


Resiliencia de las cadenas de suministro: el papel mediador de la colaboración y la visibilidad

Raúl Rodríguez Luna* 

Estudiante doctoral, Escuela de Negocios, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Profesor investigador, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Universidad Cooperativa de Colombia, Santa Marta, Colombia.

rrodriguez58@unisalle.edu.co

Resumen

Este estudio examina el papel mediador de las capacidades dinámicas habilitadas por tecnologías de la información en la relación entre la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 y la resiliencia de las cadenas de suministro. Con el enfoque de modelado de ecuaciones estructurales mediante mínimos cuadrados parciales con datos de 125 gerentes de cadenas de suministro en Colombia, se validó un modelo basado en la visión basada en recursos dinámicos. Los resultados muestran que las tecnologías de Industria 4.0 impulsan la adopción de tecnologías de información, fortaleciendo capacidades como visibilidad y colaboración. Estas, especialmente la visibilidad, influyen positivamente en la resiliencia. El impacto de Industria 4.0 no es directo, sino mediado por capacidades, cruciales en mercados emergentes.

Palabras clave: colaboración; cadenas de suministro; resiliencia; visibilidad.

Supply Chain Resilience: The Mediating Role of Collaboration and Visibility

Abstract

This study examines the mediating role of dynamic capabilities enabled by information technologies in the relationship between the adoption of Industry 4.0 technologies and supply chain resilience. Using the partial least squares structural equation modeling approach with data from 125 supply chain managers in Colombia, a model based on the dynamic resource-based View is empirically validated. The results show that Industry 4.0 technologies drive the adoption of information technologies, strengthening capabilities such as visibility and collaboration. These capabilities, especially visibility, positively influence resilience. The impact of Industry 4.0 is not direct but mediated by capabilities, which are crucial in emerging markets.

Keywords: collaboration; supply chains; resilience; visibility.

Resiliência das cadeias de suprimentos: o papel mediador da colaboração e da visibilidade

Resumo

Este estudo examina o papel mediador das capacidades dinâmicas habilitadas pelas tecnologias da informação na relação entre a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 e a resiliência das cadeias de suprimentos. Com a abordagem de modelagem de equações estruturais por mínimos quadrados parciais, utilizando dados de 125 gerentes de cadeias de suprimentos na Colômbia, foi validado um modelo baseado na visão de recursos dinâmicos. Os resultados mostram que as tecnologias da Indústria 4.0 impulsionam a adoção de tecnologias da informação, fortalecendo capacidades como visibilidade e colaboração. Estas, especialmente a visibilidade, influenciam positivamente a resiliência. O impacto da Indústria 4.0 não é direto, mas mediado por capacidades, cruciais em mercados emergentes.

Palavras-chave: colaboração; cadeias de suprimentos; resiliência; visibilidade.

* Autor de correspondencia.

Clasificación JEL: 033.

Cómo citar: Rodríguez, R. (2025). Resiliencia de las cadenas de suministro: el papel mediador de la colaboración y la visibilidad. *Estudios Gerenciales*, 41(175), 194-209. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2025.175.7259>

DOI: <https://doi.org/10.18046/j.estger.2025.175.7259>

Recibido: 05-02-2025

Aceptado: 27-08-2025

Publicado: 21-10-2025

1. Introducción

La creciente complejidad de los negocios globales ha expuesto a las cadenas de suministro a disrupciones cada vez más frecuentes (Barata, 2021). Si no se gestionan de manera oportuna y adecuada, sus efectos tienden a acumularse, y generan así impactos negativos significativos en los procesos logísticos (Pettit et al., 2013). Esta realidad ha suscitado un renovado interés en el estudio de la resiliencia de las cadenas de suministro, entendida como la capacidad de una organización para sobrevivir, adaptarse y prosperar en entornos turbulentos (Fiksel, 2006). Para enfrentar estos desafíos, las organizaciones deben desarrollar capacidades dinámicas que fortalezcan su preparación, respuesta y recuperación ante eventos disruptivos (Jüttner y Maklan, 2011; Brandon-Jones et al., 2014).

No obstante, persiste una brecha teórica y empírica significativa en torno a la conceptualización y medición integral de la resiliencia en las cadenas de suministro (Ponomarev y Holcomb, 2009). En los últimos años, el avance tecnológico, en particular aquel asociado con la Industria 4.0, ha sido identificado como una vía prometedora para fortalecer esta capacidad (Hägele et al., 2023; Lemstra y de Mesquita, 2023). Este enfoque comprende un conjunto de tecnologías digitales e inteligentes orientadas a transformar los modelos de negocio, promoviendo una mayor eficiencia operativa, rentabilidad y mejora en las condiciones laborales (Bai et al., 2020; Frank et al., 2019).

Si bien los estudios que han adoptado enfoques cuantitativos para validar empíricamente los efectos de la Industria 4.0 sobre la resiliencia, en particular en el contexto de economías emergentes, han comenzado a consolidarse, su desarrollo ha sido relativamente lento (Zouari et al., 2021; Ardolino et al., 2022). Por otro lado, la literatura especializada advierte que la adopción de tecnologías asociadas con la Industria 4.0 no garantiza, por sí sola, una mayor resiliencia organizacional (Ardolino et al., 2022). En consecuencia, se considera fundamental que estas tecnologías se integren como capacidades dinámicas clave, tales como la colaboración, la visibilidad y el uso estratégico de las tecnologías de la información (TI) (Scholten y Schilder, 2015; Swift et al., 2019).

A pesar de su potencial, los estudios empíricos que examinan los mecanismos intermedios en la relación entre la Industria 4.0 y la resiliencia siguen siendo escasos (Barata, 2021; Hägele et al., 2023; Lemstra y de Mesquita, 2023).

Por tanto, con el propósito de contribuir a la literatura sobre la resiliencia en las cadenas de suministro, este estudio se fundamenta en la visión basada en recursos dinámicos (VBRD), la cual permite comprender cómo las organizaciones desarrollan y reconfiguran sus capacidades para adaptarse a entornos cambiantes y sostener ventajas competitivas sostenibles (Helfat y Peteraf, 2003; Teece, 2007). Esta perspectiva resulta especialmente pertinente en contextos marcados por la incertidumbre, el riesgo y la necesidad de garantizar la viabilidad de las cadenas de suministro (Ivanov y Tu, 2025), tal como ocurre en la era

de la Industria 4.0. La adopción estratégica de tecnologías, particularmente las TI, puede traducirse en una mayor sofisticación tecnológica y en la generación de ventajas competitivas diferenciadas entre las cadenas (Ghemawat, 1986; Peteraf, 1993; Tigga et al., 2021).

Desde esta perspectiva, se destacan dos capacidades dinámicas fundamentales para alcanzar ventajas competitivas: las relacionales y las informacionales (Salisu y Bakar, 2019; Wang et al., 2013; Yang et al., 2018). La primera hace referencia a la colaboración en la cadena de suministro, concebida como una capacidad relacional clave, en la medida en que facilita la alineación entre socios estratégicos, reduce distorsiones informativas y promueve relaciones de beneficio mutuo (Scholten y Schilder, 2015). La segunda es la visibilidad, entendida como una capacidad informacional que permite el acceso a información precisa, oportuna y completa, lo cual respalda una toma de decisiones ágil y fundamentada frente a eventos disruptivos (Swift et al., 2019). En consecuencia, Ardolino et al. (2022) sostienen que la mera implementación de tecnologías no es suficiente para garantizar el desarrollo efectivo de capacidades dinámicas.

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue analizar el efecto mediador de las TI, la visibilidad y la colaboración en la relación entre la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 y la resiliencia de las cadenas de suministro. A partir de este planteamiento, el artículo se estructura en seis secciones, incluida esta introducción. En segundo lugar, se presenta el marco teórico que fundamenta las relaciones entre Industria 4.0, TI, colaboración, visibilidad y resiliencia. En tercer lugar, se describe la metodología cuantitativa empleada, basada en modelos de ecuaciones estructurales con mínimos cuadrados parciales. En cuarto lugar, se exponen los resultados empíricos obtenidos a partir del análisis de cadenas productivas en Colombia. En quinto lugar, se discuten las principales conclusiones, sus implicaciones teóricas y prácticas, así como las limitaciones del estudio. Por último, se plantean recomendaciones orientadas a futuras investigaciones.

2. Revisión de literatura

2.1 Visión basada en recursos dinámicos

Con el objetivo de fundamentar teóricamente la relación entre la Industria 4.0, el avance de las TI, las capacidades de la cadena de suministro y su resiliencia, este estudio se apoya en el lente de la VBRD. Esta perspectiva destaca la importancia de la heterogeneidad de los recursos y capacidades organizacionales como elemento clave para alcanzar ventajas competitivas sostenibles (Barney et al., 2021; Li et al., 2022; Teece et al., 1997).

En este marco, los principios fundamentales de la VBRD sostienen que las organizaciones poseen recursos únicos y heterogéneos, los cuales constituyen la base de su ventaja competitiva. Esta ventaja se origina en la posesión de recursos que son valiosos, escasos, inimitables e insustituibles (VRIN), y permiten a las empresas

diferenciarse y mantener una posición sostenible en el mercado [Barney, 1991]. Asimismo, la VBRD reconoce que los recursos no son estáticos, sino que pueden desarrollarse, acumularse, transformarse y combinarse a lo largo del tiempo en respuesta a los cambios del entorno [Helfat y Peteraf, 2003; Teece et al., 1997].

En consecuencia, las organizaciones deben contar con capacidades dinámicas que les permitan reconfigurar proactivamente sus recursos para adaptarse y responder eficazmente a contextos caracterizados por alta volatilidad y complejidad. Esto implica la integración efectiva de nuevas tecnologías como un mecanismo clave para enfrentar entornos dinámicos y sostener la ventaja competitiva [Teece, 2007].

En este contexto, las capacidades dinámicas desempeñan un papel central al permitir que las organizaciones se adapten de manera continua frente a situaciones disruptivas [Wang et al., 2013]. Además, contribuyen a mejorar la eficiencia operativa al garantizar la trazabilidad, la visibilidad y una toma de decisiones basada en datos confiables [Yang et al., 2018].

2.2 Resiliencia en la cadena de suministro

En los últimos años, la resiliencia en la cadena de suministro ha recibido una atención creciente tanto en la literatura académica como en la práctica empresarial [Ali et al., 2017; Mubarik et al., 2021]. Al respecto, en este estudio la resiliencia de la cadena de suministro se define como la capacidad de esta para responder eficazmente ante disrupciones, absorber su impacto, recuperarse y continuar operando con una orientación hacia el crecimiento [Ambulkar et al., 2015; Pettit et al., 2019; Yang et al., 2021a].

Esta resiliencia implica tanto una respuesta rápida durante la fase de disrupción como una recuperación ágil en la fase posterior, con el propósito de retornar a un estado operativo estable [Ali et al., 2017; Brandon-Jones et al., 2014].

La literatura de las cadenas de suministro sostiene que la resiliencia permite a las organizaciones adaptarse ágilmente a entornos inciertos, mitigar los efectos adversos de las disrupciones y mejorar su desempeño operativo [Gu et al., 2021]. Por lo tanto, esta capacidad asegura la continuidad en el suministro de materiales y posibilita entregas confiables y oportunas, lo que incrementa el valor percibido y contribuye a una mayor satisfacción del cliente final [Shin y Park, 2021].

Asimismo, diversos estudios han abordado la operacionalización de la resiliencia desde múltiples enfoques. Algunos autores se han centrado particularmente en sus dimensiones como capacidad organizacional, destacando atributos como la robustez, la adaptabilidad y la capacidad de recuperación [Gu et al., 2021; Pettit et al., 2019]. En esta línea, Gu et al. [2021] argumentan que la resiliencia debe entenderse como una capacidad de la cadena de suministro que contribuye a mejorar su rendimiento operativo. No obstante, otros autores han analizado la resiliencia desde la perspectiva de la ventaja competitiva [Brandon-Jones et al., 2014; Shin y Park, 2021].

Por ejemplo, Brandon-Jones et al. [2014] la definen como una fuente de ventaja competitiva que puede lograrse mediante una mayor visibilidad en la cadena. De forma complementaria, Shin y Park [2021] la conceptualizan como un resultado del desempeño organizacional, susceptible de mejora a través del liderazgo efectivo.

En consecuencia, otros marcos, entre ellos la visión de la resiliencia y capacidad organizacional, conciben la resiliencia como un resultado táctico [Ali et al., 2017]. Sin embargo, el enfoque teórico adoptado en este estudio privilegia la resiliencia de la cadena de suministro como una ventaja competitiva, al considerarla un estado alcanzable mediante prácticas efectivas de mitigación de riesgos y recuperación ante disrupciones [Shin y Park, 2021].

2.3 Industria 4.0

La Industria 4.0 en el marco de este estudio hace referencia a una transformación revolucionaria en los modelos de producción, caracterizada por la manufactura inteligente y la incorporación intensiva de tecnologías avanzadas [Ghobakhloo, 2018]. Su núcleo conceptual se fundamenta en el uso extensivo de las TI y la comunicación para integrar de manera fluida el mundo físico con el digital, conformando un sistema interconectado que articula recursos, datos y personas [Barata, 2021; Lemstra y de Mesquita, 2023]. Por tanto, el objetivo fundamental de la Industria 4.0 es promover una transformación inteligente de las operaciones productivas mediante la adopción de tecnologías emergentes [Ghobakhloo, 2018; Liao et al., 2017].

Sin embargo, aún la clasificación y las dimensiones que conforman la Industria 4.0 siguen en discusión [Frank et al., 2019; Liao et al., 2017]. Por ejemplo, Ghobakhloo [2019] agrupa las tecnologías de la Industria 4.0 en cinco categorías: 1) interacción humano-máquina, 2) tecnologías de adquisición de datos y sensores, 3) tecnologías operativas, 4) tecnologías de computación y 5) tecnologías de información y comunicación.

Desde otro enfoque, Núñez-Merino et al. [2020], con base en la teoría del ciclo de vida tecnológico, distinguen entre tecnologías obsoletas, maduras, emergentes y de uso general en los sistemas de información. Por su parte, Ruel et al. [2023] proponen una clasificación centrada en la toma de decisiones, que contempla tres tipos de tecnologías: 1) tecnologías de cómputo, como la computación en la nube; 2) el análisis de grandes datos, y 3) la inteligencia artificial.

Otros autores la clasifican en dos vertientes, tecnologías de digitalización y de integración. La primera facilita la movilización de procesos, el análisis en tiempo real, la trazabilidad, el trabajo colaborativo y el soporte a la toma de decisiones; la segunda mejora la eficiencia, precisión y capacidad de control, al permitir el autodiagnóstico, seguimiento en tiempo real y la reducción de errores en los procesos de producción [Javaid et al., 2021].

Lo anterior pone de manifiesto la importancia de la VBRD; por tanto, es pertinente comprender la evolución de las cadenas de suministro en contextos empresariales

dinámicos como es el caso de la resiliencia de las cadenas de suministro y su relación dinámica con la colaboración y la visibilidad en contextos cada vez más inciertos.

2.4 Efecto de la Industria 4.0 sobre el avance de las tecnologías de la información

Según la VBRD, los distintos tipos de recursos dentro de una organización siguen trayectorias únicas de evolución y desarrollo, caracterizadas por su heterogeneidad (Helfat y Peteraf, 2003; Teece et al., 1997). En este contexto, la Industria 4.0 se concibe como una transformación disruptiva de los métodos de producción tradicionales, sustentada en la integración de tecnologías avanzadas que redefinen los procesos industriales (Ghobakhloo, 2018) y, a su vez, impulsan el avance de las TI (Wu et al., 2006).

En este sentido, el avance de las TI hace referencia al grado en que una empresa adopta e implementa tecnologías digitales avanzadas para gestionar eficientemente su cadena de suministro, superando los estándares de la industria y el desempeño de sus competidores (Wu et al., 2006; Yenyurt et al., 2019; Tigga et al., 2021).

En efecto, tanto la Industria 4.0 como el avance de las TI constituyen recursos tecnológicos intangibles, cuyo desarrollo depende de la adaptación e implementación efectiva de tecnologías digitales e informáticas tangibles (Wu et al., 2006).

En esta dirección, para lograr un verdadero progreso en este ámbito, las empresas o eslabones dentro de las cadenas de suministro deben integrar de forma plena y estratégica diversas tecnologías avanzadas en sus operaciones, adoptándolas de manera anticipada frente a sus competidores (Tigga et al., 2021). Esto sugiere analizar los efectos de la Industria 4.0 y su relación con el avance de las TI (Li et al., 2022).

Desde este enfoque, aquellas cadenas de suministro que logran implementar tempranamente tecnologías asociadas con la Industria 4.0 pueden obtener ventajas de pionero (Dalenogare et al., 2018), lo que favorece la coordinación interfuncional con los clientes y, a su vez, fortalece su desempeño operativo, su capacidad de innovación y su posicionamiento competitivo (Li et al., 2021).

Por consiguiente, la VBRD pone de relieve varias cuestiones, entre estas, cuando la acumulación de capacidades tecnológicas derivadas de la Industria 4.0 alcanza un nivel crítico, su adopción puede actuar como un catalizador del avance de las TI, facilitando su transformación, reconfiguración y evolución dentro de la cadena de suministro (Bai et al., 2020). De esta manera, la Industria 4.0 no solo moderniza los sistemas productivos, sino que también estimula el desarrollo interno de capacidades tecnológicas avanzadas, traduciéndose en un avance significativo de las TI y la comunicación (Li, 2022). Por lo tanto, se plantea la siguiente hipótesis:

H1. *La Industria 4.0 está positivamente relacionada con el avance de las TI en la cadena de suministro.*

2.5 Avance en Tecnología de la información y colaboración en la cadena de suministro

Desde la perspectiva de la VBRD, los recursos tecnológicos, como las TI, no solo constituyen activos valiosos y heterogéneos, sino que también pueden desarrollarse y reconfigurarse dinámicamente para generar nuevas capacidades organizacionales (Helfat y Peteraf, 2003; Teece et al., 1997). Así, el avance en TI, entendido como la integración estratégica de soluciones digitales avanzadas, permite a la cadena de suministro mejorar la conectividad, el flujo de información y la toma de decisiones colaborativa, elementos fundamentales para una cadena de suministro moderna y resiliente (Li et al., 2022).

Lo anterior sugiere que las TI facilitan el intercambio de datos de manera precisa, oportuna y segura entre los distintos actores de la cadena de suministro, lo cual favorece la planificación conjunta, la coordinación interorganizacional y la resolución colaborativa de problemas (Wu et al., 2006; Rai et al., 2006). A medida que las organizaciones adoptan tecnologías más sofisticadas como plataformas colaborativas basadas en inteligencia artificial, se fortalece su capacidad relacional, una de las capacidades dinámicas clave según la VBRD (Wang et al., 2013).

En consecuencia, estas tecnologías permiten consolidar alianzas, generar confianza y mejorar la agilidad compartida frente a eventos disruptivos, lo que pone de manifiesto que el avance en TI actúa como un habilitador esencial de la colaboración, al facilitar el intercambio de objetivos, riesgos y decisiones entre los miembros de la cadena de suministro (Li et al., 2022; Cao y Zhang, 2011). Por lo tanto, se plantea la siguiente hipótesis:

H2. *El avance en TI está positivamente relacionado con la colaboración en la cadena de suministro.*

2.6 Avance en tecnología de la información y visibilidad en la cadena de suministro

En el marco de la VBRD, el avance en TI se considera un recurso estratégico intangible que puede desarrollarse y reconfigurarse para generar nuevas capacidades organizacionales (Helfat y Peteraf, 2003; Teece et al., 1997). Este tipo de recurso, al integrarse dinámicamente en los procesos de negocio, facilita la generación de capacidades informacionales, las cuales resultan esenciales en contextos altamente volátiles como las cadenas de suministro (Yang et al., 2018).

En este sentido, la visibilidad en la cadena de suministro se refiere a la capacidad de las organizaciones para monitorear en tiempo real los flujos de información, materiales y productos a lo largo de la red logística (Barratt y Oke, 2007). Esta capacidad permite anticipar interrupciones, mejorar la toma de decisiones, optimizar inventarios y responder con mayor agilidad a cambios en la demanda o en el entorno (Li et al., 2022).

Desde la lógica de la VBRD, cuando las organizaciones desarrollan capacidades tecnológicas avanzadas, estas pueden

transformarse en capacidades dinámicas informacionales, como la visibilidad, que son difíciles de imitar y contribuyen a sostener una ventaja competitiva [Yang et al., 2018; Li et al., 2022]. Por lo tanto, se plantea la siguiente hipótesis:

H3. *El avance en TI está positivamente relacionado con la visibilidad en la cadena de suministro.*

2.7 Efectos de la colaboración y la visibilidad sobre la resiliencia de la cadena de suministro

En línea con la VBRD, la resiliencia de la cadena de suministro se considera un resultado competitivo deseable, el cual depende de la capacidad de las empresas para integrar, desarrollar y orquestar capacidades clave dentro de su red logística [Brandon-Jones et al., 2014; Teece et al., 1997]. Entre estas capacidades, la colaboración y la visibilidad destacan como mecanismos esenciales para anticiparse, adaptarse y recuperarse frente a disrupciones [Ivanov, 2021].

Desde esta perspectiva, la colaboración en la cadena de suministro se entiende como la capacidad de los actores para alinear objetivos, compartir riesgos, formular planes estratégicos conjuntos y sincronizar operaciones [Scholten y Schilder, 2015]. Un alto grado de colaboración fortalece la coordinación, la comunicación y la planificación conjunta, permitiendo una respuesta ágil ante eventos imprevistos [Ali et al., 2017]. Esta capacidad genera congruencia de objetivos y sincronización operativa, lo cual favorece una respuesta sistémica frente a disrupciones, y facilita tanto la contención de impactos como la recuperación coordinada [Tukamuhabwa et al., 2015].

Por otro lado, la visibilidad se refiere a la capacidad de monitorear y acceder en tiempo real a información clave sobre procesos, flujos e inventarios dentro de la cadena de suministro [Barratt y Oke, 2007]. Esta capacidad permite a las empresas detectar desviaciones, anticipar riesgos y coordinar acciones de contingencia antes, durante y después de una disrupción [Mubarik et al., 2021]. Por lo tanto, se plantean las siguientes hipótesis:

H4a. *La colaboración en la cadena de suministro está positivamente relacionada con la resiliencia de la cadena de suministro.*

H4b. *La visibilidad en la cadena de suministro está positivamente relacionada con la resiliencia de la cadena de suministro.*

2.8 Efectos de la Industria 4.0 y de las Tecnologías de la información sobre la resiliencia de la cadena de suministro

Desde el marco propuesto por la VBRD, Barney [1991] y Grant [1991] sostienen que la adopción de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 y el avance de las TI son recursos tecnológicos avanzados que, por sí solos, no generan resiliencia. Sin embargo, cuando estos recursos se combinan generan capacidades dinámicas, como la

colaboración y la visibilidad, y en consecuencia la resiliencia en las cadenas de suministro [Queiroz et al., 2019]. Por tanto, los efectos de la Industria 4.0 y del avance en TI sobre la resiliencia de la cadena de suministro se manifiestan de manera indirecta, a través del fortalecimiento de estas capacidades dinámicas [Fatorachian y Kazemi, 2021]. Por tanto, se plantean las siguientes hipótesis:

H5a. *La adopción de la Industria 4.0 afecta positiva e indirectamente la resiliencia de la cadena de suministro a través de la colaboración en la cadena de suministro.*

H5b. *La adopción de la Industria 4.0 afecta positiva e indirectamente la resiliencia de la cadena de suministro a través de la visibilidad en la cadena de suministro.*

H6a. *El avance en TI afecta positiva e indirectamente la resiliencia de la cadena de suministro a través de la colaboración en la cadena de suministro.*

H6b. *El avance en TI afecta positiva e indirectamente la resiliencia de la cadena de suministro a través de la visibilidad en la cadena de suministro.*

Así, la Figura 1 presenta el modelo de investigación que sugiere el estudio.

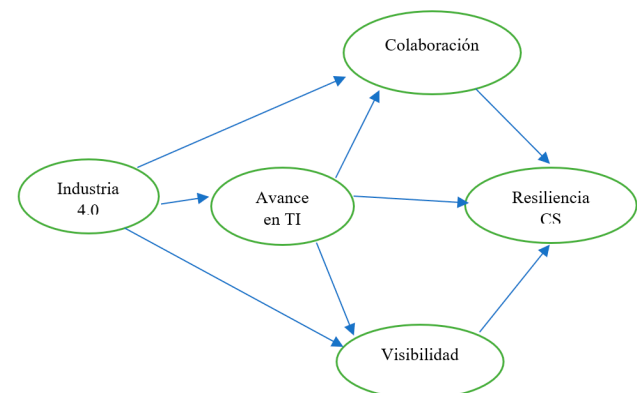


Figura 1. Hipótesis de investigación.
Fuente: elaboración propia.

3. Metodología

3.1 Diseño muestral y estrategia de recolección de datos

Con el objetivo de validar las hipótesis planteadas en el modelo de investigación, se desarrolló un estudio empírico enfocado en las cadenas de suministro en Colombia. Las unidades de análisis correspondieron a las cadenas reconocidas por el Departamento Nacional de Planeación (DNP). Para la recolección de datos, se aplicaron encuestas a gerentes con amplia experiencia, trayectoria y formación en entornos asociados a la Industria 4.0, pertenecientes a dichas cadenas.

El tipo de muestreo empleado fue no probabilístico por conveniencia, debido a que el diseño metodológico requería la implementación de un esquema de asignación proporcional para determinar el número de encuestas por

cadena. Como criterio de asignación se utilizó el índice de dedicación del empleo, el cual refleja la proporción del empleo total aportada por cada cadena productiva, en concordancia con lo propuesto por Zhao et al. (2011).

La distribución proporcional de las encuestas conforme a este índice no solo contribuye a mejorar la validez de los resultados, sino que también permite tomar decisiones más informadas y contextualizadas en torno a la resiliencia o la adopción tecnológica en las cadenas analizadas. Este enfoque garantiza que las cadenas con mayor participación relativa en el empleo tengan un mayor peso en la muestra, y asegura así una mayor representatividad de los sectores con mayor concentración de trabajadores y la priorización de eslabones estratégicos en términos de ocupación laboral, en concordancia con los lineamientos propuestos por Slack et al., (2020).

No obstante, dada la naturaleza del muestreo utilizado, se reconocen limitaciones inherentes como el riesgo de sesgo de selección, por lo que los hallazgos deben interpretarse a la luz de estas restricciones metodológicas (Malhotra y Grover, 1998). Adicionalmente, para fortalecer la rigurosidad del muestreo, se utilizaron bases de datos provenientes de los perfiles sectoriales contenidos en el libro *Cadenas Productivas*, publicado por el DNP (año). Este compendio aplica una metodología basada en establecimientos y empleo, clasificando los datos según el número de trabajadores y el índice de dedicación correspondiente a cada eslabón de la cadena.

Es importante destacar que el objetivo de la muestra no fue alcanzar representatividad estadística, sino garantizar una coherencia estructural en la selección de los gerentes participantes. Este enfoque privilegia la profundidad analítica frente a la amplitud muestral, lo cual resulta especialmente adecuado en estudios exploratorios de carácter sectorial o diagnósticos iniciales (Etikan et al., 2016; Creswell y Creswell, 2018). En consecuencia, si un eslabón de la cadena representaba el 3,2 % del empleo total, se le asignaban tres o cuatro encuestados, de acuerdo con el redondeo más próximo. Este criterio se aplicó de manera consistente, garantizando al menos un gerente participante en cada cadena con peso estructural significativo (Kamble et al., 2018a).

La recolección de datos se realizó mediante un cuestionario estructurado en formato digital, diseñado para superar barreras geográficas y optimizar los recursos disponibles, siguiendo la metodología sugerida por Kamble et al. (2018a). La versión final del instrumento fue acompañada por una carta de presentación que explicaba los objetivos del estudio e incluía instrucciones detalladas para su diligenciamiento. Se incorporaron filtros de validación automática que permitieron excluir respuestas incompletas o provenientes de informantes sin experiencia directa en la cadena de suministro o sin vinculación reciente con procesos asociados a la Industria 4.0.

El cuestionario constituyó la herramienta principal de recolección, una elección ampliamente respaldada por la literatura empírica en estudios de cadenas de suministro.

Zhao et al. (2011) destacan que los diseños basados en encuestas son metodologías ampliamente utilizadas para capturar evidencia empírica. Mientras que Malhotra y Grover (1998) subrayan su utilidad para explicar y predecir relaciones entre variables, lo que contribuye al desarrollo teórico en contextos organizacionales. En la misma línea, recolectar información directamente de actores operativos permite una aproximación válida al objeto de estudio (Wong et al., 2011).

En este sentido, el instrumento incluyó una declaración de consentimiento informado que garantizaba la participación voluntaria de los encuestados. Además, fue validado cualitativamente mediante entrevistas con cuatro expertos de las cadenas. Para facilitar la comprensión de los participantes, el cuestionario incluyó definiciones claras y accesibles de cada tecnología. El trabajo de campo se llevó a cabo entre julio del 2023 y mayo de 2025, en el marco de un diseño transversal, con el objetivo de capturar una representación del desempeño logístico y tecnológico durante ese periodo.

En total, se distribuyeron 178 encuestas, de las cuales se obtuvieron 125 completas, lo que representa una tasa de respuesta del 70,22 %. Si bien se reconoce la limitación en cuanto al tamaño de la muestra, esta se justifica tanto por el carácter exploratorio del estudio como por las restricciones logísticas enfrentadas durante el trabajo de campo (Anexo 1).

En contextos en los que no existen marcos muestrales consolidados ni bases de datos actualizadas a nivel de establecimiento, la aplicación de muestreos no probabilísticos, como el de conveniencia, resulta metodológicamente pertinente, ya que facilita el acceso a informantes clave (Kamble et al., 2018a).

3.2 Procedimiento metodológico

3.2.1 Selección y evaluación de tecnologías de la Industria 4.0

Una vez finalizado el diseño muestral y la estrategia de recolección de datos, se identificaron 18 tecnologías asociadas a la Industria 4.0 (Choi et al., 2022). De este conjunto inicial, se seleccionaron cinco tecnologías representativas, considerando tanto su respaldo en la literatura académica como su aplicabilidad en contextos productivos reales. Estas tecnologías fueron incorporadas al cuestionario principal del estudio (Choi et al., 2022; Huo et al., 2022; Yang et al., 2021b; Zhou et al., 2014; Huo et al., 2016; Li et al., 2021) y evaluadas según su nivel de adopción en las cadenas de suministro, siguiendo las etapas de madurez tecnológica propuestas por Cooper y Zmud (1990): 1) ninguna, 2) iniciación, 3) adopción, 4) adaptación y 5) aceptación.

Con el propósito de mitigar el riesgo de sesgo del método común, se adoptó una estrategia basada en la recolección de datos a partir de múltiples respondientes por cadena. Este enfoque, respaldado por Gu et al. (2021) y Anayat (2023), permitió aumentar la diversidad y representatividad de las respuestas, y reducir la posibilidad de sesgos derivados de un único informante. Además, se evaluó formalmente la

presencia de CMB mediante el análisis del *variance inflation factor* (VIF), cuyos valores fueron inferiores a 3,3, descartando preocupaciones significativas al respecto [Kock, 2015].

Además, se incorporaron también variables de control como el tamaño organizacional, el número de empleados y la antigüedad de la empresa, considerando que estas características pueden incidir en la capacidad de resiliencia de la cadena [Gu et al., 2021].

Para la medición de las variables latentes, se empleó una escala Likert de cinco puntos (1 = Totalmente en desacuerdo, 5 = Totalmente de acuerdo). Los ítems fueron adaptados de instrumentos previamente validados en la literatura, lo que asegura tanto la validez de contenido como la confiabilidad empírica.

En primer lugar, Industria 4.0 fue conceptualizada como un constructo de segundo orden, compuesto por diversas tecnologías individuales evaluadas conforme al modelo de madurez tecnológica propuesto por Cooper y Zmud [1990] y retomado por Li et al. [2021].

Asimismo, la adopción de Industria 4.0 se abordó como un constructo de segundo orden, lo cual permitió captar su naturaleza multidimensional, reflejando cómo las organizaciones integran y no adoptan de forma aislada las distintas tecnologías asociadas. Para ello, se solicitó a los encuestados que indicaran el nivel de implementación de varias tecnologías en sus empresas, utilizando una escala basada en Cooper y Zmud [1990], cuyos niveles van desde (1) "Ninguna", pasando por "Rutinización", hasta (5) "Difusión". Además, se proporcionaron definiciones claras y accesibles de cada tecnología con el fin de facilitar la comprensión de los participantes y asegurar la validez de las respuestas. Por su parte, el avance en TI fue medido siguiendo la propuesta de Wu et al. [2006], quienes las conciben como herramientas estratégicas para la obtención de ventajas competitivas.

En cuanto a las capacidades dinámicas, la colaboración y la visibilidad fueron operacionalizadas con base en las escalas desarrolladas por Mandal et al. [2016] y Jüttner y Maklan [2011], respectivamente. Ambas dimensiones fueron medidas mediante una escala Likert de cinco puntos.

La resiliencia de la cadena de suministro se evaluó utilizando la escala propuesta por Brandon-Jones et al. [2014], la cual mide la capacidad de adaptación y recuperación frente a disrupciones, también a través de una escala de cinco puntos.

Para controlar la heterogeneidad en las respuestas de los encuestados, se incluyó una variable marcadora, que consideró el tiempo de permanencia de los gerentes en la cadena, el tipo de eslabón y el sector económico en el que se desempeñan [Gu et al., 2021; Huo et al., 2022]. Esta variable fue medida con una escala de cinco puntos y permitió ajustar por diferencias en términos de experiencia, nivel de exposición tecnológica y prácticas colaborativas.

3.2.2 Validación del modelo de medición

La confiabilidad interna de las escalas fue verificada mediante el coeficiente alfa de Cronbach, la confiabilidad compuesta (CR) y la varianza media extraída (AVE). La

validez discriminante se comprobó tanto a través del criterio de Fornell y Larcker como del índice HTMT, siguiendo las recomendaciones metodológicas de Henseler [2018]. Además, se descartó la presencia de multicolinealidad mediante el análisis del factor VIF, cuyos valores se mantuvieron por debajo del umbral crítico de 3,3.

3.2.3 Evaluación del modelo estructural

Una vez validado el modelo de medición, se procedió al análisis del modelo estructural, utilizando el enfoque de modelado de ecuaciones estructurales con mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM). Se calcularon los coeficientes de ruta estandarizados (β), y su significancia estadística fue evaluada mediante un procedimiento de remuestreo *bootstrap* con 5000 submuestras, lo cual permitió estimar errores estándar, valores *t*, valores *p* e intervalos de confianza al 95 %.

Posteriormente, se analizaron los coeficientes de determinación (R^2) para evaluar el poder explicativo de los constructos dependientes, siguiendo los estándares propuestos por Hair et al. [2019], así como el tamaño del efecto (f^2), de acuerdo con los criterios de Cohen [1988]. Adicionalmente, se examinaron los efectos indirectos para comprobar relaciones de mediación, utilizando también el método *bootstrap*.

3.2.4 Ajuste global y evaluación de sesgo de estimación

La adecuación general del modelo fue respaldada por indicadores de ajuste, como el índice de raíz cuadrada del residuo estándar (SRMR), cuyos valores fueron inferiores a 0,08, y el índice de ajuste normado (NFI), con valores superiores a 0,90. Finalmente, se evaluó el sesgo de estimación, definido como la diferencia entre el coeficiente estimado original y la media de los coeficientes obtenidos mediante *bootstrap*. Los resultados evidenciaron sesgos mínimos, lo que refuerza la robustez del modelo y la confiabilidad de las estimaciones.

4. Resultados

La muestra presentó un predominio masculino, con un 83 % de participantes hombres y un 17 % mujeres. En cuanto a la edad, el 65 % de los encuestados se encontraba en el rango de 21 a 30 años, el 28 % entre 31 y 40 años, y el 7 % tenía 41 años o más. Respecto al estado civil, el 53 % indicó estar casado y el 47 % soltero. En relación con el nivel educativo, el 4 % reportó haber cursado únicamente estudios secundarios, otro 4 % tenía formación técnica, el 47 % contaba con título de pregrado y el 45 % había realizado estudios de posgrado. En cuanto a la experiencia laboral, el 35 % indicó tener entre 1 y 2 años, el 31,5 % entre 3 y 5 años, el 23,5 % entre 6 y 10 años, y el 10 % reportó más de diez años de trayectoria profesional.

Con base en esta caracterización, para validar las hipótesis planteadas en el modelo de investigación, se aplicó un modelo de ecuaciones estructurales mediante PLS-SEM, utilizando el software SmartPLS 4.0 [Ringle et al., 2022]. Este enfoque es ampliamente recomendado

para el análisis de teorías en desarrollo y estructuras complejas (Hair et al., 2019).

La evaluación del modelo de medición se llevó a cabo mediante el análisis de las cargas factoriales externas, la CR y la AVE. Para establecer la validez discriminante, se aplicó el criterio de Fornell-Larcker, comparando la raíz cuadrada de la AVE con las correlaciones entre los constructos. Una vez validado el modelo de medición, se procedió a la evaluación del modelo estructural, con el fin de analizar las relaciones hipotéticas entre los constructos latentes. Se estimaron los coeficientes de ruta estandarizados (β) y se evaluó su significancia estadística mediante el procedimiento de remuestreo *bootstrap* con 5000 submuestras. Este análisis permitió calcular errores estándar, valores *t*, valores *p* e intervalos de confianza al 95 %.

Además, se calculó el coeficiente de determinación (R^2) como indicador del poder explicativo del modelo. Según los criterios propuestos por Hair et al. (2019), valores de R^2 superiores a 0,75 se consideran sustanciales; valores cercanos a 0,50, moderados; y valores en torno a 0,25, aceptables en investigaciones en ciencias sociales. Este análisis fue complementado con la estimación del tamaño del efecto (f^2), el cual permite evaluar la contribución individual de cada constructo predictor sobre la variable dependiente. De acuerdo con Cohen (1988), los valores de f^2 se interpretan como pequeños ($\geq 0,02$), medianos ($\geq 0,15$) o grandes ($\geq 0,35$). Los resultados detallados del coeficiente de determinación (R^2) se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Coeficiente de determinación (R^2)

| Variable | R^2 | R^2 ajustado |
|---------------|-------|----------------|
| Avance en TIC | 0,535 | 0,531 |
| Colaboración | 0,110 | 0,103 |
| Resiliencia | 0,221 | 0,208 |
| Visibilidad | 0,236 | 0,230 |

Fuente: elaboración propia con base Smart-PLS-SEM 4.0.

Luego, para la evaluación del modelo de medición, se examinó la confiabilidad individual de los ítems mediante las cargas factoriales externas, considerando como adecuados aquellos valores superiores a 0,70. No obstante, se aceptaron valores comprendidos entre 0,40 y 0,70, siempre que la AVE del constructo superara el umbral de 0,50 (Hair et al., 2019). En estos casos, las cargas más bajas fueron evaluadas con criterio para determinar su posible eliminación.

Asimismo, la fiabilidad interna se analizó a través del alfa de Cronbach y la CR, considerando aceptables los valores iguales o superiores a 0,70. Todos los constructos evaluados evidenciaron altos niveles de confiabilidad y validez convergente. Las cargas factoriales externas superaron el umbral establecido ($\geq 0,70$), y tanto el alfa de Cronbach como la CR se ubicaron por encima del mínimo recomendado (Hair et al., 2019). En conjunto, estos resultados reflejan una adecuada consistencia interna, confiabilidad y validez convergente; además, consolidan la idoneidad del modelo para la posterior evaluación del modelo estructural (Tabla 2).

En relación con la validez convergente, esta fue evaluada mediante la AVE, considerando como aceptables los valores iguales o superiores a 0,50, lo que indica que el constructo explica al menos el 50 % de la varianza de sus ítems (Hair et al., 2019). Como se detalla en la Tabla 3, todos los constructos superaron este umbral, lo cual confirma una sólida validez convergente dentro del modelo propuesto.

La validez discriminante se verificó aplicando tanto el criterio de Fornell-Larcker como el índice HTMT, este último con un umbral recomendado inferior a 0,90, lo que garantiza una adecuada distinción entre constructos (Tabla 4). Adicionalmente, se evaluó la multicolinealidad mediante los VIF, y se consideraron aceptables los valores inferiores a 3,3; aunque en algunos contextos se toleraron valores de hasta 5,0, según el nivel de correlación aceptado entre los predictores.

Tabla 2. Fiabilidad y validez de constructos

| Constructo | Alfa de Cronbach | Fiabilidad compuesta (ρ_a) | Fiabilidad compuesta (ρ_c) | AVE |
|---------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|
| Avance en TIC | 0,929 | 0,930 | 0,955 | 0,876 |
| Colaboración | 0,750 | 0,773 | 0,856 | 0,665 |
| Industria 4.0 | 0,922 | 0,922 | 0,963 | 0,928 |
| Resiliencia | 0,839 | 0,898 | 0,900 | 0,750 |
| Visibilidad | 0,916 | 0,918 | 0,947 | 0,856 |

Fuente: elaboración propia con base en Smart PLS-SEM 4.0.

Tabla 3. Validez convergente

| Constructo | AVE | Interpretación |
|---------------|-------|---|
| Avance en TIC | 0,876 | Excelente validez convergente. Indicadores representan adecuadamente el constructo. |
| Colaboración | 0,665 | Muy buena capacidad explicativa del constructo sobre sus indicadores. |
| Industria 4.0 | 0,928 | Alta coherencia entre los ítems y el constructo latente. |
| Resiliencia | 0,750 | Fuerte validez convergente. Ítems reflejan adecuadamente el constructo. |
| Visibilidad | 0,856 | Excelente nivel de varianza explicada por los ítems del constructo. |

Fuente: elaboración propia con cálculos de varianza media extraída con base en PLS-SEM.

Tabla 4. Resultados HTMT entre constructos

| Constructos | HTMT |
|-------------------------------|-------|
| Colaboración ↔ Avance en TIC | 0,392 |
| Industria 4.0 ↔ Avance en TIC | 0,789 |
| Industria 4.0 ↔ Colaboración | 0,331 |
| Resiliencia ↔ Avance en TIC | 0,340 |
| Resiliencia ↔ Colaboración | 0,312 |
| Resiliencia ↔ Industria 4.0 | 0,347 |
| Visibilidad ↔ Avance en TIC | 0,526 |
| Visibilidad ↔ Colaboración | 0,077 |
| Visibilidad ↔ Industria 4.0 | 0,425 |
| Visibilidad ↔ Resiliencia | 0,433 |

Fuente: elaboración propia con base Smart-PLS-SEM 4.0.

Se estimaron los coeficientes de ruta estandarizados mediante el procedimiento de *bootstrap* con 5000 submuestras (Tabla 5). Todos los coeficientes obtenidos fueron estadísticamente significativos ($p < 0,05$), lo cual respalda la validez de las relaciones planteadas en el modelo estructural. La relación más fuerte se observó entre Industria 4.0 y avance en TIC ($\beta = 0,731$; $t = 16,527$; $p = 0,000$), lo que indica una influencia positiva y altamente significativa. Asimismo, se identificaron efectos positivos desde avance en TIC hacia visibilidad ($\beta = 0,486$) y colaboración ($\beta = 0,332$). A su vez, ambas capacidades demostraron tener un impacto positivo sobre la resiliencia, con coeficientes de $\beta = 0,389$ para visibilidad y $\beta = 0,243$ para colaboración, respectivamente.

Tabla 5. Coeficientes de ruta significativos

| Ruta | β | t | p |
|-------------------------------|---------|--------|-------|
| Avance en TIC → Colaboración | 0,332 | 3,837 | 0,000 |
| Avance en TIC → Visibilidad | 0,486 | 6,782 | 0,000 |
| Colaboración → Resiliencia | 0,243 | 2,713 | 0,007 |
| Industria 4.0 → Avance en TIC | 0,731 | 16,527 | 0,000 |
| Visibilidad → Resiliencia | 0,389 | 5,674 | 0,000 |

Fuente: elaboración propia con base Smart-PLS-SEM 4.0.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de los intervalos de confianza al 95 % (Tabla 6) permiten confirmar la validez estadística de las relaciones estructurales planteadas en el modelo.

En primer lugar, se evidenció que todas las rutas analizadas presentan intervalos que no incluyen el valor cero, lo cual indica que son estadísticamente significativas y aportan evidencia empírica sólida para respaldar las hipótesis formuladas. En particular, la relación entre la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 y el avance en TI presentó el efecto más fuerte y consistente del modelo (IC 95 %: 0,635-0,807), lo que refuerza la premisa de que la incorporación de tecnologías avanzadas impulsa de manera sustancial las capacidades digitales de las organizaciones.

Tabla 6. Intervalo de confianza

| Ruta | Límite inferior | Límite superior |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| Avance en TIC → Colaboración | 0,155 | 0,495 |
| Avance en TIC → Visibilidad | 0,340 | 0,619 |
| Colaboración → Resiliencia | 0,062 | 0,416 |
| Industria 4.0 → Avance en TIC | 0,635 | 0,807 |
| Visibilidad → Resiliencia | 0,256 | 0,520 |

Fuente: elaboración propia con base Smart-PLS-SEM 4.0.

Asimismo, el avance en TI mostró efectos significativos sobre la colaboración (IC 95 %: 0,1550,495) y, con mayor intensidad, sobre la visibilidad en la cadena de suministro (IC 95 %: 0,3400,619), lo que destaca su papel articulador en la generación de capacidades dinámicas clave.

En cuanto a los efectos sobre la resiliencia de la cadena de suministro, tanto la colaboración (IC 95 %: 0,0620,416) como la visibilidad (IC 95 %: 0,2560,520) demostraron influencias positivas y estadísticamente significativas. No obstante, se observa que la visibilidad ejerce un impacto más sólido, lo que sugiere que el acceso compartido a información crítica y en tiempo real constituye un factor determinante para la capacidad de adaptación y recuperación frente a disrupciones.

Por lo tanto, estos hallazgos empíricos confirman la estructura del modelo teórico propuesto, sustentado en la VBRD, y evidencian la relevancia de las tecnologías digitales como habilitadoras claves de capacidades organizacionales que fortalecen la resiliencia en entornos logísticos complejos.

Por otra parte, el análisis del tamaño del efecto (f^2), presentado en la Tabla 7, permite complementar la interpretación del modelo estructural al identificar la contribución individual de cada variable exógena sobre las variables endógenas. De acuerdo con los criterios establecidos por Cohen (1988), se evidencian diferencias relevantes en la magnitud de los efectos entre las relaciones evaluadas. La relación Industria 4.0 → avance en TIC presenta un efecto grande ($f^2 = 1,149$), lo cual refleja una influencia sustancial de la adopción de tecnologías 4.0 sobre el desarrollo de capacidades digitales en las organizaciones. Este resultado corrobora empíricamente que las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 actúan como motor principal del avance en TIC, en línea con la literatura sobre transformación digital.

Tabla 7. Tamaño del efecto (f^2)

| Relación | f^2 | Interpretación |
|-------------------------------|-------|-------------------------|
| Industria 4.0 → Avance en TIC | 1,149 | Efecto grande |
| Avance en TIC → Visibilidad | 0,309 | Efecto medio-alto |
| Avance en TIC → Colaboración | 0,124 | Efecto pequeño-moderado |
| Colaboración → Resiliencia | 0,075 | Efecto pequeño |

Fuente: elaboración propia con base Smart-PLS-SEM 4.0.

Por su parte, la relación avance en TIC \rightarrow visibilidad mostró un efecto de magnitud moderada-alta ($f^2 = 0,309$), lo que indica que las tecnologías de información contribuyen significativamente a mejorar la visibilidad en las cadenas de suministro. En contraste, el efecto de avance en TIC \rightarrow colaboración fue moderado ($f^2 = 0,124$), lo cual sugiere una influencia más limitada, aunque aún significativa, sobre la dimensión colaborativa. Por último, la relación colaboración \rightarrow resiliencia evidenció un efecto pequeño ($f^2 = 0,075$), lo que indica que, si bien la colaboración aporta al fortalecimiento de la resiliencia, su impacto es menor en comparación con otras variables del modelo, como la visibilidad.

En síntesis, estos hallazgos permiten concluir que el efecto más determinante dentro del modelo es el ejercido por la Industria 4.0 sobre el avance en TIC, mientras que las capacidades dinámicas de visibilidad y colaboración presentan efectos diferenciados sobre la resiliencia; la primera es más influyente que la segunda. Este análisis refuerza la importancia de promover estrategias tecnológicas integradas, orientadas a potenciar las capacidades clave que fortalecen tanto el desempeño logístico como la adaptabilidad organizacional en contextos volátiles.

De esta manera, la evaluación del ajuste global del modelo estructural (Tabla 8) proporcionó evidencia empírica sobre la adecuación entre la matriz de covarianzas estimada y la observada, y constituye un paso clave para validar la calidad del modelo propuesto. El valor del SRMR fue de 0,057 para el modelo saturado y de 0,069 para el modelo estimado. Ambos valores se sitúan por debajo del umbral crítico de 0,08, lo que indica un ajuste aceptable entre los datos y el modelo teórico, conforme a las recomendaciones de Henseler et al. (2016).

Tabla 8. Evaluación del ajuste global del modelo

| Indicador | Modelo saturado | Modelo estimado |
|--------------|-----------------|-----------------|
| SRMR | 0,057 | 0,069 |
| d_ULS | 0,338 | 0,496 |
| d_G | 0,251 | 0,268 |
| Chi-cuadrado | 195,138 | 208,912 |
| NFI | 0,833 | 0,821 |

Fuente: elaboración propia con base Smart-PLS-SEM 4.0.

Asimismo, el índice NFI alcanzó un valor de 0,833 para el modelo saturado y 0,821 para el estimado. Aunque estos valores están ligeramente por debajo del umbral óptimo de 0,90, se consideran aceptables en estudios exploratorios y modelos complejos, particularmente cuando se trabaja con muestras moderadas y múltiples constructos latentes. En relación con los estadísticos d_ULS y d_G, sus valores se ubicaron en rangos razonables para modelos estructurales aplicados en contextos no paramétricos, si bien no se utilizan como criterios exclusivos de evaluación.

Por otro lado, los valores de ji al cuadrado (195,138 para el modelo saturado y 208,912 para el estimado) fueron consistentes con modelos que presentan numerosos grados de libertad. No obstante, deben interpretarse con cautela, dado que este estadístico es altamente sensible al tamaño muestral. En conjunto, los resultados obtenidos en esta fase

respaldan la adecuación general del modelo estructural propuesto, y refuerzan así la validez de las relaciones hipotéticas estimadas entre los constructos latentes.

Para terminar, se muestra la representación gráfica del modelo estructural (Figura 2), la cual ilustra las relaciones hipotéticas entre los constructos latentes: Industria 4.0, avance en TI, visibilidad, colaboración y resiliencia en la cadena de suministro. En esta representación (Figura 2), los coeficientes de ruta estandarizados (β) se indican en azul junto a cada flecha, reflejando la magnitud de los efectos directos entre los constructos. Todos los coeficientes mostrados resultaron estadísticamente significativos ($p < 0,05$), con excepción de las rutas no marcadas, cuya falta de significancia se evidencia mediante los valores p correspondientes.

En este sentido, los resultados del modelo permiten confirmar la existencia de una mediación parcial del constructo avance en TI en la relación entre Industria 4.0 y los resultados organizacionales. Asimismo, se observa un impacto diferenciado de las capacidades de visibilidad y colaboración sobre la resiliencia; esta última es modulada de forma más significativa por la visibilidad, de acuerdo con los hallazgos cuantitativos previamente analizados.

5. Discusión

Los resultados de este estudio proporcionan evidencia empírica robusta sobre los mecanismos mediante los cuales la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 influye en la resiliencia de las cadenas de suministro, reforzando los postulados de la VBRD. Esta perspectiva sostiene que los recursos tecnológicos, por sí solos, no garantizan ventajas competitivas sostenibles, a menos que sean convertidos en capacidades organizacionales (Teece, 2007; Wang et al., 2013). Los hallazgos obtenidos validan empíricamente esta proposición en el contexto específico de una economía emergente.

Uno de los resultados más sólidos del modelo estructural fue la fuerte relación entre la adopción de Industria 4.0 y el avance en TI y comunicación (TIC), con un coeficiente elevado ($\beta = 0,731$; $p < 0,01$) y un tamaño del efecto muy alto ($f^2 = 1,149$). Este hallazgo ratifica el papel sistémico de la Industria 4.0 como impulsora de la transformación digital, al requerir una infraestructura tecnológica sólida y procesos digitales integrados (Frank et al., 2019; Zhong et al., 2017). Esta relación es particularmente relevante en países en desarrollo, como Colombia, donde las brechas digitales estructurales limitan la adopción efectiva de tecnologías avanzadas (Zouari et al., 2021). En consecuencia, este estudio no solo confirma la relación teórica, sino que la cuantifica con base en datos empíricos.

Además, el avance en TIC se identificó como un antecedente directo de dos capacidades dinámicas clave: visibilidad ($\beta = 0,486$; $f^2 = 0,309$) y colaboración ($\beta = 0,332$; $f^2 = 0,124$). Estos resultados refuerzan estudios previos que posicionan a las TIC como habilitadoras esenciales de flujos de información integrados, trazabilidad y coordinación interorganizacional (Christopher y Peck, 2004; Saeed et al., 2017). Cabe destacar que el efecto de las TIC fue más fuerte

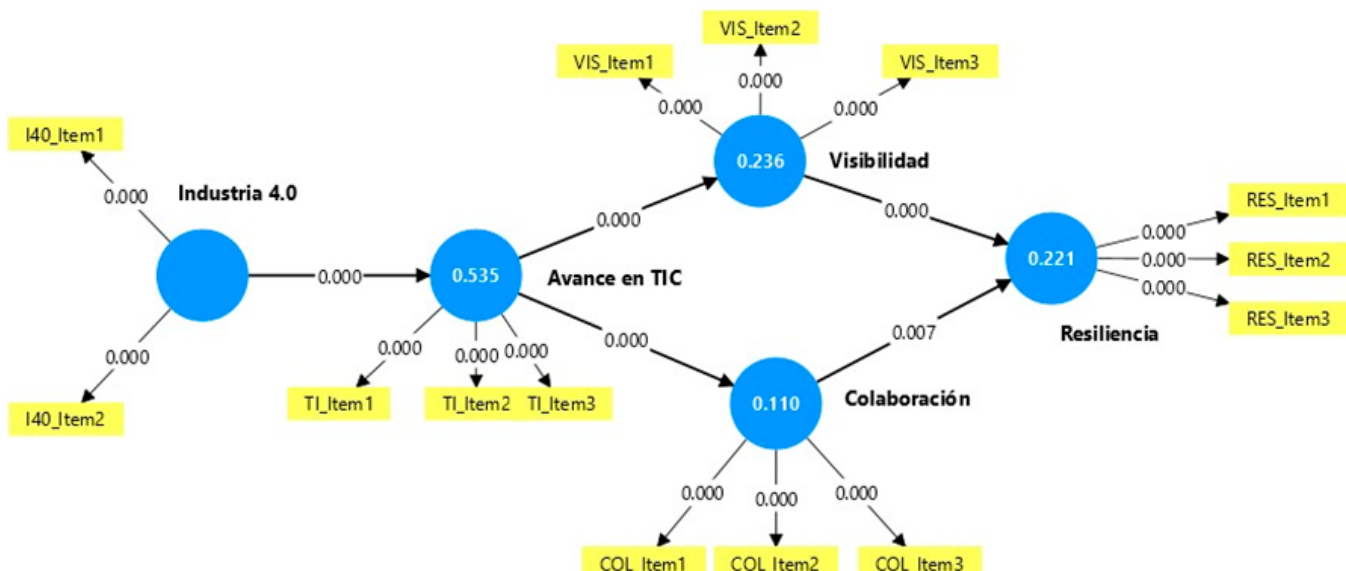


Figura 2. Relaciones hipotéticas entre constructos latentes en el modelo estructural.
Fuente: elaboración propia.

sobre la visibilidad que sobre la colaboración. Esto puede deberse a que la visibilidad depende en mayor medida de infraestructuras técnicas automatizadas, mientras que la colaboración implica factores más sociales y culturales, como confianza, gobernanza o acuerdos contractuales [Cao y Zhang, 2011].

Un hallazgo importante es que la adopción de tecnologías de Industria 4.0 no mostró efectos directos significativos sobre visibilidad ni colaboración, lo cual sugiere que su impacto sobre las capacidades organizacionales no es automático, sino que requiere ser mediado por el desarrollo de competencias tecnológicas. En este sentido, el estudio aporta evidencia para sustentar la hipótesis de que los beneficios tecnológicos requieren de procesos organizacionales de absorción, transformación y aprovechamiento [Ardolino et al., 2022; Wu et al., 2006].

En cuanto a la resiliencia de la cadena de suministro, tanto la visibilidad ($\beta = 0,389$; $f^2 = 0,118$) como la colaboración ($\beta = 0,243$; $f^2 = 0,075$) demostraron contribuir de manera significativa. Estos hallazgos amplían la comprensión de la resiliencia más allá de su concepción reactiva, al posicionarla como una capacidad estratégica dependiente de recursos informacionales y relacionales [Pettit et al., 2019; Scholten et al., 2014]. La mayor influencia de la visibilidad respalda estudios recientes que la identifican como el factor más decisivo en la capacidad de anticipar y adaptarse a disrupciones [Ivanov, 2021].

Asimismo, los resultados confirmaron la mediación parcial de estas capacidades dinámicas en la relación entre Industria 4.0 y resiliencia, lo que valida el encadenamiento propuesto por la VBRD. Este hallazgo empírico refuerza la idea de que la adopción tecnológica por sí sola no

es suficiente: solo al ser transformada en capacidades operativas y relacionales puede generar valor estratégico [Teece, 2007]. Desde el punto de vista metodológico, el modelo mostró un ajuste adecuado y estimaciones estables. Los coeficientes de determinación fueron aceptables (avance en TIC = 0,535; visibilidad = 0,236; colaboración = 0,110; resiliencia = 0,221), y los indicadores de ajuste global como el SRMR (0,069) y el NFI (0,833) se ubicaron dentro de los rangos recomendados para modelos exploratorios con estructuras complejas [Hair et al., 2019]. La validez discriminante fue satisfactoria (HTMT < 0,85) y el análisis *bootstrap* con 5000 submuestras confirmó la robustez de las estimaciones.

Teóricamente, este estudio contribuye a la literatura al aplicar y validar empíricamente la VBRD en el contexto de cadenas de suministro en mercados emergentes. En particular, ofrece una visión más matizada del papel de la digitalización como proceso mediado por capacidades, lo que resulta fundamental para diseñar estrategias más efectivas en contextos de transformación tecnológica. Además, amplía el cuerpo de conocimiento sobre la resiliencia organizacional al destacar la necesidad de integrar tecnologías digitales con capacidades informacionales y colaborativas.

En términos prácticos, los hallazgos sugieren que los responsables de la cadena de suministro deben priorizar no solo la adquisición de tecnologías de la Industria 4.0, sino también el desarrollo interno de capacidades tecnológicas (como sistemas de TI robustos) que habiliten visibilidad y colaboración efectiva. Este enfoque integrado puede fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación ante disrupciones, especialmente en entornos logísticos altamente inciertos.

5.1 Implicaciones prácticas

Los hallazgos de este estudio ofrecen orientaciones prácticas clave para diversos actores involucrados en la gestión y fortalecimiento de las cadenas de suministro en Colombia, particularmente en sectores como el agroindustrial, caracterizados por su vulnerabilidad estructural, baja digitalización y alta dispersión geográfica.

En primer lugar, se evidencia que la adopción de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 solo produce impactos organizacionales significativos cuando se acompaña de un fortalecimiento previo o paralelo de las capacidades digitales. Por tanto, se recomienda que las decisiones de inversión en tecnologías emergentes vayan precedidas por estrategias que prioricen la dotación y modernización de infraestructura TIC, y que garanticen su integración funcional a los procesos logísticos y operativos.

En segundo lugar, el avance en TIC mostró una incidencia positiva sobre capacidades dinámicas clave como la visibilidad y la colaboración, las cuales son esenciales para enfrentar disrupciones. En este sentido, se sugiere a las cadenas priorizar el desarrollo e implementación de plataformas tecnológicas para la trazabilidad, el monitoreo en tiempo real y el intercambio de información entre actores. Esto puede mejorar sustancialmente la coordinación interorganizacional y la capacidad de respuesta en escenarios de crisis.

Tercero, se reafirma que la resiliencia de las cadenas de suministro se fortalece más a través del desarrollo de capacidades relacionales e informacionales que por la adopción aislada de tecnología. En consecuencia, la transformación digital debe ser concebida como un proceso sociotécnico, en el que las herramientas digitales son habilitadoras, pero su efectividad depende de su articulación con procesos colaborativos, de gobernanza y de generación de confianza entre los eslabones de la cadena.

Desde el ámbito de la política pública, estos resultados apuntan a la necesidad de diseñar programas de transformación digital sectorial integrales, que combinen el acceso a tecnología con iniciativas de formación en competencias digitales, fortalecimiento institucional y desarrollo de capacidades colaborativas. Esto es particularmente relevante en sectores como los textiles, el cuero y los alimentos procesados, en los que persisten brechas estructurales de conectividad, infraestructura tecnológica y capital humano calificado.

El análisis de la distribución proporcional de encuestas, realizado con base en el índice de dedicación del empleo, también permite extraer implicaciones prácticas. Las cadenas con mayor representación en la muestra, como petroquímica-plásticos y fibras sintéticas, textil-confecciones, metalmecánica y maquinaria no eléctrica, deben ser consideradas prioritarias para futuras estrategias de digitalización y fortalecimiento de resiliencia en la cadena, dada su relevancia estructural en términos de empleo y producción.

En contraste, la limitada o nula representación de otras cadenas relevantes (por ejemplo, café y té, pesca,

tabaco, o cerveza y licores) indica la necesidad de superar barreras logísticas y de acceso a información para lograr una cobertura más equilibrada en futuros esfuerzos de diagnóstico y formulación de políticas.

Por último, se recomienda que las cadenas de suministro no conciban la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 como un objetivo final, sino como un medio para construir capacidades estratégicas que favorezcan la adaptabilidad, la sostenibilidad y la competitividad en el largo plazo. Tal como advierten Eisenhardt y Martin (2000), en contextos organizacionales fragmentados y con baja colaboración estructural, como ocurre frecuentemente en el agro colombiano, es indispensable fortalecer mecanismos de visibilidad operativa y coordinación tecnológica que permitan anticipar, mitigar y gestionar riesgos de forma efectiva en escenarios de disrupción o incertidumbre.

6. Conclusiones

Los hallazgos de este estudio proporcionan evidencia empírica sólida acerca del papel mediador de las capacidades digitales en la relación entre la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 y la resiliencia de las cadenas de suministro. En particular, se demuestra que la simple implementación tecnológica no es suficiente para fortalecer la resiliencia organizacional; es imprescindible que estas tecnologías sean asimiladas y transformadas en capacidades organizacionales específicas, como la visibilidad operativa y la colaboración interorganizacional.

Desde una perspectiva teórica, los resultados validan la VBRD al confirmar que los recursos tecnológicos solo generan ventajas competitivas sostenibles cuando se integran a procesos organizacionales y capacidades internas. La estructura del modelo estructural PLS-SEM mostró que el avance en TI actúa como mediador sustancial entre la Industria 4.0 y las capacidades resilientes; se destaca la visibilidad como el predictor más influyente de resiliencia en contextos logísticos fragmentados.

Desde el punto de vista metodológico, el modelo alcanzó niveles satisfactorios de confiabilidad, validez y ajuste global. La robustez estadística de los resultados, junto con la representatividad estructural de la muestra, refuerza la validez externa del estudio y permite generalizaciones prudentes hacia cadenas de suministro en economías emergentes.

En términos prácticos, los resultados enfatizan la necesidad de adoptar un enfoque integral de transformación digital que combine inversión tecnológica con el fortalecimiento de capacidades humanas, institucionales y colaborativas. En países en desarrollo como Colombia, esto implica diseñar políticas públicas orientadas no solo al acceso a tecnologías emergentes, sino también a la superación de brechas estructurales en conectividad, alfabetización digital y gobernanza interorganizacional.

En suma, este estudio contribuye a la comprensión de cómo las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 pueden transformarse en capacidades dinámicas organizacionales que fortalecen la resiliencia de las cadenas de suministro en

contextos emergentes como el colombiano. Los hallazgos evidencian que la integración efectiva de estas tecnologías con capacidades informacionales y colaborativas no solo permite enfrentar disrupciones y adaptarse a entornos volátiles, sino que también posibilita la generación de ventajas competitivas sostenibles en la gestión de la cadena de suministro.

6.1 Limitaciones y líneas futuras de investigación

A pesar de los aportes teóricos y prácticos derivados de esta investigación, existen varias limitaciones que deben ser reconocidas. En primer lugar, el diseño transversal del estudio impide establecer relaciones causales sólidas entre la adopción de tecnologías de la Industria 4.0, el desarrollo de capacidades dinámicas y la resiliencia de la cadena de suministro. Futuros estudios longitudinales permitirían evaluar con mayor precisión cómo evolucionan estas relaciones a lo largo del tiempo y bajo diferentes condiciones de disrupción.

En segundo lugar, si bien el modelo estructural se estimó con robustez metodológica mediante PLS-SEM, la generalización de los resultados se encuentra limitada al contexto geográfico y sectorial del estudio, centrado en cadenas productivas de Colombia. La replicación del modelo en otros contextos industriales y países emergentes permitiría contrastar la validez externa del modelo teórico propuesto y capturar diferencias institucionales o culturales que puedan afectar los resultados.

Una tercera limitación se refiere al enfoque predominantemente cuantitativo adoptado. Aunque el modelo incluyó constructos clave como visibilidad, colaboración y resiliencia, otros mecanismos organizacionales relevantes como la agilidad, la innovación o el aprendizaje no fueron considerados. En consecuencia, futuras investigaciones podrían ampliar el modelo integrando capacidades complementarias que también inciden en la resiliencia organizacional, y aportar así una visión más holística del fenómeno.

Además, se recomienda incorporar métodos cualitativos, como estudios de caso, entrevistas o análisis de redes organizacionales, que permitan explorar en profundidad los procesos internos que facilitan la transformación de recursos tecnológicos en capacidades dinámicas efectivas. Estos métodos permitirían captar dimensiones relacionales y contextuales que escapan a los modelos estructurales, pero que son fundamentales en la implementación de tecnologías avanzadas.

Por último, dada la rápida evolución de las tecnologías emergentes y la naturaleza incierta del entorno logístico global, se sugiere desarrollar investigaciones futuras que examinen el papel de nuevas tecnologías como *blockchain*, gemelos digitales o analítica avanzada y su interacción con las capacidades resilientes, especialmente en entornos con alta vulnerabilidad sistémica.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Ali, A., Mahfouz, A. y Arisha, A. (2017). Analysing supply chain resilience: Integrating the constructs in a concept mapping framework via a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 22(1), 16-39. <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2016-0197>
- Ambulkar, S., Blackhurst, J. y Grawe, S. (2015). Firms' resilience to supply chain disruptions: Scale development and empirical examination. *Journal of Operations Management*, 33-34, 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.11.002>
- Anayat, U. (2023). Measuring common method bias in survey-based operations management research: A critical review. *Journal of Business Research*, 155, 113410. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113410>
- Ardolino, M., Rapaccini, M., Sacconi, N., Gaiardelli, P., Crespi, G. y Ruggeri, C. (2022). The role of Industry 4.0 technologies in fostering resilience in supply chains: A systematic literature review. *Production Planning & Control*, 33(13), 1272-1289. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1954354>
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G. y Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Barratt, M. y Oke, A. (2007). Antecedents of supply chain visibility in retail supply chains: A resource-based theory perspective. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1217-1233.
- Barata, J. (2021). Resilient and sustainable supply chains supported by digital technologies: A review and research agenda. *Sustainability*, 13(22), 12844. <https://doi.org/10.3390/su132212844>
- Barney, J. B. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Barney, J. B., Foss, N. J. y Lyngsie, J. (2021). The role of the MNC in the contemporary global economy: A dynamic capabilities perspective. *Journal of International Business Studies*, 52(7), 1220-1232. <https://doi.org/10.1057/s41267-021-00424-1>
- Brandon-Jones, E., Squire, B., Autry, C. W. y Petersen, K. J. (2014). A contingent resource-based perspective of supply chain resilience and robustness. *Journal of Supply Chain Management*, 50(3), 55-73. <https://doi.org/10.1111/jscm.12050>
- Cao, M. y Zhang, Q. (2011). Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance. *Journal of Operations Management*, 29(3), 163-180. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.12.008>
- Choi, T. M., Guo, S. y Luo, S. (2022). When blockchain meets supply chain: A systematic literature review and research agenda. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102566. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102566>
- Christopher, M. y Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1-13. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2.ª ed.). Lawrence Erlbaum.
- Cooper, R. B. y Zmud, R. W. (1990). Information technology implementation research: A technological diffusion approach. *Management Science*, 36(2), 123-139. <https://doi.org/10.1287/mnsc.36.2.123>
- Creswell, J. W. y Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5.ª ed.). SAGE Publications.

- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F. y Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394.
- Eisenhardt, K. M. y Martin, J. A. (2000). Dynamic capabilities: What are they? *Strategic Management Journal*, 21(10-11), 1105-1121. [https://doi.org/10.1002/1097-0266\(200010/11\)21:10<1105::AID-SMJ133>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1097-0266(200010/11)21:10<1105::AID-SMJ133>3.0.CO;2-E)
- Etikan, I., Musa, S. A. y Alkassim, R. S. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1-4. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>
- Fatorachian, H. y Kazemi, H. (2021). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: Theoretical operationalization framework. *Production Planning & Control*, 32(13), 1041-1062. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1779989>
- Fiksel, J. (2006). Sustainability and resilience: Toward a systems approach. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 2(2), 14-21. <https://doi.org/10.1080/15487733.2006.11907980>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S. y Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Ghemawat, P. (1986). Sustainable advantage. *Harvard Business Review*, 64(5), 53-58.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>
- Ghobakhloo, M. (2019). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
- Grant, R. M. (1991). The resource-based theory of competitive advantage: Implications for strategy formulation. *California Management Review*, 33(3), 114-135. <https://doi.org/10.2307/4116664>
- Gu, M., Zhang, P., Jin, Y. y Jin, M. (2021). How supply chain resilience affects firm performance: The roles of absorptive capacity and innovation. *Journal of Business Research*, 129, 142-153. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.02.054>
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M. y Sarstedt, M. (2019). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (2.ª ed.). SAGE Publications.
- Hägele, S., Grosse, E. H. y Ivanov, D. (2023). Supply chain resilience: A tertiary study. *International Journal of Integrated Supply Management*, 16(1), 52-81. <https://doi.org/10.1504/IJISM.2023.128865>
- Helfat, C. E. y Peteraf, M. A. (2003). The dynamic resource-based view: Capability lifecycles. *Strategic Management Journal*, 24(10), 997-1010. <https://doi.org/10.1002/smj.332>
- Henseler, J. (2018). Partial least squares path modeling: Quo vadis? *Quality & Quantity*, 52(1), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11135-018-0689-6>
- Henseler, J., Hubona, G. y Ray, P. A. (2016). Using PLS path modeling in new technology research: Updated guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 116(1), 2-20. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2015-0382>
- Huo, B., Han, Z., Zhao, X., Zhou, H. y Wood, C. H. (2022). The impact of digital transformation on supply chain resilience: Empirical evidence from China. *International Journal of Operations & Production Management*, 42(1), 1-34. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-06-2021-0393>
- Huo, B., Zhao, X. y Zhou, H. (2016). The effects of competitive environment on supply chain information sharing and performance: An empirical study in China. *Production and Operations Management*, 25(4), 801-824. <https://doi.org/10.1111/poms.12444>
- Ivanov, D. (2021). Supply chain viability and the COVID-19 pandemic: A conceptual and formal generalisation of four major adaptation strategies. *International Journal of Production Research*, 59(12), 3535-3552.
- Ivanov, D. y Tu, Y. (2025). Supply chain viability in the post-COVID era. *Omega*, 137, 103359. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2025.103359>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R. y Rab, S. (2021). Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 15(3), 808-813. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2021.03.007>
- Jüttner, U. y Maklan, S. (2011). Supply chain resilience in the global financial crisis: An empirical study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(4), 246-259. <https://doi.org/10.1108/1359854111139062>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A. y Dhone, N. C. (2018a). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1319-1337. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1660828>
- Kock, N. (2015). Common method bias in PLS-SEM: A full collinearity assessment approach. *International Journal of e-Collaboration*, 11(4), 1-10. <https://doi.org/10.4018/ijec.2015100101>
- Lemstra, W. y de Mesquita, M. (2023). Industry 4.0, resilience and the digital transformation of supply chains: A European perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 189, 122367. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122367>
- Li, G., Xue, J., Li, N. y Ivanov, D. (2022). Blockchain-supported business model design, supply chain resilience, and firm performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 163, 102773. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102773>
- Li, L. (2022). Digital transformation and sustainable performance: The moderating role of market turbulence. *Industrial Marketing Management*, 104, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.04.007>
- Li, S., Wang, K., Huo, B., Zhao, X. y Cui, X. (2021). The impact of cross-functional coordination on customer coordination and operational performance: An information processing view. *Industrial Management & Data Systems*, 122(1), 167-193. <https://doi.org/10.1108/IMDS-02-2021-0084>
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R. y Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 – A systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609-3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Malhotra, M. K. y Grover, V. (1998). An assessment of survey research in POM: From constructs to theory. *Journal of Operations Management*, 16(4), 407-425. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(98\)00021-7](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(98)00021-7)
- Mandal, S., Bhattacharya, S. y Korasiga, V. R. (2016). Empirical investigation on the relationship between supply chain collaboration and organizational performance. *IIMB Management Review*, 28(4), 210-222. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2016.10.004>
- Mubarik, M. S., Naghavi, N. y Mubarik, M. S. (2021). Resilience and agility in supply chains: A review of the literature and future research agenda. *Journal of Advanced Research in Economics and Administrative Sciences*, 2(1), 1-17. <https://doi.org/10.47631/jareas.v2i1.194>
- Núñez-Merino, M., Santos, M., Muñoz, M. y Viles, E. (2020). A technology life cycle approach to Industry 4.0 technologies in manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4), 722-745. <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0375>
- Peteraf, M. A. (1993). The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view. *Strategic Management Journal*, 14(3), 179-191. <https://doi.org/10.1002/smj.4250140303>
- Pettit, T. J., Croxton, K. L. y Fiksel, J. (2013). Ensuring supply chain resilience: Development of a conceptual framework. *Journal of Business Logistics*, 34(1), 46-76.
- Pettit, T. J., Croxton, K. L. y Fiksel, J. (2019). The evolution of resilience in supply chain management: A retrospective on building responsive and adaptive supply chains. *Journal of Business Logistics*, 40(1), 56-65.
- Ponomarev, S. Y. y Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, 20(1), 124-143. <https://doi.org/10.1108/09574090910954873>
- Queiroz, M. M., Telles, R. y Bonilla, S. H. (2019). Blockchain adoption in supply chain management: Empirical evidence from an emerging economy. *International Journal of Operations & Production Management*, 39(6/7/8), 817-841. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2019-0174>

- Rai, A., Patnayakuni, R. y Seth, N. (2006). Firm performance impacts of digitally enabled supply chain integration capabilities. *MIS Quarterly*, 30(2), 225-246.
- Ringle, C. M., Wende, S. y Becker, J.-M. (2022). *SmartPLS 4.0* [Versión 4] [Computer software]. SmartPLS GmbH. <https://www.smartpls.com>
- Ruel, S., Dubois, D. y Sivarajah, U. (2023). Towards a classification of Industry 4.0 technologies: A decision-making perspective. *Technovation*, 121, 102632. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102632>
- Saeed, K. A., Malhotra, M. K. y Grover, V. (2017). Examining the impact of interorganizational systems on process efficiency and sourcing leverage in buyer-supplier dyads. *Decision Sciences*, 36(3), 365-396. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2005.00077.x>
- Salisu, Y. y Bakar, L. J. A. (2019). Firm resources and strategic flexibility as predictors of competitive advantage and performance: A study of SMEs. *Management Science Letters*, 9(6), 865-876. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2019.1.004>
- Scholten, K. y Schilder, S. (2015). The role of collaboration in supply chain resilience. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(4), 471-484. <https://doi.org/10.1108/SCM-11-2014-0386>
- Scholten, K., Scott, P. S. y Fynes, B. (2014). Mitigation processes—antecedents for building supply chain resilience. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(2), 211-228. <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2013-0191>
- Shin, N. y Park, S. (2021). Supply chain resilience as a dynamic capability: A perspective grounded in enactment theory. *International Journal of Operations & Production Management*, 41(6), 742-765. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-09-2020-0634>
- Slack, N., Brandon-Jones, A. y Burgess, N. (2020). *Operations management* (9.ª ed.). Pearson Education.
- Swift, K., Goldsby, T. J. y Iyengar, D. (2019). Information visibility: A critical capability for managing disruption risks in the supply chain. *International Journal of Logistics Management*, 30(3), 954-981. <https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2018-0027>
- Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319-1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>
- Teece, D. J., Pisano, G. y Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509-533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z)
- Tigga, A., Goel, R. K. y Ghosh, D. (2021). Technological sophistication and firm performance: Evidence from Indian manufacturing. *Journal of Asian Economics*, 74, 101315. <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2021.101315>
- Tukamuhabwa, B. R., Stevenson, M., Busby, J. y Zorzini, M. (2015). Supply chain resilience: Definition, review and theoretical foundations for further study. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5592-5623.
- Wang, Y., Han, J. y Hsu, C. (2013). Role of relational and informational capabilities in enhancing responsiveness in supply chain operations: A resource-based perspective. *Journal of Operations Management*, 31(4), 233-244. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.04.001>
- Wong, C. Y., Boon-Itt, S. y Wong, C. W. Y. (2011). The contingency effects of environmental uncertainty on the relationship between supply chain integration and operational performance. *Journal of Operations Management*, 29(6), 604-615. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2011.01.003>
- Wu, F., Yenyurt, S., Kim, D. y Cavusgil, S. T. (2006). The impact of information technology on supply chain capabilities and firm performance: A resource-based view. *Industrial Marketing Management*, 35(4), 493-504. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2005.05.003>
- Yang, C., Liu, H. M. y Chen, H. Y. (2018). The role of information capability and relational capability in enhancing operational performance in the era of big data. *International Journal of Production Economics*, 200, 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.03.023>
- Yang, M. G. M., Ahn, H. y Park, K. (2021a). Supply chain risk management: A review of enablers and barriers. *International Journal of Production Research*, 59(5), 1478-1496. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1712493>
- Yang, X., Sun, W. y Liu, Y. (2021b). Digital technologies and manufacturing productivity: Evidence from Chinese manufacturing firms. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120388. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120388>
- Yenyurt, S., Henke, J. W. y Yalcinkaya, G. (2019). A longitudinal analysis of supplier involvement in new product development: The role of information technology and reciprocity. *Industrial Marketing Management*, 77, 109-120.
- Zhao, X., Huo, B., Selen, W. y Yeung, J. H. Y. (2011). The impact of internal integration and relationship commitment on external integration. *Journal of Operations Management*, 29(1-2), 17-32. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.04.004>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E. y Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616-630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
- Zhou, K. Z. y Wu, F. (2014). Technological capability, strategic flexibility, and product innovation. *Strategic Management Journal*, 31(5), 547-561. <https://doi.org/10.1002/smj.833>
- Zouari, D., Moalla, M. y Gharbi, A. (2021). Investigating the impact of Industry 4.0 on supply chain resilience: A literature review. *Procedia Computer Science*, 180, 834-842

Anexos

Tabla A1. Distribución de encuestas por cadena a partir del Índice de dedicación del empleo

| Nombre de la cadena | Número de encuestas aplicadas | Índice dedicación empleo |
|--|-------------------------------|--------------------------|
| Agroquímicos | 3 | 0,0038 |
| Alimentos concentrados o balanceados | 1 | 0,0054 |
| Aparatos electrodomésticos | 1 | 0,0117 |
| Automotor y sus partes | 5 | 0,0404 |
| Azúcar, confitería y chocolatería | 4 | 0,0358 |
| Café y té | 0 | 0,0027 |
| Cemento y sus aplicaciones | 2 | 0,0162 |
| Cerveza, malta y licores | 0 | 0,0037 |
| Cerámica y artículos cerámicos | 1 | 0,0046 |
| Cosméticos y aseo | 4 | 0,0337 |
| Cuero, calzado e industria marroquinera | 4 | 0,0357 |
| Cárnicos | 2 | 0,0164 |
| Electrónica y equipos de telecomunicaciones | 1 | 0,0088 |
| Farmacéutica y medicamentos | 2 | 0,0145 |
| Hortofrutícola y alimentos preparados | 2 | 0,0198 |
| Lácteos | 1 | 0,0096 |
| Madera y muebles de madera | 3 | 0,0226 |
| Maquinaria y equipo eléctrico | 3 | 0,0211 |
| Metalmecánica y maquinaria no eléctrica | 10 | 0,0815 |
| Molinería, panadería y repostería | 7 | 0,0534 |
| Oleaginosas, aceites y grasas | 2 | 0,0131 |
| Pesca - atún | 0 | 0,0004 |
| Petroquímica - Caucho | 2 | 0,0139 |
| Petroquímica - Pinturas, barnices y lacas | 2 | 0,0156 |
| Petroquímica - Plásticos y fibras sintéticas | 29 | 0,2332 |
| Pulpa, papel e industria gráfica | 10 | 0,0812 |
| Siderurgia | 1 | 0,0116 |
| Tabaco | 0 | 0,0003 |
| Textil - confecciones | 22 | 0,1778 |
| Vidrio y artículos de vidrio | 1 | 0,0115 |

Nota. El uso del índice de dedicación del empleo como criterio para distribuir las encuestas no solo mejora la validez de los resultados del estudio, sino que también permite tomar decisiones más informadas y contextualizadas sobre la resiliencia o adopción tecnológica en las cadenas. El índice refleja la proporción de empleo que aporta cada cadena al total. Esto permite que las cadenas con mayor participación relativa en el empleo tengan mayor peso en la muestra, lo que asegura que se escuchen más voces donde hay mayor concentración de trabajadores y se prioricen sectores estratégicos en términos de ocupación laboral.

Fuente: elaboración propia.