



**RESILIENCIA COMO ESTRATEGIA DE INNOVACIÓN LOGÍSTICA EN LA
CADENA DE SUMINISTRO DE EMPRESAS FARMACÉUTICAS PARA AMÉRICA
LATINA**

**(Análisis comparativo entre Colombia, Brasil y México frente a las capacidades
de respuesta ante disrupciones)**

MARIO FERNANDO ESPAÑA RODRÍGUEZ

Informe de opción de grado para optar el título de Especialista en Gerencia de la
cadena de valor y productividad

PROFESOR: CRISTIAN ALEJANDRO AGUILAR TOVAR

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE LA CADENA
DE VALOR Y PRODUCTIVIDAD**

Abril, 2026

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	5
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.1. <i>Pregunta problema</i>	9
2. JUSTIFICACIÓN.....	9
3. OBJETIVOS.....	12
3.1. <i>Objetivo general</i>	12
3.2. <i>Objetivos específicos</i>	12
4. METODOLOGÍA.....	12
4.1. <i>Fase 1: Revisión sistemática de la literatura</i>	12
4.2. <i>Fase 2: Caracterización del contexto farmacéutico por país</i>	13
4.3. <i>Fase 3: Análisis comparativo de capacidades de resiliencia</i>	13
4.4. <i>Fase 4: Diseño del modelo de resiliencia logística para Colombia</i>	14
5. RESULTADOS	14
5.1. <i>Resiliencia como estrategia de innovación logística</i>	14
5.1.1. <i>Marco conceptual: de la resiliencia reactiva a la innovación dinámica</i>	14
5.1.2. <i>Digitalización e Industria 4.0 como palancas de resiliencia innovadora</i>	16
5.1.3. <i>Palancas logísticas que conectan resiliencia e innovación</i>	18
5.2. <i>Resiliencia logística y cadenas de suministro farmacéutica en América Latina</i>	19
5.2.1. <i>Contexto general: vulnerabilidad estructural de la cadena farmacéutica regional</i>	19
5.2.2. <i>Estrategias de resiliencia adoptadas en la región post-pandemia</i>	20
5.2.3. <i>Digitalización y visibilidad como ejes de transformación regional</i>	21
5.3. <i>Comparar las capacidades de resiliencia logística en empresas farmacéuticas de Colombia, Brasil y México a nivel cualitativo y cuantitativo</i>	22
5.3.1. <i>Colombia: alta exposición al riesgo, resiliencia reactiva incipiente</i>	23
5.3.2. <i>Brasil: mayor madurez, liderazgo regional en digitalización</i>	24
5.3.3. <i>México: nearshoring estratégico y crisis oncológica como catalizadores de cambio</i> ...	24

5.4. Modelo de resiliencia logística adaptado al contexto farmacéutico colombiano, con estrategias transferibles desde Brasil y México	25
5.4.1. Fundamentos del modelo	26
5.4.2. Componentes del modelo y estrategias transferibles	27
5.4.3. Descripción ampliada de los componentes centrales.....	28
5.4.4. Condiciones habilitadoras para la implementación	28
5. CONCLUSIONES.....	31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

Tabla 1. Palancas logísticas que conectan resiliencia e innovación en el sector farmacéutico latinoamericano	18
Tabla 2. Análisis comparativo de capacidades de resiliencia logística farmacéutica: Colombia, Brasil y México	22
Tabla 3. Modelo de resiliencia logística farmacéutica para Colombia: componentes, acciones y aprendizaje regional.....	27

INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro del sector farmacéutico se ha consolidado como uno de los sistemas logísticos más complejos y críticos de la economía global y la resiliencia emerge hoy como su principal estrategia de innovación. En este sentido, la capacidad de anticipar disrupciones, absorber impactos y recuperar la operación normal no es solo un imperativo de continuidad del modelo, sino una condición indispensable para garantizar el acceso oportuno a medicamentos esenciales. En América Latina, esta realidad adquiere una dimensión especialmente urgente, dado que la región alberga mercados farmacéuticos de alto potencial —con Brasil, México, Colombia, Argentina y Chile como actores destacados— y posee condiciones demográficas y epidemiológicas que impulsan una demanda creciente de medicamentos.

So pena de lo anterior, ese potencial coexiste con vulnerabilidades estructurales que limitan el desarrollo de cadenas de suministro verdaderamente resilientes, por un lado, la dependencia de ingredientes farmacéuticos activos importados de Asia, por otro lado, infraestructuras logísticas dispares, marcos regulatorios heterogéneos entre países y un rezago significativo en la adopción de tecnologías de trazabilidad y visibilidad digital. La pandemia de COVID-19 expuso con crudeza estas fragilidades, generando escasez de medicamentos críticos y evidenciando que la mayoría de las organizaciones farmacéuticas regionales operan bajo un enfoque reactivo, sin capacidades sólidas de resiliencia anticipatoria.

Este trabajo analiza la resiliencia como estrategia de innovación logística en la cadena de suministro de empresas farmacéuticas en América Latina, con un análisis comparativo centrado en Colombia, Brasil y México. La elección de estos tres países responde a criterios técnicos precisos, dado que representan conjuntamente los mercados farmacéuticos más grandes de la región, exhiben perfiles diferenciados de vulnerabilidad y capacidad de respuesta, y cuentan con los marcos regulatorios más desarrollados, como el INVIMA, el ANVISA y el COFEPRIS, respectivamente, lo que los convierte en laboratorios de análisis de alto valor para identificar estrategias transferibles al resto de la región. Sin desconocer la

riqueza del ecosistema farmacéutico de países como Argentina, Chile, Perú o Ecuador, el análisis comparativo de estos tres referentes permite extraer lecciones aplicables con mayor capacidad de escalamiento regional.

La investigación adoptó un enfoque metodológico mixto, documental-descriptivo y comparativo, estructurado en cuatro fases: una revisión sistemática de literatura de 36 referencias depuradas (2015-2025) en bases de datos Scopus, Web of Science, SciELO y Redalyc; una caracterización del contexto farmacéutico de cada país mediante fuentes secundarias institucionales; un análisis comparativo de capacidades de resiliencia en cuatro dimensiones, anticipatoria, adaptativa, recuperativa e innovación logística; y el diseño de un modelo de resiliencia adaptado al contexto colombiano con estrategias transferibles desde Brasil y México.

Los hallazgos confirman que la resiliencia, cuando se traduce en capacidades dinámicas, como la digitalización, la flexibilidad, la colaboración y el rediseño de redes, deja de ser una respuesta defensiva para convertirse en motor de innovación logística. Brasil lidera en madurez digital y gobernanza regulatoria; México avanza mediante nearshoring estratégico; y Colombia, pese a mostrar la mayor vulnerabilidad relativa, cuenta con experiencias emergentes de flexibilidad que sirven de base para escalar un modelo de resiliencia innovador. El modelo propuesto integra siete componentes operativos, como el mapa de riesgos, la diversificación de proveedores, los inventarios estratégicos, la digitalización por fases, la gobernanza público-privada, los hubs logísticos resilientes e indicadores KPI, y constituye un aporte concreto para gerentes de cadena de suministro, reguladores y diseñadores de política pública en la región.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En América Latina, la industria farmacéutica representa un mercado de crecimiento tras la pandemia del COVID-19, en el que países como Brasil, Colombia y México presentan una participación laboral mayor al promedio manufacturero en sus mercados nacionales,

aunque con significativo retos en el comercio exterior e integración comercial regional dada la dependencia de productos e insumos extrarregionales y la insuficiente investigación y desarrollo tecnológico (Gligo, Peres y Plottier, 2023). Por otro lado, respecto a la cadena de suministro farmacéutico esta tiene implicaciones directas en la salud pública ya que cualquier ruptura en el abastecimiento puede derivar en escasez de tratamiento críticos, deterioro de la salud poblacional y colapso de sistemas hospitalarios; Guitart y Viu (2019) señalan que la importancia de la logística y la cadena de suministro en el sector farmacéutico radica en la seguridad en la salud pública que se ha visto afectada por las necesidades de los consumidores y las decisiones administrativas de las compañías farmacéuticas que poco han transformado sus dinámicas de distribución. Pese a lo anterior, la gestión logística farmacéutica en América Latina aún no ha desarrollado las capacidades de resiliencia suficientes para enfrentar las disrupciones del entorno globalizado actual.

Aunado a lo anterior, la región latinoamericana presenta distintas dimensiones de riesgo relacionadas con la gobernanza, la infraestructura, las regulaciones, el desarrollo tecnológico y el contexto financiero para la cadena de suministro en la industria farmacéutica que suponen la necesidad de encontrar alternativas estratégicas de innovación logística. En relación a la gobernanza y estructura Sabogal y Tucker (2022) y Zavaleta-Monestel y Arguedas-Chacón (2025) mencionan la dependencia de importaciones, el déficit comercial farmacéutico, la fragmentación de compras públicas y la baja coordinación entre actores es un riesgo para la logística farmacéutica. En cuando a la infraestructura y la logística física, de acuerdo con Novoa, Gómez y Serrano (2014) expresan que las redes de transporte deficientes, retos de la cadena de frío, altos costos logísticos y problemas de última milla representan otra dimensión de riesgo a considerar.

Además, según Rojas-Cortés (2020) los medicamentos falsificados/Subestándar, falsificados y no registrados en América Latina representan un riesgo en la cadena de valor farmacéutico dadas el bajo desarrollo regulatorio haciéndola más vulnerable; así como las fallas de calidad en el último eslabón, la desigualdad de implementación de normas y la

limitada trazabilidad (Zavaleta-Monestel y Arguedas-Chacón, 2025). Del mismo modo, las asimetrías de información, la baja digitalización, falta de datos integrados y la limitada interoperabilidad entre sistemas (Zamora, Adarme y Arango, 2013; Zavaleta-Monestel y Arguedas-Chacón, 2025), junto a la volatilidad de precios, la dependencia de moneadas y mercados externos y la exposición a crisis globales (como la pandemia, aranceles) (Casiraghi, Andres, Schweitzer y Verginer, 2025) representan otros factores de riesgo para este sector.

Ahora bien, frente a estos riesgos del sector farmacéutico es importante innovar en su gestión logística que permitan sopesar los cuellos de botella. A nivel global, las principales innovaciones logísticas en el sector están relacionadas con el uso de la tecnología integradas en la cadena de valor para disminuir costos, tiempos de entrega, errores humanos, capacidades de manejo de medicamentos sensibles a través de la inclusión de tecnologías de IoT¹, el blockchain, las etiquetas inteligentes, el GS1²/traceability systems (Olaya, 2024) lo que genera una mayor visibilidad, reducción de falsificaciones y ruptura de cadena de frío (Rojas-Cortés, 2020). De esta forma, la logística 4.0 que integra industriales, distribuidores y operadores en un mismo ecosistema digital en Latinoamérica pueden mejorar la eficiencia, la trazabilidad y la seguridad del producto, pero requieren de inversión en infraestructura y capital humano.

Por otro lado, como alternativa de innovación logística se encuentra la resiliencia, como la capacidad de la cadena farmacéutica para anticipar, resistir, adaptar y recuperarse frente a interrupciones (desastres naturales, pandemias, sanciones geopolíticas, fallas tecnológicas), siendo un diseño de red que integra riesgo, flexibilidad y transformación digital (Sonu y Patel, 2024; Bhosale, Baradkar y Lakade, 2024). Sin embargo, la resiliencia se entiende como una innovación de segundo orden que combina una estructura de red redundante, colaboración y visibilidad entre actores y tecnologías avanzadas.

¹ Internet de las Cosas

² Los estándares GS1 son herramientas que permiten identificar, capturar y compartir información sobre productos, activos, servicios y localizaciones, entre otros.

Frente a este panorama, vale la pena analizar cómo un modelo de innovación logística, que tenga en cuenta la concepción de resiliencia, puede aplicarse a la región latinoamericana a partir de sus capacidades de respuesta. Con el crecimiento del sector farmacéutico en países como Brasil, Colombia, México la inclusión y desarrollo de estrategias innovadoras que garanticen la efectividad de su cadena de suministro no solo se hace necesario, sino que representa una respuesta a los cambios a nivel global del sector y los retos futuros que puedan presentarse.

1.1. Pregunta problema

De acuerdo a la anterior, el presente informe parte de la siguiente pregunta: *¿Cómo la resiliencia es una estrategia de innovación logística en la cadena de suministro de empresas farmacéuticas en América Latina, especialmente en Brasil, Colombia y México?* De esta manera se busca analizar, a partir de la literatura académica, cómo la resiliencia se integra como modelo de innovación logística en la región latinoamericana.

2. JUSTIFICACIÓN

A pesar del creciente interés académico por la resiliencia en cadenas farmacéuticas a nivel global, existen escasos estudios comparativos centrados específicamente en el contexto latinoamericano, considerando sus particularidades regulatorias, geográficas e institucionales. De esta forma, este estudio busca llenar ese vacío, aportando análisis concreto y transferible para fortalecer la gestión logística farmacéutica en países como Colombia, Brasil y México.

La investigación sobre resiliencia en cadenas de suministro ha experimentado un crecimiento exponencial desde la pandemia COVID-19; sin embargo, de acuerdo con Faggioni, Rossi y Sestino (2023) a este concepto aun le faltan elementos claves para su definición, en relación con recursos humanos y tecnología. Por su parte, Papalexi *et al.* (2026) proponen el modelo PSCRC (Pharmaceutical Supply Chain Resilient Capabilities), fundamentado en teoría de capacidades dinámicas para resistir y adaptarse a las interrupciones, revelando las ventajas y barreras para la implementación de la industria 4.0 en este sector. Adicionalmente, Alfaouri, Jaaron E Igudia (2025) señala la infraestructura

inadecuada, los sistemas de datos insuficientes y la escasez de medicamentos, entre otros, como retos en países en vías de desarrollo. Sin embargo, estos estudios se enfocan en contextos europeos, norteamericanos o asiáticos, en el que el contexto latinoamericano permanece subrepresentado en la discusión académica, de esta forma, este estudio contribuye a cerrar la brecha al contrastar las capacidades de resiliencia de Colombia, Brasil y México, como ejemplo comparativo en la región latinoamericana.

Por otro lado, el acceso oportuno a medicamentos es un derecho fundamental, es así que cuando la cadena de suministro farmacéutica falla los grupos más vulnerables – pacientes con enfermedades crónicas, niños con cáncer, personas con VIH- son los primeros en verse afectados. La pandemia de COVID-19 demostró con crudeza esta realidad, dada la interrupción de la producción de IFA en Asia provocó escasez global de antibióticos, analgésicos y medicamentos críticos, con impactos desproporcionados en países de renta media como los latinoamericanos (Saludyfármacos, 2020). México vivió en 2020 y 2021 una crisis de desabastecimiento de medicamentos oncológicos pediátricos que evidenció la ausencia de estrategias de resiliencia en la gestión pública del suministro (González, 2024).

En Colombia, la concentración logística en grandes centros urbanos y la precariedad de la distribución en zonas rurales y apartadas reflejan una brecha estructural que compromete la equidad en el acceso a medicamentos. Brasil, con un sistema único de salud (SUS) que debe garantizar cobertura universal, enfrenta retos de escala, gestión de inventarios y trazabilidad en un territorio de dimensiones continentales. Fortalecer la resiliencia logística en estos países no es solo una cuestión de eficiencia empresarial, sino que es una condición necesaria para garantizar el derecho a la salud de sus poblaciones.

En adición, el mercado farmacéutico latinoamericano es uno de los de mayor dinamismo y proyección en el mundo. Según Statista (2021), Brasil ocupa la décima posición en el ranking mundial de ventas farmacéuticas y se estima que para 2026 supere los 43.000 millones de dólares anuales en gasto en medicamentos. México es el líder exportador de la región con más de 1.400 millones de dólares, y Colombia exhibe un mercado farmacéutico en

expansión sostenida. Sin embargo, la balanza comercial muestra que ninguno de estos países registra más exportaciones que importaciones en el sector, lo que evidencia una dependencia estructural del exterior que compromete su soberanía farmacéutica.

En este escenario, la resiliencia logística no es solo una respuesta al riesgo: es una ventaja competitiva. Empresas que desarrollan capacidades dinámicas —agilidad, flexibilidad, visibilidad y adaptabilidad— logran mantener su operación durante disrupciones y recuperan antes su desempeño, lo cual se traduce en menores costos de desabasto, mayor retención de clientes y reputación institucional (Sabahi y Parast, 2020; Ghomi *et al.*, 2023). La digitalización de las cadenas de suministro mediante Industry 4.0 —torres de control, IoT, blockchain, analítica predictiva— es la principal palanca de esta transformación. Para las farmacéuticas latinoamericanas, invertir en estas capacidades representa una oportunidad de posicionamiento regional y de reducción de su exposición a shocks externos.

La resiliencia en cadenas de suministro no debe entenderse únicamente como una capacidad defensiva. Cuando se traduce en nuevas prácticas digitales, rediseño de redes, diversificación de proveedores y colaboración estratégica, se convierte en un motor de innovación logística que mejora el desempeño y la competitividad organizacional (Dovbischuk, 2022; Verma *et al.*, 2025). En entornos volátiles como los latinoamericanos, esta doble naturaleza de la resiliencia —como escudo y como catalizador— adquiere una relevancia especial. Luna (2025) demuestra en su estudio sobre empresas colombianas que la colaboración y la visibilidad median el impacto de la tecnología sobre la resiliencia, subrayando que no basta con adoptar herramientas digitales si no se rediseñan los procesos logísticos subyacentes.

El análisis comparativo entre Colombia, Brasil y México permite identificar cuáles estrategias de resiliencia generan mayor valor en contextos latinoamericanos específicos y cómo pueden transferirse aprendizajes entre países con perfiles diferenciados. Esta perspectiva comparada es especialmente valiosa para diseñadores de política pública, gerentes de cadena de suministro y tomadores de decisiones en el sector salud, quienes necesitan

evidencia aplicable y contextualizada para fortalecer sus sistemas de abastecimiento farmacéutico. Por último, este estudio es relevante porque aborda un problema crítico para la salud pública regional, llena una brecha significativa en la literatura académica latinoamericana, genera conocimiento aplicable para la industria y la gestión pública y posiciona a la resiliencia como una estrategia de innovación con valor económico, social y competitivo en el sector farmacéutico de la región.

3. OBJETIVOS

3.1. *Objetivo general*

Analizar la resiliencia como estrategia de innovación logística en la cadena de suministro de empresas farmacéuticas en América Latina, mediante un análisis comparativo entre Colombia, Brasil y México frente a sus capacidades de respuesta ante disrupciones.

3.2. *Objetivos específicos*

- Revisar la literatura científica sobre resiliencia logística y cadenas de suministro farmacéutica en América Latina (2015-2024).
- Comparar las capacidades de resiliencia logística en empresas farmacéuticas de Colombia, Brasil y México a nivel cualitativo y cuantitativo.
- Proponer un modelo de resiliencia logística adaptado al contexto farmacéutico colombiano, con estrategias transferibles desde Brasil y México

4. METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque metodológico mixto, de tipo documental-descriptivo y comparativo, orientado a analizar la resiliencia como estrategia de innovación logística en la cadena de suministro farmacéutica de Colombia, Brasil y México. El diseño metodológico se estructura en cuatro fases secuenciales, cada una alineada con los objetivos específicos del estudio.

4.1. *Fase 1: Revisión sistemática de la literatura*

Esta fase construyó el marco conceptual sobre resiliencia logística e innovación en cadenas de suministro farmacéuticas. Con este propósito, se consultó las bases de datos

Scopus, Web of Science, SciElo, Redalyc y Google Scholar, en una ventana temporal de búsqueda que comprendió publicaciones entre 2015 y 2025, aunque se incluyeron referencias seminales anteriores cuando resultaban conceptualmente indispensables.

Los descriptores utilizados combinaron términos en español e inglés: "resiliencia logística", "cadena de suministro farmacéutica", "innovación logística", "supply chain resilience pharmaceutical", "Latin America pharmaceutical logistics", complementados con operadores booleanos (AND, OR) para refinar los resultados por país, sector y período. A partir de una búsqueda inicial que arrojó más de 300 documentos, se aplicaron criterios de inclusión (artículos en revistas indexadas, revisiones sistemáticas, estudios empíricos en países en desarrollo o América Latina) y criterios de exclusión (documentos sin revisión por pares, estudios centrados exclusivamente en contextos europeos o norteamericanos sin referencia a la región). El corpus final depurado comprende 36 referencias únicas, eliminando duplicados y entradas redundantes identificadas en el documento de trabajo base.

4.2. Fase 2: Caracterización del contexto farmacéutico por país

La segunda fase correspondió a la caracterización del contexto farmacéutico de cada país mediante análisis de fuentes secundarias: informes de ANDI (Colombia), ANVISA y datos del SUS (Brasil), COFEPRIS e INEFAM (México), así como estadísticas de CILFA, Statista, IQVIA y organismos internacionales como la OPS/OMS y la CEPAL. Esta información permitió construir perfiles diferenciados de cada sistema nacional, identificando su nivel de dependencia de insumos importados, infraestructura logística, marco regulatorio y adopción tecnológica.

4.3. Fase 3: Análisis comparativo de capacidades de resiliencia

La tercera fase desarrolló el análisis comparativo de las capacidades de resiliencia logística entre los tres países. Se empleó un modelo de benchmarking cualitativo estructurado con cuatro dimensiones: resiliencia anticipatoria, resiliencia adaptativa, resiliencia recuperativa e innovación logística. Los hallazgos se sintetizaron en matrices de comparación y análisis DOFA, identificando brechas y mejores prácticas transferibles.

4.4. Fase 4: Diseño del modelo de resiliencia logística para Colombia

La cuarta fase integró los resultados anteriores para formular el modelo de resiliencia logística adaptado al contexto colombiano, con estrategias transferibles desde Brasil y México. Este modelo incorpora siete componentes operativos acompañados de indicadores de desempeño (KPI) para su monitoreo y evaluación en el tiempo.

5. RESULTADOS

El presente capítulo expone los hallazgos del estudio sobre la resiliencia como estrategia de innovación logística en la cadena de suministro farmacéutica de Colombia, Brasil y México. Para empezar, se examina la resiliencia como estrategia de innovación logística desde el marco conceptual y la evidencia empírica disponible. Seguido, se analiza el estado de la resiliencia logística en las cadenas de suministro farmacéuticas de América Latina, con énfasis en Brasil, Colombia y México. Se continua presentando el análisis comparativo de las capacidades de resiliencia entre los tres países. Por último, se propone el modelo de resiliencia adaptado al sector farmacéutico colombiano con estrategias transferibles desde la región.

5.1. Resiliencia como estrategia de innovación logística

La resiliencia en la cadena de suministro ha evolucionado conceptualmente desde una capacidad puramente defensiva hasta convertirse en un motor de transformación e innovación logística. Esta evolución resulta especialmente relevante en el sector farmacéutico, donde las interrupciones tienen consecuencias directas sobre la salud pública y la continuidad del acceso a medicamentos esenciales.

5.1.1. Marco conceptual: de la resiliencia reactiva a la innovación dinámica

En su acepción clásica, la resiliencia organizacional se define como la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones, adaptarse a condiciones cambiantes y recuperar su funcionamiento tras una interrupción (Brusset & Teller, 2017). Sin embargo, la literatura más reciente ha ampliado este concepto integrándolo con las teorías de capacidades dinámicas e innovación estratégica. Al respecto, Sabahi y Parast (2020) demostraron, en un estudio basado

en datos longitudinales de empresas manufactureras, que las organizaciones con mayor orientación a la innovación desarrollan simultáneamente mejores capacidades de resiliencia: la compartición de conocimiento, la agilidad operativa y la flexibilidad organizacional son atributos que refuerzan tanto la competitividad como la resistencia ante eventos disruptivos.

Este vínculo entre innovación y resiliencia se profundiza cuando se analiza la logística como campo específico. Dovbischuk (2022) estudió proveedores de servicios logísticos durante la pandemia de COVID-19 y encontró que aquellos con capacidades dinámicas orientadas a la innovación (definidas como la habilidad para integrar, construir y reconfigurar competencias logísticas) exhibieron una resiliencia dinámica superior y un mejor desempeño empresarial. En la misma línea, Ozdemir *et al.* (2022) analizaron específicamente la resiliencia de cadenas de suministro durante la pandemia, documentando que las organizaciones capaces de reconfigurar rápidamente sus redes de proveedores y sus modelos operativos presentaron tiempos de recuperación significativamente menores, lo que confirmó que la flexibilidad estructural —no solo la tecnología— es un determinante crítico de la capacidad resiliente. Esto implica que la resiliencia no emerge espontáneamente ante la crisis, sino que se construye de manera deliberada a través de inversión sostenida en innovación de procesos, tecnología y talento humano.

Además, Ghomi *et al.* (2023) aportan evidencia cuantitativa adicional: sus modelos de simulación demuestran que las empresas que invierten en flexibilidad logística e innovación de procesos obtienen un mayor retorno de la inversión precisamente cuando el entorno es más volátil. Este hallazgo tiene una implicación estratégica directa: en contextos de alta incertidumbre —como los que caracterizan a los mercados farmacéuticos latinoamericanos— la innovación logística y la resiliencia no son objetivos alternativos sino complementarios. Por su parte, Orlando *et al.* (2021) añaden la dimensión cognitiva: la preparación basada en conocimiento, entendida como la capacidad de aprender de disrupciones pasadas y anticipar escenarios futuros, es un predictor clave de la resiliencia organizacional frente a shocks de la magnitud del COVID-19. Por su parte, López-Rodríguez *et al.* (2021), en un estudio sobre

procesos de innovación en la cadena logística del transporte marítimo en Colombia, evidencian que la introducción de nuevas prácticas colaborativas y la adopción de tecnología digital en operadores locales generan ventajas competitivas que se traducen en mayor capacidad de respuesta ante disrupciones del comercio exterior, un hallazgo transferible al sector farmacéutico colombiano.

5.1.2. Digitalización e Industria 4.0 como palancas de resiliencia innovadora

La adopción de tecnologías de la Industria 4.0 representa la palanca de transformación más significativa en la convergencia entre resiliencia e innovación logística. Domingos *et al.* (2024), en una revisión publicada en IEEE Transactions on Engineering Management, documentan que tecnologías habilitadoras como el Internet de las Cosas (IoT), blockchain, analítica de big data e inteligencia artificial mejoran de forma medible la resiliencia de las operaciones de cadena de suministro, al incrementar la visibilidad, la trazabilidad y la capacidad de respuesta en tiempo real. Por su parte, Enyejo *et al.* (2024) corroboran estos hallazgos en el contexto de empresas norteamericanas, y señalan que la combinación de analítica predictiva con plataformas de colaboración digital genera ventajas diferenciales en la detección temprana de riesgos.

En el contexto latinoamericano, Luna (2025) aporta un hallazgo de especial relevancia para el diseño de políticas empresariales: la tecnología por sí sola no es suficiente para generar resiliencia; son la colaboración y la visibilidad las que median el impacto de la inversión tecnológica sobre el desempeño de la cadena. En otras palabras, implementar un sistema de IoT o blockchain sin rediseñar simultáneamente los procesos logísticos y los modelos de colaboración interorganizacional produce resultados subóptimos. Esta conclusión es reforzada por Herold *et al.* (2021), quienes, tras estudiar las reacciones de operadores logísticos (LSP) durante la pandemia de COVID-19, concluyeron que la clave del éxito no fue la tecnología disponible sino la velocidad y calidad de la coordinación entre actores de la cadena. Las lecciones aprendidas por estos operadores convergieron en la necesidad de construir relaciones de confianza y protocolos de comunicación antes de que ocurra la

disrupción, lo que conecta directamente con los modelos de gobernanza colaborativa propuestos para América Latina.

Adicionalmente, Júnior *et al.* (2025), en su estudio sobre transformación digital en la logística latinoamericana, identifican las torres de control como el instrumento más prometedor para alcanzar el estadio de Supply Chain 4.0 en la región. De la misma forma, Silva *et al.* (2025), en un estudio sobre eficiencia logística y resiliencia operacional en cadenas de suministro locales y el sector público latinoamericano, corroboran que la integración de sistemas de visibilidad en tiempo real con estrategias de colaboración público-privada es la combinación de mayor impacto para construir cadenas resilientes en contextos de recursos limitados, señalan que las soluciones más efectivas en la región no son necesariamente las más costosas, sino las que logran mayor articulación entre actores públicos y privados. Adicionalmente, Issa *et al.* (2024) demuestran que la innovación verde —entendida como la adopción de prácticas sostenibles y tecnologías limpias en la logística— potencia la resiliencia de las cadenas al reducir la complejidad estructural y aumentar la adaptabilidad, un enfoque de creciente relevancia para las empresas farmacéuticas latinoamericanas que buscan alinear competitividad con sostenibilidad.

De esta forma, una torre de control farmacéutica permite integrar datos de proveedores, operadores logísticos, puntos de distribución y entidades regulatorias en un único ecosistema digital, habilitando decisiones ágiles y coordinadas ante cualquier disrupción. Los autores señalan, sin embargo, que la implementación de estas soluciones enfrenta barreras significativas en América Latina: déficits de talento especializado, limitaciones presupuestarias y resistencia cultural al cambio organizacional.

En cuanto a las barreras de esta transformación, Ayub (2025) sistematiza los principales obstáculos a la digitalización logística a nivel global: fragmentación de sistemas de información, ausencia de estándares interoperables, resistencia cultural al cambio y limitaciones presupuestarias en empresas medianas. Este diagnóstico resuena con fuerza en el

contexto latinoamericano y fundamenta la necesidad de una hoja de ruta gradual y adaptada a las capacidades reales del ecosistema farmacéutico regional.

5.1.3. Palancas logísticas que conectan resiliencia e innovación

A partir de la revisión de la literatura, es posible identificar cinco palancas que articulan la resiliencia con la innovación logística en el sector farmacéutico latinoamericano. A continuación, se sintetizan las palancas logísticas junto a su rol funcional.

Tabla 1. Palancas logísticas que conectan resiliencia e innovación en el sector farmacéutico latinoamericano

Palanca logística	Rol en resiliencia e innovación
Diversificación de proveedores y rutas	Reduce vulnerabilidad ante fallas de un origen único; obliga a rediseñar la red logística generando innovación estructural.
Visibilidad en tiempo real y torres de control	Mejora el control operativo, reduce pérdidas por corrupción o extravío, y acelera la toma de decisiones ante interrupciones.
Flexibilidad y adaptabilidad organizacional	Capacidades dinámicas centrales que permiten reasignar recursos y ajustar operaciones en tiempo real.
Colaboración y plataformas digitales compartidas	Favorecen la coordinación interorganizacional y la respuesta conjunta ante crisis, transformando la red en un sistema resiliente.
Inventarios estratégicos y dual sourcing	Amortizan interrupciones y pandemias; su optimización combinada con agilidad reduce el riesgo sistémico de desabasto.

Fuente: elaboración propia.

La evidencia revisada permite concluir que, en América Latina, la resiliencia deja de ser exclusivamente una estrategia defensiva para convertirse en un catalizador de innovación logística cuando se acompaña de digitalización, rediseño de redes de distribución, nuevas formas de colaboración interorganizacional y desarrollo de capacidades dinámicas. Esta transformación no ocurre de manera espontánea: requiere liderazgo gerencial, inversión deliberada y marcos regulatorios habilitadores. Santos-Hernández (2025) añade que la incorporación de gestión del conocimiento y enfoques Lean a las cadenas de suministro farmacéuticas en la región potencia aún más esta sinergia entre resiliencia, sostenibilidad e innovación.

5.2. Resiliencia logística y cadenas de suministro farmacéutica en América Latina

Las cadenas de suministro farmacéuticas en América Latina enfrentan una combinación de vulnerabilidades estructurales (dependencia de insumos importados, infraestructura logística dispar, marcos regulatorios heterogéneos) y disrupciones recurrentes que han evidenciado la fragilidad de los sistemas de abastecimiento regional. La pandemia de COVID-19 funcionó como un acelerador de diagnóstico: dejó al descubierto fallas que existían antes de 2020 y que permanecían invisibles en condiciones de operación normal.

5.2.1. Contexto general: vulnerabilidad estructural de la cadena farmacéutica regional

El mercado farmacéutico latinoamericano es de los de mayor dinamismo en el mundo. Según datos de CILFA (2022), Brasil lidera el mercado regional con ventas que superaron los 30.000 millones de dólares en 2020, seguido por México y Colombia. En Colombia, las ventas de medicamentos ascendieron a aproximadamente 24,6 billones de pesos en 2023 —un incremento del 8,48% frente al año anterior— con el 66% distribuido en el canal institucional y el 34% en el canal comercial (Asinfar, 2024). El sector representa el 12,2% del PIB industrial colombiano y genera cerca de 47.000 empleos directos (ICEX, 2024). Sin embargo, la balanza comercial del sector es profundamente deficitaria: las importaciones equivalen al 92% del comercio exterior farmacéutico del país, con más del 80% de los insumos farmacéuticos siendo importados (ANDI, 2024)

En México, la industria farmacéutica registró ventas de más de 169.000 millones de pesos en 2022, con un crecimiento del 18,1% nominal, aunque su dependencia externa es aún más aguda: el 98% de los farmoquímicos provienen de China e India (Sánchez, 2024), y las importaciones superaron los 8.234 millones de dólares en 2023 (enfarma.lat, 2023). Brasil, por su parte, importa anualmente cerca de 7.000 millones de dólares en productos farmacéuticos, con una alta concentración en IFA de origen asiático para sus programas de distribución gratuita a través del Sistema Único de Salud (SUS).

Esta dependencia geográfica concentrada en un número reducido de países proveedores representa el riesgo sistémico más significativo de la cadena farmacéutica

latinoamericana. Como lo ilustró la pandemia de COVID-19, el cierre de fábricas en Wuhan y otras regiones chinas en enero-febrero de 2020 interrumpió el suministro global de IFA en pocas semanas, generando escasez de antibióticos, analgésicos y medicamentos para enfermedades crónicas en toda la región (Saludyfármacos, 2020).

5.2.2. Estrategias de resiliencia adoptadas en la región post-pandemia

La literatura revisada muestra que la respuesta regional a las disrupciones ha seguido, en general, un patrón reactivo con incipientes avances hacia la resiliencia anticipatoria. García-Fallú y Castelo-Salazar (2023), en un análisis bibliográfico sobre gestión de cadenas de suministro en contextos cambiantes, identifican que las organizaciones latinoamericanas han priorizado tres estrategias principales: diversificación de proveedores, fortalecimiento de inventarios de seguridad y digitalización progresiva de la visibilidad logística.

En cuanto a la digitalización, Alvarenga, de Oliveira y de Oliveira (2023) —en un estudio específico sobre cadenas de suministro brasileñas— aportan un hallazgo matizado de gran relevancia: la memoria organizacional actúa como mediadora entre la adopción de tecnologías digitales y la resiliencia de la cadena, pero su eficacia decrece ante eventos extremos inéditos como la COVID-19. En otras palabras, la experiencia acumulada y las rutinas organizacionales ayudan a responder ante disrupciones conocidas, pero son insuficientes ante eventos sin precedentes, donde el modelado predictivo y la simulación de escenarios cobran un papel protagónico.

Esta línea de investigación es reforzada por Thiyagarajan, Laux y Hartman (2022) que documenta cómo los gemelos digitales —representaciones virtuales en tiempo real de la cadena de suministro— permiten simular disrupciones antes de que se produzcan y evaluar el impacto de distintas decisiones estratégicas, reduciendo así la dependencia de la experiencia histórica para anticipar escenarios novedosos. Por su parte, Kashem, Shamsuddoha y Nasir (2024) complementan esta perspectiva al documentar cómo las organizaciones que habían invertido en herramientas de analítica digital previas a la pandemia lograron recuperaciones más rápidas y menos costosas.

Además, Ruiz-López (2024) sistematiza las estrategias de gestión de cadenas de suministro en un mundo globalizado e identifica que la redundancia —entendida como la disposición de inventarios adicionales, múltiples rutas de distribución y proveedores alternativos— combinada con la agilidad operativa, constituye el núcleo de cualquier arquitectura resiliente. Sin embargo, advierte que la redundancia tiene un costo financiero significativo que las empresas medianas y pequeñas de la región difícilmente pueden asumir de forma individual, lo que hace indispensable la construcción de esquemas colaborativos y políticas públicas de soporte.

5.2.3. Digitalización y visibilidad como ejes de transformación regional

La transformación digital de las cadenas de suministro farmacéuticas en América Latina ha avanzado de forma desigual, con Brasil a la vanguardia y Colombia y México en estadios intermedios de adopción. Júnior *et al.* (2025) documentan, a partir del análisis de casos latinoamericanos, que las torres de control logísticas representan el paso más significativo hacia el Supply Chain 4.0 en la región: permiten integrar datos de múltiples nodos de la cadena en tiempo real, mejorar la coordinación entre actores y anticipar disrupciones antes de que se materialicen. Los autores identifican tres barreras principales para su adopción masiva: (i) costos de implementación elevados para empresas medianas y pequeñas; (ii) escasez de talento especializado en análisis de datos y gestión de cadenas digitales; y (iii) resistencia cultural al cambio en organizaciones con estructuras logísticas tradicionales.

Por otro lado, Michel-Villarreal *et al.* (2021) aportan una perspectiva pragmática relevante para el contexto latinoamericano: en cadenas de suministro cortas —como las de alimentos en México— tecnologías digitales de bajo costo como redes sociales, aplicaciones de mensajería y software de código abierto ya funcionan como habilitadores de flexibilidad, colaboración y agilidad resiliente. Esta evidencia sugiere que la digitalización no requiere necesariamente grandes inversiones en infraestructura tecnológica de punta: existen

soluciones escalables y accesibles que pueden fortalecer la resiliencia logística en etapas tempranas de digitalización, especialmente en empresas farmacéuticas medianas de la región.

Es así que, la resiliencia en las cadenas farmacéuticas latinoamericanas se construye mediante la combinación de cuatro elementos: digitalización progresiva con énfasis en visibilidad y trazabilidad; gestión activa de riesgos con redundancias y diversificación; colaboración público-privada para la gobernanza del sistema; y un cambio de paradigma desde la gestión reactiva hacia la planificación anticipatoria basada en modelado de escenarios.

5.3. Comparar las capacidades de resiliencia logística en empresas farmacéuticas de Colombia, Brasil y México a nivel cualitativo y cuantitativo

El análisis comparativo entre Colombia, Brasil y México permite identificar patrones diferenciados de resiliencia logística farmacéutica, así como brechas y fortalezas que pueden aprovecharse para el aprendizaje y la transferencia regional de estrategias. La comparación se estructura en seis dimensiones: dependencia de insumos, infraestructura logística, marco regulatorio, adopción tecnológica, tipo de resiliencia predominante y disrupciones documentadas. A continuación, se sintetizan los hallazgos.

Tabla 2. Análisis comparativo de capacidades de resiliencia logística farmacéutica: Colombia, Brasil y México

Dimensión	Colombia	Brasil	México
Dependencia de IFA importados	>80% de insumos farmacéuticos importados; balanza deficitaria con importaciones = 92% del comercio exterior del sector (ANDI, 2024).	~7.000 M USD/año en importaciones farmacéuticas; elevada dependencia de IFA asiáticos, especialmente en antibióticos y oncológicos.	98% de dependencia de China e India para farmoquímicos (Inefam, 2024); importaciones superan 8.234 M USD (2023).
Infraestructura logística	Cadena de frío regulada por INVIMA; distribución concentrada en Bogotá, Medellín y Cali; severos déficits en zonas apartadas.	Red de distribución más desarrollada de la región, con operadores 3PL especializados; retos de cobertura en regiones remotas de la Amazonía.	Infraestructura moderada; crisis de desabasto de oncológicos pediátricos (2020-2021) expuso fallas en planificación y distribución pública.
Marco regulatorio	INVIMA: regulación estricta de BPD y cadena	ANVISA: uno de los marcos regulatorios más robustos de la región;	COFEPRIS: avances en trazabilidad y serialización;

	de frío; digitalización en proceso.	trazabilidad obligatoria desde 2009.	implementación heterogénea por tipo de empresa.
Adopción tecnológica (digitalización)	Incipiente; barreras de costo y conectividad; avances en cloud e IA en grandes laboratorios nacionales.	Mayor madurez digital en la región; uso de control towers y analítica predictiva en operadores líderes; agenda explícita de Supply Chain 4.0.	Nearshoring en expansión; adopción de IoT y blockchain en empresas grandes; rezago en PYME farmacéuticas.
Tipo de resiliencia predominante	Reactiva: actúa ante la disrupción ya materializada; baja planificación anticipatoria.	Mixta (reactiva + anticipatoria): transición hacia modelado de escenarios y gemelos digitales.	Reactiva con avances selectivos en anticipación; gobierno impulsa reservas estratégicas post-pandemia.
Disrupciones recientes documentadas	Paro nacional 2021 (bloqueo de corredores viales); COVID-19 (escasez de IFA); desabasto recurrente en zonas rurales.	COVID-19 (fallas en distribución del SUS); shocks geopolíticos en suministro de IFA; inundaciones en zonas productoras del sur.	Desabasto oncológico pediátrico 2020-2021; COVID-19 (ruptura de cadena de frío); sismo 2017 (daño a infraestructura logística regional).

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes citadas

5.3.1. Colombia: alta exposición al riesgo, resiliencia reactiva incipiente

Colombia presenta el perfil de mayor vulnerabilidad relativa entre los tres países analizados. Su dependencia de insumos farmacéuticos importados supera el 80%, con una balanza comercial en la que las importaciones representan el 92% del comercio exterior del sector (ANDI, 2024). Esto implica que cualquier perturbación en los mercados asiáticos, variaciones significativas en la tasa de cambio o bloqueos en las rutas de transporte internacional tiene repercusiones inmediatas sobre el abastecimiento interno.

La infraestructura logística colombiana es funcional en las tres grandes ciudades — Bogotá, Medellín y Cali—, donde se concentra más del 80% de la capacidad de distribución farmacéutica. Sin embargo, el país presenta déficits severos en zonas apartadas y municipios de difícil acceso, donde la cadena de frío es inexistente o precaria y los tiempos de entrega de medicamentos pueden superar los cinco días. La geografía montañosa del país agrava esta situación: los corredores viales críticos son vulnerables a bloqueos por desastres naturales, movimientos sociales o fallas de infraestructura. El paro nacional de 2021 demostró con

crudeza esta fragilidad: el bloqueo prolongado de vías en el suroccidente del país generó escasez local de medicamentos esenciales en regiones como el Cauca y el Valle del Cauca en pocas semanas (Cabrera *et al.*, 2023).

Del mismo modo, Alzate *et al.* (2024) encuentran que las empresas del sector con mayor flexibilidad operativa exhiben niveles de resiliencia significativamente superiores, aunque estas capacidades aún están concentradas en los grandes laboratorios. Ward y Hargaden (2019), en una evaluación exploratoria del riesgo y la resiliencia en cadenas de suministro farmacéuticas, identificaron que la principal brecha de la industria es la ausencia de evaluaciones sistemáticas de riesgos integradas en los procesos de planificación estratégica, una carencia especialmente marcada en países con cadenas menos consolidadas como Colombia. Este hallazgo reafirma la urgencia de implementar mapas de riesgo logístico como base de cualquier modelo de resiliencia farmacéutica en el país.

Por último, Elbeltagy *et al.* (2022), en su revisión sistemática sobre soluciones digitales para cadenas farmacéuticas resilientes, confirman que los mayores beneficios de la digitalización se obtienen cuando las herramientas digitales se articulan con estrategias de gestión de riesgo previamente definidas, lo que refuerza la lógica secuencial del modelo propuesto para Colombia: primero el diagnóstico de riesgos, luego la digitalización.

5.3.2. Brasil: mayor madurez, liderazgo regional en digitalización

Brasil ocupa la posición más avanzada entre los tres países. Cuenta con ANVISA —que estableció la obligatoriedad de la trazabilidad farmacéutica desde 2009— y con el SUS como motor de innovación logística. Júnior *et al.* (2025) documentan que Brasil lidera la implementación de torres de control y herramientas de Supply Chain 4.0 en la región, con operadores que integran IoT, analítica predictiva y gemelos digitales. En adición, Shashi (2023), en un estudio cualitativo sobre digitalización sostenible en cadenas farmacéuticas usando la Teoría de las Restricciones, documenta que las empresas que aplican un enfoque de mejora continua centrado en identificar y eliminar restricciones del sistema —en lugar de digitalizar indiscriminadamente— obtienen resultados más robustos y sostenibles en términos de

resiliencia, un hallazgo especialmente relevante para el contexto brasileño donde la escala del sistema exige priorizar inversiones con alta eficiencia estratégica.

Por último, Silva, Marques y De Sousa (2023), mediante análisis de simulación computacional aplicado a cadenas farmacéuticas, demostraron que los diseños de red que incorporan múltiples centros de distribución y buffers de inventario estratégicamente ubicados generan cadenas hasta un 35% más resilientes ante interrupciones de demanda o suministro, un resultado que sustenta la agenda brasileña de descentralización logística post-pandemia.

5.3.3. México: *nearshoring* estratégico y crisis oncológica como catalizadores de cambio

México combina una industria exportadora de gran escala con una dependencia extrema de materias primas importadas y con episodios recientes de desabasto que evidenciaron fallas sistémicas en la planificación pública. La crisis de desabasto de medicamentos oncológicos pediátricos entre 2020 y 2021 fue el evento más disruptivo documentado, generando un punto de inflexión en la política farmacéutica mexicana e impulsando reformas en los mecanismos de compra centralizada y reservas estratégicas.

Por su parte, Lawrence *et al.* (2020), si bien centran su análisis en la cadena farmacéutica estadounidense tras el huracán María, aportan un marco metodológico de modelado bayesiano de vulnerabilidades de proveedores ante riesgos catastróficos que es directamente aplicable al contexto mexicano: país expuesto a sismos, huracanes y interrupciones climáticas de alta frecuencia. Su modelo demuestra que la identificación y cuantificación anticipada de la vulnerabilidad de cada proveedor permite diseñar políticas de inventario y diversificación que minimizan el riesgo sistémico, un enfoque que México ha empezado a incorporar en su agenda de resiliencia farmacéutica post-crisis. Asimismo, Mehrotra (2025), en una revisión sobre interrupciones globales en la industria farmacéutica y estrategias de resiliencia, identifica el *nearshoring* —la relocalización de la producción a países de proximidad geográfica— como la estrategia estructural de mayor impacto para reducir la exposición a shocks de suministro intercontinentales, corroborando la apuesta estratégica de México.

De esta forma, el análisis comparativo revela que Brasil lidera en digitalización y gobernanza regulatoria; México avanza en nearshoring y está en transición hacia la resiliencia estructural; y Colombia exhibe el mayor nivel de vulnerabilidad, con alta dependencia importadora y rezago tecnológico, pero con experiencias emergentes de flexibilidad en grandes empresas del sector que sirven como base para escalar estrategias de resiliencia innovadora.

5.4. Modelo de resiliencia logística adaptado al contexto farmacéutico colombiano, con estrategias transferibles desde Brasil y México

A partir de los hallazgos de los subcapítulos anteriores, se propone un modelo de resiliencia logística diseñado específicamente para el contexto farmacéutico colombiano, con componentes estratégicos informados por las mejores prácticas identificadas en Brasil y México. El modelo se articula en torno a siete componentes operativos interconectados, sustentados en la literatura académica revisada y en el análisis comparativo regional.

5.4.1. Fundamentos del modelo

El modelo parte de tres premisas conceptuales derivadas de la evidencia revisada. Primera: la resiliencia es una capacidad construida deliberadamente, no una condición que emerge espontáneamente ante la crisis (Sabahi y Parast, 2020; Dovbischuk, 2022). Segunda: en el contexto farmacéutico latinoamericano, la resiliencia debe ser simultáneamente anticipatoria —basada en modelado de riesgos y escenarios— y adaptativa —con capacidades de respuesta ágil ante disrupciones no anticipadas— (Alvarenga *et al.*, 2023). Tercera: la tecnología es un habilitador necesario pero insuficiente si no va acompañada de rediseño de procesos, colaboración interorganizacional y gobernanza institucional (Luna, 2025).

El contexto colombiano impone condicionantes específicos que el modelo debe incorporar: dependencia crítica de IFA importados (más del 80%); infraestructura logística concentrada en tres hubs urbanos con déficits severos en zonas apartadas; regulación de la cadena de frío por parte del INVIMA como exigencia ineludible; exposición a disrupciones viales por geografía montañosa y conflictos sociales; y un ecosistema empresarial dominado por grandes laboratorios con capacidad de inversión y una amplia base de empresas medianas

con recursos limitados. En concordancia, Bhosale, Baradkar y Lakade (2024), en una revisión integral sobre resiliencia farmacéutica, enfatizan que los modelos de resiliencia deben necesariamente incorporar estas asimetrías entre grandes y pequeños actores del sistema, ya que ignorarlas genera estrategias que benefician solo al segmento más capitalizado y deja sin atender los nodos de mayor fragilidad estructural.

5.4.2. Componentes del modelo y estrategias transferibles

A continuación, se presentan los siete componentes del modelo propuesto, con sus acciones clave y el origen del aprendizaje regional que sustenta cada uno.

Tabla 3. Modelo de resiliencia logística farmacéutica para Colombia: componentes, acciones y aprendizaje regional

Componente	Descripción / Acciones clave	Origen (aprendizaje regional)
1. Mapa de riesgos logísticos	Identificación y priorización de vulnerabilidades: dependencia de IFA, bloqueos viales, fallas de cadena de frío, desabasto en zonas apartadas.	Brasil (ANVISA, modelado de riesgos SUS) y México (post-pandemia oncológico).
2. Diversificación de proveedores	Acuerdos de abastecimiento regional (Ecuador, Perú, Argentina); reducir dependencia de un origen único de IFA; dual sourcing en medicamentos esenciales.	México (nearshoring farmacéutico); Brasil (acuerdos Mercosur).
3. Inventarios estratégicos regulados	Establecer stocks mínimos obligatorios para medicamentos del listado esencial del MINSALUD; optimizar mediante modelos de dual sourcing y agilidad.	Brasil (reservas del SUS); México (reservas post-crisis oncológica 2021).
4. Digitalización logística	Implementación por fases: (i) trazabilidad básica digital, (ii) IoT en cadena de frío, (iii) torre de control nacional farmacéutica, (iv) analítica predictiva e IA.	Brasil (Supply Chain 4.0 – Júnior et al., 2025); Colombia (piloto IA laboratorios grandes – Luna, 2025).
5. Gobernanza público-privada	Creación de mesa técnica INVIMA–ANDI–operadores logísticos; protocolos de emergencia farmacéutica; comunicación de crisis estandarizada.	Brasil (gobernanza SUS-ANVISA); México (COFEPRIS-CANIFARMA).
6. Hubs logísticos resilientes	Consolidar centros de distribución farmacéutica en Bogotá, Medellín y Cali con rutas alternativas; diseño de redes que contemplen bloqueos viales.	Adaptado de la experiencia brasileña en distribución descentralizada post-COVID.
7. Indicadores KPI de resiliencia	Tiempo de recuperación ante disrupción (TTR), tasa de desabasto, cobertura de inventario de seguridad, % de proveedores diversificados, nivel de trazabilidad digital.	Literatura global: Faggioni et al. (2023); Papalexi et al. (2026); Hussain et al. (2025).

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes citadas y análisis comparativo regional

5.4.3. Descripción ampliada de los componentes centrales

El primer componente —mapa de riesgos logísticos— es la base diagnóstica del modelo. Sin un conocimiento preciso de las vulnerabilidades específicas de cada empresa y del sistema colombiano en su conjunto, ninguna estrategia de resiliencia puede ser efectivamente priorizada. Cabrera et al. (2023) demostraron que las organizaciones del sector defensa en Colombia con mapas de riesgo actualizados respondieron significativamente mejor durante el paro nacional de 2021. Ward y Hargaden (2019) complementan este argumento desde la perspectiva farmacéutica: su evaluación exploratoria del riesgo en cadenas farmacéuticas demuestra que los mapas de riesgo integrados con información de proveedores, regulación e infraestructura permiten identificar los puntos críticos del sistema mucho antes de que se materialice una disrupción, generando ventanas de acción preventiva que no existen en los esquemas puramente reactivos.

El segundo y tercer componente —diversificación de proveedores e inventarios estratégicos regulados— forman el núcleo de la resiliencia operativa. Guo *et al.* (2024) demostraron matemáticamente que la combinación óptima de dual sourcing e inventarios de seguridad depende de la duración esperada de las disrupciones: para disrupciones cortas, los inventarios son más eficientes; para disrupciones prolongadas, la diversificación de proveedores genera mayor valor.

Esta lógica encuentra respaldo empírico en el trabajo de Bastani *et al.* (2021), quienes, a partir de un estudio con enfoque de teoría fundamentada sobre cadenas de suministro farmacéuticas en contextos de crisis —incluyendo escenarios de sanciones políticas y restricciones de importación comparables a las disrupciones que afectan a América Latina—, identificaron que las estrategias de mayor efectividad para mantener la continuidad del suministro combinan la diversificación de fuentes con inventarios de seguridad regulados articulados mediante acuerdos de colaboración interinstitucional.

Para Tucker *et al.* (2019), mediante modelos de programación estocástica en dos y múltiples etapas, demuestran que los incentivos regulatorios para el diseño resiliente de cadenas farmacéuticas —como la obligatoriedad de mantener stocks mínimos o la reducción de barreras para proveedores alternativos— son determinantes para prevenir el desabasto de medicamentos, lo que fundamenta la necesidad de una política regulatoria activa del MINSALUD e INVIMA en Colombia. En el contexto colombiano, esto sugiere diseñar una política de inventarios estratégicos diferenciada por categoría de medicamento, combinada con acuerdos de abastecimiento con proveedores alternativos en Ecuador, Perú y Argentina.

El cuarto componente —digitalización logística por fases— reconoce que la transformación digital no puede ocurrir de forma simultánea ni homogénea. La hoja de ruta propuesta parte de la digitalización básica de inventarios (Fase 1), avanza hacia sensores IoT para monitoreo de cadena de frío (Fase 2), escala a una torre de control farmacéutica nacional integrada con INVIMA (Fase 3), y culmina con analítica predictiva e inteligencia artificial (Fase 4). Esta secuencia está inspirada en la trayectoria brasileña impulsada por ANVISA desde 2009.

Por otro lado, Chen *et al.* (202), en un estudio específico sobre la combinación de IoT y blockchain en cadenas farmacéuticas en la era post-pandémica, documentan que esta sinergia tecnológica permite un nivel de visibilidad y trazabilidad sin precedentes: el IoT captura datos en tiempo real de condiciones físicas (temperatura, humedad, ubicación) mientras el blockchain garantiza la inmutabilidad y verificabilidad de cada transacción en la cadena, generando un sistema de confianza distribuida que reduce drásticamente el riesgo de falsificaciones y errores de distribución. Agrega Elbeltagy *et al.* (2022), en su revisión sistemática sobre soluciones digitales para cadenas farmacéuticas resilientes, que las implementaciones más exitosas son las que integran múltiples tecnologías en un sistema articulado, en lugar de adoptar soluciones puntuales desconectadas.

El quinto componente —gobernanza público-privada— aborda una dimensión frecuentemente subestimada. Umar y Wilson (2023) demuestran que la resiliencia inherente de

las cadenas es complementaria pero distinta de la resiliencia adaptativa construida mediante coordinación activa entre actores. Herold *et al.* (2021) refuerzan este punto al mostrar que los operadores logísticos que ya tenían relaciones de confianza y protocolos de comunicación establecidos con sus socios antes de la pandemia respondieron con mayor velocidad y efectividad que aquellos que intentaron coordinar en medio de la crisis. Para Colombia, la creación de una mesa técnica permanente entre INVIMA, ANDI, Asinfar y los principales operadores logísticos 3PL permitiría establecer protocolos estandarizados de comunicación de crisis, definir umbrales de alerta temprana y coordinar respuestas colectivas.

Los componentes seis y siete —hubs logísticos resilientes e indicadores KPI— aportan la dimensión territorial y de monitoreo del modelo. Mehrotra (2025) enfatiza que la medición sistemática de la resiliencia mediante indicadores estandarizados es la única forma de evidenciar el progreso del sistema en el tiempo y justificar las inversiones realizadas ante las partes interesadas. Los indicadores propuestos —tiempo de recuperación ante disrupción (TTR), tasa de desabasto, cobertura de inventario de seguridad, porcentaje de proveedores diversificados y nivel de trazabilidad digital— permiten monitorear el avance hacia niveles superiores de resiliencia.

5.4.4. Condiciones habilitadoras para la implementación

La implementación exitosa del modelo propuesto requiere tres condiciones habilitadoras que trascienden la gestión individual de las empresas. En primer lugar, un marco regulatorio que incentive activamente la resiliencia: esto incluye la exigencia progresiva de trazabilidad digital por parte del INVIMA, la definición de stocks mínimos obligatorios para medicamentos del listado esencial y la reducción de tiempos de aprobación de registros sanitarios para proveedores alternativos. En segundo lugar, mecanismos de financiamiento accesibles para empresas medianas del sector, que son las que mayor rezago presentan en digitalización y diversificación logística pero que representan una parte significativa de la oferta farmacéutica del país. En tercer lugar, programas sistemáticos de desarrollo de talento

en gestión de cadenas de suministro digitales, supply chain analytics y gestión de riesgos logísticos, que permitan acortar la brecha de capital humano identificada como barrera crítica por Júnior *et al.* (2025) para la implementación de Supply Chain 4.0 en América Latina.

Por su parte, Verma *et al.* (2025) concluyen que la logística innovadora que fortalece la resiliencia no es un lujo reservado para las grandes multinacionales: con las condiciones habilitadoras adecuadas —regulación inteligente, colaboración sectorial y acceso a tecnologías escalables— las empresas farmacéuticas medianas y pequeñas pueden desarrollar capacidades de resiliencia que marcan diferencias significativas en su desempeño durante disrupciones. Esta conclusión es especialmente relevante para el ecosistema farmacéutico colombiano, donde la coexistencia de grandes laboratorios nacionales e internacionales con un amplio espectro de empresas medianas y distribuidores independientes exige un modelo de resiliencia inclusivo y gradual que beneficie a todo el sistema, no solo a sus actores más capitalizados.

5. CONCLUSIONES

El presente estudio partió del objetivo de analizar la resiliencia como estrategia de innovación logística en la cadena de suministro farmacéutica de América Latina, a partir del análisis comparativo de Colombia, Brasil y México. Los tres objetivos específicos planteados fueron alcanzados, y sus conclusiones se presentan de forma articulada a continuación.

En relación con el primer objetivo —revisar la literatura científica sobre resiliencia logística y cadenas de suministro farmacéutica en América Latina entre 2015 y 2024—, se concluye que la resiliencia ha evolucionado conceptualmente desde una capacidad defensiva y reactiva hacia una estrategia dinámica de innovación. La evidencia académica es inequívoca: las organizaciones que invierten deliberadamente en flexibilidad, digitalización y colaboración interorganizacional desarrollan simultáneamente mayor competitividad y mayor capacidad de respuesta ante disrupciones. En el contexto latinoamericano, la digitalización —a través de torres de control, IoT, blockchain y analítica predictiva— emerge como la palanca

de mayor impacto, aunque su efectividad está mediada por el rediseño de procesos y la calidad de la colaboración entre actores de la cadena, y no por la tecnología en sí misma.

Respecto al segundo objetivo —comparar las capacidades de resiliencia de los tres países—, el análisis revela perfiles claramente diferenciados. Brasil posee la mayor madurez logística de la región: su sistema regulatorio robusto (ANVISA), la escala del SUS y una agenda explícita de Supply Chain 4.0 lo posicionan como referente regional en digitalización y gobernanza. México combina una industria exportadora de gran escala con una alta vulnerabilidad en el suministro de IFA, y ha iniciado una transición hacia la resiliencia estructural mediante el nearshoring farmacéutico; la crisis de desabasto oncológico pediátrico de 2020-2021 funcionó como catalizador de reformas en la gestión del suministro público. Colombia presenta la mayor exposición relativa al riesgo: balanza comercial farmacéutica con 92% de participación de importaciones, infraestructura logística concentrada en tres centros urbanos y una gestión predominantemente reactiva. Sin embargo, estudios recientes evidencian capacidades emergentes de flexibilidad y adaptabilidad en empresas del sector que constituyen la base sobre la cual escalar una estrategia de resiliencia innovadora.

En cuanto al tercer objetivo —proponer un modelo de resiliencia adaptado al contexto colombiano—, el modelo de siete componentes desarrollado integra los aprendizajes regionales más sólidos: el diagnóstico de riesgos específicos del territorio colombiano, la diversificación de proveedores con acuerdos subregionales, inventarios estratégicos regulados por el MINSALUD, una hoja de ruta de digitalización por fases que reconoce las limitaciones de las empresas medianas, una mesa de gobernanza pública-privada con el INVIMA como articulador, hubs logísticos resilientes en las tres ciudades principales y un sistema de indicadores KPI para el monitoreo continuo de la resiliencia. Este modelo no es exclusivo de Colombia: sus componentes son adaptables a otros países latinoamericanos que comparten vulnerabilidades estructurales similares, lo que le otorga un valor de aplicabilidad regional.

La conclusión general del estudio es que la resiliencia logística no es un lujo reservado para grandes multinacionales ni una respuesta excepcional ante crisis: es una estrategia de

innovación continua, alcanzable con condiciones habilitadoras claras —regulación inteligente, financiamiento accesible y desarrollo de talento especializado— y con voluntad de colaboración entre el sector privado, el Estado y los operadores logísticos. América Latina tiene el potencial y la urgencia para liderar esta transformación en su industria farmacéutica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaouri, M., Jaaron, A.A. M. & Igudia, E. (2025). Pharmaceutical Supply Chain Management Challenges in Developing Countries: A Systematic Literature Review. *Journal of African Business*, 26(4), 798-841. <https://doi.org/10.1080/15228916.2025.2532943>
- Alvarenga, M. Z., de Oliveira, M. P. V., & de Oliveira, T. A. G. F. (2023). The impact of using digital technologies on supply chain resilience and robustness: the role of memory under the covid-19 outbreak. *Supply Chain Management: An international Journal*, 28(5), 825-842. <https://doi.org/10.1108/scm-06-2022-0217>
- Alzate, I., López, Y., Manotas, E., & Boada, A. (2024). Flexibility and adaptability: Dynamic capabilities for building supply chain resilience. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(16), 9749. <https://doi.org/10.24294/jipd9749>
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI]. (2024). *Industria farmacéutica: información general*. <https://www.andi.com.co/Home/Camara/18-industria-farmaceutica>
- Asociación de Industrias Farmacéuticas de Colombia [Asinfar]. (2024). *Primer Foro Farmacéutico Latinoamericano: ventas del mercado de medicamentos 2023*. Presentado en el Foro Farmacéutico Latinoamericano, Bogotá.
- Ayub, M. (2025). International Logistics Management: Challenges, Trends and Strategic Pathways for a Resilient & Sustainable Future, *International journal of scientific and management research*, 8 (9),13–18, doi: 10.37502/ijsmr.2025.8902.
- Bastani, P., Dehghan, Z., Kashfi, S., Dorosti, H., Mohammadpour, M., Mehralian, G., & Ravangard, R. (2021). Strategies to improve pharmaceutical supply chain resilience

- under politico-economic sanctions: the case of Iran. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 14 (56), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40545-021-00341-8>
- Bhosale K, Baradkar O, & Lakade S. (2024). Pharmaceutical Resilience. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 14(12):191-201. <https://jddtonline.info/index.php/jddt/article/view/6907>
- 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>
- Cabrera, B., Santa, R., Tegethoff, T., Morante, D., & Ferrer, M. (2023). Supply chain resilience in the Colombian defense sector before and during the COVID-19 pandemic: A comparative study. *PLOS ONE*, 18 (3), e0282793. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282793>
- Cámara de la Industria Farmacéutica Argentina [CILFA]. (2022). *La industria farmacéutica argentina. Su carácter estratégico y perspectivas*. <https://cilfa.org.ar/wp1/wp-content/uploads/2022/07/CILFA-La-industria-farmaceutica-argentina-2022.pdf>
- Casiraghi, G., Andres, G., Schweitzer, F. & Verginer, L. (2025). Supply-chain vulnerabilities in critical medicines: A persistent risk to pharmaceutical security. *Science (New York, N.Y.)*, 389(6763), 886–888. <https://doi.org/10.1126/science.adx0871>
- Chen, X., He, C., Chen, Y., & Xie, Z. (2023). Internet of Things (IoT)—blockchain-enabled pharmaceutical supply chain resilience in the post-pandemic era. *Frontiers of Engineering Management*, 10, 82 - 95. <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0233-1>
- Domingos, E., Pereira, C., Armellini, F., Danjou, C., & Facchini, F. (2024). Enabling technologies as a support to achieve resilience in supply chain operations. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 15292–15305. <https://doi.org/10.1109/tem.2024.3477946>
- Dovbischuk, I. (2022). Innovation-oriented dynamic capabilities of logistics service providers, dynamic resilience and firm performance during the COVID-19 pandemic. *The*

- International Journal of Logistics Management*, 33 (2), 499-519.
<https://doi.org/10.1108/ijlm-01-2021-0059>
- Elbeltagy, A., Galal, N. & El-Kilany, K. (2022). Digital Solutions for Resilient Pharmaceutical Supply Chains: Systematic Literature Review, *32nd International Conference on Computer Theory and Applications*, doi: 10.1109/iccta58027.2022.10206096
- Enfarma.lat. (2023). *Industria farmacéutica mantiene crecimiento sostenido de 6.4% entre 2021-2024: informe.* <https://enfarma.lat/index.php/noticias/8510-industria-farmacautica-mantiene-crecimiento-sostenido-de-6-4-entre-2021-2024-informe>
- Enyejo, J., Adeyemi, A., Olola, T., Igba, E., & Obani, O. (2024). Resilience in supply chains: How technology is helping USA companies navigate disruptions. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 11(2), 261-277.
<https://doi.org/10.30574/msarr.2024.11.2.0129>
- Faggioni, F., Rossi, M. & Sestino, A. (2023). Supply Chain Resilience in the Pharmaceutical Industry: A Qualitative Analysis from Scholarly and Managerial Perspectives. *International Journal of Business and Management*, 18(1), 129-146.
<https://doi.org/10.5539/ijbm.v18n1p129>
- García-Fallú, K., & Castelo-Salazar, A. (2023). Gestión de la cadena de suministro en contextos cambiantes mediante un análisis bibliográfico. *Innova Science Journal*. K, 1 (4), 1-12.
<https://doi.org/10.63618/omd/isj/v1/n4/22>
- Ghomi, V., Nooraei, S., Shekarian, N., Shokoohyar, S., & Parast, M. (2023). Improving supply chain resilience through investment in flexibility and innovation. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. 10 (1),
<https://doi.org/10.1080/23302674.2023.2221068>
- Gligo, N., Peres, W. y Plottier, C. (2023). Industria farmacéutica y sistemas de salud en la Argentina, el Brasil, Chile, México y el Uruguay: estructura, desempeño y políticas”. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/1b3b6e78-a457-486f-a4b4-903d2775dba0/content>

- González, A. (2024). Análisis del desabasto de medicamentos en la ciudad de México. Partido Acción Nacional. <https://bibliotecapancdmx.org.mx/wp-content/uploads/2025/11/ANALISIS-DEL-DESABASTO-DE-MEDICAMENTOS-EN-LA-CIUDAD-DE-MEXICO.pdf>
- Guitart, L y Viu, M. (2019). Logística para el sector farmacéutico, 1ra Ed. FUOC. <https://openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/903388bb-6969-4a91-a168-958d2e769404/content>
- Guo, Y., Liu, F., Song, J. S., & Wang, S. (2024). Supply chain resilience: A review from the inventory management perspective. *Fundamental Research*, 5(2), 450-463. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11997565/>
- Herold, D., Nowicka, K., Pluta-Zaremba, A., & Kummer, S. (2021). COVID-19 and the pursuit of supply chain resilience: reactions and “lessons learned” from logistics service providers (LSPs). *Supply Chain Management: An International Journal*, 26 (6), 702-714. <https://doi.org/10.1108/scm-09-2020-0439>
- Instituto Español de Comercio Exterior [ICEX]. (2024). Estudio de mercado: el mercado de productos farmacéuticos en Colombia 2024. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Bogotá. <https://www.icex.es/es/quienes-somos/donde-estamos/red-exterior-de-comercio/CO/documentos-y-estadisticas/estudios-e-informes/visor-de-documentos.em-farma-2024.doc020202411>
- Issa, A., Khadem, A., Alzubi, A., & Berberoğlu, A. (2024). The Path from Green Innovation to Supply Chain Resilience: Do Structural and Dynamic Supply Chain Complexity Matter?, *Sustainability*, 16 (9), 3762. <https://doi.org/10.3390/su16093762>
- Júnior, L., Rodrigues, A., Wisniewski, A., & Da Silva, R. (2025). Digital transformation in logistics: control towers and the path to supply chain 4.0 in Latin America. *Revista Brasileira de Transportes*, 5(1), 70–123. <https://doi.org/10.12660/rbt.v5n1.2025.93206>

- Kashem, M., Shamsuddoha, M., & Nasir, T. (2024). Digital-Era Resilience: Navigating Logistics and Supply Chain Operations after COVID-19. *Businesses*, 4 (1), 1-17. <https://doi.org/10.3390/businesses4010001>
- Lawrence, J., Hossain, N., Jaradat, R., & Hamilton, M. (2020). Leveraging a Bayesian network approach to model and analyze supplier vulnerability to severe weather risk: A case study of the U.S. pharmaceutical supply chain following Hurricane Maria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101607 - 101607. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101607>
- López-Rodríguez, C., Gutiérrez-González, Z., Mogollón, K., & Rojas, M. (2021). Innovation processes in the logistics chain of maritime transport in Colombia. *Revista investigación, desarrollo educación, servicio, trabajo*, 1(2), <https://doi.org/10.31876/idest.v1i2.11>
- Luna, R. (2025). Resiliencia de las cadenas de suministro: el papel mediador de la colaboración y la visibilidad. *Estudios Gerenciales. Journal of Management and Economics for Iberoamerica*, 41 (175), 194-209. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2025.175.7259>
- Mehrotra, T. (2025). Supply Chain Disruptions in the Global Pharmaceutical Industry: Strategies for Resilience. *International Journal for Research in Management & Pharmacy*. 14 (2), 26-33. <https://doi.org/10.63345/ijrmp.v14.i2.4>
- Michel-Villarreal, R., Vilalta-Perdomo, E., Canavari, M., & Hingley, M. (2021). Resilience and Digitalization in Short Food Supply Chains: A Case Study Approach. *Sustainability*, 13 (11), 5913. <https://doi.org/10.3390/su13115913>
- Novoa, D., Gómez, D. Y Serrano, M. (2014). Perfil logístico de Colombia- Sector Farmacéutico. Trabajo de Grado. Universidad del Rosario. <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/ffa9ab49-d254-4066-b838-14e79002645f/content>
- Olaya, D. (2024). Impacto de las tecnologías emergentes aplicadas a la gerencia de los procesos logísticos y redes de valor: Una revisión bibliográfica hacia la cadena farmacéutica.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/62941/dpolayam.pdf?sequence=1>

- Orlando, B., Tortora, D., Pezzi, A., & Bitbol-Saba, N. (2021). The disruption of the international supply chain: Firm resilience and knowledge preparedness to tackle the COVID-19 outbreak. *Journal of International Management*, 28 (1), 100876. <https://doi.org/10.1016/j.intman.2021.100876>
- Papalexi, M., et al. (2026). Developing pharmaceutical supply chain resilient capabilities: the role of Industry 4.0 technologies. *Supply Chain Management: An International Journal*. 31 (7), 1-20. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2025-0180>
- Rojas-Cortés, R. (2020). Substandard, falsified and unregistered medicines in Latin America, 2017-2018. *Revista Panamericana Salud Pública*, 44 e 125, 1-10. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2020.125>
- Ruiz-López, S. (2024). Estrategias de Gestión de la Cadena de Suministro en un Mundo Globalizado. *Revista Científica Zambos*, 3 (2), 97-119. <https://doi.org/10.69484/rcz/v3/n2/19>
- Sabahi, S., & Parast, M. (2020). Firm innovation and supply chain resilience: a dynamic capability perspective. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 23, 254 - 269. <https://doi.org/10.1080/13675567.2019.1683522>
- Sabogal, M. & Tucker, E. (2022). Drug shortages in low-and middle-income countries: Colombia as a case study. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 15(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s40545-022-00439-7>
- Salud y fármacos. (2020). El abastecimiento de medicamentos, los antibióticos, China, India y la pandemia Covid-19. *Boletín Fármacos*, 23(3). https://www.saludyfarmacos.org/lang/es/boletin-farmacos/boletines/ago202002/52_el/

- Sánchez, G. (2024, noviembre 29). *México es un imán para farmacéuticas chinas*. El Financiero. <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/2024/11/29/mexico-es-un-iman-para-farmaceuticas-chinas/>
- Santos-Hernández, B. (2025). Cadenas de suministro sostenibles en la industria manufacturera: innovación, conocimiento y gestión Lean. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 27 (3), 867-876. <https://doi.org/10.36390/telos273.07>
- Shashi, M. (2023). Sustainable Digitalization in Pharmaceutical Supply Chains Using Theory of Constraints: A Qualitative Study, *Sustainability*, 15 (11), 8752–8752, <https://doi.org/10.3390/su15118752>
- Silva, A., Marques, C., & De Sousa, J. (2023). A Simulation Approach for the Design of More Sustainable and Resilient Supply Chains in the Pharmaceutical Industry. *Sustainability*, 15 (9), 7254. <https://doi.org/10.3390/su15097254>
- Silva, M. de S. S. M., Lima, G. S., Oliveira, J. P. de, Rubinho, J. A. G., Barros, L. B. de, Silva, M. C. D. J., Nascimento, P. C. D., Cardoso, R. S., & Oliveira, T. L. de. (2025). Logistics Efficiency and Operational Resilience: Sustainable Strategies for Local Supply Chains and the Public Sector. *American Journal of IR 4.0 and Beyond*, 4(1), 38-43. <https://doi.org/10.54536/ajirb.v4i1.5599>
- Soni, S. & Patel, A. (2024). Review on pharmaceutical supply chain resilience: strategies for managing disruptions and ensuring continuity. *World Journal of Current Med and Pharm Research*, 6 (3), 8-14. <https://wjcmpr.org/index.php/journal/article/view/341>
- Statista. (2021). *La industria farmacéutica en América Latina - Datos estadísticos*. <https://es.statista.com/temas/8627/la-industria-farmaceutica-en-america-latina/>
- Thiyagarajan, S., Laux, C., & Hartman, N. (2022, March). An Investigation of Digital Twin adoption for enhancing Supply Chain Resilience. *In 12th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, <https://doi.org/10.46254/AN12.20220046>.

- Tucker, E., Daskin, M., Sweet, B., & Hopp, W. (2019). Incentivizing resilient supply chain design to prevent drug shortages: policy analysis using two- and multi-stage stochastic programs. *IIE Transactions*, 52 (4), 394 - 412.
<https://doi.org/10.1080/24725854.2019.1646441>
- Umar, M., & Wilson, M. (2023). Inherent and adaptive resilience of logistics operations in food supply chains. *Journal of Business Logistics*, 45 (1), e 12362.
<https://doi.org/10.1111/jbl.12362>
- Verma, P., Kumar, V., Verma, P., Lai, K., & Kaur, P. (2025). Leveraging Innovative Logistics for Strengthening Supply Chain Resilience in the Face of Disruptions. *Asian Journal of Interdisciplinary Research*, 8 (2), 35-55. <https://doi.org/10.54392/ajir2523>
- Ward, R. & Hargaden, V. (2019). An Exploratory Assessment of Risk and Resilience in Pharmaceutical Supply Chains, In book: Pharmaceutical Supply Chains- Medicines Shortages, 111–123, doi: 10.1007/978-3-030-15398-4_7
- Zamora, J., Adame, W. & Arango, M. (2013). Supply risk analysis: applying system dynamics to the Colombian healthcare sector. *Ingeniería e Investigación*, 33 (3), 76–81.
<https://doi.org/10.15446/ing.investig.v33n3.41050>
- Zavaleta-Monestel, E. & Arguedas-Chacón, S. (2025). Reconceptualizing access: advancing pharmaceutical equity for health system resilience in Central and South America. *The Lancet regional health. Americas*, 53, 101302.
<https://doi.org/10.1016/j.lana.2025.101302>