

Resiliencia en Cadenas de Suministro Agroindustriales: Una Revisión Sistemática de la Literatura

Resilience in Agro-Industrial Supply Chains: A Systematic Review of the Literature

Natalia Parrado-León¹, Juan Gaviria-Henao², Alexander Garrido³

¹10000-0002-6059-2787. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C Colombia, u2903141@unimilitar.edu.co

²20000-0002-4415-236X. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C Colombia, u2903116@unimilitar.edu.co

³30000-0003-0551-3254. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C Colombia, diogenes.garrido@unimilitar.edu.co

Fecha de recepción: 21/09/2021

Fecha de aceptación del artículo: 23/06/2022



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.7921>

Cómo citar: Parrado León, N., Gaviria Henao, J. C., & Garrido, A. Resiliencia en Cadenas de Suministro Agroindustriales: Una Revisión Sistemática de la Literatura. Avances Investigación En Ingeniería, 19(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.7921>

Resumen

Este artículo proporciona una descripción detallada de las principales estrategias resilientes aplicables a cadenas de suministro o SCRes, y los eventos de riesgo que pueden minar el desempeño de cadenas de suministro agroindustriales o CSA. Para este propósito, fue seleccionado el enfoque de revisión sistemática de la literatura o RSL, a través del cual fueron examinados un total de 109 documentos de la plataforma digital de Scopus®, incluyendo artículos y libros científicos en idioma inglés. Como producto de este análisis, se logró la caracterización de 37 estrategias resilientes y 10 tipos principales de riesgo. Los resultados encontrados señalan que las estrategias resilientes de mayor efectividad en la reducción del impacto de riesgos en CSA son la estrategia intensiva en tecnología y la estrategia de reingeniería, respectivamente. Hasta donde alcanza el conocimiento de los autores, este es el primer trabajo en su tipo en establecer la relación entre tipos de riesgo y estrategias para SCRes en CSA.

Palabras clave: Cadena de suministro agroindustrial, estrategia, resiliencia, revisión sistemática de la literatura, riesgo

Abstract

This article provides a detailed description of the main resilient strategies applicable to supply chains or SCRes, and the risk events that can undermine the performance of agro-industrial supply chains or CSAs. For this purpose, the systematic literature review or SLR approach was selected, through which a total of 109 documents from the Scopus® digital platform were examined, among scientific articles and books in English. As a result of this analysis, 37 resilient strategies and 10 main types of risk were properly characterized. The results found indicate that the most effective resilient strategies in reducing the impact of risks in CSA are the technology-intensive strategy and the reengineering strategy, respectively. To the best of the authors' knowledge, this is the first work of its kind to establish the relationship between types of risk and strategies for SCRes in CSA.

Keywords: Agro-industrial supply chain, resilience, risk, strategy, systematic literature review.

1. Introducción

En el mundo real, las cadenas de suministro (CS) se ven enfrentadas a una variopinta de tipologías de riesgo que pueden eventualmente afectar su desempeño en el corto o mediano plazo, o llegar inclusive a ocasionar su cierre definitivo [1]. Factores externos a las CS, tales como crisis políticas, el calentamiento global y la interconectividad tecnológica, entre otros, pueden no solamente exacerbar la frecuencia e impacto de los eventos de riesgo, sino también propiciar fenómenos de contagio masivo en un breve período de tiempo [2]. Asimismo, acontecimientos como la pandemia del COVID-19 en 2020, el bloqueo del Canal del Suez en Egipto y la crisis de semiconductores en Taiwán ambas en 2021, o más recientemente el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania en 2022, son todos claros ejemplos de cómo la ocurrencia de un fenómeno aparentemente aislado y de naturaleza aleatoria posee el poder de perturbar simultáneamente redes completas de CS en países geográficamente distantes [3]. En este contexto, el análisis de la evidencia empírica disponible en distintos escenarios ha revelado que la incidencia de los riesgos sobre CS es desigual [4]: algunas CS parecen demostrar mayor robustez o resistencia frente a determinados riesgos y/o circunstancias, y otras, por el contrario, parecen ser más proclives a sufrir daños de mayor consideración. Dentro de este último grupo—i.e., de las de mayor afectación—se localizan las cadenas de suministro agroindustriales o CSA [5].

Una CSA integra todas las etapas del proceso de producción de alimentos, ‘desde la granja de producción hasta la boca del comensal.’ El flujo de materiales en CSA comprende desde el suministro y obtención de materia primas—pasando por las fases de producción, post-cosecha, almacenamiento y procesamiento—hasta la distribución final, en la última milla del proceso logístico [6]. Según [7], existen dos tipos principales de CSA: cadenas especializadas en la producción de alimentos agrícolas—tales como cultivos y plantas; y cadenas que se concentran en producir derivados semi-procesados de semovientes de especies distintas—tales como leche, queso, cuero, lana, seda, entre otros. Según [8], las CSA—comparadas con sus pares las CS no agroindustriales o n-CSA—son más propensas a ser afectadas por eventos de riesgo. Según estos autores, esta propensión reside en la naturaleza propia de los procesos que conforman el flujo de materiales en CSA. Estudiosos de este tipo de organizaciones como [9] y [108] han señalado que, las CSA son más proclives al riesgo debido a que conjugan tres elementos de naturaleza estocástica inherentes a la actividad agrícola: (i) estacionalidad de las cosechas, (ii) picos en el suministro de materias primas, y (iii) el carácter perecedero de los productos finales. En efecto, las CSA están sujetas a una enorme incertidumbre asociada a la estacionalidad propia de los cultivos y variaciones climáticas, lo cual incide en temporadas de gran abundancia de materia prima, o por el contrario, marcados períodos de escasez. Adicionalmente, los productos agrícolas son por naturaleza altamente perecederos, lo cual implica que las CSA deban asumir por norma elevadas tasas de merma y desperdicios [109].

En respuesta a este tipo de riesgos—como mecanismo inhibitor—la mayoría de CSA han introducido en sus procesos industriales sistemas de nivelación de temperatura—o cadena de frío—, facilitando con ello la creación de ambientes artificiales propicios para la conservación de materias primas, WIP o productos finales a lo largo de la cadena [7]. Este mecanismo es uno de muchas iniciativas que puede adoptarse para minimizar el impacto de riesgos en CSA. Pero, en este punto cabe preguntarse lo siguiente: ¿existen otras opciones? ¿cuál es la estrategia que mejor se ajusta a CSA? Según [12], los responsables de administrar CS disponen de un completo arsenal de alternativas de ‘amplio espectro’ para hacer frente al impacto de riesgos. Entre estas—y quizás la de mayor interés actual entre académicos y gerentes—se mencionan las estrategias para lograr que CS se convierta en sistema resilientes [13]. En general, la resiliencia en cadenas de suministro—o SCRes, por sus siglas en inglés—no es un asunto nuevo en la literatura técnica:

por ejemplo, [14] menciona más de 25 definiciones sobre SCRes. Según este autor, una CS es resiliente cuando es capaz de responder, reaccionar o resistir a perturbaciones operacionales inesperadas, recuperarse y regresar posteriormente a su estado original o a uno mejor antes de la materialización del riesgo. Por su carácter universal, adoptaremos en lo sucesivo esta definición de SCRes como punto de referencia para el desarrollo de esta investigación.

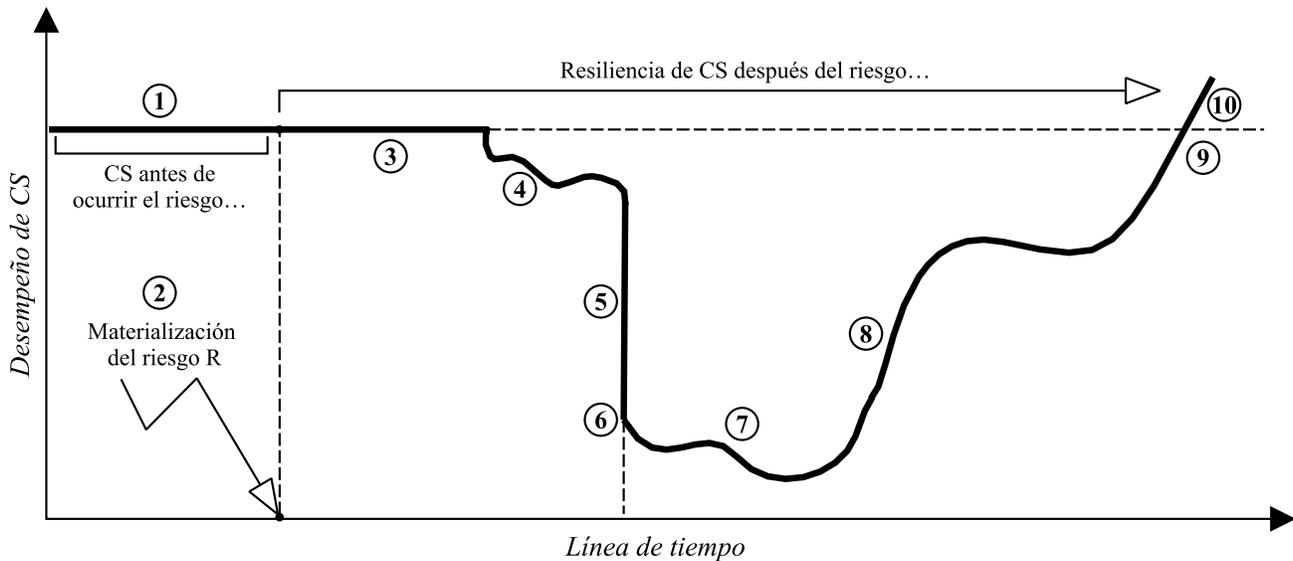


Figura I. Etapas de resiliencia en cadenas de suministros, SCRes.

La Fig. 1 describe las etapas principales asociadas a este concepto. La primera idea contenida en esta figura se relaciona con la noción propiamente de SCRes: antes de la ocurrencia del evento de riesgo (2), la CS posee cierto nivel de protección o resiliencia inherente (1) en función de sus mecanismos de identificación temprana de riesgos, estructura, procesos, configuración y/o estrategia adoptada. Este resiliencia intrínseca a la CS le permitirá mantener su desempeño durante cierto tiempo (3), luego del cual este empezará a decaer (4), y eventualmente a profundizarse (5) hasta alcanzar un punto de quiebre o de contención del impacto del riesgo (6). A partir de este punto, la CS activará sus mecanismos de recuperación (7) y mejora progresiva (8) que le permitirán retornar al nivel de desempeño antes de la materialización del riesgo (9), o inclusive a uno superior (10). El proceso de SCRes descrito en la Fig. 1 presupone intuitivamente que el nivel de resiliencia de una CS no puede ser medido sin que medie la ocurrencia previa de fenómenos de riesgo. Expresado en otras palabras, los riesgos son condición necesaria para determinar el nivel de resiliencia de una CS. Este aspecto es clave para entender el por qué la investigación presente incluye el análisis de riesgos en CS.

Basado en todo lo anterior, la motivación central de este artículo consiste en revisar de forma exhaustiva y metódica la literatura técnica disponible sobre estrategias resilientes aplicables en CSA. La aproximación inicial a la literatura sobre este tema reveló que, muchos de los marcos teóricos y revisiones de la literatura existentes son de enfoque general, y por tanto, no se ajustan completamente a las especificidades de las CSA. Este hallazgo se constituye en la justificación principal para la realización de esta investigación. Adicionalmente, con el propósito de hacer replicable el análisis presente y poder incluir el mayor número posible de documentos relevantes de forma ordenada y precisa, se eligió como metodología de búsqueda y selección de manuscritos el enfoque denominado revisión sistemática de la literatura o RSL. Este enfoque de análisis de documentos—originalmente pensado para ser aplicado en el campo

de la medicina y ciencias de la salud–, fue introducido por Denyer y Tranfield en el área de las ciencias sociales en la primera década del siglo XXI [15], alcanzando resultados superiores al método convencional de revisión del estado del arte [16]. Hasta donde llega el conocimiento de los autores, este es la primera investigación de su tipo en establecer la relación que existe entre tipos de estrategia para SCRes y riesgos en el contexto de CSA.

El resto del presente artículo está organizado de la siguiente forma. La Sección 2 describe de manera detallada la metodología usada para la revisión sistemática de la literatura. La Sección 3 describe los riesgos identificados en CSA. La Sección 4 señala las estrategias que permiten incrementar la resiliencia en CSA. En la Sección 5, se discuten los resultados encontrados en la revisión de la literatura y se resaltan los hallazgos principales. Finalmente, en Sección 6, las conclusiones del presente trabajo son presentadas y discutidas a la luz de la pregunta de investigación propuesta.

2. Metodología de Investigación

El presente artículo está basado íntegramente en el enfoque de RSL propuesto originalmente por Denyer y Tranfield para las ciencias sociales [15], y complementado posteriormente por Stone y Rahimifard [17]. Al respecto, ambos autores coinciden en afirmar que el enfoque de RSL es una metodología robusta para la localización y selección de estudios existentes, la evaluación de contribuciones, el análisis y síntesis de datos, y el desarrollo de un constructo final a partir de la evidencia disponible. El enfoque de RSL aquí aplicado permitirá en consecuencia alcanzar conclusiones razonablemente claras sobre lo que se sabe y lo que no acerca de la noción de resiliencia aplicada en CSA. Los pasos necesarios para realizar una RSL son descritos en la Fig. 2.

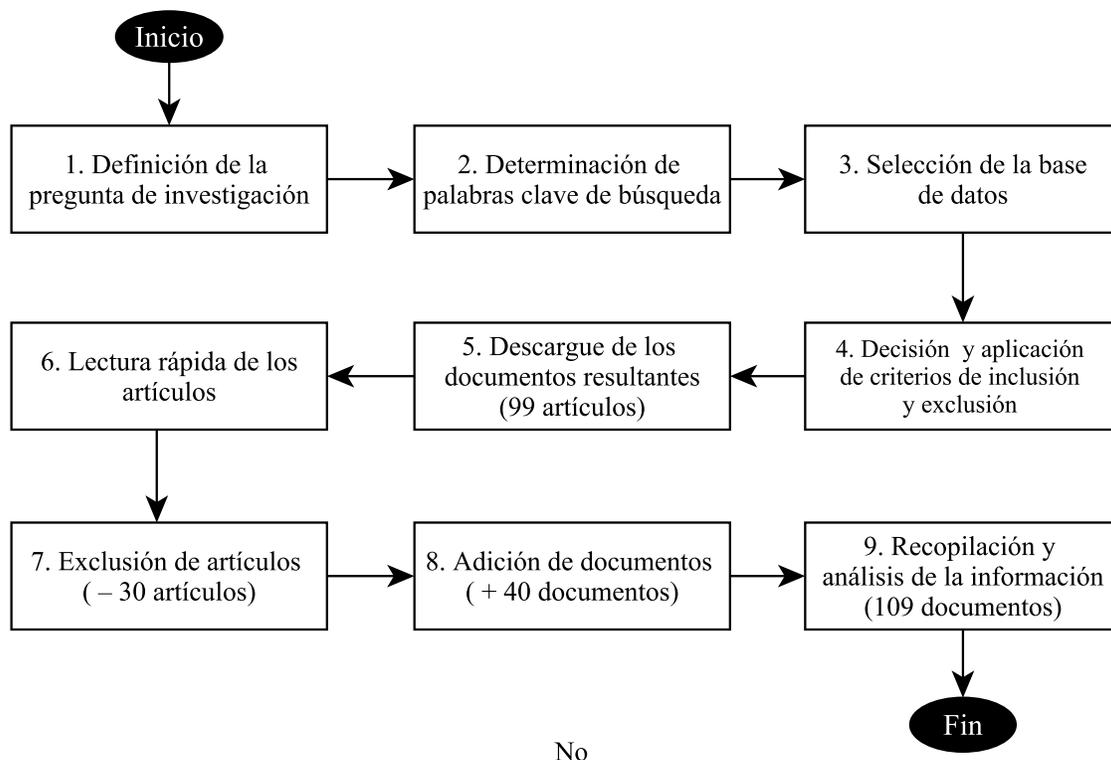


Figura 2. Protocolo de implementación de una revisión sistemática de la literatura, RSL.

El paso 1 en la Fig. 2 se relaciona con la determinación de la pregunta orientadora o de investigación. En el análisis presente, este proceso consistió en plantear una pregunta guía para iniciar la identificación de los documentos de investigación relevantes. Esta pregunta fue formulada en los siguientes términos: ¿Qué estrategias puede una CSA adoptar para ser más resiliente? Basado en el marco de resiliencia propuesto por [18], la pregunta anterior condujo a la formulación de dos preguntas subsidiarias adicionales: (i) ¿Cuáles son los riesgos que eventualmente pueden afectar el desempeño de CSA?; y, (ii) ¿Qué estrategias han sido utilizadas por otras CS similares para mitigar y/o reducir la incidencia de riesgos en su desempeño? En el paso 2, siete (7) palabras de búsqueda clave fueron identificadas a partir del enunciado de las preguntas anteriores, las cuales fueron posteriormente usadas como criterios de búsqueda:

'Supply chain', 'Network', 'Agri-business', 'Agri-food', 'Agriculture', 'Resilience', 'Resilient'

En el paso 3 de la Fig. 2, Scopus® fue elegida como la base de datos principal de referencia. La selección de esta base de datos obedeció a que este es el reservorio de información científica más completo que existe en la actualidad con más de 36,000 revistas disponibles [19], la mayoría de ellas en idioma inglés. Esta característica fue decisiva para restringir la búsqueda de información sobre documentos publicados en el idioma de Shakespeare. Asimismo, se estableció como horizonte de búsqueda de información el periodo comprendido entre 2003 y 2020. El 2003 fue seleccionado como punto de inicio para la búsqueda de información dado que, en este año, fue publicado el primer artículo científico sobre SCRes del cual se tenga noticia [20]. Para evitar búsquedas innecesarias y/o documentos repetidos, la búsqueda de información se restringió a artículos científicos y libros con registro bibliográfico ISBN. En el paso 4, fueron determinados y aplicados los criterios de inclusión y exclusión de información relevante a partir de las palabras de búsqueda anteriores. Como resultado, se derivó la siguiente ecuación de búsqueda:

TITLE-ABS-KEY (agribusiness AND resilience AND supply AND chain) OR TITLE-ABS-KEY (agri-food AND resilience AND supply AND chain) OR TITLE-ABS-KEY (agriculture AND resilience AND supply AND chain) OR TITLE-ABS-KEY (agriculture AND resilience AND supply AND network) OR TITLE-ABS-KEY (agribusiness AND resilience AND supply AND network) OR TITLE-ABS-KEY (agri-food AND resilience AND supply AND network) OR TITLE-ABS-KEY (agri-food AND resilient AND supply AND chain) OR TITLE-ABS-KEY (agribusiness AND resilient AND supply AND chain) OR TITLE-ABS-KEY (agriculture AND resilient AND supply chain) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (EXCLUDE (DOCTYPE, "cp"))).

Nótese en el paso anterior que, la ecuación de búsqueda fue aplicada sobre el título, resumen y palabras clave del universo de documentos disponibles en Scopus®. En el paso 5 de la Fig. 2, los documentos resultantes de la aplicación de la ecuación de búsqueda anterior fueron descargados, obteniéndose un total de 99 artículos. Ningún libro fue identificado en esta primera fase de búsqueda. En el paso 6, se dio inicio a lectura rápida de los 99 artículos pre-seleccionados. El propósito de este paso consistió en verificar la pertinencia de cada artículo escogido respecto de los objetivos de investigación planteados. Como resultado de este análisis, en el paso 7 de la Fig. 2, fueron excluidos 30 artículos por no contener información relevante directamente relacionada con la pregunta de

investigación, alcanzándose de este modo un sub-total de 69 artículos. En el paso 8, a partir de la revisión de las referencias bibliográficas, 40 nuevos documentos se sumaron a los 69 artículos pre-seleccionados para un total de 109 documentos, entre artículos–98–y libros científicos–11. Finalmente, en el paso 9 de la Fig. 2, los 109 documentos definitivos fueron estudiados en profundidad a partir de las dos preguntas de investigación subsidiarias antes mencionadas. El análisis resultante se describe a continuación.

3. Identificación y Descripción de Riesgos en Cadenas de Suministro Agroindustriales

Según [21], un riesgo puede entenderse como el estado de vulnerabilidad en una CS con capacidad de materializarse para perturbar o afectar seriamente el flujo de materiales – materia prima, WIP y producto terminado–o de información [22]. Distintos autores han planteado marcos conceptuales diversos para catalogar las tipologías de riesgos en CS. Por ejemplo, [23] clasificaron los riesgos en 3 categorías: internos a la empresa–riesgos de proceso y de control–, externos a la empresa pero internos a la CS–riesgos en el suministro y la demanda–, y externos a las CS–riesgos políticos, económicos, sociales, tecnológicos y ambientales. De modo similar, [22] identificaron nueve categorías de riesgos distintas: perturbaciones, demoras, imprecisiones en el pronóstico, fallas de sistemas, violaciones de propiedad intelectual, fallas en adquisiciones, problemas de inventario, problemas de capacidad y cuentas por cobrar.

Según [24], existen tres tipos de riesgos en CS: según la magnitud de la interrupción, según la probabilidad de interrupción, y según el riesgo general de interrupción. Finalmente, [25] señalaron que los riesgos presentes en CS pueden ser clasificados de ocho formas distintas: climáticos u ocasionados por desastres naturales, biológicos y ambientales, de oferta y demanda de mercado, logísticos y de infraestructura, gerenciales y de operaciones, políticos, institucionales o económicos, y ambientales. Esta revisión no es en modo alguno exhaustiva, sino por el contrario busca dar una idea del amplio espectro de tipos de riesgo en CS que existen en la literatura.

Una revisión más detallada sobre este tema puede ser hallada en [14] y [26]. Consecuentemente, con base en lo anterior y en aras de la simplificación, se adopta la siguiente clasificación de riesgos aplicada sobre CSA: (R1) cambio climático y desastres naturales, (R2) enfermedades y plagas, (R3) logística e infraestructura de transporte, (R4) pérdida de información, (R5) planeación, (R6) operacionales, (R7) oferta y demanda de mercado, (R8) tecnológicos, (R9) financieros, y (R10) legales y de políticas regulatorias. Esta clasificación de riesgos–de modo similar con el concepto de resiliencia antes mencionado–servirá de marco de referencia para el análisis de riesgos con el potencial de afectar el desempeño de CSA. A continuación son descritos los hallazgos en la literatura según cada tipo de riesgo.

3.1 Riesgos de cambio climático y desastres naturales (R1)

Las CS se ven afectadas por un gran número de eventos climáticos, tales como las inundaciones, heladas, huracanes y sequías extremas–, siendo este último el de mayor incidencia en CSA [27]. Varios autores coinciden en señalar que, el cambio climático es un

factor preponderante en la ocurrencia de desastres naturales [25], [28], [29]. Según [30], los desastres naturales son eventos catastróficos externos a CS, causados por la naturaleza y su gravedad–i.e., su impacto–puede ser medido según el número de personas fallecidas y los costos económicos ocasionados. Específicamente, las CSA se enfrentan a una diversidad de desastres naturales, tales como terremotos, tsunamis, huracanes, epidemias e inundaciones [31]. El impacto que estos desastres producen sobre CSA no es uniforme sino que puede variar dependiendo del nivel de resiliencia de la cadena [32].

Así, los riesgos climáticos y desastres naturales son riesgos externos a las CS y pocas veces pueden ser predichos [23]. En ocasiones, las CS pueden anticipar la ocurrencia de ciertos eventos de riesgo–e.g., ciclones o huracanes–, y en otros casos, por el contrario, prácticamente no hay posibilidad de advertir la ocurrencia de dicho fenómeno– e.g., terremotos [31]. Varios autores han señalado que los riesgos asociados al clima son la principal causa de afectaciones a la productividad, problemas de calidad y retrasos en la producción de alimentos en CSA [33], [34], [35]. La volatilidad climática aunada a la vulnerabilidad en CSA pueden también ocasionar elevados costos y pérdidas en cosechas [8]. Al respecto, [36] identificaron una relación inversa entre la variabilidad climática y el desempeño de cosechas en CSA. Similarmente, [37] y [38] estudiaron la relación entre el cambio climático y la seguridad alimentaria. Según estos autores, existe un vínculo sinérgico entre la productividad de los cultivos y la disponibilidad de alimentos. Otros autores han mencionado factores concomitantes a la ocurrencia de riesgos climáticos. Por ejemplo, [39] asociaron el aumento de la variabilidad climática con la contaminación del medio ambiente; y [40] señalaron que, los cambios climáticos severos y la contaminación de los suelos por sales y metales pesados pueden afectar de forma directa el rendimiento de los cultivos, además de provocar reducciones en la productividad.

3.2 Riesgos de enfermedades y plagas (R2)

Además de la variabilidad climática y los desastres naturales, las enfermedades y plagas son riesgos externos a las CS que pueden afectar a cultivos, materias primas y producto en proceso [27], [41]. Aun cuando la clasificación de esta tipología de riesgo escapa al alcance del presente artículo–ver por e.g., [42]–, las enfermedades que pueden afectar el primer eslabón de CSA son los virus, viroides, hongos, bacterias, nemátodos y artrópodos, siendo este último el grupo de plagas más numeroso y de mayor incidencia en cultivos [43]. De modo similar al riesgo anterior, el cambio climático puede ser considerado un factor conexo a la aparición de enfermedades y plagas, dado que favorece su propagación y frecuencia de aparición [43], [44]. Otros autores han señalado también la existencia de un vínculo entre contaminación ambiental y plagas [5], [12], [25]. Según [44], la práctica de técnicas de cultivo homogéneo con baja rotación–o monocultivo–es un factor coadyuvante en el surgimiento de enfermedades en cultivos.

3.3. Riesgos de logística e infraestructura de transporte (R3)

La logística es un factor de importancia clave en las CS actuales. Un buen desempeño logístico se asocia por lo regular con elevados estándares de servicio y desempeño en CS [45]. En este sentido, [12] señalaron que el flujo de transporte de materiales entre los diferentes nodos de una CS puede ser afectado por riesgos de naturaleza variada. Esos riesgos pueden tener como origen variaciones en el clima, afectaciones de vías de transporte, terrorismo y desastres naturales, entre otros factores. Las CSA son especialmente sensibles a la ocurrencia

de riesgos logísticos y de infraestructura por su concurrencia con otros tipos de riesgo [5]. Así, en CSA, el flujo de materiales involucra por lo regular la movilización de productos de origen orgánico y perecedero, los cuales deben ser conservados usando cadenas de frío [7]. Según [46], una cadena de frío puede romperse debido a un mantenimiento inadecuado de equipos de refrigeración, obsolescencia, monitoreo defectuoso, capacitación del personal, o simplemente por el incumplimiento de protocolos de operación. Al respecto, [47] señalaron que la no preservación de la cadena de frío en CSA conlleva pérdidas anuales de alrededor de un tercio de la producción de los alimentos destinados al consumo humano.

3.4 Riesgos de pérdida de información (R4)

En la actualidad, la información es la piedra angular sobre la cual descansa una efectiva administración de CS [48]. El riesgo de pérdida de información en CS se considera de naturaleza endógena [49]. Según [50], disponer de fuentes de información adecuadas puede incrementar el ROI—o Return On Investment, por sus siglas en inglés—al mejorar la coordinación de los flujos de materiales y los tiempos de respuesta. En igual sentido, según [51], las CS deben procurar un mayor grado de agilidad y veracidad en el intercambio de información para mejorar sus niveles de servicio. Según [52], el riesgo de pérdida de información puede afectar de forma considerable la posición competitiva de las CS. Adicionalmente, el riesgo de pérdida de información está relacionado con la función de planeación en CS, un aspecto de mucha sensibilidad en CSA [53]. Según [54], el riesgo de información en una CS se incrementa cuando su densidad nodal es más alta debido a una mayor interacción entre agentes. Varios autores coinciden en afirmar que, el impacto que produce el riesgo de información es más elevado en pequeñas y medianas empresas, debido a sus limitaciones en el acceso a tecnologías de la información [52], [55].

3.5 Riesgos de planeación (R5)

La planeación es una actividad transversal a cualquier CS [56], y se ejecuta a partir del pronóstico de la demanda, la determinación de los costos operacionales, y los precios de venta [50]. Al respecto, [23] afirmaron que los riesgos de planeación son internos a las CS. Según [2], fenómenos como la globalización y el empleo de estrategias de tercerización han incrementado el nivel de complejidad de las CS, haciéndolas más proclives a padecer problemas de planeación. Rengifo [57] afirmó que, el riesgo de planeación se materializa cuando se toman decisiones equivocadas respecto del tipo de mercado que necesita ser abastecido, los procesos que deben ser tercerizados, las políticas de inventario a ser aplicadas y, la oportunidad y dimensión de las promociones y precios de venta. Según [58], una perturbación ocasionada por errores de planeación puede afectar el throughput —o tasa de facturación—, y aguas arriba de la CS, el resto de nodos hasta los clientes finales. Para minimizar el impacto de este riesgo, [36] propusieron ajustar los niveles de inventario, optimizar las rutas de entrega y planes de producción, y gestionar un adecuado mantenimiento de equipos.

3.6 Riesgos operacionales (R6)

Los riesgos operacionales se relacionan con decisiones en el contexto del piso de la fábrica, es decir, con decisiones frecuentes y de corto plazo [50]. Según Chopra y Meindl [50], durante el proceso de toma de decisiones en CS, la longitud del horizonte de tiempo es fundamental para elegir la cantidad de información requerida y el nivel de incertidumbre asociado. En el contexto de CS, los riesgos operacionales ocurren como consecuencia de

errores humanos, fallas en máquinas o anomalías en procesos productivos [58], [59]. La ocurrencia de este tipo de riesgos impacta directamente la productividad de CS, toda vez que, cuando estos se materializan, la tasa de AQL—o Acceptance Quality Level, por sus siglas en inglés—y los costos de producción, ambos se incrementan [60]. Según Delgado [61], procesos productivos ineficientes a causa de riesgos operacionales son una amenaza directa a la posición competitiva de CS.

3.7 Riesgos de oferta y demanda de mercado (R7)

Los riesgos del lado de la oferta se producen cuando existen restricciones de capacidad, problemas de calidad, políticas de único proveedor y elevados tiempos de respuesta [12], [62]. Así por ejemplo, devoluciones de materia prima pueden ocasionar parálisis en los procesos productivos [63], y la aplicación de políticas de un sólo proveedor puede, eventualmente, exponer a CS a interrupciones en el flujo de materiales [64]. Asimismo, el pronóstico de demanda puede ser afectado por factores de distinta naturaleza, tales como la estacionalidad [65], la variedad y ciclo de vida de los productos [5], el número de productos sustitutos [66], y factores económicos [50], entre otros. Varios autores [2], [67] afirmaron que, una mayor incertidumbre en el pronóstico de demanda puede no sólo asociarse con menores desempeños de CS, sino también con tiempos de respuesta prolongados y costos de inventario más elevados. Además, errores en la identificación adecuada del modelo de pronóstico pueden incidir negativamente sobre el riesgo reputacional de la CS, y por esa vía, afectar su posición competitiva de mercado [25]. Los riesgos del lado de la demanda también son concomitantes con el efecto ripple o de cascada [2]. Al respecto, [68] asegura que este fenómeno amplifica la presencia de errores en la planeación y estacionalidad de la demanda, obstruyendo el circuito de retroalimentación de información entre nodos de la CS. Según [53], las CSA son especialmente sensibles a la ocurrencia de riesgos de lado de la oferta y la demanda. Según estos autores, en este tipo de cadenas, los pequeños agricultores son más vulnerables a padecer este tipo de riesgo debido, por una parte, a la estacionalidad de cosechas, y por otra, a la naturaleza perecedera de los alimentos [8].

3.8 Riesgos Tecnológicos (R8)

Según Chopra y Meindl [50], la ocurrencia de riesgos tecnológicos se relaciona principalmente con la no disponibilidad o acceso a las tecnologías requeridas por CS para su adecuado funcionamiento. La inaccesibilidad tecnológica en CS es debida entre otros factores a elevados costos de adquisición, dificultades técnicas, fallas en servidores, ciberataques, o fugas de información privilegiada [12]. Adicionalmente, este tipo de riesgos puede también derivarse de la obsolescencia tecnológica implícita en procesos productivos [52]. Los riesgos tecnológicos se han incrementado notablemente en años recientes debido principalmente a factores globalizantes y al desarrollo vertiginoso de nuevas tecnologías [69]. En general, la materialización de los riesgos tecnológicos puede incidir negativamente sobre la coordinación, seguimiento y visibilidad de las operaciones en CS [45], [50], mucho más en CSA.

3.9 Riesgos Financieros (R9)

Según [70], los riesgos financieros en CS describen grosso modo una reducida capacidad en términos del flujo de efectivo para cubrir pasivos, necesidades y/o proyectos de corto plazo. Al respecto, [30] señalaron que este tipo de riesgos guarda relación con el objetivo central de toda CS, es decir, la rentabilidad. Desde esta perspectiva, los riesgos financieros

pueden ser descritos en términos de la volatilidad de tasa de cambio, incertidumbre asociada a la fijación de precios, políticas impositivas cambiantes, indisponibilidad de recursos financieros, acceso a financiación, excesivos niveles de endeudamiento, incertidumbre crediticia, y políticas de interés, entre otros factores [7], [12]. Según [50], los riesgos financieros afectan tanto el desempeño de CS al disminuir su rendimiento sobre la inversión realizada por los inversionistas –o ROE, Return On Equity, por sus siglas en inglés–, como el rendimiento sobre los activos –o el ROA, Return On Assets, por sus siglas en inglés. Adicionalmente, los riesgos financieros pueden eventualmente minar el poder de negociación de una CS dado que, un flujo de caja reducido disminuirá no solamente su capacidad de compra, sino también será un impedimento para implementar políticas de economías de escala [25], [70], [71], aspecto este altamente sensible para CSA.

3.10 Riesgos Legales y de Políticas Regulatorias (R10)

Los riesgos legales se relacionan con el incumplimiento de las leyes, normas y políticas de los países, las cuales condicionan y delimitan el funcionamiento de CS [67]. Según [41], esta tipología de riesgos está relacionada con el no cumplimiento de los requisitos, términos y condiciones de contratos, el riesgo de demandas civiles, el mal uso de la propiedad intelectual, y en general, el incumplimiento de las leyes del país donde opera la CS. Según [72], los riesgos legales y de políticas regulatorias exponen a las CS y empresas a una diversidad de litigios legales con clientes, proveedores, accionistas o empleados, ocasionando la elevación de los costos no operacionales. Desde un punto de vista regulatorio, aspectos tales como la inestabilidad política, disputas comerciales, cambios en el entorno político y en la legislación, y barreras arancelarias, entre otros factores, pueden terminar afectando negativamente la gestión de materias primas o la exportación de productos [25], [41], [67]. Un claro ejemplo en el contexto de CSA ocurre en la industria del cannabis medicinal en Colombia, la cual se ha visto afectada por un clima de marcada inestabilidad e incertidumbre como consecuencia de una excesiva de regulación del mercado [73]. La Fig. 3 resume las 10 categorías de riesgo antes descritas.

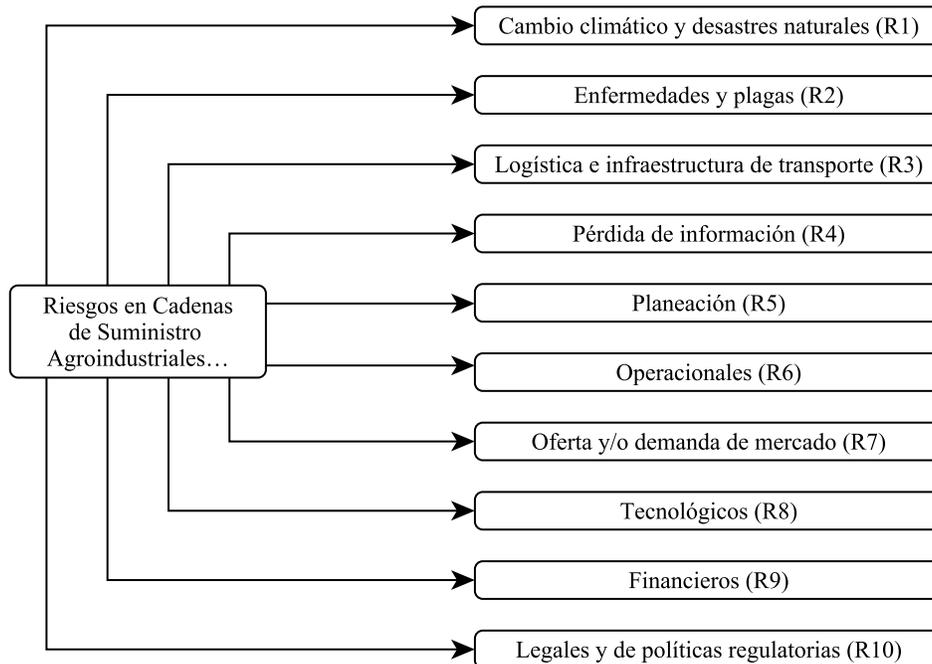


Figura 3. Riesgos que pueden afectar negativamente el desempeño de CSA

4. Estrategias para Incrementar la Resiliencia en Cadenas de Suministro (Agroindustriales)

Los responsables de administrar CSA tienen a su disposición varias herramientas para hacer frente a las amenazas que representan los riesgos antes descritos. Según [13], la mejor opción en las circunstancias actuales es conseguir que las CS se conviertan en sistemas más resilientes. Esta será en adelante la premisa que oriente el análisis descrito en esta investigación. Al respecto, [18] afirmaron que el verdadero desafío consiste en elegir estrategias que permitan enfrentar la ocurrencia de interrupciones en CS sin sacrificar su eficiencia. Según [12] y [74], para alcanzar dicha resiliencia y reducir la vulnerabilidad en CS, los gerentes pueden adoptar estrategias específicas o una combinación de estas. En un trabajo seminal, [23] propusieron un marco teórico para identificar y gestionar los riesgos asociados a CS. Estos autores sugirieron que para construir una CS resiliente—o de SCRes—deben considerarse cuatro elementos claves: reingeniería, colaboración, agilidad y cultura organizacional.

De modo similar, [22] plantearon que disponer de proveedores de respaldo, agregar la demanda, incrementar la capacidad de respuesta o flexibilidad, e incrementar la disponibilidad de materiales, son todas alternativas que pueden ser usadas—individual o de forma combinada—alcanzar SCRes. En un trabajo posterior, [18] propusieron los siguientes enfoques para SCRes: mejorar la precisión de los pronósticos de demanda, integrar y sincronizar la planificación y ejecución, reducir la media y la varianza de los tiempos de entrega, colaborar y cooperar con los socios de CS, invertir en visibilidad, generar flexibilidad en CS, hacer uso de estrategias de diferenciación, e invertir en tecnología. Similarmente, [75] propuso implementar el llamado ‘marco del triple valor’. Según este autor, el desempeño de una CS se relaciona con tres subsistemas principales: el económico, el social, y el ambiental. Para [75], estos tres subsistemas consisten de flujos de información, materiales, energía, capital financiero y de trabajo, lo cual crea una relación de interdependencia y retroalimentación al interior de CS. Más recientemente, [12] propusieron cuatro perspectivas integradoras para SCRes: logística e infraestructura, demanda, operación y gestión, y suministro.

Según estos autores, estas cuatro perspectivas hacen parte de un sólo hilo conductor: la implementación de tecnologías de la industria 4.0 para lograr coordinación y visibilidad en CS. El análisis en conjunto de los enfoques mencionados permitió identificar y caracterizar 8 tipos de estrategias para SCRes, los cuales son descritos a continuación:

4.1 Estrategia de reingeniería de procesos agroindustriales (E)

De forma general, una estrategia de reingeniería consiste en adoptar procesos de reestructuración o abandonar procedimientos obsoletos e ineficientes, a través de la búsqueda permanente de actividades que agreguen valor al cliente, al producto o a la propia CS [23]. Algunos sub-enfoques de la estrategia de reingeniería para SCRes son la sustitución temporal de materia prima, el reciclaje de materiales, la transformación de métodos de producción y la reducción del tramo organizacional o aplanamiento de la CS. La capacidad de aprendizaje de CSA es un factor decisivo para seleccionar el proceso o área de trabajo que debe ser reestructurado o abandonado. Mediante la implementación de esta estrategia, los responsables de administrar CS pueden reducir los costos operacionales a través de innovaciones que incrementen el throughput, sin mermas en los atributos de calidad de productos o servicios [34]. Adicionalmente, [76] propuso emplear mecanismos de reciclaje de materias primas e insumos como fuente alterna para

mitigar la ocurrencia de interrupciones en procesos de manufactura y reducir paralelamente el riesgo de escasez. Respecto de mejoras en los métodos de producción, [59] señalaron que esto es posible mediante cambios fundamentales en los sistemas de manufactura: de intensivos en mano de obra a intensivos en tecnología. Es claro que, la adopción de este tipo de políticas redundaría en beneficios en términos de mayores tasas de productividad y menor número de productos reprocesados y/o defectuosos. Por último, [2] precisaron que, al aplanarse el tramo administrativo en CS se puede garantizar un control más preciso, minimizar fugas de información, y ejecutar una mejor planeación y toma de decisiones. Esta estrategia de resiliencia puede ser considerarse de naturaleza proactiva–i.e., puede ser implementada en la etapa previa a la ocurrencia del evento de riesgo, o en etapas posteriores– i.e., de modo reactivo.

4.2 Estrategia de mantenimiento y mejora de cultivos (E₂)

Una estrategia de resiliencia de mantenimiento y mejora de cultivos consiste en desarrollar acciones específicas en los primeros eslabones de CSA para mejorar su productividad y parámetros de calidad. Este propósito se alcanza propiciando el máximo aprovechamiento del suelo mediante el uso eficiente de los recursos, tales como agua, semillas, abonos, insumos agrícolas, etc [34]. Otros enfoques que pueden mencionarse son la rotación dinámica de cultivos, la crianza conjunta de animales, el uso de abonos e insumos orgánicos y, la conservación y recolección de fuentes hídricas, entre otros [37], [77].

En este contexto, según [38], una estrategia de resiliencia de este tipo puede incluir iniciativas que eviten que CSA se expongan a riesgos de cambio climático y desastres naturales (R1), enfermedades y plagas (R2). No obstante lo anterior, llevar a cabo algunas de estas iniciativas podría implicar en la práctica mayores costos para las CSA, vía adquisición de infraestructura adicional o la introducción de nuevas prácticas agrícolas [27]. En general, una estrategia de resiliencia para el mantenimiento y mejora de cultivos es de naturaleza proactiva, es decir, esta puede ser implementada en la etapa ① de la Fig.1.

4.3 Estrategia de incrementos en el nivel de inventarios (E₃)

Según [18], incrementar el inventario es una estrategia de respuesta rápida a cambios inesperados en el flujo de materiales en CS, tales como variabilidad de la demanda o de la tasa de producción, y retrasos en la entrega de materia prima. La implementación de una estrategia basada en el uso de los inventarios puede permitirle a una CS hacer frente rápidamente a la ocurrencia de eventos perturbadores [78]. Según [79], disponer de más suministros de respaldo implica asumir mayores costos de inventario en CS en términos de capital, espacio de almacenamiento, mantenimiento de inventario, y riesgo propiamente. Adicionalmente, incrementar el nivel de inventarios involucra asumir mayores riesgos relacionados con el ciclo de vida de los materiales que se desea almacenar [76], [80], sin embargo, el empleo de esta estrategia puede reducir la incidencia de riesgos asociados al cambio climático y desastres naturales (R1), enfermedades y plagas (R2), fallas en planeación (R5), y problemas asociados a la oferta y/o demanda de productos (R7). Este último aspecto es particularmente sensible en CSA [6], [81].

Aun cuando existen diversos enfoques para aplicar esta estrategia, uno de los más utilizados consiste en localizar estratégicamente inventarios de emergencia en puntos clave y/o cuellos de botella de la CS [82]. En el contexto de manufactura este enfoque se conoce como requerimiento de materiales guiado por la demanda o DD-MRP por sus siglas en inglés [83]. Una estrategia de este tipo puede ser descrita como de naturaleza proactiva y/o reactiva.

4.4 Estrategia de diversificación de proveedores (E_4)

La estrategia de diversificación de proveedores consiste en alcanzar acuerdos del tipo gana-gana con el mayor número de empresas encargados del abastecimiento de materias primas o insumos [84]. Una estrategia de este tipo permite disponer de diversas formas de abastecimiento logrando que, ante fallas o interrupciones en el suministro de materiales aguas arriba de la CS (R7), exista siempre un plan de respaldo o alternativa de reemplazo de estas o inclusive de producto terminado [18].

El empleo de esta estrategia puede aminorar el impacto de riesgos asociados a una deficiente planeación (R5), problemas ocasionados por enfermedades y plagas en los primeros eslabones de la CS (R2), problemas de único proveedor (R7), o inclusive afectaciones debido al cambio climático y/o desastres naturales (R1). Pese a sus claros beneficios [75] señaló que, contar con varias fuentes de abastecimiento puede implicar perder el control sobre los procesos de entrega de materiales, lo cual incide negativamente sobre la calidad final del producto. Algunos de los variaciones de esta estrategia son proveedores de respaldo, abastecimiento múltiple, segregación de proveedores y, fortalecimiento y desarrollo de proveedores.

El empleo de proveedores de respaldo involucra de forma simple disponer de varios proveedores para cada materia prima o insumo requerido por la CS [63], [85]. Al respecto, [2] mencionaron que el uso de proveedores de emergencia permite agilizar la estabilización y recuperación de una CS en caso de retrasos en la entrega de materiales. Varios autores han recomendado usar proveedores de emergencia únicamente cuando se presenten perturbaciones permanentes y/o sistemáticas en el flujo de suministros de la CS [18], [86]. Según [87], la variante de segregación consiste seleccionar a los proveedores de la CS a partir de su localización en zonas geográficas distintas, mitigando con ello el impacto de interrupciones por huelgas, desastres naturales, bloqueos de carretera, entre otros.

Por último, según [88], una estrategia de fortalecimiento y desarrollo de proveedores consiste en definir criterios que promuevan la selección de los proveedores más idóneos y competentes del mercado. El propósito final de esta variante es acceder a productos de mayor calidad, minimizando de paso los costos asociados a la revisión e inspección de materiales [18]. En general, la estrategia de diversificación de proveedores puede ser descrita como de naturaleza proactiva y/o reactiva.

4.5 Estrategia de transporte (E_5)

La transferencia–o logística de movilización–de materiales es la esencia subyacente a cualquier CS [89]. La estrategia de transporte permite que una CSA disponga de diferentes modos y rutas para movilizar materiales, desde el proveedor hasta el cliente final [63], es decir minimiza la afectación que pueda presentar la infraestructura de transporte (R3). Esta estrategia es altamente sensible en CSA dado que inhibe directamente el riesgo de pérdida y deterioro de alimentos o R7 [5]. Algunas variantes de la estrategia de transporte son el empleo de rutas alternas, transbordo lateral, y envíos directos [90]. Según [91], una ruta alterna de transporte consiste en la planeación secundaria de rutas de envíos y modos de transporte utilizadas en caso de interrupciones en las vías principales. Según [63], el envío directo y el transbordo lateral son dos variantes de la estrategia de transporte que permiten transferir temporalmente la carga desde instalaciones con bloqueo a nodos disponibles de la CS, hasta su destino final. Al respecto, [92] mencionaron que, el empleo de estas dos variantes puede involucrar mayores costos logísticos para la CS

debido a la necesidad de adquirir y mantener flotas de transporte dedicadas o a contratar una empresa de transferencia de mercancía con elevados estándares de servicio. Finalmente, la estrategia de transporte puede describirse como de naturaleza proactiva y/o reactiva.

4.6 Estrategia de implementación de tecnología (E₆)

Según [12], una estrategia intensiva en tecnología consiste en la adopción e implementación de métodos de trabajo basados en nuevas tecnologías para alcanzar mejoras substanciales en productividad (R6), transparencia (R4), y coordinación, agilidad y visibilidad de CS (R8). Según [53], debido a que esta estrategia demanda altas inversiones y costos elevados, su adopción puede no ser viable en términos económicos en pequeñas y medianas empresas. Según [12] y [93], existe un vínculo entre la implementación de la estrategia tecnológica en CS y la llamada revolución industrial 4.0. Según estos autores, la adopción de tecnologías digitales—o pertenecientes a la industria 4.0—promueven CS más resilientes.

Entre estas tecnologías revolucionarias se mencionan la inteligencia artificial o IA, la computación y almacenamiento en la nube o i-Cloud, la descentralización de la información, el big data, el internet de las cosas o IoT, el blockchain, la identificación por radiofrecuencia o RFID, los gemelos digitales, los robots y cobots, la sensórica, drones y satélites, entre los usados en CS. Según [94] y [95], la aplicación de IA y big data en CS mitiga la aparición de riesgos de planeación (R5) y de oferta y demanda (R7), al hacer que los procesos de compra, fabricación y transporte puedan ser gestionados de forma más eficiente. Según [52], el IoT y la descentralización de la información permiten atenuar los efectos ocasionados por la ocurrencia de riesgos tecnológicos (R8) y de pérdida de información (R4) en CS, propiciando una mayor transparencia y veracidad de la información. Asimismo, según [12] y [96], la adopción del IoT también permite ejercer un mejor control de los procesos en CS, además de facilitar la identificación y gestión de fallas operativas y logísticas en tiempo real—R3 y R6. Siguiendo a [97] y [73], la adopción de la tecnología blockchain reduce la ocurrencia de riesgos asociados a la transparencia de transacciones, extravío de productos y pérdida de información—i.e., los tipos de riesgo R4 y R8.

Según [48] y [98], la tecnología RFID y el uso de sensores facilitan el seguimiento y rastreo de mercancías en tiempo real, facilitando el control de productos a distancia, desde la fábrica o centro de distribución hasta el cliente final—i.e., el tipo de riesgo R4. Según [99], el uso de la tecnología de gemelos digitales minimiza la ocurrencia de riesgos asociados a deficiencias de planeación (R5) y operacionales (R6), al facilitar la identificación y corrección de fallas y/o errores durante las fases de diseño y fabricación de productos. Según [12], [93] y [100], el empleo de robots y cobots inhibe la ocurrencia de riesgos de tipo operacional (R6) y de oferta y/o demanda (R7). Lo anterior, primero, reemplazando el trabajo de operarios encargados de ejecutar tareas repetitivas, monótonas y/o peligrosas; y segundo, incrementando la eficiencia y flexibilidad de las empresas a través de la automatización de procesos industriales [100].

Finalmente, según [41] y [101], el uso de drones y satélites incide negativamente sobre riesgos logísticos (R3), en la prevención de enfermedades y plagas (R2), y minimizando el impacto de eventos naturales de gran impacto (R1). Esta estrategia de resiliencia puede considerarse principalmente de naturaleza proactiva, esto es, puede ser adoptada en la etapa previa a la ocurrencia del evento de riesgo para facilitar su identificación temprana.

4.7 Estrategia de colaboración (E₁)

Según [102], la estrategia de colaboración en CS consiste en alinear y coordinar las labores de reabastecimiento, gestión de inventarios y/o requisición de pedidos, a fin de mitigar la aparición de riesgos de planeación (R5), de pérdida de información (R5), y de oferta y demanda de mercado (R7). Según [103], a través de la implementación de una estrategia de este tipo, se busca que los distintos nodos que conforman una CS compartan información clave, planifiquen la adopción conjunta de estrategias y/o programas, y especialmente, que tomen decisiones por consenso. En la práctica, la estrategia de colaboración se apoya principalmente en el uso de software para la planificación de recursos empresariales—o ERP, por sus siglas en inglés—, el cual puede integrarse con tecnologías de la cuarta revolución industrial como el blockchain [12].

Así, sistemas ERP—e.g., SAP o Microsoft Dynamics—integran de forma transversal la totalidad del flujo de información en CS, desde el área de finanzas, pasando por recursos humanos, distribución, manufactura y logística, hasta el área de servicio al cliente en el último eslabón de la CS. Según [104], [105], [106], algunas variantes de la estrategia de colaboración para SCRes incluyen el uso de sistemas de información compartida como VMI o CPFR—por sus siglas en inglés—, economías de escala, integración vertical, transferencia de conocimiento, y fidelización de clientes, entre las más importantes. Según [44] y [107], el uso de economías de escala en CSA es una variante de uso generalizado entre pequeños agricultores, quienes pueden pactar la compra de insumos en grandes volúmenes—e.g., semillas o abonos—, exprefeso conseguir precios de compra más bajos, condiciones de entrega más favorables, y/o en general, ejercer mayor presión sobre las empresas proveedoras. Sin embargo, a pesar de todos los beneficios citados, la adopción de una estrategia de colaboración en cualquiera de sus variantes no está exenta de efectos adversos: la implementación de esta estrategia puede ocasionar fugas de información o la vulneración de los sistemas de protección de datos—es decir, el riesgo R4—, lo cual podría afectar seriamente las operaciones habituales de una CS [18].

Por último, valga decir que, esta estrategia de resiliencia puede considerarse principalmente de naturaleza proactiva. Esto es, esta estrategia puede ser adoptada en la etapa previa a la ocurrencia del evento de riesgo para inhibir la materialización de riesgos de planeación (R5), de pérdida de información (R5), y de oferta y demanda de mercado (R7).

4.8 Estrategia de cobertura de volatilidad de precios (E₂)

Según [71], esta estrategia describe el conjunto de acciones que los responsables de CS tienen a su disposición para hacer frente a los factores que afectan los precios de commodities—o materias primas—, tales como la variabilidad de los mercados financieros y las tasas de cambio (R9). La aplicación de esta estrategia comprende varias variantes: la transferencia de riesgos de precio a través de clientes y/o proveedores, la cobertura de riesgos de precios en mercados financieros, y los contratos futuros o forward [108]. Según [76], una forma efectiva de transferir el riesgo de alzas en los valores que ofrecen los proveedores o el otorgado a los clientes se logra mediante la negociación de contratos de precios fijos a largo plazo (R10). Según [71], las estrategias de cobertura mediante instrumentos financieros permiten eliminar o minimizar la incertidumbre presente en el precio de commodities requeridos por CS. Esto se logra a través de la elaboración de proyecciones para la compra y/o venta de materias primas e insumos. Por último, los contratos forward o futuros permiten mitigar riesgos legales y financieros, eliminando la incertidumbre en los precios de materiales y el incumplimiento de acuerdos entre las partes interesadas [71]. Según [104] y [109], este tipo de contratos ofrece información precisa

de parámetros como cantidad, calidad, tiempo y precio, con el fin garantizar que el proveedor cumpla a cabalidad los requerimientos del comprador. El enfoque de la estrategia de cobertura de precios es mayormente de naturaleza proactiva. La Fig. 4 resume las 8 estrategias para SCRes antes explicadas y sus respectivas sub-categorías (37).

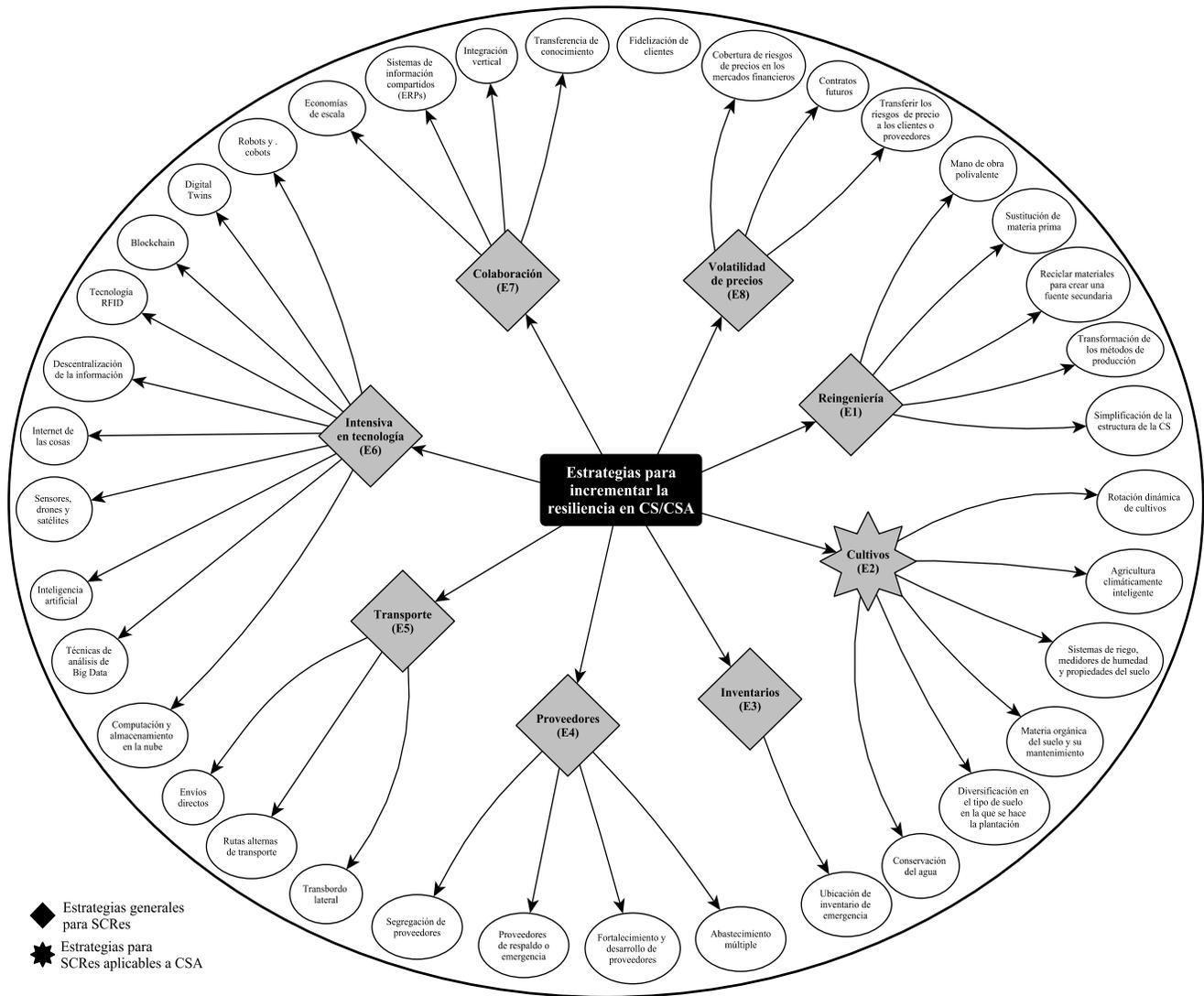


Figura 4. Estrategias para incrementar la resiliencia en CS/CSA.

5. Análisis de Resultados

Del análisis precedente, dos tipos principales de redes de suministro fueron identificadas: CSA y no- CSA. En general, dada su condición de sistemas abiertos, puede afirmarse que las CS están expuestas a una gran variedad de eventos de riesgo. Algunos de estos riesgos pueden considerarse de amplio espectro–i.e., pueden afectar a cualquier CS–, y otros, por el contrario, son prevalentes de CSA– i.e., tienen una mayor incidencia o frecuencia en este tipo de cadena. El análisis de riesgos descrito nos permite afirmar que la tipología de CS no es un factor determinante para evaluar la incidencia de dichos eventos. En otras palabras, los riesgos impactan por igual a CSA y no-CSA sin distinción. Sin embargo, las CSA, en razón a su

naturaleza–evidenciada en la estacionalidad de cosechas, picos en el suministro de materias primas, y carácter perecedero de los productos finales–son en general más proclives a sufrir impactos severos en su flujo de materiales o de información que sus contrapartes las n-CSA. La Fig. 5 muestra la relación entre tipo de riesgo, estrategia para SCRes, y la naturaleza propia de la estrategia–i.e., proactiva o antes de la ocurrencia del riesgo y/o reactiva o después de la ocurrencia del riesgo. De la Fig. 5, cuatro hallazgos principales pueden ser derivados.

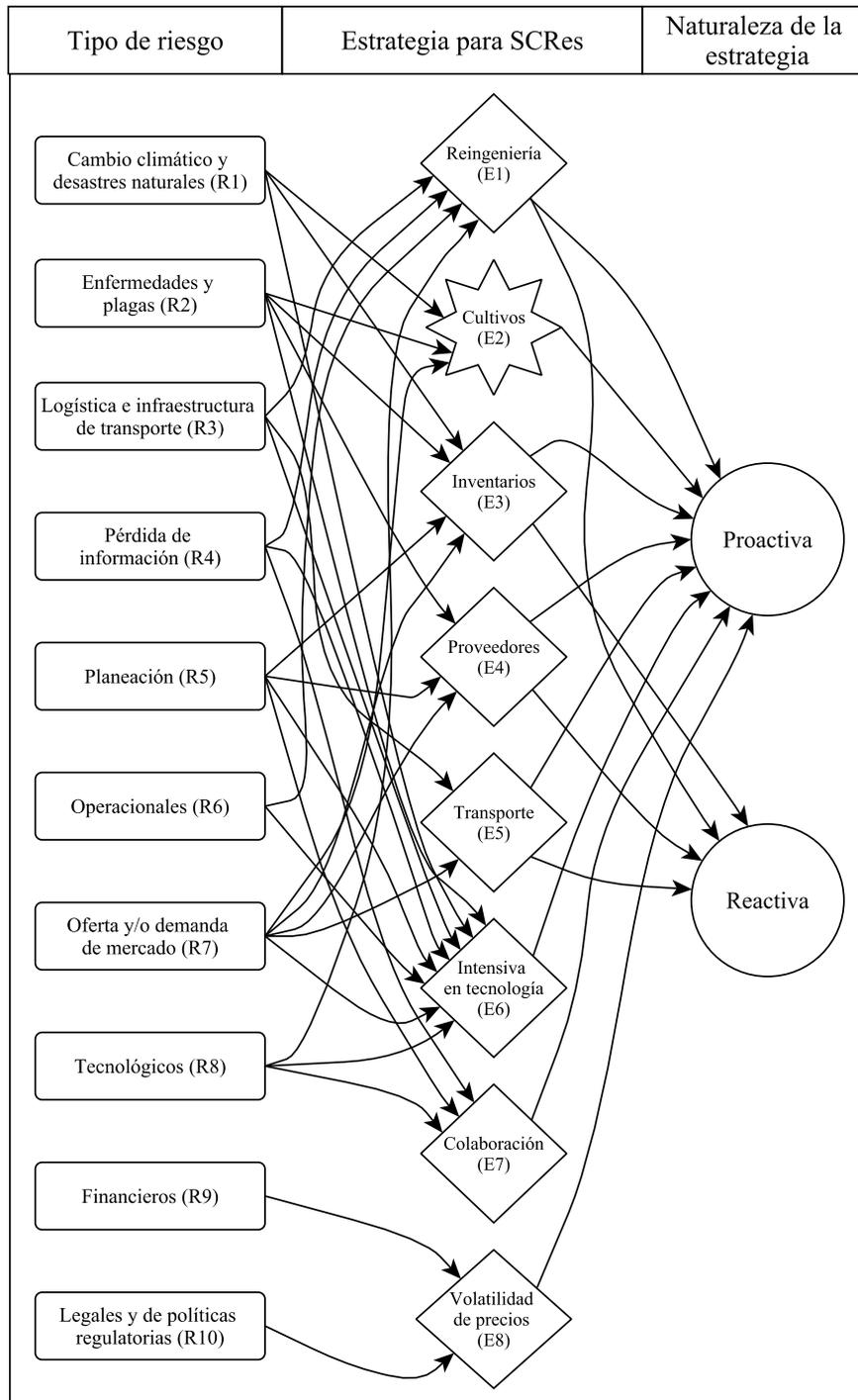


Figura 5. Relación entre tipo de riesgo y estrategias para SCRes.

Primero, a excepción del riesgo R_2 o de enfermedades y plagas, las CSA se enfrentan a un entorno similar a sus contrapartes las no-CSA. La incidencia del riesgo R_2 es notable en el desempeño de CSA, toda vez que este evento se materializa en sus primeros eslabones, ocasionando elevados tiempos de inactividad aguas abajo de las operaciones. El impacto de este riesgo, sin embargo, puede ser contrarrestado proactiva o reactivamente diversificando proveedores (E_4), fortaleciendo los cultivos (E_2), o acumulando inventarios (E_3). Segundo, las dos estrategias para SCRes de mayor efectividad en la reducción del impacto de los riesgos en CSA son la estrategia intensiva en tecnología (E_6) y la estrategia de reingeniería (E_1), respectivamente. Este hallazgo es de importancia supina, toda vez que orienta a los responsables de administrar CSA sobre cuáles estrategias para SCRes deberían ser adoptadas. Tercero, la estrategia para SCRes de mantenimiento y mejora de cultivos (E_2) es el único enfoque que se ajusta a las particularidades propias de CSA. Este hallazgo es de particular importancia para CSA toda vez, los eslabones localizados en la primera milla son en general los más vulnerables, además de ser los más proclives a ocasionar el efecto Ripple aguas abajo de la cadena. Por último y no menos importante, de las ocho estrategias evaluadas, la mitad— E_1 , E_3 , E_4 y E_5 —comparten el atributo de proactividad y reactividad, mientras que las cuatro restantes son únicamente estrategias reactivas.

6. Conclusiones

En el presente artículo se planteó como objetivo de investigación principal la identificación de las estrategias resilientes aplicables a CSA. Para este propósito, el enfoque de revisión sistemática de la literatura o RSL fue seleccionado como metodología de investigación principal. Como resultado, ocho estrategias de ámbito general fueron identificadas, una de las cuales (E_2) se catalogó como específica a CSA. Asimismo, el análisis involucró el estudio de 10 tipos principales de riesgo con el potencial de perturbar el flujo de materiales e información en CSA. Aun cuando los hallazgos encontrados pueden ser considerados en general de tipo teórico, estos pueden ser utilizados por los responsables de administrar CSA como guía para seleccionar e implementa estrategias resilientes en la práctica.

Futuros estudios sobre la aplicación de estrategias para SCRes deberían focalizar sus esfuerzos en determinar el costo de implementación asociado. Así por ejemplo, el presente estudio identificó a las estrategias intensiva en tecnología (E_6) y de reingeniería (E_1) como las dos más efectivas para reducir el impacto de los riesgos. Sin embargo, el costo de implementar cada estrategia es un asunto pendiente. El estudio de los tipos de CSA es también un aspecto desatendido en la literatura sobre SCRes. Futuras investigaciones deberían replicar enfoques como el presente pero, tomando en cuenta caracterizaciones de CSA más precisas y rigurosas.

Agradecimientos

Producto derivado del proyecto INV-ING-3197 financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada—vigencia 2020.

Referencias

- [1] C. Bode, S. Wagner, K. Petersen y L. Ellram, "Understanding responses to supply chain disruptions: Insights from information processing and resource dependence perspectives", *Academy of Management Journal*, vol. 54, no. 4, pp.833-856, 2011. Disponible: <http://www.jstor.org/stable/23045114>
- [2] D. Ivanov, B. Sokolov y A. Dolgui, "The Ripple effect in supply chains: trade-off 'efficiency-flexibility-resilience' in disruption management", *International Journal of Production Research*, vol. 52, no. 7, pp. 2154-2172, 2014. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.858836>
- [3] C. Gómez, "Colon Free Zone: Considerations toward expanding its commercial activity and enhancing competitiveness post COVID-19", *Revista científica universitaria - Universidad de Panamá*, vol. 9, no. 2, 2020. Disponible: <http://portal.amelica.org/ameli/jats-Repo/228/2281247010/index.html>
- [4] K. Hendricks y V. R. Singhal, "An Empirical Analysis of the Effect of Supply Chain Disruptions on Long-Run Stock Price Performance and Equity Risk of the Firm", *Production and Operations Management* vol.14, no.1, pp 35-52, 2005. <https://10.1111/j.1937-5956.2005.tb00008.x>
- [5] G. Behzadi, M. O'Sullivan, T. Olsen, F. Scrimgeour y A. Zhang, "Robust and resilient strategies for managing supply disruptions in an agribusiness supply chain", *International Journal of Production Economics*, vol. 191, pp. 207-220, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.06.018>
- [6] G. Behzadi, M. O'Sullivan, T. Olsen y A. Zhang, "Agribusiness supply chain risk management: A review of quantitative decision models", *Omega*, vol. 79, pp. 21-42, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.07.005>
- [7] N. Chyrasekaran y G. Raghuram. *Agribusiness Supply Chain Management*. 1ra. ed., CRC Press. Taylor & Francis Group, 2014. ISBN: 978-1-4665-1674-8
- [8] L. Lim-Camacho, É. Plagányi, S. Crimp, J. Hodgkinson, A. Hobday, S. Howden y B. Loechel, "Complex resource supply chains display higher resilience to simulated climate shocks", *Global Environmental Change*. vol. 46, pp. 126-138, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.08.011>
- [9] J. van der Vorst, C. da van der Silva y J. Trienekens. *Agro-industrial Supply Chain Management: Concepts and Applications*. FAO, Roma - Italia, 2007. ISBN: 978-92-5-105831-2
- [10] J. Orjuela, "Incidencia del diseño de la cadena de suministro alimentaria en el equilibrio de flujos logísticos", 2018. Disponible: <http://bdigital.unal.edu.co/69976/>
- [11] M. Bertolini, E. Bottani, A. Rizzi, A. Volpi y P. Renzi, "Shrinkage reduction in perishable food supply chain by means of an RFID-based FIFO management policy", *International Journal of RF Technologies*, vol. 5, pp. 123-136, 2013. <https://doi.org/10.3233/RFT-130052>
- [12] R. Sharma, A. Shishodia, S. Kamble, A. Gunasekaran y A. Belhadi, "Agriculture supply chain risks y COVID-19: Mitigation strategies and implications for the practitioners". *International Journal of Logistics Research and Applications*, pp. 1-27, 2020. <https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1830049>
- [13] R. González y F. Hernández, "Asia and the Great challenge of COVID-19: Resilience and Adaptation", *Economía y Desarrollo*, vol. 165, no. 2, 2021. Disponible: <http://www.econdesarrollo.uh.cu/index.php/RED/article/view/817>
- [14] A. Garrido. "A mixed-method study on the effectiveness of a buffering strategy in the relationship between risks y resilience". PhD thesis. Coventry, UK: University of Warwick, 2017. Disponible: <http://webcat.warwick.ac.uk/record=b33202763~S15>
- [15] D. Denyer y D. Tranfield, "Producing a systematic review". In D. A. Buchanan & A. Bryman Eds., *The Sage handbook of organizational research methods*, pp. 671-689, 2009.
- [16] J. Paul, W. M. Lim, A. O'cass, A. W. Hao y S. Bresciani, "Scientific procedures and rationales for systematic literature reviews (SPAR-4_SRL)". *International Journal of Consumer*, vol. 45, no. 4, pp. 1-16, 2021.
- [17] J. Stone y S. Rahimifard, "Resilience in agri-food supply chains: A critical analysis of the literature and synthesis of a novel framework", *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 233, pp. 207-238, 2018. <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2017-0201>

- [18] H. Gurnani, A. Mehrotra y S. Ray. Supply chain disruptions: Theory and practice of managing risk. Springer. New York, 2012. ISBN 978-0-85729-777-8. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-778-5>
- [19] K. Powell y S. Peterson, "Coverage and quality: A comparison of Web of Science and Scopus databases for reporting faculty nursing publication metrics". Nursing Outlook. ELSEVIER, vol. 65, no. 5, pp. 572-578, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.outlook.2017.03.004>
- [20] J. Rice y F. Caniato, "Building a secure and resilient supply network", Supply Chain Management Review, vol. 7, pp.22-30, 2003.
- [21] H. Elleuch, E. Dafaoui, A. El Mhamedi y H. Chabchoub, "Resilience and vulnerability in supply chain: Literature review", IFAC-PapersOnLine, vol. 49, no. 12, pp. 1448-1453, 2016b. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.775>
- [22] S. Chopra y M. Sodhi, "Managing risk to avoid supply-chain breakdown", MIT Sloan Management Review, vol. 46, pp. 52-61, 2004.
- [23] M. Christopher y H. Peck, "Building the resilient supply chain", The International Journal of Logistics Management, vol. 15, no. 2, pp. 1-14, 2004. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- [24] S. Ellis, R. Henry y J. Shockley, "Buyer perceptions of supply disruptions risks: A behavioral view and empirical assessment", Journal of Operations Management, vol. 28, pp. 34-46, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2009.07.002>
- [25] C. Enyinda y C. Mbah, "Quantifying sources of risk in global food operations and supply chain", Wiley Periodicals, Inc., A Wiley Company, vol. 59, no. 6, pp. 653-661, 2016. <https://doi.org/10.1002/tie.21842>
- [26] M. Pournader, A. Kach y S. Talluri, "A Review of the existing and emerging topics in the supply chain risk management literature". Journal of decision sciences institute, vol. 51, no. 4, pp. 867-919, 2020. <https://doi.org/10.1111/dec.12470>
- [27] O. Boyabatli y K. Wee, "Farm-yield management when production rate is yield dependent", Research Collection Lee Kong Chian School Of Business, 2013. Disponible: http://ink.library.smu.edu.sg/lkcsb_research/3771
- [28] J. Terminiello, "A propósito de los desastres naturales: El cambio climático y la protección de los derechos humanos. Reflexiones, realidades y desafíos", Revista Athina, no. 10, pp.259-279, 2013. Disponible: <https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Athina/article/view/1151>
- [29] F. González, J. Escorcía y L. Patiño, "Optimal and reliable facility location in a supply chain", Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 25, no. 4, pp. 693-706, 2017. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400693>
- [30] G. Kovács y K. Spens, "Identifying challenges in humanitarian logistics", International Journal of Pshysical Distribution and Logistics Management, vol. 39, no. 6, pp. 506-528, 2009. <https://doi.org/10.1108/09600030910985848>
- [31] E. Regnier, "Doing something about the weather", Omega, vol. 36, pp. 22-32, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.07.011>
- [32] P. Tatham y L. Houghton, "The wicked problem of humanitarian logistics and disaster relief aid", Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, vol. 1, pp. 15-31, 2011. <https://doi.org/10.1108/20426741111122394>
- [33] A. MacMahon, K. Smith y G. Lawrence, "Connecting resilience, food security y climate change: Lessons from flooding in Queensland, Australia". Journal Environmental Studies and Sciences, vol. 5, pp. 378-391, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13412-015-0278-0>
- [34] L. Lengnick, M. Miller y G. Marten, "Metropolitan foodsheds: A resilient response to the climate change challenge?", Journal Environmental Studies and Sciences. vol. 5, no. 4, pp. 573-592, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13412-015-0349-2>
- [35] H. Elleuch, E. Dafaoui, A. Mhamedi y H. Chabchoub, "A quality function deployment approach for production resilience improvement in supply chain: Case of agrifood industry", IFAC-Papers Online, vol. 49, no. 31, pp. 125-130, 2016a. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.173>
- [36] J. Blackburn y G. Scudder, "Supply Chain Strategies for Perishable Products: The Case of Fresh Produce", Production and Operations Management, vol 182, pp. 129-137, 2018. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2009.01016.x>

- [37] M. Esham, B. Jacobs, H. Rosairo y B. Siddighi, "Climate change and food security: A Sri Lankan perspective", *Environment, Development and Sustainability*, vol. 20, no. 3, pp. 1017-1036, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9945-5>
- [38] M. Altieri, C. Nicholls, A. Henao y M. Lana, "Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems". Springer, Vol. 35, pp. 869-890, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- [39] G. Gonzales, A. Zevallos, C. Gonzales, D. Núñez, C. Gastañaga, C. Cabezas y K. Steenland, "Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: Una revisión del impacto en la salud de la población peruana", *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 31, no. 3, 2014. Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36333049021>
- [40] O. Dhankher y C. Foyer, "Climate resilient crops for improving global food security and safety", *Wiley Online Library*, vol. 41, no. 5, pp. 877-884, 2018. <https://doi.org/10.1111/pce.13207>
- [41] M. Quayson, C. Bai y V. Osei, "Digital inclusion for resilient post COVID-19 supply chains: Small-holder farmer perspectives". *IEEE Engineering Management Review*, pp. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3006259>
- [42] J. Selfa y J. Anento, "Plagas agrícolas y forestales", *Universidad de Valencia*, no. 20, pp. 75-91, 1997.
- [43] Hivos, Solidaridad, Conservation International, COSA, Oxfam Worldshops and SAFE Platform. *Coffee Barometer*, 2018.
- [44] B. Doherty, "Resilience and fair trade. Fair Trade", vol. 30, no. 3, pp. 16-19, 2016. https://doi.org/10.1002/fsat.3003_5.x
- [45] K. Parker, A. Di Mattia, F. Shaik, J. Cerón y R. Whittle, "Risk management within the cannabis industry: Building a framework for the cannabis industry", *Financial Markets, Institutions and Instruments*, vol. 28, pp. 3-55, 2019. <https://doi.org/10.1111/fmii.12104>
- [46] C. Mendoza, J. Alfaro y C. Paternina. *Manual práctico para gestión logística: Envase y embalaje-transporte y cadena de frío-preservación de productos del agro*. Barranquilla. Universidad del Norte, 2015. ISBN: 978-958-741-646-6
- [47] J. Orjuela, G. Diaz y M. Bernal, "Model for logistics capacity in the perishable food supply chain. *Applied Computer Sciences in Engineering*", pp. 225-237, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2_21
- [48] D. Ivanov y A. Dolgui, "A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0", *Production Planning and Control*, vol. 32, no. 9, pp. 775-788, 2020. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450>
- [49] N. Shamir, "Strategic information sharing between competing retailers in a supply chain with endogenous wholesale price", *International Journal of Production Economics*, vol. 136, no. 2, pp. 352-365, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.12.023>
- [50] S. Chopra y P. Meindl. *Administración de la cadena de suministro: Estrategia planeación y operación*. 3ra ed. México: Pearson Prentice Hall, 2008. ISBN: 978-970-26-1192-9
- [51] Q. Zhu y H. Krikke, "Managing a sustainable and resilient perishable food supply chain PFSC after an outbreak", *Sustainability*, vol. 12, no. 12, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12125004>
- [52] I. Protopop y A. Shanoyan, "Big Data y Small-holder Farmers: Big Data applications in the agri-food supply chain in developing countries". *International Food and Agribusiness Management Review*, vol. 19, pp. 173-190, 2016. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.240705>
- [53] J. Caulkins, Y. Bao, S. Davenport, I. Fahli, Y. Guo, K. Kinnard, M. Najewicz, L. Renaud y B. Kilme, "Big data on a big new market: Insights from Washington State's legal cannabis market", *International Journal Drug Policy*, vol. 57, pp. 86-94, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.drugpo.2018.03.031>
- [54] Y. Kim, Y. Chen y K. Linderman, "Supply network disruption and resilience: A network structural perspective", *Journal of Operations Management*, vol. 33-34, pp. 43-59, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.10.006>
- [55] C. Da Silva, D. Baker, A. Shepherd, C. Jenane y S. Miranda da Cruz. *Agroindustrias para el desarrollo*. 1ra ed., FAO. Roma – Italia, 2013. ISBN: 978-92-5-307413-6

- [56] R. Affonso, F. Marcotte y B. Grabot, "Sales and operations planning: the supply chain pillar", *Production Planning y Control*, vol. 19, no. 2, pp. 132-141, 2008. <https://doi.org/10.1080/09537280801896144>
- [57] C. Rengifo, "Estrategias aplicadas a la cadena de suministro de las empresas colombianas, para ser competitivas en los mercados internacionales", [Trabajo de especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG, 2018. Disponible: <http://hdl.handle.net/10654/20442>
- [58] L. Snyder, M. Scaparra, M. Daskin y R. Church, "Planning for disruptions in supply chain networks", *Models, Methods, and Applications for Innovative Decision Making*, pp. 234-257, 2006. <https://doi.org/10.1287/educ.1063.0025>
- [59] K. Knickel, M. Redman, I. Darnhofer, A. Ashkenazy, T. Calvão, S. Šūmane, T. Tisenkopfs, R. Zemeckis, V. Atkociuniene, M. Rivera, A. Strauss, L. Kristensen, S. Schiller, M. Koopmans y E. Rogge, "Between aspirations and reality: Making farming, food systems and rural areas more resilient, sustainable and equitable", *Journal of rural studies*, vol. 59, pp. 197-210, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.04.012>
- [60] S. Miranda, S. Riemma, R. Iannone y V. Di Pasquale, "An overview of human reliability analysis techniques in manufacturing operations", *Operations Management*, 2013. <https://doi.org/10.5772/55065>
- [61] N. Delgado. "Aplicación del mapa de flujo de valor VALUE STREAM MAP VSM a la gestión de cadenas de suministros de productos agrícolas: un caso de estudio", *Identidad Bolivariana*, vol. 2, 2018. <https://doi.org/10.37611/IB2oI1119-135>
- [62] M. Sá, P. Miguel, R. Brito y S. Pereira, "Supply chain resilience: the whole is not the sum of the parts", *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 40, pp. 92-115, 2019. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-09-2017-0510>
- [63] F. Sabouhi, M. Jabalameli, A. Jabbarzadeh y B. Fahimnia, "A multi-cut L-shaped method for resilient and responsive supply chain network design". *International Journal of Production Research*, pp. 1-29, 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1779369>
- [64] E. Esmaeili, S. Nezhad, H. Pourmohammadi, M. Honarvar y A. Vahdatzad, "A joint supplier selection and order allocation model with disruption risks in centralized supply chain", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 127, pp. 734-48, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.017>
- [65] P. Appelqvist, F. Babongo, V. Chavez-De-moulin, A. Hameri y T. Niemi, "Weather and supply chain performance in sport goods distribution", *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 44, no. 2, pp. 178-202, 2016. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-08-2015-0113>
- [66] V. Gupta, D. Ivanov y T. Choi, "Competitive pricing of substitute products under supply disruption", *Omega*, vol. 101, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102279>
- [67] S. Wagner y C. Bode, "An empirical examination of supply chain performance along several dimensions of risk". *Journal of Business Logistics*, vol. 29, pp. 307-325, 2008. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2008.tb00081.x>
- [68] R. Metters, "Quantifying the bullwhip effect in supply chains". *Journal of Operations Management*, vol. 15, no. 2, pp. 89-100, 1997. <https://doi.org/10.1016/S0272-69639600098-8>
- [69] F. Campuzano, F. Marin, J. Moreno, M. Bogataj y D. Bogataj, "Supply chain risk of obsolescence at simultaneous robust perturbations", *Sustainability*, vol. 11, no. 19, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11195484>
- [70] P. Kouvelis y F. Xu, "A supply chain theory of factoring and reserve factoring". *Forthcoming in Management science*, 2019. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3241484>
- [71] P. Leat y C. Revoredo, "Risk and resilience in agri-food supply chains: The case of the ASDA PorkLink supply chain in Scotly", *Supply Chain Management: An International Journal*. vol. 18, no. 2, pp. 219-231, 2013. <https://doi.org/10.1108/13598541311318845>
- [72] C. Harland, R. Brenchley y H. Walker, "Risk in supply networks", *Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 9, no. 2, pp. 51-62, 2003. <https://doi.org/10.1016/S1478-40920300004-9>

- [73] B. Abelseth, "Blockchain tracking and cannabis regulation: Developing a permissioned blockchain network to track Canada's cannabis supply chain", *Dalhousie Journal of Interdisciplinary Management*, vol. 14, pp. 1-11, 2018. Disponible: <https://igi.indrastra.com/items/show/3323>
- [74] M. Bruneau, S. Chang, R. Eguchi, G. Lee, T. O'Rourke, Y. Reinhorn, M. Shinozuka, K. Tierney, W. Wallace y D. Winterfeldt, "A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities", *Earthquake Spectra*, vol. 19, no. 4, pp. 733-752, 2003. <https://doi.org/10.1193/1.1623497>
- [75] J. Fiksel. *Resilient by design - Creating Businesses That Adapt and Flourish in a Changing World*. Washington, Island Press, 2015. ISBN: 978-1-61091-587-8
- [76] Y. Sheffi, "The power of resilience: How the best companies manage the unexpected", Londres: Massachusetts Institute of Technology. The MIT Press, 2015. ISBN: 978-026-253-363-8
- [77] J. Gutiérrez, L. Aguilera y E. González, "Agroecología y sustentabilidad", *SciELO México*, vol. 15, no. 46, pp. 1405-1435, 2008.
- [78] S. Hosseini, D. Ivanov y A. Dolgui, "Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 125, pp. 285-307, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.001>
- [79] S. Chopra y M. Sodhi, "Reducing the Risk of Supply Chain Disruptions", *MIT Sloan Management Review*, vol. 55, no. 3, pp. 72-80, 2014. Disponible: <https://openaccess.city.ac.uk/id/eprint/14261/>
- [80] J. Escobar, R. Linfati y W. Jaimes, "Gestión de inventarios para distribuidores de productos perecederos", *Ingeniería y desarrollo Universidad del Norte*, vol. 35, pp. 219-239, 2017. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.35.1.8950>
- [81] Z. Vianchá, "Modelos y configuraciones de cadenas de suministro en productos perecederos". *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 32, pp. 138-154, 2014.
- [82] W. Ni, J. Shu y M. Song, "Location and emergency inventory Pre-positioning for disaster response operations: Min-Max robust model and a case Study of Yushu earthquake". *Production and Operations Management*. vol. 27, pp. 160-183, 2017. <https://doi.org/doi:10.1111/poms.12789>
- [83] C. A. Ptak y C. J. Smith. *Orlicky's material requirements planning*, 3rd edition. McGraw-Hill, 2011.
- [84] M. Kamalahmadi y M. Mellat-Parast, "Developing a resilient supply chain through supplier flexibility and reliability assessment", *International Journal of Production Research*, vol. 54, pp. 302-321, 2016. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1088971>
- [85] F. Vahidi, S. Torabi y M. Ramezankhani, "Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks", *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 1351-1365, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.012>
- [86] P. Meena y S. Sarmah, "Multiple sourcing under supplier failure risk and quantity discount: A genetic algorithm approach". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 50, pp. 84-97, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.10.001>
- [87] S. Torabi, M. Baghersad y S. Mansouri, "Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 79, pp. 22-48, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.03.005>
- [88] T. Sawik, "Selection and protection of suppliers in a supply chain with disruption risks", *International Journal of Logistics Systems and Management*, vol. 15, no. 2/3, pp. 143-159, 2013. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2013.053763>
- [89] R. Ballou. *Logística: Administración de la cadena de suministro*, 5ta ed. México: Pearson Educación, 2004. ISBN: 978-970-260-540-9
- [90] A. Garrido, O. Quintero-Espinosa, M. Jaller, "Obtaining the Optimal Origin-Destination Multimodal Freight Transportation Network for the City of Bogotá. Manuscript submitted for publication, 2022.

- [91] P. Dutta, P. Suryawanshi, P. Gujarathi y A. Dutta, "Managing risk for e-commerce supply chains: An empirical study", IFAC – Papers Online, vol. 52, no. 13, pp. 349-354, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.143>
- [92] J. Carter y B. Ferrin, "The impact of transportation costs on supply chain management", Journal of Business Logistics, vol. 16, pp. 189-212, 1995. Disponible: <http://worldcat.org/isbn/1840645512>
- [93] D. Ivanov, A. Tsipoulanidis, y J. Schönberger. Global supply chain and operations management: A decision-oriented introduction into the creation of value. 2da ed. Springer Nature, Cham, 2019. ISBN: 978-3-319-94313-8
- [94] P. Forget, S. D'Amours y J. Frayret, "Multi-behavior agent model for planning in supply chains: An application to the lumber industry", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 24, no. 5, pp. 664-679, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2007.09.004>
- [95] E. Hofmann y E. Rutschmann, "Big data analytics and demand forecasting in supply chains: A conceptual analysis", International Journal of Logistics Management, vol. 29, no. 2, pp. 739-766, 2018. <https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2017-0088>
- [96] F. Shrouf, J. Ordieres y G. Miragliotta, "Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm", IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2014. <https://doi.org/10.1109/ieem.2014.7058728>
- [97] V. Gupta, "A brief history of blockchain", Harvard Business Review, 2017. Disponible: <https://hbr.org/2017/02/a-brief-history-of-blockchain>
- [98] D. Ivanov, B. Sokolov, I. Solovyeva, A. Dolgui y F. Jief, "Dynamic recovery policies for time-critical supply chains under conditions of ripple effect". International Journal of Production Research, vol. 54, no. 23, pp. 7245-7258, 2016. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1161253>
- [99] Y. Wang, X. Wang y A. Liu, "Digital twin-driven supply chain planning". Procedia CIRP, vol. 93, pp. 198-203, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.154>
- [100] R. Galin y R. Meshcheryakov, "Review on Human-Robot interaction during collaboration in a shared workspace", Interactive Collaborative Robotics, pp. 63-74, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26118-4_7
- [101] G. Zhao, S. Liu, H. Lu, C. Lopez y S. Elgueta, "Building theory of agri-food supply chain resilience using total interpretive structural modelling y MICMAC analysis". International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics, vol. 4, no. 3/4, pp. 235-257, 2018. <https://doi.org/10.1504/IJSAMI.2018.099236>
- [102] J. Hernández, M. Mortimer y H. Panetto, "Operations management and collaboration in agri-food supply chains", Production Planning and Control, pp. 1-2, 2020. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1796141>
- [103] D. Bowersox, D. Closs y M. Cooper. Administración y Logística en la cadena de suministros. 2da. ed., México, D. F., McGraw-Hill Interamericana, 2007. ISBN: 970-10-6132-2
- [104] A. Arshinder y S. Deshmukh, "Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions", International Journal of Production Economics, vol. 115, no. 2, pp. 316-335, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.05.011>
- [105] M. Hudnurkar y U. Rathod, "Collaborative supply chain: Insights from simulation", International Journal of System Assurance Engineering and Management, vol. 3, no. 2, pp. 122-144, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13198-012-0114-9>
- [106] D. Liu, Z. Deng, Q. Sun, Y. Wang y Y. Wang, "Design and freight corridor-Fleet size choice in collaborative intermodal transportation network considering economies of scale", Sustainability, vol. 11, no. 4, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11040990>
- [107] C. Krejci y B. Beamon, "Impacts of farmer coordination decisions on food supply chain structure". Journal of Artificial Societies and Social Simulation, vol. 18, no. 2, pp. 1-20, 2015. doi: <https://doi.org/10.18564/jasss.2727>
- [108] S. Huang, C. Yang y X. Zhang, "Pricing and production decisions in dual-channel supply chains with demand disruptions", Computers and Industrial Engineering, vol. 62, pp. 70-83, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.08.017>
- [109] G. Cachon, "Supply chain coordination with contracts in supply chain management: Design, coordination and operation", North-holly, vol. 11, pp. 2-5, 2003.