espera que las empresas exportadoras puedan adaptar su estructura de demanda a pesar de la especialización previa hacia el mercado estadounidense.

La efectividad de la estrategia de diversificación geográfica se basa en la habilidad para adaptarse a requisitos técnicos y legales, además de la flexibilidad de las líneas de producción y las cadenas de suministro para adaptarse a nuevos mercados. El éxito de esta estrategia debe evaluarse en función del volumen de exportaciones, y a través de un análisis más amplio del costo total de servicio para cada mercado, considerando la capacidad de absorción de producción de manera rentable y sostenible.

5.2 Trabajo futuro

A partir de los resultados obtenidos y las limitaciones reconocidas en el presente estudio, se proponen las siguientes investigaciones para fortalecer la resiliencia de las cadenas de suministro ante la incertidumbre política:

- Ante la disposición limitada de las empresas para compartir datos sensibles durante periodos de crisis, se propone implementar un Método Delphi o paneles de expertos con representantes de organismos como la AMIA o la Industria Nacional de Autopartes (INA). Para validar las magnitudes de los mecanismos de transmisión de riesgo y refinar los coeficientes de elasticidad del modelo basándose en el juicio experto de actores clave del sector.
- Cuantificar e integrar estos costos de reconversión como variables endógenas en el flujo de producción. Esto permitirá determinar el umbral de rentabilidad real de la diversificación geográfica, considerando que las líneas de producción actuales están altamente especializadas para el mercado estadounidense.
- Considerando que el lead time hacia Asia puede oscilar entre 40 y 50 días, frente a los 7-10 días del mercado norteamericano, se requiere profundizar en el análisis de la volatilidad de los fletes marítimos. El trabajo futuro debe considerar cómo los cambios en los costos de transporte (que históricamente han subido de USD 1,400 a USD 20,000 por contenedor) afectan a los beneficios de entrar en mercados alternativos.
- Investigar estrategias regionales específicas, como el Binational Automotive Cluster Rio South Texas Region, para entender cómo la proximidad geográfica y las políticas de nearshoring afectan de manera diferenciada a los clústeres de la frontera norte frente a los del Bajío o el centro del país. Este enfoque permitirá formular recomendaciones de política pública más localizadas y efectivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 14th Five-Year Plan: Modern Energy System Planning (2021-2025) - Climate Change Laws of the World (2021). https://climate-laws.org/documents/14th-five-year-plan-on-modern-energy-system-planning_8f22?id=14th-five-year-plan-on-modern-energy-system-planning_79df
- Abbassi, W., Kumari, V., & Pandey, D. K. (2022). What makes firms vulnerable to the Russia–Ukraine crisis? *Journal of Risk Finance*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/JRF-05-2022-0108/FULL/XML>
- Abd Hakim, T., Karia, A. A., David, J., Ginsad, R., Lokman, N., & Zolkafli, S. (2022). Impact of direct and indirect taxes on economic development: A comparison between developed and developing countries. *Cogent Economics & Finance*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2022.2141423>
- Aceves-Martins, M., Llauradó, E., Tarro, L., Solà, R., & Giralt, M. (2016). Obesity-promoting factors in Mexican children and adolescents: Challenges and opportunities. *Global Health Action*, 9(1). <https://doi.org/10.3402/GHA.V9.29625>
- Acuerdos Comerciales del Perú. (2012, January 24). *Acuerdo de Integración Comercial Perú – México*. https://acuerdoscomerciales.gob.pe/en_vigencia/Mexico/inicio.html
- Aduanas Chile. (1999, July 7). *Tratado de Libre Comercio Chile - México*. <https://www.aduana.cl/tratado-de-libre-comercio-chile-mexico/aduana/2007-02-28/101531.html>
- Ahsan, M. M., & Özbek, N. (2022). Policy considerations on hurricane induced human displacement: Lessons from Cyclone Sidr and Hurricane Katrina. *Tropical Cyclone Research and Review*, 11(2), 120–130. <https://doi.org/10.1016/J.TCRR.2022.06.001>
- Aime Williams, Demetri Sevastopulo, Ilya Gridneff, Christine Murray, & Thomas Hale. (2025, February 1). *Donald Trump hits Canada, Mexico and China with steep tariffs*. <https://www.ft.com/content/b9101226-edc1-4cde-93ec-186bc95021d7>

- Aldrighetti, R., Battini, D., Ivanov, D., & Zennaro, I. (2021). Costs of resilience and disruptions in supply chain network design models: A review and future research directions. *International Journal of Production Economics*, 235, 108103. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2021.108103>
- Aljabhan, B. (2023). Economic strategic plans with supply chain risk management (SCRM) for organizational growth and development. *Alexandria Engineering Journal*, 79, 411–426. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2023.08.020>
- American Coatings Association. (2020). *ACA Guidance on USMCA Rules of Origin*.
- AMIA-Asociación Mexicana de la Industria Automotriz. (2025, August 17). *Plantas de Ensamble, Motores y Transmisiones de Empresas Asociadas – AMIA*. https://www.amia.com.mx/about/plantas_ensamble/
- Analytica, O. (2023). Beijing will ramp up supply pressure on key minerals. *Expert Briefings*. <https://doi.org/10.1108/OXAN-DB283343>
- Anuar, M. M., Latif, A. A., & Sabar, S. (2025). Geopolitical Trade Shocks and Regional Logistics Realignment: The Supply Chain Impact of the US-China Trade War on Southeast Asia. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, IX(VI), 4642–4652. <https://doi.org/10.47772/IJRISS.2025.906000352>
- Arto, I., Andreoni, V., & Rueda Cantuche, J. M. (2015). Global Impacts of the Automotive Supply Chain Disruption Following the Japanese Earthquake of 2011. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/09535314.2015.1034657*, 27(3), 306–323. <https://doi.org/10.1080/09535314.2015.1034657>
- Arumugam, D. G., & Pitchaimani, K. (2025). A system dynamics model for assessing the ripple effect of intertwined supply networks. *Journal of Simulation*, 19(1), 24–38. <https://doi.org/10.1080/17477778.2024.2438115>
- Ashby, A. (2016). From global to local: reshoring for sustainability. *Operations Management Research*, 9(3–4), 75–88. <https://doi.org/10.1007/S12063-016-0117-9/TABLES/5>
- Asian Integration. (2017, June 1). *People's Republic of China-Mexico Free Trade Agreement*. <https://aric.adb.org/fta/prc-mexico-fta>

- Attia, Y. A., Rahman, M. T., Shehata, A. A., Hafez, H. M., Hossain, M. J., Basiouni, S., & Khafaga, A. F. (2022). Poultry Production and Sustainability in Developing Countries under the COVID-19 Crisis: Lessons Learned. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/ANI12050644>
- Autor, D., Beck, A., Dorn, D., & Hanson, G. H. (2024). *Help for the Heartland? The Employment and Electoral Effects of the Trump Tariffs in the United States*. <http://www.nber.org/papers/w32082>
- Awah, L. S., Belle, J. A., Nyam, Y. S., & Orimoloye, I. R. (2024). A participatory systems dynamic modelling approach to understanding flood systems in a coastal community in Cameroon. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101, 104236. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2023.104236>
- Azadeh, A., & Vafa Arani, H. (2016). Biodiesel supply chain optimization via a hybrid system dynamics-mathematical programming approach. *Renewable Energy*, 93, 383–403. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.070>
- Bahadir, M. C., & Akdag, H. C. (2019). The System Dynamics Modelling for Container Capacity & Transportation Planning Policies. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 35(4), 200–212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2019.12.007>
- Bahmani-Oskooee, M., & Harvey, H. (2023). Whose policy uncertainty matters in the trade between Mexico and the U.S.: Additional evidence from asymmetric analysis. *The Journal of Economic Asymmetries*, 28, e00311. <https://doi.org/10.1016/J.JECA.2023.E00311>
- Baldwin, R., Lopez-Gonzalez, J., Timmer, M., Miroudot, S., Johnson, R., Schott, P., & Bernard, A. (2013). *Supply-Chain Trade: A Portrait of Global Patterns and Several Testable Hypotheses*. <https://doi.org/10.3386/W18957>
- Balistreri, E. J. (2025). The Trump Administration's Reciprocal Duties. *World Trade Review*, 24(4), 438–445. <https://doi.org/10.1017/S1474745625101043>

- Barbieri, P., Boffelli, A., Elia, S., Fratocchi, L., Kalchschmidt, M., & Samson, D. (2020). What can we learn about reshoring after Covid-19? *Operations Management Research*, 13(3–4), 131–136. <https://doi.org/10.1007/S12063-020-00160-1>
- Barria Cecilia. (2022, March 22). *Rusia y Ucrania: el gigantesco costo económico que debe pagar Moscú para financiar la guerra - BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-60815961>
- Bastani, P., Sadeghkhani, O., Ravangard, R., Rezaei, R., Bikine, P., & Mehralian, G. (2021). Designing a resilience model for pharmaceutical supply chain during crises: a grounded theory approach. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S40545-021-00399-4/FIGURES/2>
- Basu R, J., Abdulrahman, M. D., & Yuvaraj, M. (2023). Improving agility and resilience of automotive spares supply chain: The additive manufacturing enabled truck model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 85, 101401. <https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2022.101401>
- Bazile, J., & Su, Z. (2024). Strategic Intelligence of Small and Medium Enterprises Embedded in Global Supply Chains: A Framework for Resilience in the Face of Systemic Risks. *International Journal of Business and Management*, 19(3), p179. <https://doi.org/10.5539/IJBM.V19N3P179>
- Bel, G., & Holst, M. (2018). Evaluation of the impact of Bus Rapid Transit on air pollution in Mexico City. *Transport Policy*, 63, 209–220. <https://doi.org/10.1016/J.TRANPOL.2018.01.001>
- Ben-Assuli, O. (2021). Review of Prediction Analytics Studies on Readmission for the Chronic Conditions of CHF and COPD: Utilizing the PRISMA Method. *Https://Doi-Org.Bd.Univalle.Edu.Co/10.1080/10580530.2021.1928341*, 38(3), 250–266. <https://doi.org/10.1080/10580530.2021.1928341>
- Bigerna, S., Bollino, C. A., & Polinori, P. (2021). Oil import portfolio risk and spillover volatility. *Resources Policy*, 70, 101976. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2020.101976>

- Black, T. (2022, August 27). *If factories don't return to US now, they never will*.
https://journalstar.com/if-factories-dont-return-to-us-now-they-never-will/article_e7263ca9-325c-5c88-a4e6-8bb0066c47cc.html
- Boburjon, T., & Shohruhxon, N. (2023). DOES INFLATION SIGNIFICANTLY AFFECT STOCK INVESTMENTS AND THEIR PRICE? *QO'QON UNIVERSITETI XABARNOMASI*, 1, 61–64. <https://doi.org/10.54613/KU.V6I6.251>
- Bock, S. (2008). Supporting offshoring and nearshoring decisions for mass customization manufacturing processes. *European Journal of Operational Research*, 184(2), 490–508. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2006.11.019>
- Bode, C., Kemmerling, R., & Wagner, S. M. (2013). Internal versus External Supply Chain Risks: A Risk Disclosure Analysis. In *Lecture Notes in Logistics* (pp. 109–122). Springer Science and Business Media B.V. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32021-7_6
- Bradley, J. R. (2014). An improved method for managing catastrophic supply chain disruptions. *Business Horizons*, 57(4), 483–495. <https://doi.org/10.1016/J.BUSHOR.2014.03.003>
- Brandtner, P. (2023). Predictive Analytics and Intelligent Decision Support Systems in Supply Chain Risk Management—Research Directions for Future Studies. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (Vol. 464). https://doi.org/10.1007/978-981-19-2394-4_50
- British Energy Security Strategy - Government.UK (2022). <https://www.gov.uk/government/publications/british-energy-security-strategy/british-energy-security-strategy>
- Brusset, X., & Teller, C. (2017). Supply chain capabilities, risks, and resilience. *International Journal of Production Economics*, 184, 59–68. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2016.09.008>
- Bueno, S., Bañuls, V. A., & Gallego, M. D. (2021). Is urban resilience a phenomenon on the rise? A systematic literature review for the years 2019 and 2020 using textometry.

- International Journal of Disaster Risk Reduction*, 66, 102588.
<https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2021.102588>
- Camacho-Vallejo, J. F., Dávila, D., & Nucamendi-Guillén, S. (2023). A hierarchized green supply chain with customer selection, routing, and nearshoring. *Computers & Industrial Engineering*, 178, 109151. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.109151>
- Canadian Net-Zero Emissions Accountability Act (2021). <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/c-19.3/fulltext.html>
- Canis, B., Villareal, M., & Jones, V. (2017, July 28). *NAFTA and Motor Vehicle Trade*. Congressional Research Service. <https://sgp.fas.org/crs/row/R44907.pdf>
- Cantillo, T., & Garza, N. (2022). Armed conflict, institutions and deforestation: A dynamic spatiotemporal analysis of Colombia 2000–2018. *World Development*, 160, 106041. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2022.106041>
- CAVALCANTI, M. (2016). *Programa de Parcerias de Investimentos (PPI)* . https://ppi.gov.br/quem-somos/?TSPD_101_R0=086567d05fab20005f54c764d712bb39b9269b62e8fc57e517df89a7b907e6b8891f2413b8d23f7d083ee28b511430005866daabc7b1015d4a5b40d946d616dfba703677533e969429efe692908e9df6b7ab2839d8b75a0515e9ac16e933df7c#
- Cedillo, M., & Sánchez, C. (2008). *Análisis dinámico de sistemas industriales* (Trillas, Ed.; Primera).
- CEPAL. (2022). *Repercusiones en América Latina y el Caribe de la guerra en Ucrania: ¿cómo enfrentar esta nueva crisis?* <https://hdl.handle.net/11362/47912>
- Chan, D. Y. T., & Yang, C. (2025). Shifting Production to Southeast Asia. *Shifting Production to Southeast Asia*. <https://doi.org/10.5040/9781978748248>
- Chang, W., Ellinger, A. E., & Blackhurst, J. (2015). A contextual approach to supply chain risk mitigation. *International Journal of Logistics Management*, 26(3), 642–656. <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2014-0026>

- Chaparro-Narváez, P., Ordóñez-Monak, I. A., Trujillo, N., Castañeda-Orjuela, C. A., & Arroyave, I. (2023). Educational inequalities in heart failure mortality and the cycles of the internal armed conflict in Colombia: An observational panel study of ecological data, 1999–2017. *Heliyon*, 9(2), e13050. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E13050>
- Chava, S., Oettl, A., & Singh, M. (2023). Does a One-Size-Fits-All Minimum Wage Cause Financial Stress for Small Businesses? *Https://Doi.Org/10.1287/Mnsc.2022.4620*, 69(11), 7095–7117. <https://doi.org/10.1287/MNSC.2022.4620>
- Chen, A., Hsieh, C.-Y., & Wee, H. M. (2016). A resilient global supplier selection strategy—a case study of an automotive company. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87(5–8), 1475–1490. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6567-z>
- Chen, J., Cheng, Z., Gong, R. K., & Li, J. (2022). Riding out the COVID-19 storm: How government policies affect SMEs in China. *China Economic Review*, 75, 101831. <https://doi.org/10.1016/J.CHIECO.2022.101831>
- Chen, X. (2023). Factor Analysis and Influence of Aluminum Price. *BCP Business & Management*, 44, 137–143. <https://doi.org/10.54691/BCPBM.V44I.4804>
- Chen, Y., Jiang, J., Wang, L., & Wang, R. (2023). Impact assessment of energy sanctions in geo-conflict: Russian–Ukrainian war. *Energy Reports*, 9, 3082–3095. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2023.01.124>
- Chiang, C. Y., Qian, Z., Chuang, C. H., Tang, X., & Chou, C. C. (2023). Examining demand and supply-chain antecedents of inventory dynamics: Evidence from automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 259, 108838. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2023.108838>
- Chiquiar, D., Tobal, M., Alonso, J., Blyde, J., Condor, R., Estevadeordal, A., Frisancho, V., Lalanne, A., Moreira, M. M., Nuguer, V., Pietrobelli, C., Reyes-Heroles, R., Seminario, C., Sharma, T., Singh, A., Taglioni, D., Tavares, T., & Werner, A. (2024). *Policy Paper #26 - Nearshoring: possible scenarios of its size and impact on Mexico's economy*. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2228>

- Ciuriak, D., Ouyang, M., & Xiao, J. (2018). Trade Wars: The Likely Trade and Economic Impact So Far. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3239712>
- Clarke, T., & Boersma, M. (2015). The Governance of Global Value Chains: Unresolved Human Rights, Environmental and Ethical Dilemmas in the Apple Supply Chain. *Journal of Business Ethics* 2015 143:1, 143(1), 111–131. <https://doi.org/10.1007/S10551-015-2781-3>
- Colon, C., & Hochrainer-Stigler, S. (2023). Systemic risks in supply chains: a need for system-level governance. *Supply Chain Management: An International Journal*, 28(4), 682–694. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2022-0101>
- Comercio de Industria y Turismo. (2004, June 12). *Resumen del Acuerdo TLC Colombia México*. <https://www.tlc.gov.co/acuerdos/vigente/tratado-de-libre-comercio-entre-colombia-mexico/importante/resumen-del-acuerdo>
- Comisión Reguladora de Energía. (2020). *Política de Confiabilidad, Seguridad, Continuidad y Calidad en el Sistema Eléctrico Nacional*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/876900/Anexo_Acuerdo_A-075-2023.pdf
- Costa Junior, C. J., Garcia-Cintado, A. C., & Junior, K. M. (2021). Macroeconomic policies and the pandemic-driven recession. *International Review of Economics & Finance*, 72, 438–465. <https://doi.org/10.1016/J.IREF.2020.12.010>
- Crabolu, G., Font, X., & Eker, S. (2023). Evaluating policy complexity with Causal Loop Diagrams. *Annals of Tourism Research*, 100, 103572. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2023.103572>
- Croope, S. V., & McNeil, S. (2011). Improving Resilience of Critical Infrastructure Systems Postdisaster. *Https://Doi.Org/10.3141/2234-01*, 2234, 3–13. <https://doi.org/10.3141/2234-01>
- Crossa, M. (2024). USMCA and Uneven Regionalized Protectionism: Automotive Industry in Mexico under US Corporate Control. *International Journal of Political Economy*. <https://doi.org/10.1080/08911916.2024.2407578>

- Cruden, G., Powell, B. J., Frerichs, L., Lanier, P., Brown, C. H., Saldana, L., & Lich, K. H. (2024). Leveraging group model building to operationalize implementation strategies across implementation phases: an exemplar related to child maltreatment intervention selection. *Implementation Science Communications*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/S43058-024-00660-2>
- Cruz Ake, S., Ortiz Arango, F., & García Ruiz, R. S. (2024). Possible paths for Mexico's electricity system in the clean energy transition. *Utilities Policy*, 87, 101716. <https://doi.org/10.1016/J.JUP.2024.101716>
- Das, K., Ghosh, A., & Maitra, P. (2024). Exogenous shocks and electoral outcomes. *Public Choice*, 201(1–2), 145–179. <https://doi.org/10.1007/S11127-024-01162-4/TABLES/12>
- de Gooyert, V., Rouwette, E., van Kranenburg, H., Freeman, E., & van Breen, H. (2016). Sustainability transition dynamics: Towards overcoming policy resistance. *Technological Forecasting and Social Change*, 111, 135–145. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2016.06.019>
- De Silva, M. M., Herath, O. K., Nakayama, T., & Kumarage, A. S. (2024). A system dynamics model for vehicle fleet transformation towards energy efficiency and low-carbon development: A case study of Sri Lanka and its strategies. *Transport Policy*, 147, 244–258. <https://doi.org/10.1016/J.TRANPOL.2024.01.004>
- Debnath, B., El-Hassani, R., Chattopadhyay, A. K., Kumar, T. K., Ghosh, S. K., & Baidya, R. (2022). Time evolution of a Supply Chain Network: Kinetic modeling. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 607, 128085. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2022.128085>
- Desbordes, R., & Franssen, L. (2019). Foreign Direct Investment and Productivity: A Cross-Country, Multisector Analysis. *Https://Doi.Org/10.1162/Adev_a_00123*, 36(1), 54–79. https://doi.org/10.1162/ADEV_A_00123
- Ding, S., Ward, H., Cucurachi, S., & Tukker, A. (2023). Revealing the hidden potentials of Internet of Things (IoT) - An integrated approach using agent-based modelling and system dynamics to assess sustainable supply chain performance. *Journal of Cleaner Production*, 421, 138558. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138558>

- Doerfler, S. (2022, March 25). *The Ongoing Fallout From Russia's Invasion of Ukraine*.
<https://www.ismworld.org/supply-management-news-and-reports/news-publications/inside-supply-management-magazine/blog/2022/2022-03/the-ongoing-fallout-from-russias-invasion-of-ukraine/>
- Donato, K. M., Wakabayashi, C., Hakimzadeh, S., & Armenta, A. (2008). Shifts in the Employment Conditions of Mexican Migrant Men and Women. *Http://Dx.Doi.Org/10.1177/0730888408322859*, 35(4), 462–495.
<https://doi.org/10.1177/0730888408322859>
- Dong, Q., & Cooper, O. (2016). An orders-of-magnitude AHP supply chain risk assessment framework. *International Journal of Production Economics*, 182, 144–156.
<https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2016.08.021>
- DOOLEY, K. J., YAN, T., MOHAN, S., & GOPALAKRISHNAN, M. (2010). Inventory management and the bullwhip effect during the 2007-2009 recession: evidence from the manufacturing sector. *Journal of Supply Chain Management*, 46(1), 12–18.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2009.03183.x>
- Duan, F., Ji, Q., Liu, B. Y., & Fan, Y. (2018). Energy investment risk assessment for nations along China's Belt & Road Initiative. *Journal of Cleaner Production*, 170, 535–547.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.09.152>
- Dunbar, J., Kurz, C., Li, G., & Tito, M. D. (2024). In the Driver's Seat: Pandemic Fiscal Stimulus and Light Vehicles. *Finance and Economics Discussion Series*, 2024–013, 1–28. <https://doi.org/10.17016/FEDS.2024.013>
- Egli, F. (2020). Renewable energy investment risk: An investigation of changes over time and the underlying drivers. *Energy Policy*, 140, 111428.
<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2020.111428>
- Ekonomi, J., Syariah, B., Atiqa Ma, N., Waskito Adi, S., & Muhammadiyah Surakarta, U. (2025). Pengaruh Environmental, Social, Governance (ESG) Disclosure dan Struktur Modal Terhadap Tingkat Profitabilitas Perusahaan: Studi Kasus Perusahaan Manufaktur yang Terdaftar di Bursa Efek Indonesia Periode 2021-2023. *Al-Kharaj: Jurnal*

Ekonomi, Keuangan & Bisnis Syariah, 7(4), 2444 – 2461–2444 – 2461.
<https://doi.org/10.47467/ALKHARAJ.V7I4.7703>

El Ayoubi, M. S., & Radmehr, M. (2023). Green food supply chain management as a solution for the mitigation of food supply chain management risk for improving the environmental health level. *Heliyon*, 9(2), e13264.
<https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E13264>

El Economista. (2025, March 11). *Más de 200 CEO de EU piden quitar aranceles a México y Canadá*. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/200-ceo-eu-piden-quitar-aranceles-mexico-canada-20251103-784742.html>

El Secretario de Economía firma Acuerdo con Brasil para el intercambio de bienes en el Sector Automotriz | Secretaría de Economía | Gobierno | gob.mx. (2015, March 9). <https://www.gob.mx/se/prensa/el-secretario-de-economia-firma-acuerdo-con-brasil-para-el-intercambio-de-bienes-en-el-sector-automotriz-2837>

Ellram, L. M., Tate, W. L., & Petersen, K. J. (2013). Offshoring and Reshoring: An Update on the Manufacturing Location Decision. *Journal of Supply Chain Management*, 49(2), 14–22. <https://doi.org/10.1111/JSCM.12019>

Emako, E., Nuru, S., & Menza, M. (2022). The Effect of foreign direct investment on structural change in developing countries: an examination of the labor productivity dimension. *Cogent Business & Management*, 9(1).
<https://doi.org/10.1080/23311975.2022.2135209>

Erokhin, V., & Gao, T. (2020). Impacts of COVID-19 on Trade and Economic Aspects of Food Security: Evidence from 45 Developing Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 5775, 17(16), 5775.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH17165775>

Everstream. (2023a, October 11). *Israel-Hamas war breaks out - Everstream AI*.
<https://www.everstream.ai/risk-centers/israel-hamas-war-breaks-out/>

Everstream. (2023b, October 18). *Israel-Hamas war continues - Everstream AI*.
<https://www.everstream.ai/risk-centers/israel-hamas-war-continues/>

- Fan, Y., & Stevenson, M. (2018). A review of supply chain risk management: definition, theory, and research agenda. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 48(3), 205–230. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2017-0043/FULL/PDF>
- Felsenthal, M. (2020, June 8). *COVID-19 to Plunge Global Economy into Worst Recession since World War II*. https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2020/06/08/covid-19-to-plunge-global-economy-into-worst-recession-since-world-war-ii?_gl=1*1o6j9nb*_gcl_au*MTkxMTU4MzM0OS4xNzI0Nzc5NDQw
- Feng, Y., Zhao, X., & Zhu, Q. (2023). Sustainable supply chains in a turbulent world: Challenges and opportunities. *Australian Journal of Management*, 48(2), 199–203. <https://doi.org/10.1177/03128962231165655>
- Fernández Hernández, A., & Bravo Benítez, E. (2023). Potential of nearshoring for Mexico's economic development. *Región Científica*. <https://doi.org/10.58763/rc2023105>
- Fernández-Miguel, A., Riccardi, M. P., Veglio, V., García-Muiña, F. E., Fernández del Hoyo, A. P., & Settembre-Blundo, D. (2022). Disruption in Resource-Intensive Supply Chains: Reshoring and Nearshoring as Strategies to Enable Them to Become More Resilient and Sustainable. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 10909, 14(17), 10909. <https://doi.org/10.3390/SU141710909>
- Ferraz, J. P. M., & Silva, J. P. S. e. (2024). MUDANÇAS LEGISLATIVAS E UM BREVE RESUMO DO ATUAL CENÁRIO TRIBUTÁRIO DE IMPORTAÇÕES. *REVISTA FOCO*, 17(11), e6719. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n11-107>
- Ferreira, G., & Critelli, J. (2022). China's Global Monopoly on Rare-Earth Elements. *The US Army War College Quarterly: Parameters*, 52(1), 57–72. <https://doi.org/10.55540/0031-1723.3129>
- Flaen, A., & Pierce, J. (2024). Disentangling the Effects of the 2018-2019 Tariffs on a Globally Connected U.S. Manufacturing Sector. *Review of Economics and Statistics*, 1–45. https://doi.org/10.1162/rest_a_01498

- Flores, E., de Carvalho, J. V. F., & Sampaio, J. O. (2021). Impact of interest rates on the life insurance market development: Cross-country evidence. *Research in International Business and Finance*, 58, 101444. <https://doi.org/10.1016/J.RIBAF.2021.101444>
- Forrester, J. W. (1968). Principles of systems. In *Cambridge* (Vol. 2, pp. 363–386). Springer New York LLC. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6281-2_20
- Forrester, J. W., Mass, N. J., & Ryan, C. J. (1976). The system dynamics national model: Understanding socio-economic behavior and policy alternatives. *Technological Forecasting and Social Change*, 9(1–2), 51–68. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(76\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0040-1625(76)90044-5)
- Fratocchi, L., & Mayer, J. (2023). The impact of environmental and social sustainability on the reshoring decision making and implementation process: insights from the bicycle industry. *Operations Management Research*, 16(2), 574–593. <https://doi.org/10.1007/S12063-023-00372-1/TABLES/6>
- Frieske, B., & Stieler, S. (2022). The “Semiconductor Crisis” as a Result of the COVID-19 Pandemic and Impacts on the Automotive Industry and Its Supply Chains. *World Electric Vehicle Journal*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/wevj13100189>
- Fu, X., Buckley, P. J., & Fu, X. M. (2020). The Growth Impact of Chinese Direct Investment on Host Developing Countries. *International Business Review*, 29(2), 101658. <https://doi.org/10.1016/J.IBUSREV.2019.101658>
- Gachúz Maya, J. C. (2022). Mexico’s Trade Relationship with China in the Context of the United States–China Trade war. *Journal of Current Chinese Affairs*, 51(1), 83–107. https://doi.org/10.1177/18681026211038339/ASSET/EA4B07A-47CD-4794-BB82-DD9E19C4B111/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_18681026211038339-FIG4.JPG
- Gallagher, K. P., Moreno-Brid, J. C., & Porzecanski, R. (2008). The Dynamism of Mexican Exports: Lost in (Chinese) Translation? *World Development*, 36(8), 1365–1380. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2007.08.004>

- Gaonkar, R. S., & Viswanadham, N. (2007). Analytical framework for the management of risk in supply chains. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 4(2), 265–273. <https://doi.org/10.1109/TASE.2006.880540>
- García-Pérez-de-Lema, D., Madrid-Guijarro, A., & Duréndez, A. (2022). Operating, financial and investment impacts of Covid-19 in SMEs: Public policy demands to sustainable recovery considering the economic sector moderating effect. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 75, 102951. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2022.102951>
- Ghobarah, H. A., Huth, P., & Russett, B. (2004). The post-war public health effects of civil conflict. *Social Science & Medicine*, 59(4), 869–884. <https://doi.org/10.1016/J.SOCSCIMED.2003.11.043>
- Giedelmann-L, N., Guerrero, W. J., & Solano-Charris, E. L. (2022). System dynamics approach for food inventory policy assessment in a humanitarian supply chain. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 81, 103286. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2022.103286>
- Giordano, R., Osann, A., Henao, E., López, M. L., Piqueras, J. G., Nikolaidis, N. P., Lilli, M., Coletta, V. R., & Pagano, A. (2025). Causal Loop Diagrams for bridging the gap between Water-Energy-Food-Ecosystem Nexus thinking and Nexus doing: Evidence from two case studies. *Journal of Hydrology*, 650, 132571. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2024.132571>
- GIRAULT, C. (2024). North America. In *Regionalization of the World* (pp. 207–221). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781394284375.ch13>
- Goczek, Ł., Witkowska, E., & Witkowski, B. (2021). How Does Education Quality Affect Economic Growth? *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 6437, 13(11), 6437. <https://doi.org/10.3390/SU13116437>
- Goodman, P. (2021, October 25). *Cómo se averió la cadena de suministro y por qué no se podrá reparar pronto: 9 preguntas y respuestas*. Yahoo Finanzas. <https://es-us.finanzas.yahoo.com/noticias/averi%C3%B3-cadena-suministro-reparar-pronto-153747179.html?guccounter=1>

- Gooran, A. N., Rafiei, H., & Rabbani, M. (2020). Evaluation and designing reverse logistics for risk-neutral and risk-seeking decision makers. *International Journal of Operational Research*, 39(1), 24–49. <https://doi.org/10.1504/IJOR.2020.108834>
- Gopalan, S., Gupta, B., & Rajan, R. S. (2023). Do climate risks influence foreign direct investment inflows to emerging and developing economies? *Climate Policy*, 23(6), 722–734. <https://doi.org/10.1080/14693062.2023.2237479>
- Górska-Warsewicz, H., Dębski, M., Fabuš, M., & Kováč, M. (2021). Green Brand Equity—Empirical Experience from a Systematic Literature Review. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 11130, 13(20), 11130. <https://doi.org/10.3390/SU132011130>
- GPI News. (2025, October 11). *Mexico's Chinese vehicle imports tariffs to impact supply chains* - Blog | GPI NEWS. <https://puertointerior.guanajuato.gob.mx/blog/2025/10/28/mexicos-chinese-vehicle-imports-tariffs-to-impact-supply-chains/>
- Green Growth Strategy, 2020 (2020). https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/global_warming/ggs2050/index.html
- Groß, E., & Nowak-Lehmann Danzinger, F. (2022). What effect does development aid have on productivity in recipient countries? *Review of Development Economics*, 26(3), 1438–1465. <https://doi.org/10.1111/RODE.12889>
- Grossman, G. M., Helpman, E., & Redding, S. J. (2024). When Tariffs Disrupt Global Supply Chains. *American Economic Review*, 114(4), 988–1029. <https://doi.org/10.1257/aer.20211519>
- Guerrero-López, C. M., Molina, M., & Colchero, M. A. (2017). Employment changes associated with the introduction of taxes on sugar-sweetened beverages and nonessential energy-dense food in Mexico. *Preventive Medicine*, 105, S43–S49. <https://doi.org/10.1016/J.YPMED.2017.09.001>

- Gunasekara, L., & Robb, D. J. (2025). Optimisation of retailer take-back of low and medium-value products for a circular economy. *Computers & Industrial Engineering*, 201, 110739. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2024.110739>
- Habib, M. S., & Sarkar, B. (2017). An Integrated Location-Allocation Model for Temporary Disaster Debris Management under an Uncertain Environment. *Sustainability* 2017, Vol. 9, Page 716, 9(5), 716. <https://doi.org/10.3390/SU9050716>
- Hamed, M. M., Turan, H. H., & Elsayah, S. (2024). Balancing supply diversification and environmental impacts: A system dynamics approach to de-risk rare earths supply chain. *Resources Policy*, 92, 105038. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2024.105038>
- Hamidi, A., & Salavati, S. (2026). Modeling system dynamics in computational thinking integration using causal loop diagrams. *Thinking Skills and Creativity*, 59, 102003. <https://doi.org/10.1016/J.TSC.2025.102003>
- Hashchyshyn, A., Marushchak, K., Sukhomlyn, O., & Tarasenko, A. (2020). How Does the Interest Rate Influence the Exchange Rate? *Visnyk of the National Bank of Ukraine*, 250, 4–14. <https://doi.org/10.26531/VNBU2020.250.01>
- Hassan, A. (2022, March 28). *Sudan's Economic and Supply Chain Problems Continue to Escalate*. ISM. <https://www.ismworld.org/supply-management-news-and-reports/news-publications/inside-supply-management-magazine/blog/2022/2022-03/sudans-economic-and-supply-chain-problems-continue-to-escalate/>
- Hawkins, T. G., Gravier, M. J., & Muir, W. A. (2020). The role of supplier performance evaluations in mitigating risk: Assessing evaluation processes and behaviors. *Industrial Marketing Management*, 87, 2–17. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.03.004>
- He, T., Zhang, M., Xiao, W., Zhai, G., Wang, Y., Guo, A., & Wu, C. (2023). Quantitative analysis of abandonment and grain production loss under armed conflict in Ukraine. *Journal of Cleaner Production*, 412, 137367. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137367>
- HERNÁNDEZ JOE, NORTHAM JACKIE, & KAKISSIS JOANNA. (2022, April 28). *What Russia cutting off energy to Poland and Bulgaria means for the world*.

<https://www.npr.org/2022/04/28/1095113387/what-russia-cutting-off-energy-to-poland-and-bulgaria-means-for-the-world>

Higuera Cota, M. F., Mahecha Guerra, R. E., & Aguilar Barceló, J. G. (2023). EFECTO DE LOS TRATADOS COMERCIALES DE AMÉRICA DEL NORTE SOBRE LAS EXPORTACIONES AGRÍCOLAS DE MÉXICO A ESTADOS UNIDOS. *Investigación Económica*, 82(324), 126–149. <https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2023.324.83363>

Hong, I. H., Su, J. C. P., Chu, C. H., & Yen, C. Y. (2018). Decentralized decision framework to coordinate product design and supply chain decisions: Evaluating tradeoffs between cost and carbon emission. *Journal of Cleaner Production*, 204, 107–116. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.08.239>

Hong, J., Li, J., Wu, X., Yi, S., Jeff, L., Hong, H., & Cn, L. E. (2023). *Future Research of Supply chain Resilience: Network Perspectives and Incorporation of More Stakeholders* *Journal Pre-proof Future Research of Supply chain Resilience: Network Perspectives and Incorporation of More Stakeholders Future Research of Supply chain Resilience: Network Perspectives and Incorporation of More Stakeholders*. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2023.07.012>

Hosseini, S., Ivanov, D., & Dolgui, A. (2019). Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125, 285–307. <https://doi.org/10.1016/J.TRE.2019.03.001>

Hou, J., Patel, S., Rackliffe, G., Katsh, G., McDaniel, J., Meyer, K., Stropp, K., Wilke, J., & Yung, B. (2023). Proactive Grid Planning for Fleet Electrification. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2023-July. <https://doi.org/10.1109/PESGM52003.2023.10252448>

Huang, R., Malik, A., Lenzen, M., Jin, Y., Wang, Y., Faturay, F., & Zhu, Z. (2021). Supply-chain impacts of Sichuan earthquake: a case study using disaster input–output analysis. *Natural Hazards* 2021 110:3, 110(3), 2227–2248. <https://doi.org/10.1007/S11069-021-05034-8>

- Hudaya, A., & Firmansyah, F. (2023). Financial stability in the Indonesian monetary policy analysis. *Cogent Economics & Finance*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2023.2174637>
- Hughes, M. M., Croxton, K. L., & Knemeyer, A. M. (2025). Energizing Research at the Intersection of Public Policy and Supply Chain Resilience: A Systematic Review and Guiding Framework. *Journal of Business Logistics*, 46(1), e12403. <https://doi.org/10.1111/JBL.12403>
- Huq, F., Pawar, K. S., & Rogers, H. (2016). Supply chain configuration conundrum: how does the pharmaceutical industry mitigate disturbance factors? *Production Planning & Control*, 27(14), 1206–1220. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1193911>
- Hydrogen Economy Roadmap (2020). https://h2council.com.au/wp-content/uploads/2022/10/KOR-Hydrogen-Economy-Roadmap-of-Korea_REV-Jan19.pdf
- Ibrahim, N., Isa, C. M. M., Nusa, F. N. M., Preece, C. N., & Ghani, M. K. (2021). Significant Factors Influencing Entry Decisions (SEFIED) into International Market. *2021 IEEE 12th Control and System Graduate Research Colloquium, ICSGRC 2021 - Proceedings*, 138–143. <https://doi.org/10.1109/ICSGRC53186.2021.9515240>
- Ide, K. (2016). Treatment of disaster waste generated by the Great East Japan Earthquake - Treatment of disaster waste by member corporations of the Japan Federation of Construction Contractors-. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2(2), 135–142. <https://doi.org/10.3208/JGSSP.ESD-KL-6>
- INEGI. (2025a, January 9). *REPORTE DE RESULTADOS REGISTRO ADMINISTRATIVO DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ DE VEHÍCULOS LIGEROS (RAIAVL)*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2025/rm_raiavl/rm_raiavl_2025_01.pdf
- INEGI. (2025b, February 28). *Venta, producción y exportación de vehículos ligeros*. https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/default.html?nc=100100090_a

- INEGI. (2025c, October 4). *PIB por Actividad Económica*.
<https://www.inegi.org.mx/temas/pib/#tabulados>
- Inflation Reduction Act of 2022 | Internal Revenue Service (2022).
<https://www.irs.gov/inflation-reduction-act-of-2022>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). *Estadísticas a propósito de la Industria automotriz*.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825079963.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Investing in Canada Plan (2021). https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/English/parl_oag_202103_04_e_43786.html
- ISO. (2018). *ISO 31000:2018 Gestión del riesgo y Directrices*. www.iso.org/patents.
- Itakura, K. (2020). Evaluating the Impact of the US–China Trade War. *Asian Economic Policy Review*, 15(1), 77–93. <https://doi.org/10.1111/AEPR.12286>
- Ito, T., Li, J., Usoof-Thowfeek, R., & Yamazaki, K. (2024). Educational consequences of firsthand exposure to armed conflict: The case of the Sri Lankan Civil War. *World Development*, 173, 106430. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2023.106430>
- Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., & Ivanova, M. (2022). Integrated simulation-optimization modeling framework of resilient design and planning of supply chain networks. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 2713–2718. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2022.10.121>
- Izadi, E., Nikbakht, M., Feylizadeh, M. R., & Shahin, A. (2023). A system dynamics model in the humanitarian supply chain based on blockchain technology. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 96, 103977. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2023.103977>
- Jafari, M., & Alikhademi, A. (2023). What Is the Best Way to Invest in Countries Which Have Inflation Problems? *European Journal of Accounting, Auditing and Finance Research*, 11(3), 67–80. <https://doi.org/10.37745/EJAAFR.2013/VOL11N36780>

- Jahani, H., Gholizadeh, H., Hayati, Z., & Fazlollahtabar, H. (2023). Investment risk assessment of the biomass-to-energy supply chain using system dynamics. *Renewable Energy*, 203, 554–567. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2022.12.038>
- Jetin, B. (2003). The Internationalization of American and Asian Automobile Firms: A Statistical Comparison with the European Companies. *Globalization or Regionalization of the American and Asian Car Industry?*, 9–50. https://doi.org/10.1057/9780230554818_2
- Jiang, W., & Martek, I. (2021). Political risk analysis of foreign direct investment into the energy sector of developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 302, 127023. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127023>
- Johnson, A. K., Rademacher, C. J., Eggers, J., Gabler, N. K., Greiner, L. L., Kaisand, J., Karriker, L. A., Millman, S. T., Patience, J. F., Ramirez, B. C., Schulz, L. L., Webb, S. R., & Ross, J. W. (2021). Innovative strategies for managing swine welfare during the COVID-19 pandemic in Iowa. *Translational Animal Science*, 5(4). <https://doi.org/10.1093/TAS/TXAB225>
- Johnson, A. M., Villanova, D., & Burton, S. (2025). Upside Down Auto Loans and the Effect of Advertised Loan Terms on Consumer Borrowing Preferences. *Journal of Public Policy & Marketing*. https://doi.org/10.1177/07439156251364171/SUPPL_FILE/SJ-PDF-1-PPO-10.1177_07439156251364171.PDF
- Jordan, C., Foth, P., Pretschner, A., & Fruth, M. (2022). *Unreliable test infrastructures in automotive testing setups*. 307–308. <https://doi.org/10.1145/3510457.3513069>
- Jordan, K., Adams, P., Jaramillo, P., & Muller, N. (2023). Closing the Gap: Achieving U.S. climate goals beyond the Inflation Reduction Act. *Renewable and Sustainable Energy Transition*, 4, 100065. <https://doi.org/10.1016/J.RSET.2023.100065>
- Ju, Y., Hou, H., Cheng, Y., & Feng, Y. (2024). Assessing the impact of government-led green supply chain demonstration on firms' financial distress: The role of environmental information disclosure quality and supply chain concentration. *Journal of Cleaner Production*, 440, 140786. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.140786>

- Kainrath, K., Ortner, P., Benincasa, G., & Leitgeb, E. (2024). Advancing Automotive Connectivity: New Technologies and Security Considerations. *CoBCom 2024 - International Conference on Broadband Communications for Next Generation Networks and Multimedia Applications, Co-Located International Conference and Workshop on Systems, Signals and Image Processing, IWSSIP 2024*. <https://doi.org/10.1109/COBCOM62281.2024.10631203>
- Kalubanga, M., & Gudergan, S. (2022). The impact of dynamic capabilities in disrupted supply chains—The role of turbulence and dependence. *Industrial Marketing Management*, 103, 154–169. <https://doi.org/10.1016/J.INDMARMAN.2022.03.005>
- Kang, S., Kim, S., & Lee, J. W. (2016). Reexamining the Exchange Rate Exposure Puzzle by Classifying Exchange Rate Risks into Two Types. *Global Economic Review*, 45(2), 116–133. <https://doi.org/10.1080/1226508X.2015.1072730>
- Karamoozian, A., Tan, C. A., Wu, D., Karamoozian, A., & Pirasteh, S. (2024). COVID-19 automotive supply chain risks: A manufacturer-supplier development approach. *Journal of Industrial Information Integration*, 38, 100576. <https://doi.org/10.1016/J.JII.2024.100576>
- Karkason, D. (2024, September 17). *Navigating Tariffs: Strengthening Global Supply Chains*. <https://www.transnationalmatters.com/the-impact-of-trade-tariffs-on-global-supply-chain-strategies/>
- Keller, F., & Zoller-Rydzek, B. (2019). European Nearshoring Index – Is Eastern Europe Attractive for Swiss IT Firms? <https://cebr.vse.cz/Doi/10.18267/j.Cebr.217.Html>, 8(3), 35–53. <https://doi.org/10.18267/J.CEBR.217>
- Kenichi Kawasaki. (2025, September 15). *Economic impact of US tariff hikes: Significance of trade diversion effects* | CEPR. <https://cepr.org/voxeu/columns/economic-impact-us-tariff-hikes-significance-trade-diversion-effects>
- Koks, E. E., Thissen, M., Alfieri, L., de Moel, H., Feyen, L., Jongman, B., & Aerts, J. C. J. H. (2019). The macroeconomic impacts of future river flooding in Europe. *Environmental Research Letters*, 14(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AB3306>

- Komendantova, N., Patt, A., Barras, L., & Battaglini, A. (2012). Perception of risks in renewable energy projects: The case of concentrated solar power in North Africa. *Energy Policy*, 40(1), 103–109. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2009.12.008>
- Kulikova, I. V., Roshchina, L. N., & Ukraintseva, I. V. (2024). PROSPECTS FOR RUSSIAN-INDIAN COOPERATION TRADE AND ECONOMIC COOPERATION IN THE CONTEXT OF SANCTIONS. *Прогрессивная Экономика*, 12, 64–72. https://doi.org/10.54861/27131211_2024_12_64
- Kumar, M. S., Raut, D. R. D., Narwane, D. V. S., & Narkhede, D. B. E. (2020). Applications of industry 4.0 to overcome the COVID-19 operational challenges. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(5), 1283–1289. <https://doi.org/10.1016/J.DSX.2020.07.010>
- Kumar, S., & Yamaoka, T. (2007). System dynamics study of the Japanese automotive industry closed loop supply chain. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 18(2), 115–138. <https://doi.org/10.1108/17410380710722854>
- Kumar, V., Agrawal, T. K., Wang, L., & Chen, Y. (2017). Contribution of traceability towards attaining sustainability in the textile sector. *Textiles and Clothing Sustainability*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/S40689-017-0027-8>
- Kurbangaleeva, E. (2025). *The Chip Race and Chip Trade Flows: Reshaping the Semiconductor Ecosystem Across Major Chip-Making Countries*. <https://doi.org/10.33774/APSA-2025-S4NLW>
- Layani, G., Mehrjou, S., & Farajzadeh, Z. (2023). Effects of government policies reform on environmental sustainability: An integrated approach of PMP and system dynamics simulation model. *Journal of Cleaner Production*, 426, 138985. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138985>
- Lee, Y. H., Kim, Y. C., & Lee, H. kyoungh. (2022). Framework for selection of temporary disaster waste management sites for post-flood recovery in Seoul, South Korea. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 71, 102832. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2022.102832>

- LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (2012).
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>
- LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE
 (2024). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Li, B., Li, H., Dong, Z., Lu, Y., Liu, N., & Hao, X. (2021). The global copper material trade network and risk evaluation: A industry chain perspective. *Resources Policy*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102275>
- Li, H., Xu, S., Liu, Y., Wang, D., & Yang, J. (2025). The impact and knowledge of free trade agreements on China's traditional industries' restructuring. *Journal of Innovation & Knowledge*, 10(5). <https://doi.org/10.1016/J.JIK.2025.100773>
- Li, M., Ye, T., Shi, P., & Fang, J. (2015). Impacts of the global economic crisis and Tohoku earthquake on Sino–Japan trade: a comparative perspective. *Natural Hazards*, 75(1), 541–556. <https://doi.org/10.1007/S11069-014-1335-9/TABLES/2>
- Li, T. (2025). The Impact of Exchange Rate Fluctuations on the Export Trade of Emerging Economies and Corresponding Corporate Response Strategies. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 197(1), 92–98. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/2025.LH26981>
- Li, Y., & Zobel, C. W. (2020). Exploring supply chain network resilience in the presence of the ripple effect. *International Journal of Production Economics*, 228, 107693. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2020.107693>
- Liadze, I., Macchiarelli, C., Mortimer-Lee, P., & Sanchez Juanino, P. (2023). The Economic Costs of the Russia- Ukraine Conflict. *The World Economy*, 46(4), 874–886. <https://doi.org/10.1111/twec.13336>
- Liang, H., Jiang, X., Yang, Y., Zhou, S., Wang, Y., & Yang, L. (2023). A risk assessment method of the energy supply chain based on combination weights and Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution. *Energy Reports*, 9, 1647–1656. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2023.04.227>

- Lichuma, C. O. (2024). Risky Business: Critical Reflections on the Sources of Information for Risk Analysis Under the German Supply Chain Law and Some Ramifications for Global South Stakeholders. *VRÜ Verfassung Und Recht in Übersee*, 56(4), 762–782. <https://doi.org/10.5771/0506-7286-2023-4-762>
- Liu, F., Lee, C. K. M., & Xu, M. (2025). Electric vehicle supply chain investment under demand uncertainty: A jointly held real options perspective. *Computers & Industrial Engineering*, 200, 110840. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2024.110840>
- Liu, S., Wu, Y., Jiang, G., & Dong, J. (2024). System dynamics modeling of collaborative governance in smart cities: a case study of Dongguan, China. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-024-82363-1>
- Liu, W., Li, X., Liu, C., Wang, M., & Liu, L. (2023). Resilience assessment of the cobalt supply chain in China under the impact of electric vehicles and geopolitical supply risks. *Resources Policy*, 80, 103183. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2022.103183>
- López, C., Morales-Contreras, M. F., Langella, I. M., & Alonso-Monge, J. (2025). Modeling supply chain disruptions due to geopolitical Reasons: A systematic literature review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 202, 104290. <https://doi.org/10.1016/J.TRE.2025.104290>
- Lotfi, M., & Larmour, A. (2022). Supply chain resilience in the face of uncertainty: how horizontal and vertical collaboration can help? *Continuity & Resilience Review*, 4(1), 37–53. <https://doi.org/10.1108/CRR-04-2021-0016>
- Ma, M., Tam, V. W., Le, K. N., & Osei-Kyei, R. (2023). A system dynamics model for assessing impacts of policies on supply and demand of recycled aggregate. *Journal of Building Engineering*, 75, 107050. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.107050>
- MacKenzie, C. A., Santos, J. R., & Barker, K. (2012). Measuring changes in international production from a disruption: Case study of the Japanese earthquake and tsunami. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 293–302. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2012.03.032>

- Maharana, S. (2025). Chip Shortage and the Tech Industry Crisis. In *Mass Media and Impact of Fake News on Supply Chains* (pp. 121–150). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-2175-2.ch005>
- Mahdavi, M., Olsen, T. L., Frederick, S., Lim, W. T., Rabinovich, E., Rogers, D. S., Laseter, T. M., Song, H., Tucker, A., Mak, H.-Y., & Shen, Z.-J. M. (2017). Introduction to the Special Issue on Integrated Risk Management in Supply Chains. *Foundations and Trends® in Technology, Information and Operations Management 2017, Vol. 11, Pages 1-12, 11(1-2)*, 1–12. <https://doi.org/10.1561/02000000059>
- Maneejuk, P., & Yamaka, W. (2021). The Impact of Higher Education on Economic Growth in ASEAN-5 Countries. *Sustainability 2021, Vol. 13, Page 520, 13(2)*, 520. <https://doi.org/10.3390/SU13020520>
- Mao, H., & Görg, H. (2020). Friends like this: The impact of the US–China trade war on global value chains. *The World Economy*, 43(7), 1776–1791. <https://doi.org/10.1111/TWEC.12967>
- Marcas chinas de autos eléctricos intensifican la competencia en México con rebajas - Mobility Portal: Noticias sobre vehículos eléctricos.* (2025). <https://mobilityportal.lat/marcas-chinas-autos-electricos-mexico-rebajas/>
- Martínez, A. G., Garduño, Y. M., & Vilchis, C. A. B. (2022). La certificación como operador económico autorizado: estrategias para su implementación. *Europub Journal of Education Research*, 3(1), 98–111. <https://doi.org/10.54745/ejerv3n1-007>
- Massari, G. F., & Giannoccaro, I. (2024). Complex Adaptive Supply Chain Management: An NKCS Methodology. *The Oxford Handbook of Agent-Based Computational Management Science*. <https://doi.org/10.1093/OXFORDHB/9780197668122.013.18>
- Matos, I. de. (2024). Integração Vertical y Horizontal na Cadeia de Suprimentos: Impactos na Resiliência Operacional: Vertical and Horizontal Integration in the Supply Chain: Impacts on Operational Resilience. *RCMOS - Revista Científica Multidisciplinar O Saber*, 1(1). <https://doi.org/10.51473/RCMOS.V1I1.2024.1418>

- Matsuo, H. (2015). Implications of the Tohoku earthquake for Toyota's coordination mechanism: Supply chain disruption of automotive semiconductors. *International Journal of Production Economics*, 161, 217–227. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2014.07.010>
- Mattegunta, V. K. P. (2025). Supply Chain Visibility Platforms: A Framework for Enhanced Transparency in Global Supply Networks. *European Journal of Computer Science and Information Technology*, 13(11), 114–130. <https://doi.org/10.37745/EJCSIT.2013/VOL13N11114130>
- McDougall, N., & Davis, A. (2024). The local supply chain during disruption: Establishing resilient networks for the future. *Journal of Cleaner Production*, 462, 142743. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.142743>
- Meadows, D. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*. [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=CpbLAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Meadows,+D.+\(2008\).+Thinking+in+Systems:+A+Primer,+Chelsea+Green+Publishing.&ots=LAsfp3uAVZ&sig=U9MI3FW3TVqsDh28pEON3JaQjdo&redir_esc=y#v=onepage&q=Meadows%2C%20D.%20\(2008\).%20Thinking%20in%20System%3A%20A%20Primer%2C%20Chelsea%20Green%20Publishing.&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=CpbLAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Meadows,+D.+(2008).+Thinking+in+Systems:+A+Primer,+Chelsea+Green+Publishing.&ots=LAsfp3uAVZ&sig=U9MI3FW3TVqsDh28pEON3JaQjdo&redir_esc=y#v=onepage&q=Meadows%2C%20D.%20(2008).%20Thinking%20in%20System%3A%20A%20Primer%2C%20Chelsea%20Green%20Publishing.&f=false)
- Medina Chamorro, F. A., & De La Peña Cárdenas, N. (2020). Las cadenas globales de valor de las manufacturas en México (2005-2015). *Apuntes Del Cenés*, 39(69), 13–38. <https://doi.org/10.19053/01203053.v39.n69.2020.9998>
- Mendelsohn, R., Emanuel, K., Chonabayashi, S., & Bakkensen, L. (2012). *The impact of climate change on global tropical cyclone damage*. 15. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1357>
- Meng, H. (2025). Risk Control in Complex Supply Chain Networks Under Sudden Public Emergencies. *Frontiers in Business, Economics and Management*, 18(1), 124–129. <https://doi.org/10.54097/TCFZHQ42>
- Mexican Ministry of Economy. (2023a). *TLC CENTROAMÉRICA-REPÚBLICA DE COREA: Ofreciendo Oportunidades para el Desarrollo*.

- Mexican Ministry of Economy. (2023b, January 2). *Actualizaciones sobre los TLC y otros compromisos comerciales de la India en 2022*. https://www-india--briefing-com.translate.google/news/india-fta-2022-status-update-23513.html/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Mexican Ministry of Economy and European Commission. (2020, April 28). *Tratado de Libre Comercio México-Unión Europea (TLCUEM)*. https://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=2056602&fecha=26/06/2000&cod_diario=150242
- Mexican Ministry of Economy and Malaysia's Ministry of International Trade and Industry. (2024, September 2). *Acuerdos de comercio libre de la ASEAN: Panorama general*. <https://www.aseanbriefing.com/news/acuerdos-de-comercio-libre-de-la-asean-panorama-general/>
- Mexican Ministry of Economy and Singapore's Ministry of Trade and Industry. (2022, January 26). *Tratado de Libre Comercio entre la Alianza del Pacífico y Singapur | Secretaría de Economía | Gobierno | gob.mx*. <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/capitulado-completo-del-tratado-de-libre-comercio-entre-la-alianza-del-pacifico-y-singapur-pasfta?state=published>
- Mexican Ministry of Economy and UK Department for International Trade. (2020, December 15). *México-Reino Unido (Acuerdo de Continuidad Comercial)*. <https://www.gob.mx/se/articulos/mexico-y-reino-unido-firman-acuerdo-de-continuidad-comercial-que-mantiene-el-libre-comercio-entre-ambos-paises>
- Min, R. (2025). *An Empirical Analysis of Tiff's Impact on American Business Formation*. <http://arxiv.org/abs/2506.00999>
- Ministério de Minas e Energia. (2020). *National Energy Plan 2050 Brasil*. https://climate-laws.org/document/national-energy-plan-2050_fe2d
- Ministerio de Relaciones Exteriores, C. I. y Culto. R. de A. (2022, March 18). *Nuevo acuerdo de preferencias arancelarias entre Argentina y México para ampliar el comercio bilateral | Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto*.

<https://www.cancilleria.gob.ar/es/actualidad/noticias/nuevo-acuerdo-de-preferencias-arancelarias-entre-argentina-y-mexico-para-ampliar>

Mohamed, M. M. A., Liu, P., & Nie, G. (2022). Causality between Technological Innovation and Economic Growth: Evidence from the Economies of Developing Countries. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 3586, 14(6), 3586. <https://doi.org/10.3390/SU14063586>

Mohamed, M., & Orabi, A. (2020). The Impact of Monetary Inflation on Investment Decisions in Jordanian Industrial Companies. *Modern Applied Science*, 14(7), p133. <https://doi.org/10.5539/MAS.V14N7P133>

Mohammad, W., Elomri, A., & Kerbache, L. (2022). The Global Semiconductor Chip Shortage: Causes, Implications, and Potential Remedies. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 476–483. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2022.09.439>

Morina, F., Hysa, E., Ergün, U., Panait, M., & Voica, M. C. (2020). The Effect of Exchange Rate Volatility on Economic Growth: Case of the CEE Countries. *Journal of Risk and Financial Management* 2020, Vol. 13, Page 177, 13(8), 177. <https://doi.org/10.3390/JRFM13080177>

MundoMaritimo. (2023a, October 23). *Conflicto Israel-Gaza: implicaciones en torno a la seguridad en los contratos de fletamento - MundoMaritimo*. <https://mundomaritimo.cl/noticias/conflicto-israel-gaza-implicaciones-en-torno-a-la-seguridad-en-los-contratos-de-fletamento>

MundoMaritimo. (2023b, November 8). *ONE suspende recargos por Detención y Demurrage para contenedores posicionados en Israel - MundoMaritimo*. <https://mundomaritimo.cl/noticias/one-suspende-recargos-por-detencion-y-demurrage-para-contenedores-posicionados-en-israel>

Munikhah, I. A. T., Ramdhani, A. Y., Pratama, A. Y., & Arini, R. W. (2022). Scenario Analysis of Indonesian Ferronickel Supply Chain Resilience with System Dynamics. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik Industri*, 24(2), 129–140. <https://doi.org/10.9744/JTI.24.2.129-140>

- Mutikani, L. (2022, April 22). *U.S. consumers shrug off high inflation, lean on savings to boost spending* | Reuters. <https://www.reuters.com/business/us-consumer-spending-beats-forecasts-march-inflation-soars-2022-04-29/>
- Nan, Y., Sun, R., Zhen, Z., & Fangjing, C. (2022). Measurement of international crude oil price cyclical fluctuations and correlation with the world economic cyclical changes. *Energy*, 260, 124946. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2022.124946>
- National Hydrogen Strategy Update (2020). https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/national-hydrogen-strategy-update.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Nesterenko, N., Vetrova, M., & Ivanova, D. (2021). The influence of the pandemic COVID-19 on the food supply chain management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 782(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/782/2/022040>
- Ngo, C. N., & Dang, H. (2022). Covid-19 in America: Global supply chain reconsidered. *The World Economy*, 46(1), 10.1111/twec.13317. <https://doi.org/10.1111/TWEC.13317>
- Nicas, J. (2022, March 23). *La guerra en Ucrania podría desencadenar una crisis mundial de alimentos* - *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/es/2022/03/23/espanol/ucrania-guerra-alimentos-precios.html>
- Normativo Del T-mec, M., & David Gaytán-Alfaro, E. (2022). Integración económica de México al mercado común de América del Norte: un análisis insumo-producto multipaís en el marco normativo del T-MEC. *Revista de Economía Mundial*, 2022(61), 159–193. <https://doi.org/10.33776/REM.V0I61.5346>
- Novicka, J., & Volkova, T. (2024). Regulation of Sustainability Reporting Requirements—Digitalisation Path. *Sustainability* 2025, Vol. 17, Page 138, 17(1), 138. <https://doi.org/10.3390/SU17010138>
- Núñez, A., Sreeganga, S. D., & Ramaprasad, A. (2021). Access to Healthcare during COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, Vol. 18, Page 2980, 18(6), 2980. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18062980>

- Olivares-Aguila, J., & ElMaraghy, W. (2021). System dynamics modelling for supply chain disruptions. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1757–1775. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1725171>
- Oliver, T. (2023). Reflections: the UK after Brexit. *International Politics*, 117, 14–15. <https://doi.org/10.1057/s41311-023-00472-6>
- Olsen, V. M., Fensholt, R., Olofsson, P., Bonifacio, R., Butsic, V., Druce, D., Ray, D., & Prishchepov, A. V. (2021). The impact of conflict-driven cropland abandonment on food insecurity in South Sudan revealed using satellite remote sensing. *Nature Food* 2:12, 2(12), 990–996. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00417-3>
- Opoku, E. E. O., & Boachie, M. K. (2020). The environmental impact of industrialization and foreign direct investment. *Energy Policy*, 137, 111178. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2019.111178>
- Paine, J. (2022). Dynamic Supply Chains with Endogenous Dispositions. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.4148766>
- Pal, L. C. (2023). Impact of Education on Economic Development. *Khazanah Pendidikan Islam*, 5(1), 10–19. <https://doi.org/10.15575/kp.v5i1.25199>
- Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change (2016). <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/pan-canadian-framework.html>
- Pappalardo, G., Chang, C.-L., Cipollina, M., & Salvatici, L. (2022). The Dark Matter of Bilateral Preferential Margins: An Assessment of the Effect of US Tariffs. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 4762, 14(8), 4762. <https://doi.org/10.3390/SU14084762>
- Parés Olguín, F., Iskakov, G., & Kendall, A. (2023). US-Mexico second-hand electric vehicle trade: Battery circularity and end-of-life policy implications. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 125, 103934. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2023.103934>

- Paul, S. K., Chowdhury, P., Moktadir, M. A., & Lau, K. H. (2021). Supply chain recovery challenges in the wake of COVID-19 pandemic. *Journal of Business Research*, 136, 316–329. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2021.07.056>
- Pavlov, A., Ivanov, D., Werner, F., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). Integrated detection of disruption scenarios, the ripple effect dispersal and recovery paths in supply chains. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03454-1>
- Pereira, P., Zhao, W., Symochko, L., Inacio, M., Bogunovic, I., & Barcelo, D. (2022). The Russian-Ukrainian armed conflict will push back the sustainable development goals. *Geography and Sustainability*, 3(3), 277–287. <https://doi.org/10.1016/J.GEOSUS.2022.09.003>
- Perera, M. A. S. M., Wijayanayake, A. N., & Peter, S. (2021). Framework to mitigate supply chain disruptions in the apparel industry during an epidemic outbreak. *Proceedings - International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering, SCSE 2021*, 258–266. <https://doi.org/10.1109/SCSE53661.2021.9568286>
- Perez-Batres, L. A., & Trevino, L. J. (2023). Sustainable regional real options value chains: an ounce of prevention is worth a pound of cure Cadenas de valor de opciones reales regionales sostenibles: una onza de prevención vale una libra de cura Cadeias de valor de opções reais regionais sustentáveis: antes prevenir do que remediar. *Management Research*, 21(4), 404–418. <https://doi.org/10.1108/MRJIAM-09-2023-1456>
- Persakis, A., & Iatridis, G. E. (2015). Earnings quality under financial crisis: A global empirical investigation. *Journal of Multinational Financial Management*, 30, 1–35. <https://doi.org/10.1016/J.MULFIN.2014.12.002>
- Pestana, M. (2022). *Reforma Tributaria* .
- Pham, H. T., Pham, T., Truong Quang, H., & Dang, C. N. (2022). Supply chain risk management research in construction: a systematic review. *International Journal of Construction Management*. <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2029677>

- Phan, D. H. B., Iyke, B. N., Sharma, S. S., & Affandi, Y. (2021). Economic policy uncertainty and financial stability—Is there a relation? *Economic Modelling*, 94, 1018–1029. <https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2020.02.042>
- Philsoophian, M., Akhavan, P., & Abbasi, M. (2021). Strategic alliance for resilience in supply chain: A bibliometric analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/su132212715>
- Pirouzrahi, Z., Vanelander, T., & Nassiri Aghdam, A. (2025). Applying system dynamics modelling to modal shift: A systematic review. *Sustainable Futures*, 9, 100526. <https://doi.org/10.1016/J.SFTR.2025.100526>
- Piscopo, J. M. (2015). States as Gender Equality Activists: The Evolution of Quota Laws in Latin America. *Latin American Politics and Society*, 57(3), 27–49. <https://doi.org/10.1111/J.1548-2456.2015.00278.X>
- Polyviou, M., Ramos, G., & Schneller, E. (2022). Supply Chain Risk Management: An Enterprise View and a Survey of Methods. In *International Series in Operations Research and Management Science* (Vol. 332, pp. 27–58). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09183-4_2
- PRODENSA. (2024). *Automotive Manufacturing in Mexico*. <https://www.prodensa.com/insights/blog/automotive-manufacturing-in-mexico>
- Programa Especial Del Cambio Climático 2009 2012 (1986). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114329/3._Programa_Especial_Cambio_Clim_tico.pdf
- Programa Nacional Para El Aprovechamiento Sustentable de La Energía (PRONASE) (2020). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/928276/VF_Proyecto_de_Evaluacion_del_Programa_Nacional_para_el_Aprovechamiento_Sustentable_de_la_Energ_a_100724.pdf

- Prol-Ledesma, R. M., & Morán-Zenteno, D. J. (2019). Heat flow and geothermal provinces in Mexico. *Geothermics*, 78, 183–200. <https://doi.org/10.1016/J.GEOTHERMICS.2018.12.009>
- Promexico Industry. (2022, June 8). *Pro Mexico Industry | Automotive industry, pillar of the Mexican economy*. <http://www.promexicoindustry.com/en/article/automotive-industry-pillar-of-the-mexican-economy>
- Qian, X., & Qiu, S. (2023). Political risk and corporate international supply chain. *Journal of International Money and Finance*, 137, 102899. <https://doi.org/10.1016/J.JIMONFIN.2023.102899>
- Queiroz, M. M., Ivanov, D., Dolgui, A., & Fosso Wamba, S. (2020). Impacts of epidemic outbreaks on supply chains: mapping a research agenda amid the COVID-19 pandemic through a structured literature review. *Annals of Operations Research* 2020 319:1, 319(1), 1159–1196. <https://doi.org/10.1007/S10479-020-03685-7>
- Raj, A., Mali, B. S., Kumar, B., Singh, C. Sen, & Nainawat, G. K. (2023). System Dynamics Approach to Evaluate the Oil and Gas Supply Chain: A Case Study. *Upstream Oil and Gas Technology*, 11, 100090. <https://doi.org/10.1016/J.UPSTRE.2023.100090>
- Randelović, S., & Martinović, N. (2022). National Competitiveness and Foreign Direct Investment in Emerging Europe. *Economic Themes*, 60(1), 21–40. <https://doi.org/10.2478/ETHEMES-2022-0002>
- Randow, J. (2022, April 19). *Euro Zone Recession Threat: Cloud Hangs Over Europe's Fragile Economic Growth* - Bloomberg. https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-04-29/recession-threat-hangs-over-europe-s-fragile-economic-growth?cmpid=BBD050222_TRADE&utm_medium=email&utm_source=newsletter&utm_term=220502&utm_campaign=trade
- Rasul, G., Nepal, A. K., Hussain, A., Maharjan, A., Joshi, S., Lama, A., Gurung, P., Ahmad, F., Mishra, A., & Sharma, E. (2021). Socio-Economic Implications of COVID-19 Pandemic in South Asia: Emerging Risks and Growing Challenges. *Frontiers in Sociology*, 6, 1. <https://doi.org/10.3389/FSOC.2021.629693>

- Ravi, S. S., Osipov, S., & Turner, J. W. G. (2023). Impact of Modern Vehicular Technologies and Emission Regulations on Improving Global Air Quality. *Atmosphere 2023*, Vol. 14, Page 1164, 14(7), 1164. <https://doi.org/10.3390/ATMOS14071164>
- Rebs, T., Brandenburg, M., & Seuring, S. (2019). System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1265–1280. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.100>
- Reforma Energética. (2013). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164370/Resumen_de_la_explicacion_de_la_Reforma_Energetica11_1_.pdf
- Rekunenko, I., Diakonova, I., Lavryk, Y., Pavlenko, O., & Fedyna, V. (2021). COMPETITIVENESS AS AN ELEMENT OF STRATEGIC MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE COUNTRY. *Visnik Sums'kogo Deržavnogo Universitetu*, 2021(1), 330–337. <https://doi.org/10.21272/1817-9215.2021.1-38>
- RenovaBio (National Biofuels Policy) (2017). <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1/renovabio-ingles>
- Resumen Del Acuerdo Para El Fortalecimiento de La Asociación Económica Entre Los Estados Unidos Mexicanos y Japón (2005).
- Riad, M., Naimi, M., & Okar, C. (2024). Enhancing Supply Chain Resilience Through Artificial Intelligence: Developing a Comprehensive Conceptual Framework for AI Implementation and Supply Chain Optimization. *Logistics 2024*, Vol. 8, Page 111, 8(4), 111. <https://doi.org/10.3390/LOGISTICS8040111>
- Rísquez Ramos, M., & Ruiz-Gálvez, M. E. (2024). The transformation of the automotive industry toward electrification and its impact on global value chains: Inter-plant competition, employment, and supply chains. *European Research on Management and Business Economics*, 30(1), 100242. <https://doi.org/10.1016/J.IEDEEN.2024.100242>

- Rodríguez Acosta, J., Lopes Martínez, I., Paradela Fournier, L., & Pérez Neyra, A. N. (2019). Plan de mejoras al sistema de trazabilidad de medicamentos en Cuba. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 15(29). <https://doi.org/10.18270/CUADERLAM.V15I29.2858>
- Rogers, Z. S., Golar, S., Abdulsalam, Y., & Rogers, D. S. (2024). Protect me not: The effect of tariffs on U.S. supply networks. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 30(1), 100897. <https://doi.org/10.1016/J.PURSUP.2024.100897>
- Rothstein, J. S. (2005). Economic Development Policymaking Down the Global Commodity Chain: Attracting an Auto Industry to Silao, Mexico. *ERIC*.
- Roza, M., Van den Bosch, F. A. J., & Volberda, H. W. (2011). Offshoring strategy: Motives, functions, locations, and governance modes of small, medium-sized and large firms. *International Business Review*, 20(3), 314–323. <https://doi.org/10.1016/J.IBUSREV.2011.02.002>
- Rozhkov, M., Ivanov, D., Blackhurst, J., & Nair, A. (2022). Adapting supply chain operations in anticipation of and during the COVID-19 pandemic. *Omega*, 110, 102635. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2022.102635>
- Saidi, S., Mani, V., Mefteh, H., Shahbaz, M., & Akhtar, P. (2020). Dynamic linkages between transport, logistics, foreign direct Investment, and economic growth: Empirical evidence from developing countries. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 141, 277–293. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2020.09.020>
- Salcito, K. (2023). Automotive Supply Chain Links to the Uyghur Genocide: Reversing a Growing Crisis. *Business and Human Rights Journal*, 8(2), 265–270. <https://doi.org/10.1017/BHJ.2023.15>
- Saltzman, J. (2022a). The Russia-Ukraine War Shifts Risks in Global Supply Chains and Markets. *Photonics Spectra*, 56(5), 24–27. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85131249769&partnerID=40&md5=e350ed5871708b89735c95bd1555126b>

- Saltzman, J. (2022b). The Russia-Ukraine War Shifts Risks in Global Supply Chains and Markets. *Photonics Spectra*, 56(5), 24–27.
- Salvatore, D. (2020). Growth and trade in the United States and the world economy: Overview. *Journal of Policy Modeling*, 42(4), 750–759. <https://doi.org/10.1016/J.JPOLMOD.2020.03.001>
- Sarker, S., Engwall, M., Trucco, P., & Feldmann, A. (2016). Internal Visibility of External Supplier Risks and the Dynamics of Risk Management Silos. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 63(4), 451–461. <https://doi.org/10.1109/TEM.2016.2596144>
- Sato, Y., Tse, Y. K., & Tan, K. H. (2020). Managers' risk perception of supply chain uncertainties. *Industrial Management and Data Systems*, 120(9), 1617–1634. <https://doi.org/10.1108/IMDS-01-2020-0049/FULL/XML>
- Schiffmann, O., Hicks, B., Nassehi, A., Gopsill, J., & Valero, M. (2023). A Cost–Benefit Analysis Simulation for the Digitalisation of Cold Supply Chains. *Sensors* 2023, Vol. 23, Page 4147, 23(8), 4147. <https://doi.org/10.3390/S23084147>
- Schinko, T., & Komendantova, N. (2016). De-risking investment into concentrated solar power in North Africa: Impacts on the costs of electricity generation. *Renewable Energy*, 92, 262–272. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2016.02.009>
- Schmook, B., & Vance, C. (2009). Agricultural Policy, Market Barriers, and Deforestation: The Case of Mexico's Southern Yucatán. *World Development*, 37(5), 1015–1025. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2008.09.006>
- Sheffi, Y. (2021). *What Everyone Gets Wrong About the Never-Ending COVID-19 Supply Chain Crisis*. <https://sloanreview.mit.edu/article/what-everyone-gets-wrong-about-the-never-ending-covid-19-supply-chain-crisis/>
- Sheldon, I., McGuire, W., & Chow, D. C. K. (2018). The Revival of Economic Nationalism and the Global Trading System. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.3152299>

- Shen, B., & Li, Q. (2017). Market disruptions in supply chains: a review of operational models. *International Transactions in Operational Research*, 24(4), 697–711. <https://doi.org/10.1111/ITOR.12333>
- Shi, X., & Ling, G. H. T. (2022). Factors influencing collective action of gated communities: a systematic review using an SES framework. *Open House International*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/OHI-01-2022-0010/FULL/XML>
- Shigeyuki Abe, P. H. (2012, January 26). *Fragile supply chains become challenged by natural disaster*. 1–3. <https://www.nationthailand.com/perspective/30184950>
- Shimbar, A., & Ebrahimi, S. B. (2020). Political risk and valuation of renewable energy investments in developing countries. *Renewable Energy*, 145, 1325–1333. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.06.055>
- Shubbak, M. H. (2019). The technological system of production and innovation: The case of photovoltaic technology in China. *Research Policy*, 48(4), 993–1015. <https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2018.10.003>
- SICE. (2002, September 27). *Acuerdo de Complementación Económica México - MERCOSUR* (ACE No 55). http://www.sice.oas.org/trade/mercosurmexace55/mermexauto_s.asp
- Siebert, J. U., Brandenburg, M., & Siebert, J. (2020). Defining and Aligning Supply Chain Objectives Before, During, and After the COVID-19 Pandemic. *IEEE Engineering Management Review*, 48(4), 72–85. <https://doi.org/10.1109 / EMR.2020.3032369>
- Silvia, R., & Arce, A. (2019). *Descentralización y reconfiguración productiva en la industria automotriz mexicana*. 34. <https://doi.org/10.18800/espaciodydesarrollo.201902.004>
- Singh, G., Rajesh, R., Misra, S. C., & Singh, S. (2024). Analyzing the role of digital twins in developing a resilient sustainable manufacturing supply chain: A grey influence analysis (GINA) approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 209, 123763. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2024.123763>

- Sofí, A., & Vargas, H. (2024). Macroeconomic Drivers of Inflation in Mexico: Insights from Machine Learning Predictions. *Journal of World Economy*, 3(4), 110–113. <https://doi.org/10.56397/JWE.2024.12.13>
- Stankov, I., Useche, A. F., Meisel, J. D., Montes, F., Morais, L. M., Friche, A. AL, Langellier, B. A., Hovmand, P., Sarmiento, O. L., Hammond, R. A., & Diez Roux, A. V. (2021). From causal loop diagrams to future scenarios: Using the cross-impact balance method to augment understanding of urban health in Latin America. *Social Science & Medicine*, 282, 114157. <https://doi.org/10.1016/J.SOCSCIMED.2021.114157>
- SteelFisher, G. K., Blendon, R. J., Ward, J. R. M., Rapoport, R., Kahn, E. B., & Kohl, K. S. (2012). Public response to the 2009 influenza A H1N1 pandemic: A polling study in five countries. *The Lancet Infectious Diseases*, 12(11), 845–850. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(12\)70206-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(12)70206-2)
- Sterman, John. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin/McGraw-Hill.
- Stuenkel, O. (2013). Rising Powers and the Future of Democracy Promotion: the case of Brazil and India. *Third World Quarterly*, 34(2), 339–355. <https://doi.org/10.1080/01436597.2013.775789>
- Sudan, T., Taggar, R., Jena, P. K., & Sharma, D. (2023). Supply chain disruption mitigation strategies to advance future research agenda: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 425, 138643. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138643>
- Sullivan, A., White, D. D., & Hanemann, M. (2019). Designing collaborative governance: Insights from the drought contingency planning process for the lower Colorado River basin. *Environmental Science & Policy*, 91, 39–49. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2018.10.011>
- Sváček, M., & Lenort, R. (2021). IDENTIFICATION AND EVALUATION OF INTERNAL LOGISTICS RISKS WITHIN METALLURGICAL SUPPLY CHAIN. *METAL 2021 - 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings*, 1376–1380. <https://doi.org/10.37904/metal.2021.4296>

- Swenson, D. L. (2024). Trade-war Tariffs and Supply Chain Trade. *Asian Economic Papers*, 23(1), 66–86. https://doi.org/10.1162/ASEP_A_00885
- Sy, C., Bernardo, E., Miguel, A., San Juan, J. L., Mayol, A. P., Ching, P. M., Culaba, A., Ubando, A., & Mutuc, J. E. (2020). Policy Development for Pandemic Response Using System Dynamics: a Case Study on COVID-19. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 4(4), 497. <https://doi.org/10.1007/S41660-020-00130-X>
- Taschner, A., & Charifzadeh, M. (2020). Risk Management in Supply Chains. *Management Accounting in Supply Chains*, 153–188. https://doi.org/10.1007/978-3-658-28597-5_7
- Tavakoli Haji Abadi, Y., & Avakh Darestani, S. (2021). Evaluation of sustainable supply chain risk: evidence from the Iranian food industry. *Journal of Science and Technology Policy Management*. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-08-2020-0121>
- Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution (2020). <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution>
- Teorema Stolper-Samuelson, E. L., Salarial, B., Liberalización, Y., Oscar, H., & Díaz, L. (2023). EL TEOREMA STOLPER-SAMUELSON, BRECHA SALARIAL Y LIBERALIZACIÓN COMERCIAL: ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS, 1990-2020. *Investigación Económica*, 82(323), 105–131. <https://doi.org/10.22201/FE.01851667P.2023.323.84380>
- Terri, M. (2022, April 12). *Russia-Ukraine war worsens fertilizer crunch, risking food supplies*: NPR. <https://www.npr.org/2022/04/12/1092251401/russia-ukraine-war-worsens-fertilizer-crunch-risking-food-supplies>
- Thakur-Weigold, B., & Miroudot, S. (2024). *Promoting resilience and preparedness in supply chains* (286th ed., OECD Trade Policy Papers). <https://doi.org/10.1787/be692d01-en>
- TheWhiteHouse. (2025a, April). *Presidential Actions – The White House*. <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/>

- TheWhiteHouse. (2025b, April 2). *Fact Sheet: President Donald J. Trump Declares National Emergency to Increase our Competitive Edge, Protect our Sovereignty, and Strengthen our National and Economic Security – The White House*. <https://www.whitehouse.gov/fact-sheets/2025/04/fact-sheet-president-donald-j-trump-declares-national-emergency-to-increase-our-competitive-edge-protect-our-sovereignty-and-strengthen-our-national-and-economic-security/>
- Thomson Reuters Mexico. (2025). *Desarrollo de la industria automotriz: ¿Cómo impacta a México?* | Thomson Reuters. <https://www.thomsonreutersmexico.com/es-mx/soluciones-fiscales/blog-fiscal/desarrollo-de-la-industria-automotriz-como-impacta-a-mexico>
- TRATADO DE LIBRE COMERCIO DE AMERICA DEL NORTE (1994). http://www.gobernacion.gob.mx/work/models/SEGOB/Resource/1687/4/images/43_%20Tratado_de_Libre_Comercio_de_America_del_Norte-TLCAN.pdf
- Tsao, Y. C., Banyuprimesta, I. G. A., & Lu, J. C. (2025). Optimal resilient fleet route policy in shipping industry: Two-stage model for minimizing disruption-related effect. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 239(2), 284–300. <https://doi.org/10.1177/14750902241272881>
- UNFCCC. (1983). *Paris Agreement Spanish*. https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- United States-Mexico-Canada Agreement | United States Trade Representative (2020). <https://ustr.gov/trade-agreements/free-trade-agreements/united-states-mexico-canada-agreement>
- US-Mexico trade war would harm both economies. (2024). In *Emerald Expert Briefings: Vol. oxan-ga* (Emerald Expert Briefings, Issue oxan-ga). Oxford Analytica. <https://doi.org/10.1108/OXAN-GA291324>
- Vafadarnikjoo, A., Tavana, M., Chalvatzis, K., & Botelho, T. (2022). A socio-economic and environmental vulnerability assessment model with causal relationships in electric

- power supply chains. *Socio-Economic Planning Sciences*, 80, 101156.
<https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2021.101156>
- van Hassel, E., Vanelslander, T., Neyens, K., Vandeborre, H., Kindt, D., & Kellens, S. (2022). Reconsidering nearshoring to avoid global crisis impacts: Application and calculation of the total cost of ownership for specific scenarios. *Research in Transportation Economics*, 93, 101089.
<https://doi.org/10.1016/J.RETREC.2021.101089>
- VanderWilde, C. P., Newell, J. P., Gounaridis, D., & Goldstein, B. P. (2023). Deforestation, certification, and transnational palm oil supply chains: Linking Guatemala to global consumer markets. *Journal of Environmental Management*, 344, 118505.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.118505>
- Vargas-Hernández, J. G., & Vargas-González, O. C. (2021). Global Supply Chain and Value Chain Relocation Strategy under Deglobalization. *Journal of Supply Chain Management Systems*, 10(3), 37–50.
<https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=0bd3aed0-ac2d-3031-897b-17ca687d3d32>
- Viewpoint: 2021 is the year of the freight service embargo - FreightWaves*. (2021, August 19). <https://www.freightwaves.com/news/viewpoint-2021-is-the-year-of-the-freight-service-embargo>
- Vite López, G. E., & Vite Gómez, E. E. (2024). Análisis del Comercio entre México y Estados Unidos: Perspectivas y Oportunidades de Diversificación. *Caleidoscopi*, 2(3), 1–8. <https://doi.org/10.29057/caleidoscopi.v2i3.12758>
- Vittadini, G., Agasisti, T., Ricci, R., Senn, L., Ziberi, B. F., Rexha, D., Ibraimi, X., & Avdiaj, B. (2022). Empirical Analysis of the Impact of Education on Economic Growth. *Economies* 2022, Vol. 10, Page 89, 10(4), 89.
<https://doi.org/10.3390/ECONOMIES10040089>
- Wang, M. (2023). Trade Diversion Effects from Global Tensions—Higher Than We Think. *IMF Working Papers*, 2023(234), 1. <https://doi.org/10.5089/9798400257421.001>

- Watanabe, N., & Kusakawa, E. (2015). Optimal Ordering Policy in Dual-Sourcing Supply Chain Considering Supply Disruptions and Demand Information. *Industrial Engineering and Management Systems*, 14(2), 129–158. <https://doi.org/10.7232/IEMS.2015.14.2.129>
- Weil, A. R. (2023). Global Lessons From COVID-19. *Https://Doi.Org/10.1377/Hlthaff.2023.01465*, 42(12), 1629. <https://doi.org/10.1377/HLTHAFF.2023.01465>
- Whitby, R. D. (2020). Automotive Trends in Asia. *Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants*, 973–1002. <https://doi.org/10.1201/9781315158150-58>
- Williams, B. R., & Hammond, K. E. (2020, January 29). *Escalating U.S. Tariffs: Affected Trade*. <https://sgp.fas.org/crs/row/IN10971.pdf>
- Willumsen, P., Oehmen, J., Rossi, M., & Welo, T. (2019). What Value for Whom in Risk Management?—A Multi-value Perspective on Risk Management in an Engineering Project Supply Chain. In *Springer Series in Supply Chain Management* (Vol. 7, pp. 101–120). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03813-7_6
- Wu, D., Ding, H., & Cheng, Y. (2024). How does environmental policy affect operations and supply chain management: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 197, 110580. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2024.110580>
- Wu, D., Ding, H., & Cheng, Y. (2025). Green technology investment in competitive supply Chains: Exploring technology spillovers and altruistic preferences under carbon tax policy. *Journal of Cleaner Production*, 517, 145871. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2025.145871>
- Wu, J. Y., Lau, E. H. Y., Lu, M. L., Guo, C., Guo, Z. M., Yuan, J., & Lu, J. H. (2022). An occupational risk of hepatitis E virus infection in the workers along the meat supply chains in Guangzhou, China. *One Health*, 14, 100376. <https://doi.org/10.1016/J.ONEHLT.2022.100376>

- Xiao, S., Dong, H., Geng, Y., Tian, X., Liu, C., & Li, H. (2020). Policy impacts on Municipal Solid Waste management in Shanghai: A system dynamics model analysis. *Journal of Cleaner Production*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121366>
- Xu, Y., Du, R., & Pei, J. (2023). The investment risk evaluation for onshore and offshore wind power based on system dynamics method. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 58, 103328. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2023.103328>
- Yakovlev, P. P. (2023). Model “Nearshoring” – the Concept of the New Economy of the Latin America. *Mirovaya Ekonomika i Mezhdunarodnye Otnosheniya*, 67(2), 93–103. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2023-67-2-93-103>
- Yan, W., He, J., & Trappey, A. J. C. (2019). Risk-aware supply chain intelligence: AI-enabled supply chain and logistics management considering risk mitigation. *Advanced Engineering Informatics*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100976>
- Yasir, M., Afzal, S., Latif, K., Chaudhary, G. M., Malik, N. Y., Shahzad, F., & Song, O. Y. (2020). An Efficient Deep Learning Based Model to Predict Interest Rate Using Twitter Sentiment. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 1660, 12(4), 1660. <https://doi.org/10.3390/SU12041660>
- Yin, Y., & Lam, J. S. L. (2022). Bottlenecks of LNG supply chain in energy transition: A case study of China using system dynamics simulation. *Energy*, 250, 123803. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123803>
- Yücesan, E. (2025). Does deglobalization imply the end of global supply chains? *International Business Review*, 34(6), 102398. <https://doi.org/10.1016/J.IBUSREV.2025.102398>
- Zanker, M., & Bureš, V. (2022). Knowledge Management as a Domain, System Dynamics as a Methodology. *Systems* 2022, Vol. 10, Page 82, 10(3), 82. <https://doi.org/10.3390/SYSTEMS10030082>
- Zareian Beinabadi, H., Baradaran, V., & Rashidi Komijan, A. (2024). Sustainable supply chain decision-making in the automotive industry: A data-driven approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 95, 101908. <https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2024.101908>

- Zarghami, S. A., & Dumrak, J. (2021). Unearthing vulnerability of supply provision in logistics networks to the black swan events: Applications of entropy theory and network analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 215, 107798. <https://doi.org/10.1016/J.RESS.2021.107798>
- Zeraati Foukolaei, P., Alizadeh Asari, F., Khazaei, M., Gholian-Jouybari, F., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2024). From responsible sourcing of wastes to sustainable energy consumption in the blue hydrogen supply chain: Case of nearshoring in Nuevo Leon. *International Journal of Hydrogen Energy*, 77, 1387–1400. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2024.06.079>
- Zhang, J. (2025). Analysis of Factors Affecting Automobile Prices and Their Impact on the Market. *Science and Technology of Engineering, Chemistry and Environmental Protection*, 1(4). <https://doi.org/10.61173/V0NNX252>
- Zhang, L., Zhou, J., & Zang, Y. (2024). Financial Risk Identification and Control in the Openness Context: A System Dynamics Approach to Renminbi Internationalization. *International Review of Economics & Finance*, 103542. <https://doi.org/10.1016/J.IREF.2024.103542>
- Zhang, S., Wang, C., & Yu, C. (2019). The evolutionary game analysis and simulation with system dynamics of manufacturer's emissions abatement behavior under cap-and-trade regulation. *Applied Mathematics and Computation*, 355, 343–355. <https://doi.org/10.1016/J.AMC.2019.02.080>
- Zhang, X., Bai, S., Goh, M., & Guo, Y. (2024). Climate and geopolitical risk correlations and response decisions for semiconductor global supply chains. *Computers & Industrial Engineering*, 194, 110358. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2024.110358>
- Zhang, Y., & Nan, X. (2023). Debt default, financial risk transmission and governance from the perspective of supply chain network. *Heliyon*, 9(3), e14224. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2023.E14224>
- Zheng, J., Zhou, S., Li, X., Padula, A. D., & Martin, W. (2023). Effects of Eliminating the US–China Trade Dispute Tariffs. *World Trade Review*, 22(2), 212–231. <https://doi.org/10.1017/S1474745622000271>

- Zhou, J., Chen, S. L. (Peggy), Shi, W. (Wendy), Nguyen, S., Kanrak, M., & Ge, J. (2023). A belief rule-based bayesian network approach for assessing risks in the cruise supply chain: An empirical study in Shanghai, China. *Ocean & Coastal Management*, 232, 106443. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2022.106443>
- Zhou, Y., Wang, X., Naim, M. M., & Gosling, J. (2022). A system dynamics archetype to mitigate rework effects in engineer-to-order supply chains. *International Journal of Production Economics*, 250, 108620. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2022.108620>
- Zimmerman, L., Lounsbury, D. W., Rosen, C. S., Kimerling, R., Trafton, J. A., & Lindley, S. E. (2016). Participatory System Dynamics Modeling: Increasing Stakeholder Engagement and Precision to Improve Implementation Planning in Systems. *Administration and Policy in Mental Health*, 43(6), 834–849. <https://doi.org/10.1007/S10488-016-0754-1>

PRODUCTOS ACADÉMICOS

Carta de aceptación de publicación de artículo en la Revista ECORFAN-México S.C.



DECIMO CONGRESO INTERNACIONAL INTERDISCIPLINARIO
DE ENERGÍAS RENOVABLES, MANTENIMIENTO INDUSTRIAL,
MECATRÓNICA E INFORMATICA, CIERMMI 2025

San Juan del Río, Querétaro a martes, 28 de octubre de 2025.

Bocanegra-Villegas, Laura Valentina, Sánchez-Ramírez, Cuauhtemoc, Alor-Hernández,
Giner y

a <https://ror.org/05vpj2s72>, HGB-5499-2022, <https://orcid.org/0000-0001-6452-5269>

Apreciable Autor(es), nos es grato comunicarle que su manuscrito con el código de participación **CIER-159**, titulado **MODELO CONCEPTUAL DEL IMPACTO DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO INDUSTRIALES** en una revista científica y para su presentación en la décima edición del Congreso CIERMMI 2025, en la modalidad Virtual.

Le solicitamos atender las observaciones detalladas en el documento llamado **Peer Review Report** y preparar la versión corregida de su extenso conforme a las instrucciones proporcionadas.

La publicación procederá únicamente cuando el artículo corregido y documentos complementarios, cumpla cabalmente los lineamientos editoriales y los trámites administrativos establecidos por el comité editorial y el comité organizador. Una vez concluido este proceso, su investigación se integrará en una de las revistas indexadas con registro ISSN editadas por ECORFAN-México S.C.

El plazo para la entrega del extenso corregido y los trámites de publicación inicia con la recepción de esta notificación de aceptación y finaliza el **VIERNES 07 DE OCTUBRE DE 2025**.

El Comité Organizador de CIERMMI 2025 le extiende una cordial felicitación y agradece su valiosa participación. Confiamos en que este encuentro continúe siendo un espacio de excelencia para el intercambio de conocimiento, experiencias y proyectos de investigación.

Reciba un saludo atento y nuestros mejores deseos para el éxito de su presentación.

ATENTAMENTE

Ing. Luis Eduardo Cruz Carpio
Coordinador General del Decimo
Consejo Directivo del CIERMMI 2025.



teléfonos

427 264 1296 / 427 272 2991

WWW.CIERQUERETARO.ORG.MX



Correo Electrónico

cierqro@gmail.com

Ponente en la conferencia de apertura del Segundo Congreso Internacional de Ingeniería Industrial y Logística, realizado en Querétaro.



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
A TRAVÉS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO
OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

Laura Valentina Bocanegra Villegas

POR SU VALIOSA PARTICIPACIÓN AL IMPARTIR LA CONFERENCIA

RIESGOS ASOCIADOS A LAS POLÍTICAS
GUBERNAMENTALES EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO
INDUSTRIALES: UN ENFOQUE SISTÉMICO

DENTRO DEL 2DO. CONGRESO INTERNACIONAL DE IIND & ILOG 2025,
LLEVADA A CABO EL 22 DE OCTUBRE DEL PRESENTE AÑO,
EN LAS INSTALACIONES DEL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO


RAMÓN SOTO ARRIOLA
DIRECTOR

QUERÉTARO, QUERÉTARO, 22 DE OCTUBRE DE 2025



Publicación del artículo titulado ‘Dynamic Analysis of the Impact of U.S. Tariff Policies on Automotive Production in Mexico’ en la revista *Logistics*, con un Impact Factor de 3.6, Citescore de 8.0 y clasificación Q1.



<https://doi.org/10.3390/logistics10050108>

Dynamic Analysis of the Impact of U.S. Tariff Policies on Automotive Production in Mexico

by **Laura Valentina Bocanegra-Villegas**¹ , **Cuauhtémoc Sánchez-Ramírez**^{1,*}   and **Jorge Luis García-Alcaraz**²  

¹ Division of Research and Postgraduate Studies, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba 94320, Veracruz, Mexico

² Department of Industrial Engineering and Manufacturing, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez 32310, Chihuahua, Mexico

* Author to whom correspondence should be addressed.

Logistics **2026**, *10*(5), 108; <https://doi.org/10.3390/logistics10050108>