



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE RIESGO Y SU MITIGACIÓN EN LA CADENA
DE SUMINISTRO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
JOSÉ EDUARDO URIÓSTEGUI SILVA

TUTOR PRINCIPAL
DR. MANUEL DEL MORAL DÁVILA, FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, CD. MX. AGOSTO 2016

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Sánchez Guerrero Gabriel D.
Secretario: M. I. Fuentes Zenón Arturo
Vocal: Dr. Del Moral Dávila Manuel
1^{er.} Suplente: M. I. Rivera Colmenero José Antonio
2^{d o.} Suplente: Dr. Aceves García Ricardo

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de ingeniería, Cd. Mx., México.
- Universidad Rey Juan Carlos (URJC), Campus Fuenlabrada, Madrid, España.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Del Moral Dávila Manuel

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, infinitamente, por darme los padres más maravillosos de este mundo, y por haber permitido que culminara esta etapa de mí vida con éxito y así realizar uno de los propósitos más importantes en mi vida.

A mis padres, por el amor, cariño y apoyo que me han otorgado a lo largo de toda mi vida, por hacer lo posible y hasta lo imposible en esta vida con la intención de que yo pueda cumplir todos mis objetivos y mis sueños, gracias por siempre apoyarme.

A mis hermanos Miguel y Tania, por el cariño que me han tenido siempre, por ser un buen ejemplo para mí, por apoyarme y darme la fuerza para seguir adelante, ¡los quiero mucho!.

Al Dr. Manuel Del Moral Dávila, por ser un excelente director de tesis y un extraordinario profesor, que siempre estuvo para brindarme su ayuda y que ha sido una pieza esencial para la realización de esta tesis.

Al Dr. Luis Cadarso Morga, por todo su apoyo, por darme la oportunidad de realizar una estancia de investigación en la Universidad Rey Juan Carlos (URJC), por el conocimiento compartido y por el tiempo que me dedicó las veces que fue necesario.

A mis sinodales, por sus valiosas observaciones y recomendaciones en esta tesis. También, a todos mis profesores del Posgrado, por todos los conocimientos transmitidos a lo largo de estos años.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico concedido durante mis estudios de Maestría.

Contenido

Resumen.....	6
Introducción.....	7
Objetivo	8
Hipótesis.....	8
Limitación y alcance	8
Capítulo 1. Riesgo en la cadena de suministro	9
1.1 Marco conceptual en riesgo de la cadena de suministro	9
1.1.1 La incertidumbre en la cadena de suministro	10
1.1.2 Tipología de riesgos en la cadena de suministro	12
1.2 Problemática relacionada con riesgo en la cadena	15
1.2.1 Reconociendo la vulnerabilidad en la cadena de suministro	19
1.3 La necesidad de la administración del riesgo	20
Capítulo 2. Gestión integral del riesgo	21
2.1 Estado del arte de riesgo en la cadena de suministro	21
2.2 Cuantificación y evaluación del riesgo dentro de la cadena de suministro ..	24
2.3 Mitigando y equilibrando el riesgo en la cadena de suministro.....	28
2.4 Construyendo la resiliencia y la mejor adaptabilidad	36
Capítulo 3. Un método de cuantificación de mitigación del riesgo	41
3.1 Objetivo del método	41
3.2 Metodología y variables de mitigación de riesgo	41
3.3 Diagramas de representación y matriz de mitigación de riesgo.....	45
3.4 Funcionamiento del método y cuantificación de mitigación	57
Capítulo 4. Estudio de caso.....	61
4.1 Elección del caso y criterio de selección.....	61
4.2 Presentación del caso.....	63
4.3 Lecciones aprendidas.....	71
Conclusiones.....	72
Anexo A.....	74
Anexo B.....	79
Referencias	82

Índice de figuras

Figura 1. Interrelaciones de incertidumbre, riesgo, perturbación e interrupción.....	10
Figura 2. Equilibrando el daño potencial y los beneficios de los riesgo	11
Figura 3. Conexiones entre las fuentes de riesgo	13
Figura 4. Fuentes de riesgo en la cadena de suministro	13
Figura 5. Estructura de la gestión del riesgo en la CS.....	24
Figura 6. Valoración de los riesgos en la cadena de suministro.....	27
Figura 7. Medidas de mitigación del riesgo en la cadena de suministro.....	28
Figura 8. Medidas de mitigación en función de su efecto.....	29
Figura 9. Las cuatro medidas de mitigación de riesgo	30
Figura 10. Marco de mitigación del riesgo en la cadena de suministro	37
Figura 11. Creación de la cadena de suministro resiliente	38
Figura 12. Pasos implicados en la metodología	43
Figura 13. Diagrama de redes de las variables de mitigación.	47
Figura 14. Software Mathematica 10 versión de estudiante.....	50
Figura 15. Interfaz gráfica del software Mathematica 10 con $M=3$	52
Figura 16. Interfaz gráfica del software Mathematica 10 con $M=6$	52
Figura 17. Estrategias esenciales para incrementar capacidad de mitigación.....	54
Figura 18. Diagrama de redes de las variables de mitigación del ejemplo.	58
Figura 19. Interfaz gráfica del software Mathematica 10 con la solución del ejemplo.....	60
Figura 20. Resumen sobre lo que se pretende mostrar en el estudio de caso	62
Figura 21. Impresión artística del Boeing 787 Dreamliner.....	63
Figura 22. Materiales utilizados para construir el Boeing 787 Dreamliner	64
Figura 23. Estructura de la cadena de suministro del Boeing 787 Dreamliner.	65
Figura 24. Proveedores de piezas para construir el Boeing 787 Dreamliner.	66

Índice de tablas

Tabla 1. Tipología de los riesgos es la cadena de suministro	14
Tabla 2. Artículos de estudio de riesgo en la cadena de suministro.	23
Tabla 3. Matriz para evaluar el riesgo en términos cualitativos	25
Tabla 4. Matriz para evaluar el riesgo en términos cuantitativos	26
Tabla 5. Medidas de mitigación en función de probabilidad e impacto.....	30
Tabla 6. Algunas estrategias de mitigación de riesgo en la cadena de suministro.	31
Tabla 7: Algunas estrategias de mitigación de riesgo en la cadena de suministro B.....	32
Tabla 8. Marco para construir una cadena resilient.....	39
Tabla 9. Aplicaciones de la teoría de grafos para la toma de decisiones	42
Tabla 10. Matriz de interacción de las variables.....	46
Tabla 11. Importancia de las estrategias de mitigación.....	53
Tabla 12. Valor de la variable de mitigación de riesgo.	55
Tabla 13. Valor de la variable basado en grado de interdependencia	55
Tabla 14. Situaciones relevantes para diferentes métodos de investigación.....	61
Tabla 15. Principales demoras anunciadas para el Boeing 787 Dreamliner.....	67
Tabla 16. Riesgos en la cadena de suministro del Boeing 787 Dreamliner	68
Tabla 17. Estrategias de mitigación de riesgos usadas por Boeing.....	69
Tabla 18. Algunas estrategias alternativas para mitigar los riesgos	70
Tabla 19. Características técnicas del Boeing 787-8 Dreamliner.	79
Tabla 20. Características técnicas del Boeing 787-9 Dreamliner	80
Tabla 21. Características técnicas del Boeing 787-10 Dreamliner	81

Resumen

En el presente trabajo, se realiza una revisión de la literatura sobre riesgo en cadena de suministro y se desarrolla un método de cuantificación de mitigación de riesgo con el propósito de hacer a la cadena de suministro más competitiva y exitosa evitando riesgos futuros.

Las cadenas de suministro actuales son complejas y extensas, por tanto, es esencial que los tomadores de decisiones tengan conocimientos concretos acerca del riesgo y la vulnerabilidad presente. Los riesgos en la cadena de suministro causan diversos efectos negativos muy costosos, una clara implicación es lo conveniente de invertir en la gestión de riesgos y métodos que ayuden a cuantificar la mitigación.

Palabras claves: Riesgo, método, cuantificación, mitigación, cadena de suministro.

Introducción

Uno de los principales desafíos más grande que enfrentan las empresas es el riesgo en la cadena de suministro. La globalización del comercio ha traído nuevas oportunidades, pero también aumentó el poder potencial de aquello que desconocemos y que puede interrumpir la cadena de suministro global.

El mercado actual se caracteriza por la turbulencia y la incertidumbre. La turbulencia del mercado se ha incrementado en los últimos años por múltiples razones. La demanda en casi todos los sectores industriales parece ser más volátil que en el pasado. Los ciclos de vida del producto y la tecnología se han acortado considerablemente y la introducción de productos competitivos hace que el ciclo de la demanda sea difícil de predecir. Existe un considerable "caos" en nuestras cadenas de suministro.

A medida que la cadena de suministro se vuelve más global, compleja e interdependiente, es esencial que los tomadores de decisiones tengan conocimientos concretos acerca del riesgo y la vulnerabilidad presente. Al mismo tiempo, la vulnerabilidad de las cadenas de suministro de perturbación o interrupción se ha incrementado. No sólo es el efecto de los acontecimientos externos, como los desastres naturales, huelgas o ataques terroristas, sino también el impacto de los cambios en la estrategia de negocio.

Vivimos en un mundo volátil y todo está propenso a algún tipo de riesgo. Algunas interrogantes importantes con respecto a este tema son las siguientes: ¿Por qué algunas empresas, son más resistentes a la interrupciones en la cadena de suministro o tienen mejores condiciones para recuperarse?, ¿Cómo mitigar el riesgo de las interrupciones en la cadena de suministro?, ¿Cómo saber la capacidad de mitigación del riesgo en la cadena de suministro de la organización?

En la actualidad, se desarrolla un creciente interés por desarrollar programas adecuados para mitigar y gestionar el riesgo. La importancia del estudio de riesgo se hace presente debido a que el impacto de los eventos no planificados e imprevistos en las cadenas de suministro puede tener efectos financieros graves a través de la red en su conjunto.

Objetivo

General

Realizar una revisión de la literatura sobre riesgo en cadena de suministro y desarrollar un método de cuantificación de mitigación de riesgo en la cadena de suministro.

Particulares

- Identificar los conceptos relacionados con el análisis de riesgo en la cadena de suministro.
- Determinar los tipos de riesgo en la cadena de suministro.
- Definir la problemática relacionada con riesgo en la cadena de suministro.
- Reconocer la incertidumbre y la vulnerabilidad en la cadena de suministro.
- Construir un marco de gestión de riesgo en la cadena de suministro.
- Desarrollar un método de cuantificación de mitigación del riesgo.
- Realizar un estudio de caso sobre riesgo en la cadena de suministro.

Hipótesis

Mitigar el riesgo en la cadena de suministro y tener conocimiento de cómo cuantificarlo hace a la cadena de suministro más competitiva.

Limitación y alcance

Para realizar este trabajo, se efectuó una exhaustiva revisión de la literatura sobre estudio de análisis de riesgo en cadena de suministro y se elaboró un resumen de definiciones y conceptos. En todo momento se tuvo presente que el objetivo es realizar una revisión de la literatura sobre riesgo en cadena de suministro y desarrollar un método de cuantificación de mitigación de riesgo en la cadena de suministro.

Capítulo 1. Riesgo en la cadena de suministro

“Conquistar sin riesgo, es triunfar sin gloria”, Pierre Corneille.

En este capítulo, se presenta el marco conceptual de riesgo, la problemática relacionada con el riesgo en la cadena de suministro. Se identifica la necesidad de un adecuado análisis del riesgo; de identificarlo, tipificarlo, mitigarlo, y desarrollar un método de cuantificación de mitigación de riesgo en la cadena de suministro. Por último, se habla de la incertidumbre y la vulnerabilidad en la cadena de suministro.

1.1 Marco conceptual en riesgo de la cadena de suministro

Una de las definiciones más aceptada y reconocida es la que propone Zsidisin (2003):

Riesgo de la cadena de suministro se define como la probabilidad de un incidente relacionado con el suministro, de las fallas individuales del proveedor o del suministro del mercado, en que esto da resultado en la incapacidad de la empresa productora para satisfacer la demanda del cliente o causa amenazas a la vida y seguridad de los clientes.

Otra definición es la propuesta por Manuj y Mentzer (2008), definen al riesgo en la cadena de suministro global como el resultado que se espera de un evento incierto, es decir, los eventos inciertos conducen a la existencia de riesgo.

El riesgo tiene dos componentes esenciales: 1) las pérdidas potenciales (si se realiza el riesgo, lo que dará como resultado pérdidas y cuál es la significación de las consecuencias de las pérdidas) y 2) la probabilidad de esas pérdidas (la probabilidad de la ocurrencia de un evento que conduce a la realización del riesgo). En cierto sentido, el riesgo de manera cuantitativa se define como:

Riesgo en la CS = Probabilidad de rupturax Impacto o consecuencias.

Una debilidad de esta definición de riesgo es que puede conducir a una falta de reconocimiento de que la cadena de suministro puede estar en su punto más vulnerable donde la probabilidad de que se produzca es pequeña, pero el impacto potencial podría ser catastrófico.

1.1.1 La incertidumbre en la cadena de suministro

La ausencia de la información necesaria para describir un sistema provoca una situación de incertidumbre. La incertidumbre es la falta (aunque sea parcial) de información sobre una situación futura (o estado de un sistema).

Uno de los principales peligros de la incertidumbre es la influencia de la perturbación, lo que lleva a un cambio en un curso planeado de eventos, en el funcionamiento de la cadena de suministro y (o) una amenaza de incumplimiento de la meta. En el análisis de incertidumbre, por lo general se encuentran cuatro aspectos. El primero es la incertidumbre en sí, el segundo son los riesgos, el tercero son las perturbaciones (disturbios), y el último es el impacto de la influencia de perturbación, la Interrupción (Ivanov & Sokolov, 2010):

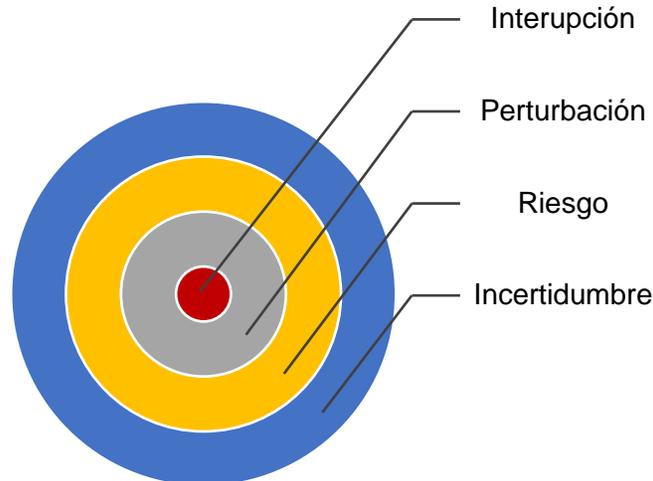


Figura 1. Interrelaciones de incertidumbre, riesgo, perturbación e interrupción (Ivanov & Sokolov, 2010).

- 1) La *incertidumbre* es una propiedad general del sistema que existe independientemente de nosotros y caracteriza la naturaleza incompleta de nuestro conocimiento sobre el sistema y las condiciones de su desarrollo. Podemos ampliar y reducir el espacio de incertidumbre.
- 2) *Riesgo* iniciado de incertidumbre. Los riesgos pueden ser identificados, analizados, mitigados y controlados. Conscientemente hablamos de factores de incertidumbre y riesgos derivados (por ejemplo, el riesgo de fluctuación de la demanda como consecuencia de la incertidumbre del medio ambiente).

- 3) Una *perturbación* (influencia de perturbaciones) es la consecuencia de los riesgos. Estos pueden tener un propósito (es decir, robos) y no con propósito (es decir, las fluctuaciones de la demanda o la ocurrencia de algunos eventos que pueden requerir la adaptación de la cadena de suministro). Pueden causar una desviación (disrupción) de la cadena de suministro o no (por ejemplo, puede ser robusta y lo suficientemente adaptable para superar la perturbación).
- 4) Las *Interrupciones (desviaciones)* son el resultado de las influencias de perturbación. Pueden afectar las operaciones, procesos, planes, objetivos o estrategias. Para ajustar la cadena de suministro en el caso de desviaciones, necesitan tomarse medidas de adaptación.

Por otro lado, los gerentes prefieren tomar decisiones con más certeza, por lo que ven toda incertidumbre como indeseable. Por implicación, la mejor opción es la que tiene menos riesgo. Sin embargo, hay que mantener el equilibrio, no debemos limitarnos a los efectos negativos de la incertidumbre y el riesgo, también, hay que considerar las cosas que podrían ir bien (Waters, 2007).

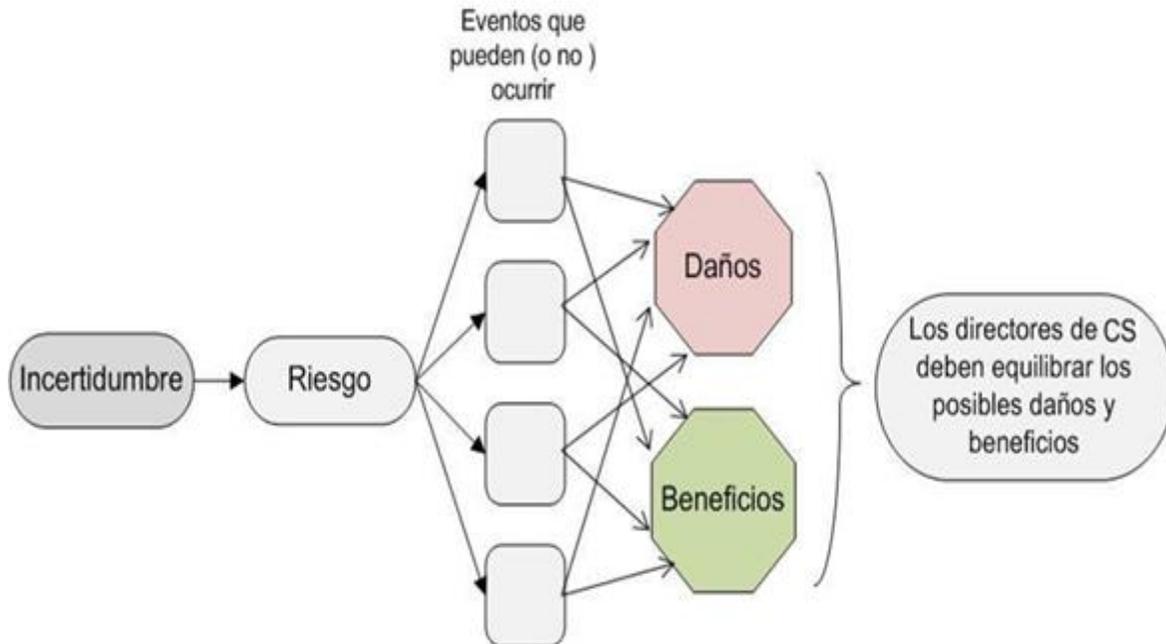


Figura 2. Equilibrando el daño potencial y los beneficios de los riesgos (Waters, 2007).

Finalmente, se debe de buscar además de reducir, eliminar y controlar el riesgo, oportunidades derivadas u ofrecida por el riesgo e incertidumbre. Asimismo, en la búsqueda del equilibrio se deberá tener en cuenta invariablemente las amenazas y no solo los beneficios potenciales de riesgo.

1.1.2 Tipología de riesgos en la cadena de suministro

Existen riesgos que son externos y los que son interno a la cadena de suministro. Los riesgos externos provienen de las interacciones de las cadenas de suministro con su entorno, pueden surgir de los desastres naturales, las guerras, el terrorismo y las epidemias, o de las restricciones legales impuestas por el gobierno. Los riesgos internos surgen como resultado de cómo está estructurada y administrada la cadena de suministro. Mientras que los riesgos externos no pueden ser influenciados por las acciones de la gerencia, los internos sí (Cranfield School of Management, 2002).

Las cadenas de suministro están expuestas a un nuevo conjunto de factores, que pueden crear el caos e interrupciones. Disturbios políticos, la complejidad cada vez mayor y la incertidumbre del ambiente, y una multitud de otros aspectos crean riesgos externos en la cadena de suministro. Pero esto no significa que la cadena de suministro es carente de cualquier riesgo internamente. Cuestiones de proveedor, problemas de suministro, los problemas de demanda, etc., son los riesgos internos en la cadena (Cranfield School of Management, 2002).

Christopher y Peck (2004), clasifican los riesgos de la cadena de suministro en cinco categorías:

- Riesgo de proceso.
- Riesgo de control.
- Riesgo de demanda.
- Riesgo de suministro.
- Riesgo ambiental.

La siguiente figura muestra las conexiones entre las cinco fuentes de riesgo. En estas fuentes se debe examinar los riesgos para la empresa que originan una interrupción:

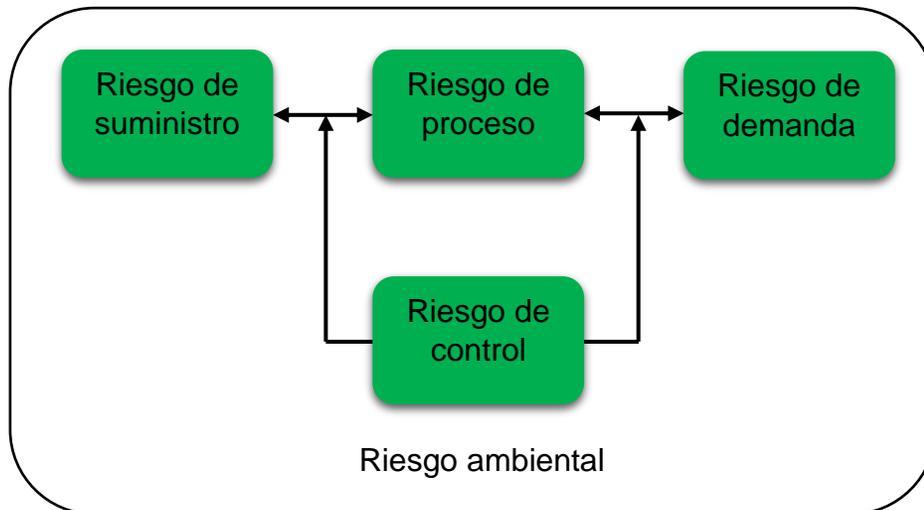


Figura 3. Conexiones entre las fuentes de riesgo (Christopher & Peck, 2004).

Suministro	<ul style="list-style-type: none"> •Qué tan vulnerable es la empresa a rupturas en el suministro? El riesgo puede ser más elevado debido al abastecimiento global, dependencia de proveedores clave, pobre administración del suministro, etcétera.
Demanda	<ul style="list-style-type: none"> •¿Qué tan volátil es la demanda? ¿El efecto “látigo” ocasiona amplificación de la demanda? ¿Existen interacciones paralelas donde la demanda por otro producto afecta nuestra demanda?.
Proceso	<ul style="list-style-type: none"> •¿Qué tan resilientes son nuestros procesos? ¿Entendemos las fuentes de variabilidad en aquellos procesos, p. ej., fabricación? ¿Dónde están los cuellos de botella? ¿Cuánta capacidad adicional está disponible si se requiere?.
Control	<ul style="list-style-type: none"> •Qué tan probables son las rupturas y distorsiones que pueden ocasionar nuestros propios procesos de control internos? Por ejemplo, cantidades de órdenes, tamaño de los lotes y políticas de stock de seguridad que puedan distorsionar la demanda real. Nuestras propias reglas y políticas de decisión pueden ocasionar “caos”.
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> •¿En qué parte de la cadena de suministro en su conjunto somos vulnerables a fuerzas externas? Aunque el tipo y momentos de eventos externos extremos no son predecibles, se necesita evaluar su impacto.

Figura 4. Fuentes de riesgo en la cadena de suministro (Christopher, 2011)

Es importante que la alta dirección entienda que el riesgo es un impacto directo o indirecto de acuerdo con las decisiones estratégicas que ella tome. Por tanto, la decisión, por ejemplo, de transferir la producción desde una fábrica en Europa Occidental a China, debe examinarse en términos de cómo afectará la vulnerabilidad de las cinco fuentes de riesgo descritas. En resumen, la tipología de los riesgos en la cadena de suministro es la siguiente:

Origen	Fuente	Frecuencia	Severidad
Interno	Suministro	Improbable	Insignificante
Externo	Demanda	Raro	Moderado
	Procesos	Posible	Fuerte
	Control	Casi seguro	Significante
	Ambiental	Crónico	Catastrófico

Tabla 1. Tipología de los riesgos en la cadena de suministro (Elaboración propia).

1.2 Problemática relacionada con riesgo en la cadena

El análisis del riesgo en la cadena de suministro es un área que adquiere cada vez más importancia en la actualidad. La necesidad de un adecuado análisis de riesgo ha sido identificada como un área de oportunidad en los perfiles actuales de las cadenas de suministro.

Actualmente, gran cantidad de las organizaciones y de los tomadores de decisión no tienen claro cómo identificar, evaluar, controlar o mitigar y monitorear el riesgo. Por su puesto no pueden prever las posibles interrupciones y consecuencias en las cadenas de suministro, debido a que el riesgo se puede presentar de muchas formas y en todos los elementos. Es decir, puede afectar a cualquier punto de la cadena de suministro desde el proveedor inicial hasta el cliente final.

En la cadena de suministro, las interrupciones o disrupciones tienen impactos representativos en la empresa y el desempeño financiero. Pueden afectar un punto específico de la cadena de suministro y quedar contenido ahí, o puede propagarse por la cadena y ocasionar daños con impactos globales e irreversibles en la cadena de suministro. Aunque los impactos exactos de las interrupciones son difíciles de medir, el impacto financiero de estas interrupciones se puede estimar.

Las Interrupciones en la cadena de suministro son, sin duda, difícil de predecir, pero las organizaciones pueden controlar el grado en que estas alteraciones podrían afectar su cadena de suministro. Con ese fin, para las empresas es cada vez más importante desarrollar las capacidades de evaluación de riesgos y las herramientas, que permitan a los gestores de la cadena de suministro comprender mejor los riesgos y desarrollar estrategias de mitigación adecuadas.

Predecir con exactitud las interrupciones y mitigar completamente los riesgos es improbable y muy costoso, pero la aplicación de buenas prácticas de gestión de riesgos permitirá a los tomadores de decisión estar mejor preparados para gestionar los riesgos y reducir sus efectos. Conocer, tu cadena de suministro, los riesgos, y las mejores estrategias de mitigación te ayudará a estar siempre preparado para las decisiones apropiadas.

La mayoría de las empresas han sido golpeadas por una interrumpida demanda o suministro en los últimos años, por desastres naturales, por la volatilidad económica; sufren pérdidas en ventas o ingresos y experimentan menores ganancias como resultado de una interrupción. En consecuencia, la administración de riesgo en la cadena de suministro (SCRM, Supply Chain Risk Management) ha ganado tan rápidamente importancia en los últimos años.

Diversas encuestas e informes han mostrado que las cadenas de suministro modernas enfrentan desafíos que extienden sus capacidades hasta el punto de ruptura. Debido a que existe un creciente número y frecuencia de interrupciones. Por ejemplo:

El reporte “APICS 2012 Supply Chain Risk Insights and Innovations” de APICS, en el que participaron más de 18,000 profesionales en cadena de suministro revela los siguientes resultados (Apics, 2012):

- Más de la mitad de los encuestados tienen responsabilidades en la gestión de la cadena de suministro. De los cuales el 44% informó que no incluyen el cálculo del riesgo en la evaluación de los procesos y remuneración para los socios.
- 12% de los encuestados indicaron que sus organizaciones nunca han practicado la gestión de riesgos o la planificación de la cadena de suministro y el 21 % de los encuestados no tienen experiencia en la implementación o la práctica de la gestión de riesgos de la cadena de suministro.
- 33% de los encuestados indicaron que sus organizaciones tienen un plan de mitigación de riesgos en su lugar para proveedores, mientras que 21% de los encuestados dijeron que están desarrollando planes de mitigación de riesgo.
- Los beneficios más sustanciales para mejorar la capacidad de recuperación de la cadena de suministro proviene de la mejora de relaciones con los socios (65%) y la mejora de mapeo de riesgos en la cadena de suministro (50%).

Otro informe “Administración del riesgo en la cadena de suministro 2014” de APICS México, realizado mediante una encuesta por internet, en el que participaron 278 empresas mexicanas y algunas de América Central y América del Sur, de diferentes tamaños y sectores productivos, exhibe los siguientes resultados (Campos, 2014):

- 51% de los participantes reportaron haber tenido al menos una interrupción de su cadena de suministro en los últimos 24 meses.
- 30% de las empresas cuentan con una clasificación predefinida para identificar y controlar los riesgos.
- 63% de las empresas indicó no tener un plan formal para comunicar las desviaciones originadas por los eventos de riesgos.
- La mitad de los participantes indicaron no solicitar planes de riesgo a sus socios y el 65% indicaron que ninguno de sus socios se los solicita a ellos.

En estos informes, se muestra que mejorar la colaboración en la cadena de suministro entre socios y proveedores es una estrategia efectiva para enfrentar el riesgo. El riesgo está presente en todos los entornos, pero la gestión del riesgo en la cadena de suministro produce información útil para ayudar a anticipar y dar prioridad a los esfuerzos para reducir los efectos negativos.

El informe "Managing Risk in the Global Supply Chain 2014" de The University of Tennessee patrocinado por UPS, que analiza datos de más de 150 diferentes ejecutivos de la cadena de suministro, presenta algunas conclusiones sorprendentes. A pesar de los últimos desafíos sin precedentes, parece que muchos ejecutivos de la cadena de suministro han hecho muy poco para gestionar formalmente el riesgo de la cadena de suministro (Dittmann, 2014). En particular:

- Ninguno (0%) de los encuestados utilizan expertos externos en la evaluación de riesgo de sus cadenas de suministro.
- 90% de las empresas no cuantifican el riesgo cuando externalizan la producción.
- 66% de los encuestados tienen gestores de riesgos en sus empresas, ya sea en legal o de cumplimiento, pero prácticamente todas esas funciones internas ignoran el riesgo de la cadena de suministro.
- 100% de los ejecutivos de la cadena de suministro reconocieron el seguro como una herramienta muy eficaz de mitigación de riesgos, pero no lo contrataron, ni era de su interés.

Unos de los hallazgos más sorprendentes en este informe es que ninguno de los encuestados utiliza expertos externos en la evaluación del riesgo. Dar a este tema menor atención de la que merece puede retrasar la fortificación de la cadena de suministro y puede atenuar el desempeño financiero de la organización.

Finalmente, el reporte "Supply Chain Resilience Report 2015" de Business Continuity Institute, que los datos proceden de 537 empresas encuestadas con sede en 67 países, muestra algunos puntos interesantes (Alcantara & Riglietti, 2015):

- 74% de los encuestados reportan al menos un caso de interrupción en cadena de suministro del año pasado.
- 72% de los encuestados no tienen una visibilidad completa de sus cadenas de suministro.
- 58% de las organizaciones no aseguran las pérdidas por interrupción de la cadena de suministro.

- El 50% de las interrupciones se originan abajo del proveedor Tier 1 y el 31% de las organizaciones no analizan sus cadenas de suministro para identificar la fuente de la interrupción.
- La pérdida de productividad (58%), las quejas de clientes (40%), el aumento del costo de trabajo (39%), y la pérdida de los ingresos (38%) fueron las consecuencias más frecuentes de interrupciones en la cadena de suministro.
- 14% reportan pérdidas acumuladas anuales de al menos € 1, 000,000 debido a interrupciones en la cadena de suministro. 9% registran pérdidas de al menos de € 1 millón derivados de un solo incidente.

Los resultados de este estudio confirman que las interrupciones en la cadena de suministro son costosas y pueden causar un daño significativo a la organización. También, se identifica la importancia referente a la adopción de estrategias que aseguren la capacidad de mitigación en la cadena de suministro.

Observando estos datos claves y aspectos relevantes asociados con el riesgo dentro de la cadena de suministro, es evidente que es necesario proteger la cadena de suministro de graves y costosas interrupciones. A pesar de la investigación realizada en el campo de análisis de riesgo en la cadena de suministro, se conoce poco acerca de cómo medir la capacidad de mitigación del riesgo de manera satisfactoria y oportuna.

Es clara la necesidad de un mayor análisis de riesgo, de identificarlo, evaluarlo y mitigarlo, y también, desarrollar un método de cuantificación de mitigación de riesgo en la cadena de suministro. Con el creciente costo de la interrupción de la cadena de suministro, las inversiones en esta área son esenciales y pueden marcar la diferencia en caso de adversidad. Todo lo anterior para desarrollar ventajas competitivas en las cadenas de suministro cada vez más globalizadas y complejas.

1.2.1 Reconociendo la vulnerabilidad en la cadena de suministro

La complejidad de la cadena de suministro –que tiende a aumentar- trae consigo mayores niveles de riesgo y por lo tanto vulnerabilidad. Las cadenas de suministro que comprenden varias empresas, que se extiende sobre varios niveles, presentan numerosos riesgos. En términos generales, estos riesgos se pueden clasificar en dos tipos: los riesgos que surgen dentro de la cadena de suministro y los riesgos externos a la misma (Christopher, 2011).

Los riesgos internos y los riesgos externos influyen en la vulnerabilidad de la cadena de suministro. Aunque los dos tienen fuentes independientes, la aparición simultánea de ambos riesgos y las interacciones entre ellos intensifica el daño a la cadena de suministro. Por lo tanto, la vulnerabilidad de la cadena de suministro puede ser definido como “una exposición a perturbaciones graves, derivadas de riesgos dentro de la cadena de suministro, así como los riesgos externos a la cadena de suministro” (Cranfield School of Management, 2002).

En consecuencia, la gestión de riesgo de la cadena de suministro tiene como objetivo identificar las áreas de riesgo potencial y la implementación de las acciones apropiadas para contener ese riesgo. Por lo tanto, se puede definir como: "la identificación y gestión de riesgos dentro de la cadena de suministro y los riesgos externos a ella a través de un enfoque coordinado entre los miembros de la cadena de suministro para reducir la vulnerabilidad en su conjunto" (Cranfield School of Management, 2002).

El riesgo es omnipresente para cualquier cadena de suministro, siempre existe algún elemento de riesgo. Hay un número de factores que han surgido en los últimos años que podrían considerarse que han aumentado el nivel de riesgo. Éstos incluyen:

- La globalización de las cadenas de suministro.
- Un enfoque en la eficiencia en lugar de la eficacia.
- La tendencia a la externalización.
- La reducción de la base de proveedores.
- La volatilidad de la demanda.
- La falta de visibilidad de la cadena de suministro.
- Etc.

1.3 La necesidad de la administración del riesgo

Las cadenas de suministro de hoy son vulnerables a las interrupciones con grandes consecuencias. Sin un medio para la respuesta, tales interrupciones pueden tener gran impacto en términos de costo y tiempo de recuperación a la empresa (y sus clientes, así como proveedores). Algunas razones son: (1) Las cadenas de suministro tienen más puntos de posible interrupción que en el pasado; (2) Estas cadenas de suministro tienen menos visibilidad, es lenta la toma de decisiones y no hay respuesta en caso de una interrupción; y (3) Las soluciones locales causan problemas en otras partes de la cadena de suministro (M. S. Sodhi & Tang, 2012).

Uno de los problemas más críticos que enfrentan los gerentes de la cadena de suministro en el actual, globalizado y altamente incierto ambiente de negocios es cómo hacer frente de forma proactiva a las perturbaciones, que puedan afectar a las cadenas de suministro complejas que caracterizan a las empresas modernas.

La gestión del riesgo se vuelve más relevante cada día por la creciente importancia que ha adquirido para las empresas. Sodhi y Tang (2012), consideran que la gestión del riesgo en la cadena de suministro comprende cuatro etapas:

1. Identificación de riesgos: Es un primer paso para gestionar los riesgos de la cadena de suministro.
2. La evaluación de estos riesgos: Es un paso crítico porque los resultados de la evaluación del riesgo puede influir en las decisiones (de priorización, la asignación de recursos) a realizar por la organización y el compromiso de su alta dirección.
3. La mitigación de estos riesgos: La reducción de la probabilidad de ocurrencia de un riesgo en particular, la reducción de su impacto potencial o reducir tanto como sea posible.
4. Monitoreo y control de los riesgos: Se evalúan y ajustan las medidas de mitigación para acelerar la recuperación, y también, se monitorean los riesgos a través del tiempo.

Como se ha mencionado, las cadenas de suministro son cada vez más extensas y complejas, lo que refleja el mercado dinámico y global. La adopción de la gestión de riesgo para el control de riesgos y vulnerabilidades emergentes o que influyen en las cadenas nuevas y cambiantes puede ser una acción sabia para asegurar el éxito de la cadena de suministro.

Capítulo 2. Gestión integral del riesgo

“Ningún viento es favorable para el que no sabe a dónde va”, Lucio Anneo Séneca.

En este capítulo, se muestra el estado del arte de riesgo en la cadena de suministro. Se exponen las estrategias para mitigar y equilibrar el riesgo en la cadena de suministro. Luego, se menciona la forma de construir la resiliencia y la mejor adaptabilidad. Finalmente, se presenta un marco para construir una cadena de suministro resiliente.

2.1 Estado del arte de riesgo en la cadena de suministro

La gestión del riesgo consiste en identificar, evaluar, mitigar, y monitorear y controlar los riesgos en la cadena de suministro. La siguiente tabla, muestra algunos de los artículos más relevantes en el estudio de riesgo de algunos autores, que discuten específicamente la definición o el alcance de riesgos y la incertidumbre de la cadena de suministro.

Artículos (en orden cronológico)	Alcance de riesgo
(Juttner, Peck, & Christopher, 2003)	Con base en: fuentes de riesgo ambiental, fuentes de riesgo de la red, y las fuentes de riesgo de la organización. Considera las siguientes estrategias de mitigación: Evitar, control, cooperación y flexibilidad.
(Spekman & Davis, 2004)	Seis dimensiones de la cadena de suministro como fuentes de riesgo, 1) Suministro, 2) flujo de información, 3) flujo financiero, 4) la seguridad del sistema de información interna de la empresa, 5) relación con los socios, y 6) responsabilidad social corporativa.
(Cavinato, 2004)	Con base en cinco sub-cadenas / redes como fuentes de riesgo, 1) física, 2) financiera, 3) informacional, 4) relacional e 5) innovacional.

(Chopra & Sodhi, 2004)	Categoriza los riesgos de la cadena de suministro a un nivel alto como interrupciones o retrasos. Estos riesgos se refieren a 1) sistemas, 2) pronóstico, 3) propiedad intelectual, 4) cuenta por cobrar, 5) inventario y 6) riesgo de capacidad. Adicionalmente, sugiere estrategias de mitigación para estas categorías de riesgo.
(Christopher & Peck, 2004)	Categoriza los riesgos de la cadena de suministro como 1) proceso, 2) control, 3) demanda, 4) suministro y 5) ambiental. También, menciona cómo crear la cadena de suministro resiliente, esta se logra mediante: reingeniería de la cadena de suministro, colaboración, agilidad y crear una cultura de gestión de riesgo en la cadena de suministro.
(Kleindorfer & Saad, 2005)	Con base en las fuentes y las vulnerabilidades de los riesgos, 1) contingencias operativas, 2) peligros naturales, y 3) terrorismo e inestabilidad política, desarrolla un marco conceptual que refleja las actividades conjuntas de evaluación de riesgos y la mitigación.
(Bogataj & Bogataj, 2007)	Categoriza los riesgos de la cadena de suministro como 1) riesgos de suministro; 2) riesgos de proceso; 3) riesgos de demanda; y 4) riesgos de control y 5) ambiental. Además, desarrolla un modelo de medición de riesgo con basado en trabajos previos.
(Sodhi & Lee, 2007)	Categoriza los riesgos de la cadena de suministro en la industria de la electrónica de consumo en términos generales como aquellos que requieren decisiones estratégicas y los que requieren las decisiones operativas, en tres categorías: 1) suministro, 2) demanda, y 3) riesgos contextuales.
(Tang & Tomlin, 2008)	Categoriza los riesgos de la cadena de suministro como 1) suministro, 2) proceso, y 3) riesgos de demanda, 4) riesgos de propiedad intelectual, 5) riesgos conductuales, y 6) riesgos políticos / sociales. También, señala las estrategias de mitigación basadas en flexibilidad para reducir riesgos de suministro, procesos y demanda.

(Manuj & Mentzer, 2008)	Categoriza los riesgos de la cadena de suministro como 1) suministro, 2) operaciones, 3) demanda y 4) otros riesgos incluyendo los riesgos de seguridad y de divisas. Sugiere seis estrategias de gestión de riesgos en función de la naturaleza de la demanda y la incertidumbre de suministro: aplazamiento, especulación, cobertura, control / compartir / transferir, seguro y evitar.
(Oke & Gopalakrishnan, 2009)	Considera riesgos de alta frecuencia de bajo impacto y baja frecuencia de alto impacto en tres categorías principales: 1) Suministro, 2) demanda y riesgos diversos en el sector retail. Investiga las estrategias de mitigación para hacer frente a estos riesgos, e identifica las estrategias genéricas que podrían manejar la mayoría de los tipos de riesgo, así como estrategias específicas para el manejo de riesgos particulares.
(Christopher, Mena, Khan, & Yurt, 2011)	Basado en cómo los gerentes evalúan los riesgos del aprovisionamiento global en toda la cadena de suministro y qué medidas se toman para mitigar esos riesgos. Menciona las siguientes estrategias para mitigar riesgos en el aprovisionamiento global: reingeniería de la cadena de suministro, colaboración, agilidad y crear una cultura de gestión de riesgo en el aprovisionamiento global.
(Chopra & Sodhi, 2014)	Considera construir la resiliencia mediante la segmentación o la regionalización de las cadenas de suministro. Otros hallazgos son: limitar las pérdidas en el rendimiento al evitar mucho la centralización de los recursos y a largo plazo, invertir demasiado en la protección puede ser más rentable que no invertir suficiente.

Tabla 2. Artículos de estudio de riesgo en la cadena de suministro (Elaboración propia).

2.2 Cuantificación y evaluación del riesgo dentro de la cadena de suministro

La estructura de la gestión del riesgo consta de cuatro pasos:

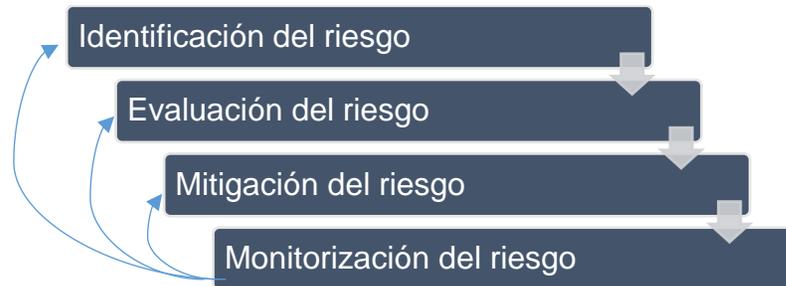


Figura 5. Estructura de la gestión del riesgo en la CS (Elaboración propia).

Algunos gestores y directores reconocen y sienten que la gestión del riesgo es imprescindible e incluso reconocen que sus beneficios son mayores que sus costos, pero su introducción todavía necesita un poco de impulso.

En el primer paso los riesgos deben ser identificados a lo largo de la cadena de suministro. En este sentido, es muy importante la clasificación de los riesgos (revisada en el capítulo 1.1.2) para tener una visión amplia y poder identificarlos. Se deberá identificar de los puntos débiles y críticos a lo largo de la cadena de suministro. Posibles métodos de identificación de riesgos son:

- Lista de Verificación (Checklists).
- Diagrama de Causa –Efecto.
- Análisis de Pareto.
- Entrevistas.
- Método de Delphi.
- Diagrama de proceso.
- Gestión de eventos de la cadena de suministro.
- Etc.

En el segundo paso los riesgos identificados deberán ser evaluados. Como no todos los tipos de riesgo son igualmente importantes para una empresa, una priorización o puntuación debe hacerse. Un enfoque común es evaluar los riesgos en función de su probabilidad de ocurrencia y su impacto o consecuencia de que ocurra. Los datos

pueden ser recogidos ya sea a partir de fuentes externas, por ejemplo, estadísticas o fuentes internas, por ejemplo, las experiencias del pasado y los pronósticos.

Los riesgos de la cadena de suministro pueden ser analizados y evaluados en términos tanto cualitativos como cuantitativos, en particular mediante el uso de técnicas que asignan valores a los impactos potenciales y probabilidad de ocurrencia, por ejemplo, mediante el uso de matrices de riesgo. La evaluación cuantitativa de riesgo en la cadena de suministro puede ser apoyada por el análisis estadístico, al igual que el uso de análisis modo de fallos y efectos (AMFE) o Seis Sigma.

La evaluación y la comprensión de la interrelación de los riesgos y su impacto asociado es el verdadero reto. El riesgo se caracteriza por dos rasgos fundamentales:

- El impacto de las posibles consecuencias adversas.
- La probabilidad de ocurrencia de cada consecuencia.

En este sentido, es factible usar las siguientes matrices para evaluar el riesgo:

A) En términos cualitativos

Probabilidad

Muy alto	Moderado	Moderado	Alto	Alto	Alto
Alto	Bajo	Moderado	Moderado	Alto	Alto
Moderado	Bajo	Moderado	Moderado	Moderado	Alto
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado
Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado
	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
					Tolerancia

Impacto en la cadena de suministro

Tabla 3. Matriz para evaluar el riesgo en términos cualitativos (Elaboración propia).

El análisis cualitativo es preferible cuando el nivel de riesgo es relativamente bajo, y por lo tanto la obtención de los datos necesarios para el análisis basado en datos podría ser demasiado costoso.

B) En términos cuantitativos

Probabilidad

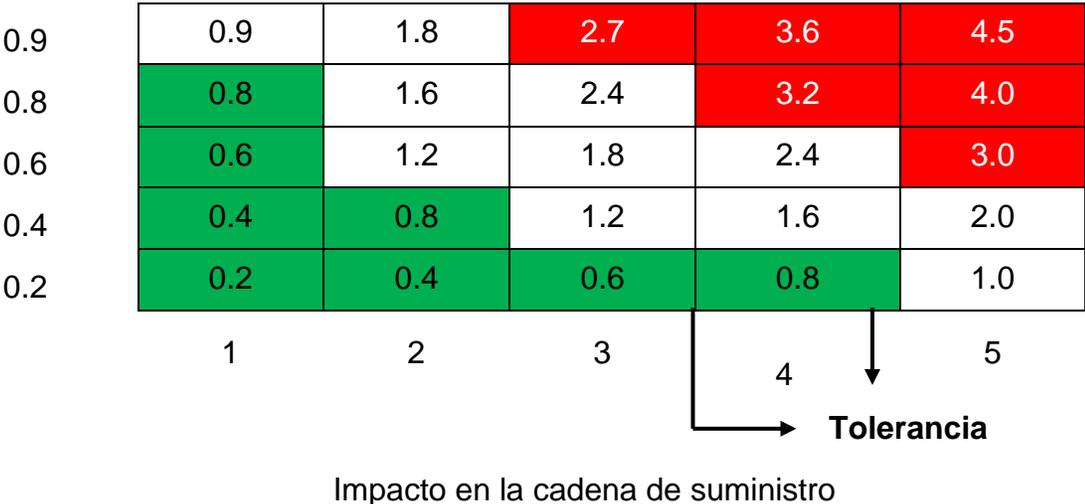


Tabla 4. Matriz para evaluar el riesgo en términos cuantitativos (Elaboración propia).

Por otra parte, se recomienda el análisis cualitativo, cuando una amplia información acerca de los riesgos es compartida por muchas personas de diferentes funciones, donde hay una variedad de percepciones de riesgo y antecedentes.

También, es útil describir las categorías de riesgo en un diagrama que muestra la gravedad relativa. El formato más común para esto es un mapa de riesgos. Aquí se muestran los riesgos individuales como puntos en un gráfico, eje vertical que muestra la probabilidad de ocurrencia y el eje horizontal que muestra las consecuencias o impactos.

La siguiente figura representa un mapa de riesgos, en el que cual son valorados y deben de ser atendidos por nivel de importancia Los gerentes deben prestar claramente más atención a los riesgos que están más alejadas del origen y menos atención a los que están más cerca del origen.

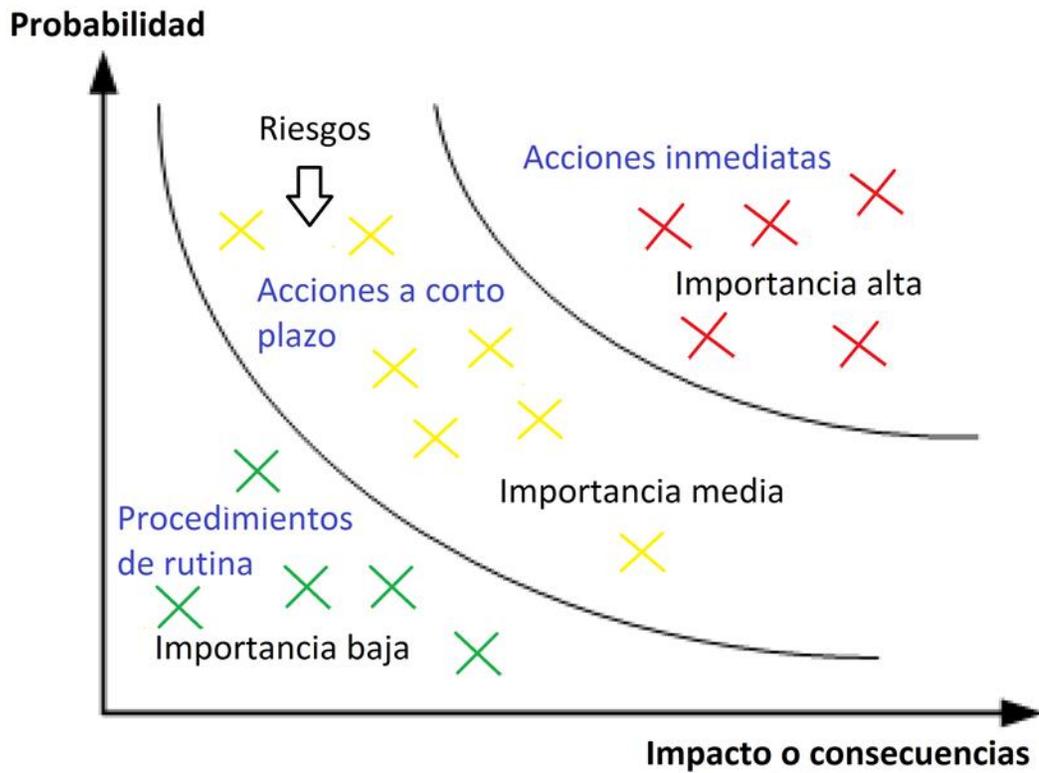


Figura 6. Valoración de los riesgos en la cadena de suministro (Waters, 2007).

En todos los casos, el objetivo de la evaluación de riesgos es proporcionar una valoración de los riesgos inherentes y residuales, y para priorizar y seleccionar las acciones adecuadas de mitigación de riesgo basados en la información y datos disponibles.

2.3 Mitigando y equilibrando el riesgo en la cadena de suministro

En el tercer paso de la gestión de riesgo, se desarrollan, evalúan y seleccionan las medidas de mitigación para los riesgos identificados y evaluados. Las medidas de mitigación se pueden clasificar de acuerdo a su capacidad: evitar, reducir, transferir o aceptar el riesgo. Con respecto a las medidas de reducción, algunas de ellas reducen la probabilidad de la ocurrencia del riesgo, mientras que otros reducen la magnitud de los daños.

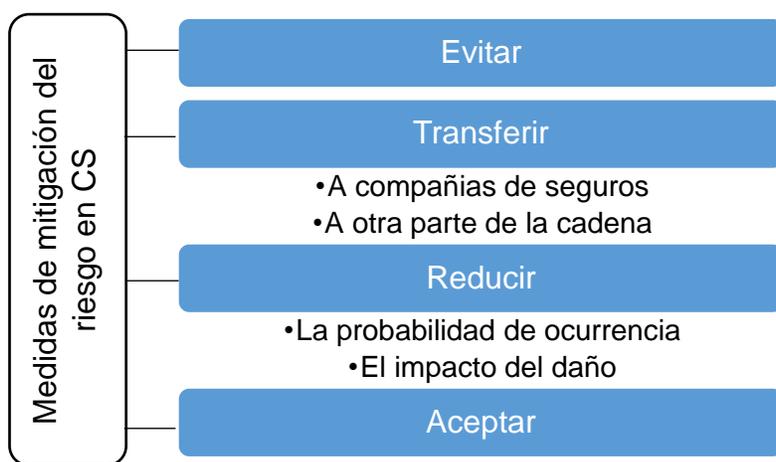


Figura 7. Medidas de mitigación del riesgo en la cadena de suministro (Elaboración propia).

Evitar o eliminar, es la decisión de no crear una situación de riesgo o eliminar por completo una exposición al riesgo ya existente. Se utiliza la estrategia de evitación cuando el riesgo se considera inaceptable. Por ejemplo, en el caso de actuar en determinado mercado geopolítico, o trabajar con proveedores o clientes particulares o que involucre una tecnología de alto riesgo (Manuj & Mentzer, 2008).

Reducir el riesgo juega un papel notablemente más importante entre las medidas de mitigación. Se divide en dos tipos de medidas: prevención de daño y la reducción de daños o pérdidas. Mientras que el primer grupo de medidas reduce la probabilidad de ocurrencia, el segundo grupo de medidas trata de mantener el impacto de un riesgo ocurrido lo más bajo posible.

Transferir es una medida que cambia el riesgo a otra parte en la cadena de suministro, que es capaz de manejar la exposición al riesgo mejor debido a los conocimientos, las competencias esenciales, etc. Esto se puede hacer mediante el uso de las cláusulas contractuales, la subcontratación, la externalización de determinados procesos a socios externos o contratación de seguros. Sin embargo,

en la mayoría de los casos, esto implica únicamente la transferencia de riesgos financieros, mientras que los efectos indirectos, como pérdida de ventas, entregas tardías o publicidad negativa permanecen con el tomador inicial de riesgo. La medida en que una compañía de seguros cubre el riesgo depende de los términos y condiciones.

Otra opción de mitigación es *aceptar* el riesgo. Esto significa que el riesgo se toma conscientemente. La aceptación del riesgo se produce a veces en forma involuntaria, ya que los riesgos que no pueden ser manejados por otras medidas de mitigación tienen que ser tomados. Es indispensable la provisión de recursos suficientes para superar la pérdida o daño sin poner en peligro significativamente la existencia de la empresa.

La selección de las medidas de mitigación de riesgo en la cadena de suministro, por su puesto, depende de los recursos de la organización y su capacidad de respuesta, así como, del conocimiento sobre la gestión de los riesgos, etc. A continuación, se muestra una figura sobre las medidas de mitigación en función de su efecto (Impacto o probabilidad de ocurrencia), con la intención de tener más clara la selección de las medidas de mitigación:

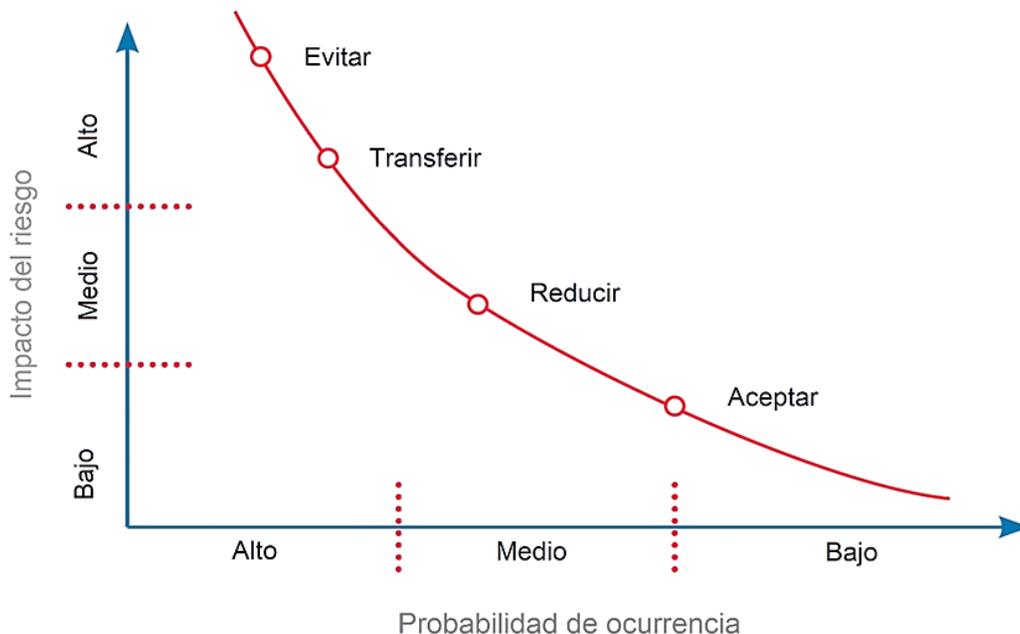


Figura 8. Medidas de mitigación en función de su efecto. Elaboración propia a partir de (Schwarz, 2015).

De la misma manera, se muestra una tabla, para ampliar un poco sobre las medidas de mitigación.

		Impacto			
		Valor	Bajo	Medio	Alto
Probabilidad	Alta		Transferir	Evitar	Evitar
	Media		Reducir	Transferir/Reducir	Transferir
	Baja		Aceptar	Reducir	Reducir

Tabla 5. Medidas de mitigación en función de probabilidad e impacto (Elaboración propia).

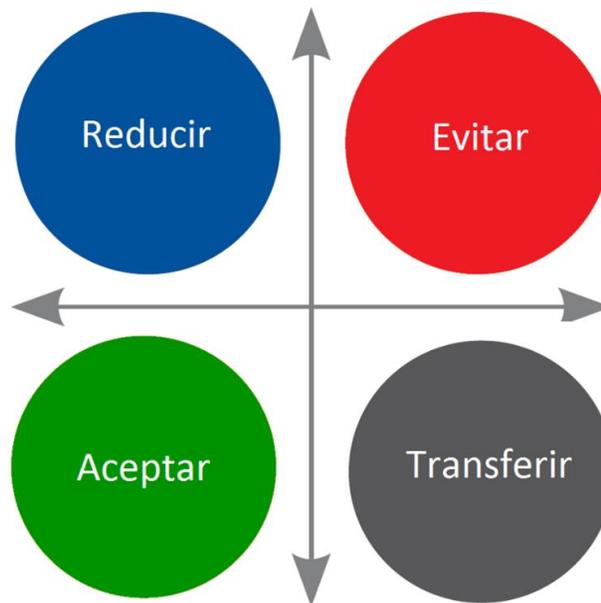


Figura 9. Las cuatro medidas de mitigación de riesgo (Elaboración propia).

Estas opciones suelen estar relacionados entre sí y, en muchos casos, la selección de una estrategia puede exigir el uso de otro (por ejemplo, una estrategia de reducción implica evitar algunos riesgos).

Hay muchas medidas para mitigar y controlar los riesgos dentro de las cadenas de suministro. Una estrategia fundamental sería la de tratar de hacer un gran trabajo en las medidas fundamentales de desempeño de la cadena de suministro del cumplimiento consistente de órdenes, la confiabilidad de entrega y la satisfacción del cliente. Sin embargo, muchas organizaciones eficaces han fracasado ante los cambios del mercado o los riesgos catastróficos.

Algunas de las estrategias de mitigación propuestas para las cadenas de suministro son:

(Juttner et al., 2003)	(Chopra & Sodhi, 2004)	(Tang & Tomlin, 2008)	(Khan & Burnes, 2007)
Evitación (productos, proveedores y clientes, etc.)	Adicionar capacidad	Hacer y comprar	Buffers (en inventario y capacidad)
Control (integración vertical, buffers)	Adicionar inventario	Inventario estratégico	Aprovisionamiento múltiple
Cooperación (compartir información, plan de continuidad)	Proveedores Redundantes	Gestión de ingresos	Información compartida
Flexibilidad (aplazamiento, aprovisionamiento múltiple, etc.)	Aumentar capacidad de respuesta	Aplazamiento	Diferenciación del producto
	Aumentar flexibilidad	Base de suministro flexible	Involucramiento y desarrollo de proveedores
	Consolidar demanda	Planeación de surtido dinámico	Toma de riesgo
	Incrementar capacidad	Transporte flexible	

Tabla 6. Algunas estrategias de mitigación de riesgo en la cadena de suministro (Elaboración propia).

(Wagner & Bode, 2008)	(Manuj & Mentzer, 2008)	(Christopher et al., 2011)	(Chopra & Sodhi, 2014)
Monitorear proveedores	Expandir donde tiene ventaja competitiva	Reingeniería de la cadena de suministro	Segmentación de la cadena de suministro
Planes de contingencia	Dejar proveedores problemáticos	Creación de una cultura de gestión del riesgo	Regionalización de la cadena de suministro
Diferenciación del producto	Externalizar demanda de baja probabilidad	Agilidad (visibilidad y velocidad)	
Información compartida	Compartir/ transferir	Colaboración de la cadena de suministro	
Seguros	Dejar clientes problemáticos		
	Protección (seguros, etc.)		

Tabla 7: Algunas estrategias de mitigación de riesgo en la cadena de suministro B (Elaboración propia).

En estas tablas se mencionan una variedad estrategias de:

- **Evitar:** Dejar clientes problemáticos, dejar proveedores problemáticos, evitar productos o mercados si son poco confiables.
- **Reducir:** Aprovisionamiento múltiple, aplazamiento, diferenciación del producto, flexibilidad, bases de suministro flexible, agilidad, colaboración, información compartida.
- **Transferir:** Seguros, compartir/transferir, desarrollo de proveedores, etc.
- **Aceptar** Buffers, inventario estratégico, adicionar capacidad, adicionar inventario, plan de contingencias, etc.

Por otra parte, tenemos medidas de mitigación por tipos de riesgo:

Medidas de mitigación para riesgos de suministro.

Integración	<ul style="list-style-type: none">• Desarrollar la habilidad para producir bienes que eran antes adquiridos o comercializados por otros.
Alianzas estratégicas	<ul style="list-style-type: none">• Cooperar con otras organizaciones para mejorar habilidades, asegurar el suministro y reducir los costos.
Certificación de proveedores	<ul style="list-style-type: none">• Validar las capacidades de los procesos de los proveedores.
Desarrollo de proveedores	<ul style="list-style-type: none">• Disponer de fuentes alternas de suministro y/o mejorar servicio, calidad, costo o desempeño .

Medidas de mitigación para riesgos de procesos.

Externalización	<ul style="list-style-type: none">• Transferir procesos hecho internamente a empresas especializadas.
Colaboración	<ul style="list-style-type: none">• Desarrollar procesos colaborativos a lo largo de la Cadena CPFR, diseño concurrente .
Visibilidad	<ul style="list-style-type: none">• Compartir información en tiempo real y acelerar la captura (RFID) y transmisión del punto de venta (POS).
Procesos certificados	<ul style="list-style-type: none">• ISO (9000, 28000 (Seguridad en Cadena), tipo CTPAT)).

Medidas de mitigación para riesgos de control.

ISO 9000	<ul style="list-style-type: none">•Desarrollar sistemas de aseguramiento de calidad para procesos de manufactura y administrativos.
6 Sigma	<ul style="list-style-type: none">•Trabajar en la mejora de procesos reduciendo las inconformidades.
Visibilidad/ Trazabilidad	<ul style="list-style-type: none">•Construir modelos que permitan visibilidad sobre la demanda real y el movimiento de los materiales (RFID).

Medidas de mitigación para riesgos del ambiente.

Monitoreo climático	<ul style="list-style-type: none">•Impactos del entorno.•Impactos hacia el entorno.
Inteligencia de negocios	<ul style="list-style-type: none">•Business Analytics.•Análisis de competencia.
Seguimiento regulaciones	<ul style="list-style-type: none">•Monitorear cambios regulatorios.

Medidas de mitigación para riesgos de demanda.

Aplazamiento	<ul style="list-style-type: none">•No terminar un producto hasta recibir la orden del cliente.•Recibiendo la orden, terminar rápidamente.
Inventario de estratégico	<ul style="list-style-type: none">•Mantener Inventario en función: Visión del riesgo de faltante, Temporalidad, Costo de mantener vs faltante, Espacio disponible.
Reservas de capacidad	<ul style="list-style-type: none">•Reservar capacidad en planta y decidir que materiales se fabricaran en el último momento.
Estandarización	<ul style="list-style-type: none">•De componentes y productos terminados.

Una sola medida de mitigación puede ser suficiente para afectar a uno o varios riesgos en la cadena de suministro. Por otro lado, múltiples medidas pueden ser diseñadas para afectar a un riesgo. A menudo, no hay una única solución para garantizar un alto grado de eficiencia y eficacia en la gestión de riesgos. Como una sola medida puede algunas veces no ser suficiente, se combinan una serie de medidas con frecuencia para lograr una extraordinaria gestión de riesgo.

En el cuarto paso, los riesgos son monitoreados. El objetivo es evaluar y ajustar las medidas de mitigación de forma continua y monitorear los riesgos a través del tiempo. También, proporcionar información actualizada sobre las exposiciones de riesgo actuales y las medidas de mitigación de riesgos a los socios involucrados.

Para evaluar las estrategias de mitigación en la gestión se pueden tomar los siguientes criterios: a) la eficacia, que es el grado en que los riesgos o bien se pueden eliminar o reducir al mínimo por las estrategias propuestas; b) la viabilidad, que es la aceptabilidad de la aplicación de la estrategia propuesta; y c) la eficiencia, que es el costo-efectividad de las estrategias propuestas en dinero potencial perdido si no se toman medidas contra el costo de las estrategias.

Sin embargo, debido a la amplia gama de resultados, las estrategias de mitigación son frecuentemente difíciles de comparar y evaluar. La mejor estrategia es aquella que da el mayor valor monetario esperado (VME).

2.4 Construyendo la resiliencia y la mejor adaptabilidad

La resiliencia refiere a la habilidad de la cadena de suministro para reaccionar ante las perturbaciones inesperadas. Existe evidencia de que las tendencias de muchas empresas a buscar soluciones de bajo costo pueden conducir a cadenas de suministro más ágiles, pero más vulnerables. Las cadenas de suministro resilientes tal vez no sean las de menor costo pero son más capaces de enfrentarse al entorno incierto.

Entre las características de las cadenas de suministro resilientes, la más importante es el reconocimiento amplio del negocio, donde dichas cadenas están en su nivel más vulnerable. Otras características de las cadenas de suministro resilientes son el reconocimiento de la importancia de un inventario estratégico y el uso selectivo de la capacidad sobrante para responder ante los efectos perturbadores (Christopher, 2011).

Debido a que incluso las cadenas de suministro mejor administradas chocarán con una turbulencia inesperada o serán afectadas por eventos imposibles de pronosticar, se vuelve crítico incorporar la *resiliencia*. La resiliencia implica la capacidad de un sistema de regresar a su estado original o deseado después de haber sufrido una alteración. Los procesos resistentes son flexibles y ágiles, y capaces de cambiar rápidamente (Christopher, 2011).

En este último aspecto, es importante darse cuenta de que la velocidad por sí sola no es suficiente, es la aceleración o la habilidad de remontar una pendiente hacia arriba o hacia abajo en forma rápida, por lo que a la resiliencia se refiere. La resistencia de la cadena de suministro requiere también “flexibilidad” en esos puntos críticos que constituyen los factores límite ante los cambios en la tasa del flujo (Cranfield School of Management, 2004).

El acceso a la información, tan rápido como sea posible, es también prerequisite para la resiliencia de la cadena de suministro. A través del trabajo colaborativo, esta información se puede convertir en inteligencia de la cadena de suministro. El objetivo es crear una comunidad de la cadena de suministro, en la cual exista mayor visibilidad hacia arriba y hacia abajo de los perfiles de riesgo (y del cambio en esos perfiles) y de un compromiso compartido para mitigar y administrar aquellos riesgos (Christopher & Peck, 2004).

Finalmente, la resiliencia de la cadena de suministro requiere un reconocimiento de que cuando se toman las decisiones estratégicas, como relocalizar las instalaciones o cambiar las fuentes de suministro, tiene que entenderse el impacto completo de aquellas decisiones sobre el riesgo de la cadena de suministro. Basados en ese análisis podría ser necesaria la reingeniería de la cadena de suministro, o de parte de ella, para asegurar la mitigación o eliminar este riesgo (Christopher, 2011).

En la siguiente figura, la empresa B ha institucionalizado un plan de continuidad del negocio y ha invertido en sistemas de visibilidad para la detección temprana de las interrupciones; La empresa A no tiene. Cuando una interrupción se produce en el punto T, la empresa B es capaz de descubrirlo en el punto B1 y se recupera rápidamente de la interrupción, minimizando el impacto. La empresa A detecta la interrupción solamente en el punto A1 y tarda más tiempo en recuperarse (Apics, 2014).

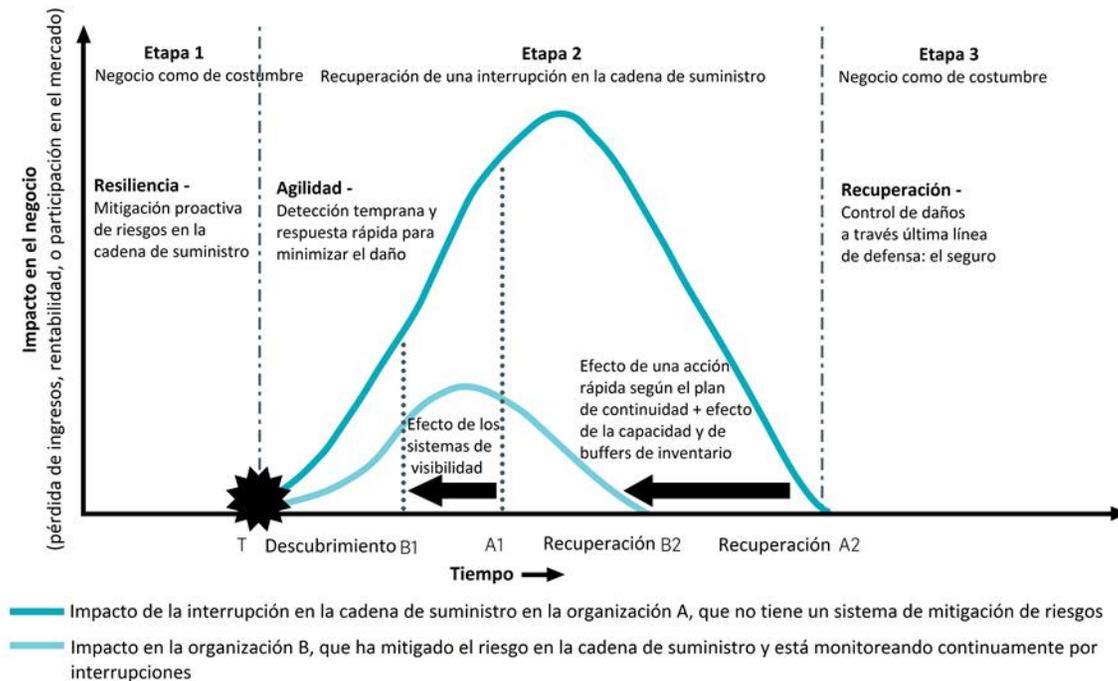


Figura 10. Marco de mitigación del riesgo en la cadena de suministro (Apics, 2014).

Los efectivos planes de continuidad de negocio permiten a los usuarios evaluar la vulnerabilidad de la empresa. Ellos también ayudan a crear precisos escenarios hipotéticos y evaluar la capacidad de responder a la interrupción. Cuando se crea un plan de continuidad de negocio, es necesario diseñar un plan de contingencia, accionable por las fallas de la cadena de suministro. Asimismo, asegúrese de identificar umbrales clave para la ejecución de las estrategias de mitigación de riesgos.

Además, de un exitoso plan de continuidad de negocio, hay otros pasos esenciales para la gestión eficaz de riesgos:

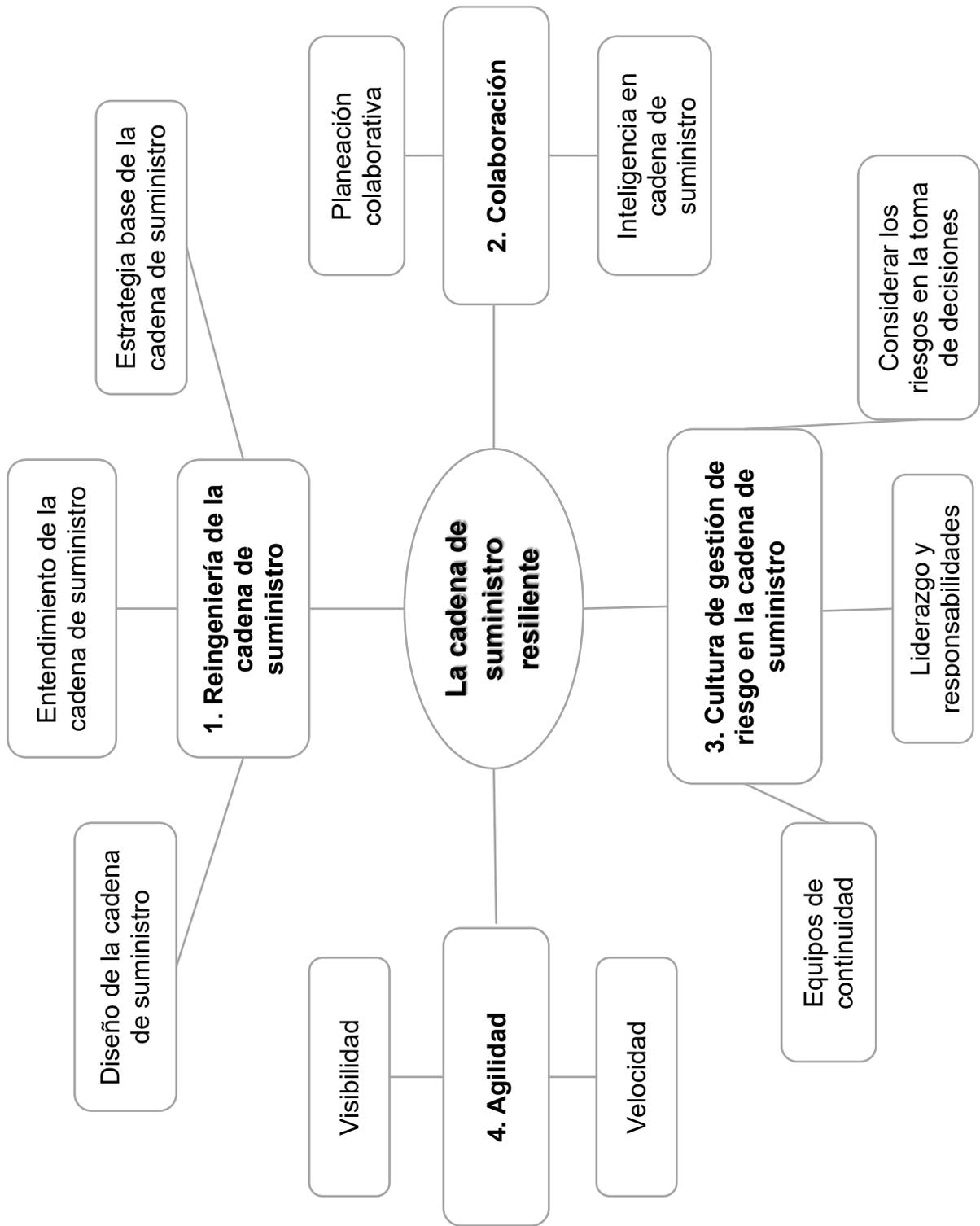


Figura 11. Creación de la cadena de suministro resiliente (Christopher & Peck, 2004).

A continuación, se presenta un marco para construir una cadena de suministro resiliente:

	Proactivo: Planear para la interrupción	Reactivo: Minimizar el daño	Post-recuperación
Estratégicas	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de la cadena de suministro a nivel empresa • Diseñar planes de continuidad • Identificar autoridades para toma de decisión durante interrupciones • Invertir en mejorar la visibilidad de capacidad e inventarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de paradigma con menos énfasis en la eficiencia y un mayor énfasis en la continuidad del negocio • Utilizar proveedores y transportes alternos • Tomar acciones sobre el riesgo 	<ul style="list-style-type: none"> • Re-evaluación de la cadena de suministro para evaluar los siguientes parámetros: <ul style="list-style-type: none"> -Eficacia del plan de continuidad -Eficacia de los sistemas de detección temprana de interrupción -Resiliencia de la cadena de suministro para futuras interrupciones
Operativas	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de proveedores basados en: costo ajustado por riesgo y planes de continuidad • Identificar proveedores alternos • Mantener altos inventarios para componentes críticos • Monitorear continuamente la cadena de suministro para interrupciones • Respaldo de sistemas de información 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnosticar todos los impactos en la cadena de suministro una vez a la interrupción ha sido identificada • Utilizar el plan de continuidad • Tomar medidas rápidas para emplear la capacidad disponible dentro de la organización y al red de proveedores • Monitorear constantemente la situación 	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar un informe de la interrupción que cubra puntos de falla como resultado de la interrupción, la causa y el análisis de los efectos, y el análisis comparativo del desempeño de la interrupción • Utilizar la cobertura de seguros como última línea de defensa
	Antes de la interrupción	Durante la interrupción	Después de la interrupción

Tabla 8. Marco para construir una cadena resiliente (Apics, 2014).

Los mercados y las cadenas de suministro están siempre en un constante estado de cambio dinámico y de adaptación. Sin embargo, la evidencia es que la tasa de cambio se ha acelerado hasta el punto donde los modelos de negocios, que nos han servido bien en el pasado, ya no funcionan en el presente.

Nos hemos movido desde un entorno donde el proveedor tenía el poder –a menudo a través de su propiedad de los recursos, tecnología y marcas- a una situación en la que el cliente, o incluso el consumidor, están ahora al volante. Donde de una vez hubo un “mercado de vendedores”, hoy es un “mercado de compradores”. Simultáneamente, la filosofía prevaleciente de mercadotecnia se ha movido de la idea de los mercados masivos atendidos por la producción en masa a la idea de los “mercados-de-uno” servidos por la personalización en masa (Christopher, 2011).

Aunque este cambio fundamental ha sido observable por algún tiempo, no siempre se ha reflejado en un cambio similar en el pensamiento acerca del diseño de la cadena de suministro. Este modelo empresarial tradicional de la cadena de suministro se basaba en la maximización de las eficiencias, en especial a través de la explotación de las “economías de escala”. Así que nuestras fábricas fueron diseñadas para producir cosas en gran volumen y maximizar el uso de la capacidad. Este modelo de negocios funcionó bien en las condiciones para las que fue diseñado, p. ej., la producción de productos estándar diseñados para mercados masivos.

El problema ahora es que el contexto ha cambiado. Sin embargo, muchas compañías todavía no reconocen las implicaciones de este cambio en el diseño de la cadena de suministro. Ahora, lo que se requiere es que las cadenas de suministro sean más ágiles y mejor capacitadas para afrontar el rápido cambio y los mayores niveles de variedad, e incluso de personalización (Christopher, 2011).

En síntesis, se requiere de un método/modelo matemático que permita a los usuarios (organizaciones) cuantificar su capacidad de mitigar los riesgos en la cadena de suministro con el propósito de:

Disminuir las interrupciones en la cadena de suministro.

Disminuir las pérdidas ocasionadas por los riesgos.

Transformar a la organización en exitosa y competitiva.

Capítulo 3. Un método de cuantificación de mitigación del riesgo

“La perfección no es alcanzable, pero si buscamos la perfección, adquirimos la excelencia”, Vince Lombardi.

En este capítulo, se desarrolla un método de cuantificación de mitigación de riesgo en la cadena de suministro. Se expone su objetivo, la metodología y las variables de mitigación de riesgo. También, se muestran los diagramas de representación y la matriz de riesgo fundamentados en la teoría de redes (teoría de grafos). Finalmente, se presenta el funcionamiento del método y la cuantificación del riesgo.

3.1 Objetivo del método

El objetivo del método es la cuantificación de mitigación de riesgo en la cadena de suministro. El principal objetivo es contribuir y proporcionar una mejor comprensión de la gestión de riesgos dentro de las cadenas de suministro. Otros objetivos en el desarrollo del método son:

- Identificar las 6 estrategias más usadas para mitigar los riesgos en la cadena de suministro.
- Qué tipo de interrelaciones hay en estas estrategias de mitigación.
- Sugerir una medición para cuantificar la mitigación del riesgo en la cadena de suministro.

3.2 Metodología y variables de mitigación de riesgo

Las cadenas de suministro de hoy se caracterizan por una alta dependencia de alianzas y asociaciones estratégicas, lo que ha dado lugar a una estructura altamente integrada. Esto hace que la cadena de suministro global sea más susceptible al riesgo a causa de las amenazas a los diferentes eslabones de la cadena. Por tanto, conocer la capacidad de mitigación del riesgo en la cadena de suministro se vuelve fundamental, así como, desarrollar el mecanismo de medición.

La aplicación de la teoría de grafos y método de matrices para analizar los sistemas y problemas en la ciencia y la tecnología está bien documentada en la literatura, como se representa en la siguiente tabla.

Autor(es)	Aplicación
(Grover, Agrawal, & Khan, 2004)	Enfoque de evaluación TQM de una industria.
(Kulkarni, 2005)	Evaluación del desempeño del TQM en industrias de la india.
(Rao & Padmanabhan, 2006)	Selección, identificación y comparación de robots industriales.
(Faisal, Banwet, & Shankar, 2006)	Sensibilidad del cliente y riesgo en las cadenas de suministro
(Faisal, Banwet, & Shankar, 2007)	Cuantificación del riesgo del ambiente en cadenas de suministro.
(Wagner & Neshat, 2010)	La evaluación de la vulnerabilidad de las cadenas de suministro.
(Venkatesh, Rathi, & Patwa, 2015)	Análisis de riesgos de la cadena de suministro en cadenas apparel retail de la India.

Tabla 9. Aplicaciones de la teoría de grafos para la toma de decisiones (Elaboración propia).

Con base en la revisión de estos artículos, se retoma la aplicación de este método para lograr aplicarlo en mitigación del riesgo en la cadena de suministro. Este se basa en la teoría de grafos y el álgebra matricial y tiene algunas propiedades deseables (por ejemplo, la capacidad para modelar las interacciones entre las variables, capacidad de estructurar jerárquicamente problemas) para modelar y resolver los problemas de la toma de decisiones.

La idea de usar la teoría de grafos ha empezado a atraer el interés en diversos campos, tal como se muestra en la tabla anterior. Sin embargo, ninguna aplicación en el contexto de mitigación del riesgo en la cadena de suministro fue encontrada. Por otra parte, de la revisión de los artículos anteriores, es posible enunciar una metodología. Los diversos pasos implicados son los siguientes:

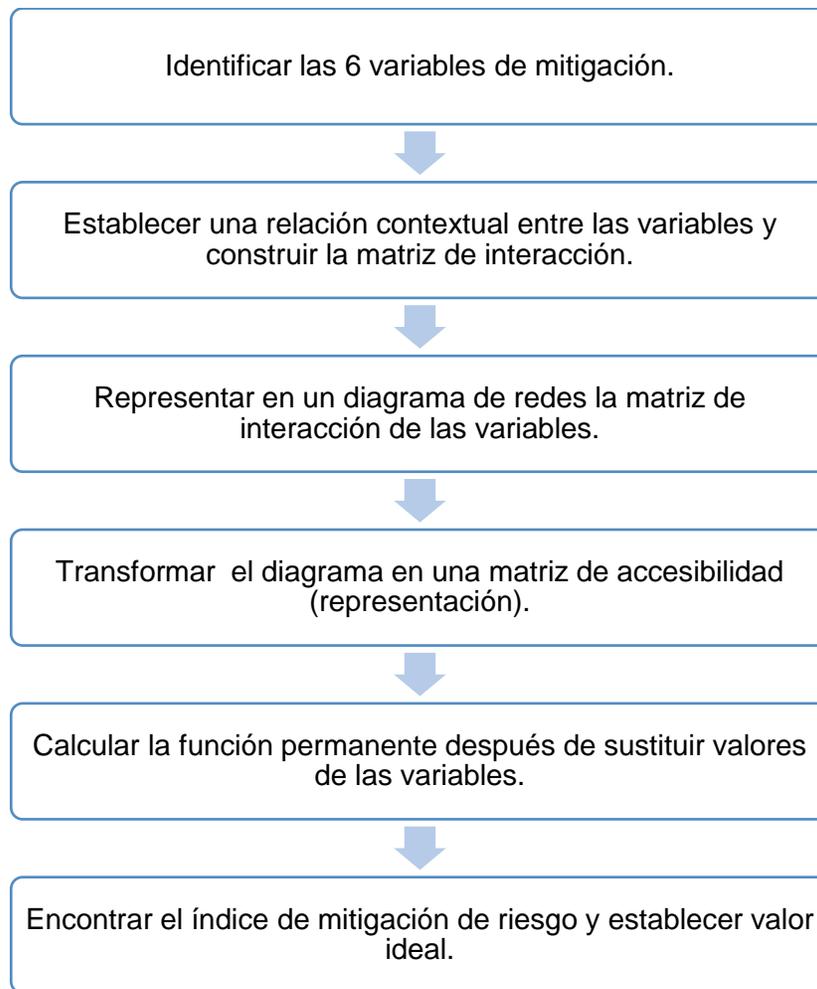


Figura 12. Pasos implicados en la metodología (Elaboración propia).

Las variables que tienen un impacto positivo en general en la cadena de suministro son las estrategias de mitigación. Las 6 estrategias más usadas de acuerdo a artículos de investigación e informes son:

- 1) Agilidad en la cadena de suministro.
- 2) Inventario estratégico.
- 3) Información compartida.
- 4) Visibilidad de la cadena de suministro.
- 5) Flexibilidad de la cadena de suministro.
- 6) Colaboración en la cadena de suministro.

A continuación, se describen cada una de las estrategias (variables):

Agilidad en la cadena de suministro

La agilidad en la cadena de suministro es la habilidad para responder rápidamente a los cambios impredecibles en la oferta o la demanda. Es fundamental porque reduce el tiempo de respuesta de las empresas en las interrupciones en la cadena de suministro. Cuando la agilidad de la empresa y sus socios en la cadena de suministro es suficiente se pueden mitigar los riesgos de forma eficaz. La agilidad tiene dos componentes que son la visibilidad y la velocidad.

Inventario estratégico

Se refiere a que una empresa puede considerar almacenar algunos inventarios en ciertos lugares "estratégicos" (almacenes, centros logísticos, centros de distribución) para ser compartidos por varios socios de la cadena de suministro (minoristas, centros de reparación, etc.), con la finalidad de alcanzar un nivel de servicio al cliente superior, sin incurrir en costos altos de inventario cuando se trata de fluctuaciones regulares de la demanda. Cuando se produce una interrupción, estos inventarios compartidos en lugares estratégicos permiten a una empresa implementar estas acciones estratégicas rápidamente a la zona afectada.

Información compartida

En las cadenas de suministro actuales es imprescindible la información compartida, para lograr el éxito. La información compartida ayuda a mejorar la visibilidad de la cadena de suministro, también vuelve más colaborativa la cadena y reduce el riesgo al reducir la incertidumbre. Las empresas comparten información con proveedores y clientes para mitigar de forma eficaz el riesgo en la cadena de suministro.

Visibilidad de la cadena de suministro

La visibilidad es la capacidad de todos los miembros de la cadena de suministro para ver de un extremo a otro la cadena. La visibilidad, por ejemplo, implica una visión clara de los inventarios iniciales y finales, las condiciones de oferta y demanda, y los programas de producción y de compra, etc. La visibilidad de la cadena de suministro se logra con una estrecha colaboración con los clientes y proveedores, así como la integración interna dentro de la empresa.

Flexibilidad de la cadena de suministro

La flexibilidad de la cadena de suministro aumenta la capacidad de respuesta, dejando la predictibilidad de los factores invariables. Un ejemplo es el aplazamiento, donde las empresas retrasan la decisión de hacer, configurar, etiquetar o enviar un producto a un destino en particular. El aplazamiento reduce su dependencia de los pronósticos y aumenta la capacidad de responder a la variabilidad o incluso a interrupciones en la demanda. Un segundo ejemplo es el aprovisionamiento múltiple. Las empresas pueden usar muchos mecanismos de flexibilidad para mitigar los riesgos en la cadena de suministro.

Colaboración en la cadena de suministro

La colaboración es muy importante, en primer lugar permite la visibilidad de la cadena de suministro, también, permite compartir información (tendencias de mercados, percepciones de riesgo, etc.). Un alto grado de colaboración puede ayudar a mitigar el riesgo, ya que el intercambio de información y conocimiento compartido puede reducir la incertidumbre. Por otra parte, la colaboración en la cadena de suministro apoya el desarrollo de la flexibilidad.

3.3 Diagramas de representación y matriz de mitigación de riesgo

La teoría de grafos es un enfoque de sistemas, una herramienta muy natural y poderosa en investigación de operaciones, redes de transporte, etc., útil para la representación de modelos, resultando ser útil para modelar y analizar varias clases de sistemas en muchos campos de ciencia e ingeniería. La justificación de la elección de la teoría de grafos y método de la matriz es que las variables se pueden analizar fácilmente y que incluso se pueden transformar en ecuaciones matemáticas. Esto permitiría entender si la mitigación del riesgo y los esfuerzos para mitigar estos riesgos están dando los resultados deseados o no.

La teoría de grafos y métodos de matrices consisten en la representación del diagrama, la representación de la matriz y la representación de la función permanente. El diagrama es la representación visual de las variables y sus interdependencias. La matriz convierte el diagrama en forma matemática y la función permanente es una representación matemática que ayuda a determinar el índice numérico. En este capítulo se pretende ampliar este enfoque para el análisis, y la cuantificación de la mitigación en la cadena de suministro.

Una vez identificadas las 6 variables de mitigación de riesgo, procedemos a establecer una relación contextual entre las variables y construir la matriz de interacción. Intentar correlacionar las seis variables de mitigación de riesgo, es decir, como están relacionadas ayudará a encontrar una forma que permita evaluar la capacidad de mitigación del riesgo en la cadena de suministro. La forma de medición buscada es:

$$\text{Mitigación de riesgo en CS} = f(6 \text{ variables de mitigación})$$

La relación contextual de "conduce a" se elige con significado que una variable ayuda a lograr otra variable. Basado en esto, la relación contextual entre las variables identificadas se desarrolla. Las relaciones entre estas variables a continuación se expresan a través de la matriz de interacción.

Cuatro símbolos se utilizan para indicar la relación entre las variables de mitigación de riesgos (i y j):

- | Relación entre las variables | Sentido del arco |
|--|------------------|
| V: variable i ayudará a alcanzar la variable j; | → |
| R: variable i se logrará mediante la variable j; | ← |
| X: i variable y j se ayudarán a alcanzarse entre sí; | ↔ |
| O: las variables i y j no están relacionadas. | |

No	Variable	6	5	4	3	2	1
1	Agilidad en la CS	X	V	R	R	R	
2	Inventario estratégico	V	V	O	O		
3	Información compartida	X	V	V			
4	Visibilidad de la CS	R	O				
5	Flexibilidad de la CS	R					
6	Colaboración en la CS						

Tabla 10. Matriz de interacción de las variables (Elaboración propia).

Esta matriz es indispensable para poder representar de forma visual la relación entre las variables de mitigación de riesgo en la cadena de suministro, mediante un

diagrama de redes. A continuación, se muestra el diagrama de representación (grafo). Donde, cada nodo representa una variable de mitigación de riesgo, y el arco representa la relación entre estas variables. El sentido del arco que entra o sale de cada nodo se elige con base en la relación que tienen las variables (tal como está indicado arriba).

Por ejemplo, el nodo 1 representa la variable 1: Agilidad en la cadena de suministro, el nodo 5 representa la variable 5: Flexibilidad en la cadena de suministro, y de acuerdo a la matriz de interacción, la variable 1 ayudará a alcanzar la variable 5, en consecuencia, del nodo 1 sale un arco con dirección al nodo 5. Cuando dos variables se ayudan a alcanzarse entre sí, se dibuja entre los nodos que representan a estas variables dos arcos en sentidos opuestos, es decir, uno que entra y otro que sale.

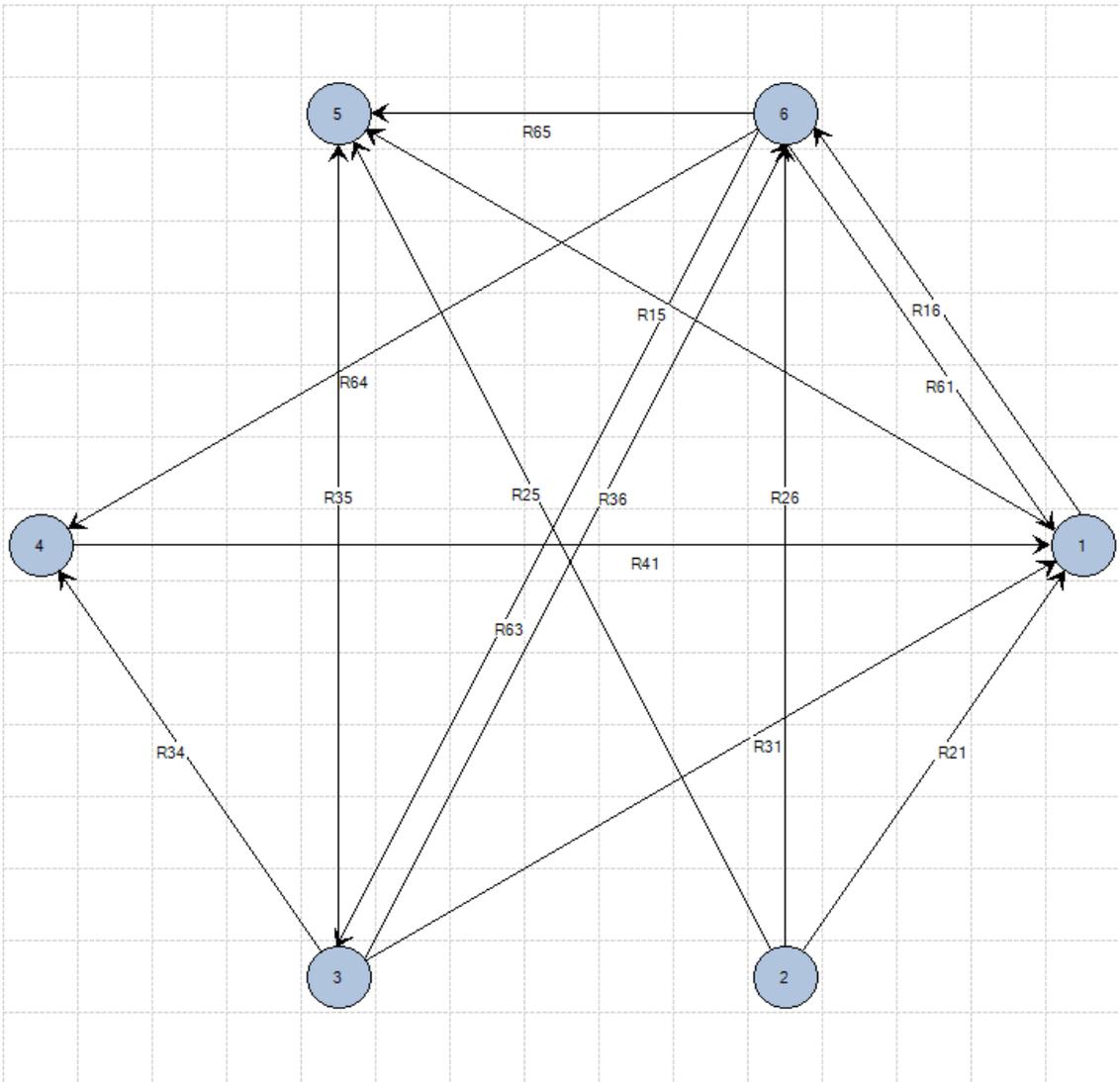


Figura 13. Diagrama de redes de las variables de mitigación.

El siguiente paso es transformar el diagrama en una matriz de representación. Esta matriz R (MxM, donde M=6 variables de mitigación) considerará los atributos y su relativa importancia. La matriz R de representación cuando M=6, de acuerdo a la figura 13 Diagrama de redes de las variables de mitigación, es la siguiente:

$$R = \begin{matrix} & \text{Atributos} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & & \begin{bmatrix} V_1 & 0 & 0 & 0 & R_{15} & R_{16} \\ R_{21} & V_2 & 0 & 0 & R_{25} & R_{26} \\ R_{31} & 0 & V_3 & R_{34} & R_{35} & R_{36} \\ R_{41} & 0 & 0 & V_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & V_5 & 0 \\ R_{61} & 0 & R_{63} & R_{64} & R_{65} & V_6 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Donde, R_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) representa la interacción entre las variables de mitigación, y V_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) representa el efecto o valor de las variables individuales. Además, el valor "0" indica que ese arco no existe. Cada R_{ij} es un arco, en total son 14. Se puede observar que la matriz R es igual a la suma de las siguientes matrices:

$$R = A + IV = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & R_{15} & R_{16} \\ R_{21} & 0 & 0 & 0 & R_{25} & R_{26} \\ R_{31} & 0 & 0 & R_{34} & R_{35} & R_{36} \\ R_{41} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ R_{61} & 0 & R_{63} & R_{64} & R_{65} & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & V_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & V_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & V_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & V_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & V_6 \end{bmatrix}$$

Donde, I es la matriz identidad y V es el valor de los atributos, A es la matriz de adyacencia donde en lugar de "1" se pone el correspondiente R_{ij} . En general, si hay M números de variables de mitigación de riesgo y existe relativa importancia entre todas las variables de mitigación de riesgo, la matriz R es escrita como:

$$R = \begin{matrix} & \text{Atributos} & 1 & 2 & 3 & \dots & M \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ M \end{matrix} & & \begin{bmatrix} V_1 & R_{12} & R_{13} & \vdots & R_{1M} \\ R_{21} & V_2 & R_{23} & \vdots & R_{2M} \\ R_{31} & R_{32} & V_3 & \vdots & R_{3M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{M1} & R_{M2} & R_{M3} & \dots & V_M \end{bmatrix} \end{matrix}$$

De esta matriz tenemos que extraer la información completa de los valores de los elementos sobre las variables y su interrelación. Algunos investigadores han usado la función permanente de una matriz, la cual no contiene ningún término negativo (en el determinante, alguna información puede perderse por la presencia de signos negativos). Además, la función permanente es usada cuando se desea obtener una medición en términos de los atributos y su relativa importancia.

La permanente es una función estándar de la matriz y es usada en matemática combinatoria. La permanente de la matriz es una expresión matemática en forma simbólica (Glynn, 2010). Esto garantizará una estimación de la mitigación de riesgo en la cadena de suministro en una organización.

En consecuencia, la evaluación cuantitativa de la mitigación de riesgo en la cadena de suministro de una organización se obtendrá de la función permanente por sustitución numérica de los valores de V_i y R_{ij} obtenidos analíticamente o por comparación de casos ideales.

La expresión general de la función permanente está dada por (Rao & Padmanabhan, 2006):

$$\begin{aligned}
 Per(R) = & \sum_{i=1}^M V_i + \sum_{i,j,\dots,M} (R_{ij}R_{ji}) V_k V_l \dots V_M + \sum_{i,j,\dots,M} (R_{ij}R_{jk}R_{ki} + R_{ik}R_{kj}R_{ji}) V_l V_m \dots V_M \\
 & + \left[\sum_{i,j,\dots,M} (R_{ij}R_{ji})(R_{kl}R_{lk}) V_m V_n \dots V_M \right. \\
 & + \left. \sum_{i,j,\dots,M} (R_{ij}R_{jk}R_{kl}R_{li} + R_{il}R_{lk}R_{kj}R_{ji}) V_m V_n \dots V_M \right] \\
 & + \left[\sum_{i,j,\dots,M} (R_{ij}R_{ji})(R_{kl}R_{lm}R_{mk} + R_{km}R_{ml}R_{lk}) V_n V_o \dots V_M \right. \\
 & + \left. \sum_{i,j,\dots,M} (R_{ij}R_{jk}R_{kl}R_{lm}R_{mi} + R_{im}R_{ml}R_{lk}R_{kj}R_{ji}) V_n V_o \dots V_M \right] \dots
 \end{aligned}$$

La expresión contiene $M!$ números de términos y contiene términos ordenados en $M+1$ grupos, donde M es el número de variables de mitigación. La expresión anterior es una función de la evaluación de la mitigación de riesgo en la cadena de suministro que garantiza una real medición en términos de evaluación de los atributos.

La función permanente de la matriz R ($M \times M$, donde $M=6$ variables de mitigación) también puede ser desarrollada con la expresión anterior, que podría ser usada para analizar el impacto de las 6 variables de mitigación de riesgo. Por lo tanto, la función permanente, considera todas las variables de mitigación de riesgo y sus interdependencias representadas como una matriz de interacción estructural.

Dada la complejidad para calcular la función permanente es necesario desarrollar un programa en lenguaje C++ ó usar un software como Matlab o Mathematica para calcular el valor de la función permanente de una matriz $M \times M$. Nosotros usaremos Mathematica 10 versión de estudiante para calcular la función permanente de la matriz R .

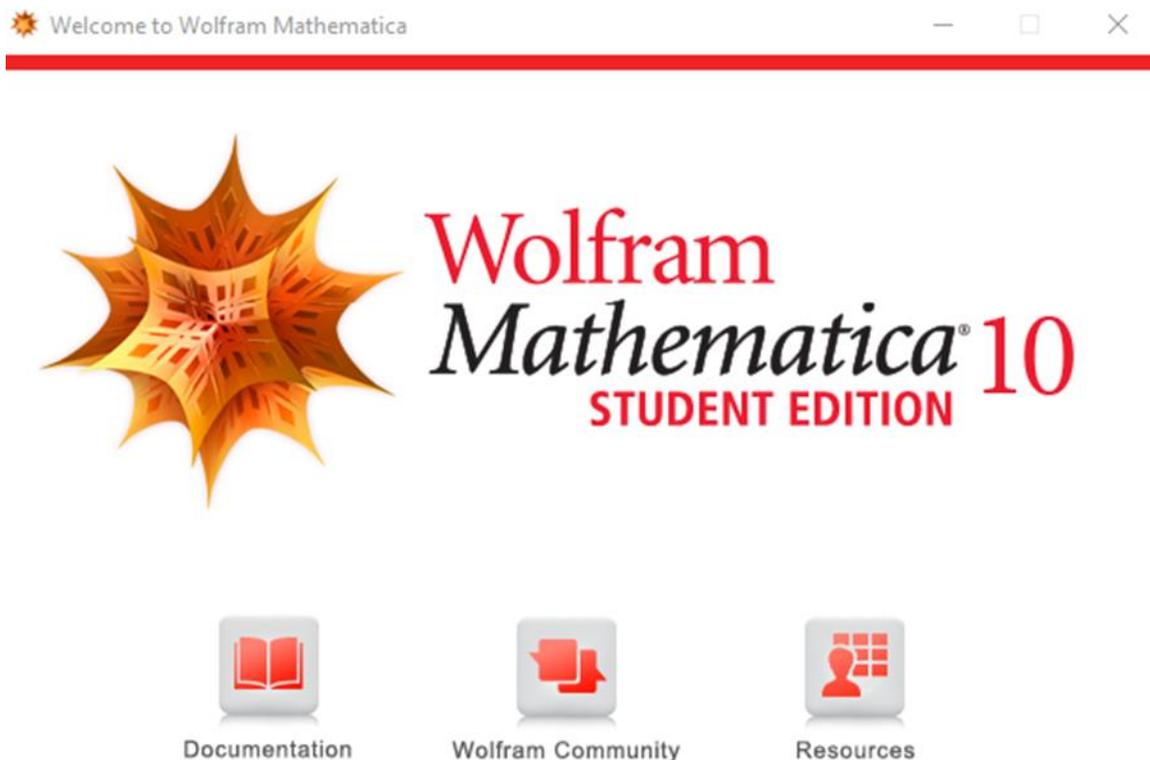


Figura 14. Software Mathematica 10 versión de estudiante.

El objetivo de usar este software, es calcular de forma eficaz y eficiente la expresión de la función permanente de la matriz R considerando las variables descritas y el diagrama de redes.

En el software Mathematica 10 utilizaremos la función Permanent y el siguiente código (Weisstein, 2006):

```
Permanent[m_List]:= With[{v = Array[x, Length[m]]},
  Coefficient[Times@@(m.v), Times@@v]]
```

Por ejemplo, si M=3, el desarrollo de la expresión es:

$$Per(R) = V_1V_2V_3 + R_{12}R_{21}V_3 + R_{13}R_{31}V_2 + R_{23}R_{32}V_1 + R_{12}R_{23}R_{31} + R_{13}R_{32}R_{21}$$

Este desarrollo de la función permanente es obtenido con el software Mathematica 10, en el cual se ha usado la función Permanent, y la matriz se ha introducido de la siguiente manera:

$$\text{Permanent} \begin{bmatrix} V_1 & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & V_2 & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & V_3 \end{bmatrix}$$

La interfaz gráfica del software que describe el desarrollo de la expresión de la función permanente cuando M=3 es la siguiente:

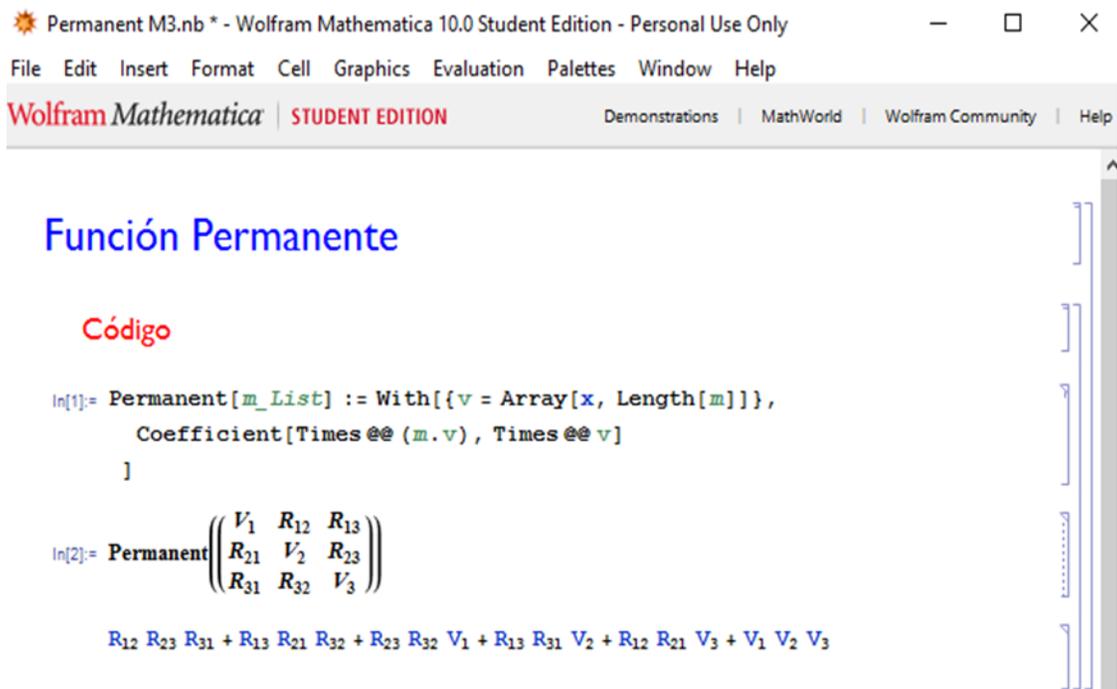


Figura 15. Interfaz gráfica del software Mathematica 10 con M=3.

Análogamente, para encontrar el valor de la función permanente cuando M=6, la interfaz gráfica del software es:

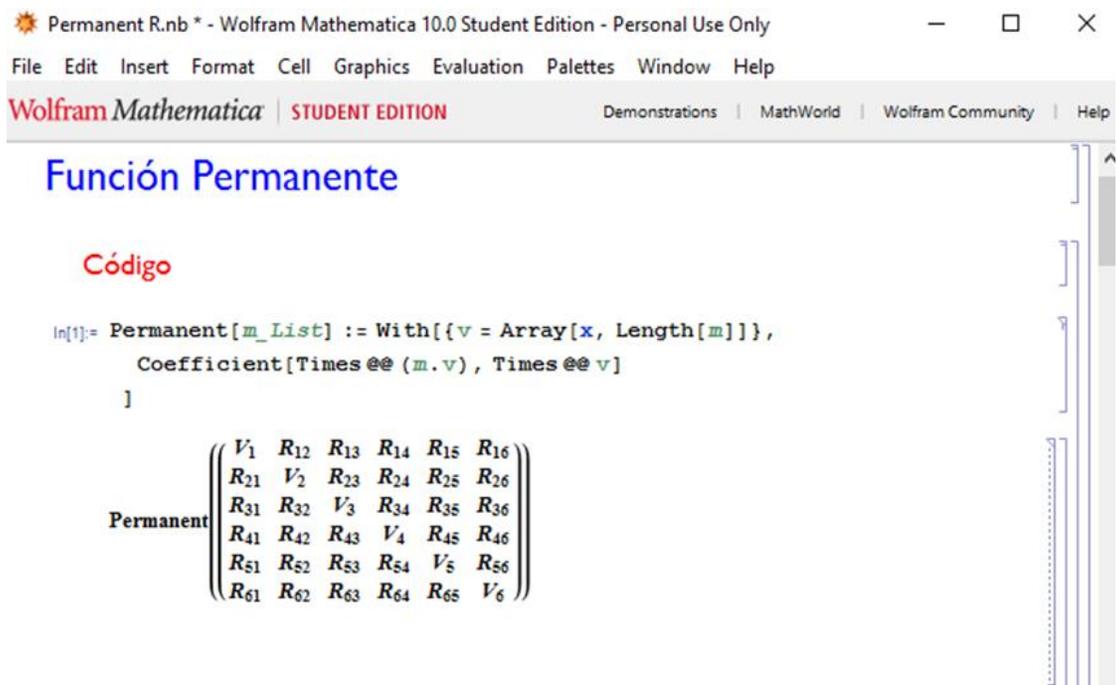


Figura 16. Interfaz gráfica del software Mathematica 10 con M=6.

Cuando $M=6$, el desarrollo de la expresión de la función permanente es:

$$Per(R) = R_{16}R_{25}R_{34}R_{43}R_{52}R_{61} + R_{15}R_{26}R_{34}R_{43}R_{52}R_{61} + R_{16}R_{24}R_{35}R_{43}R_{52}R_{61} + \dots (715 \text{ términos}) \dots + R_{12}R_{21}V_3V_4V_5V_6 + V_1V_2V_3V_4V_5V_6$$

La expresión tiene $6!=6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 720$ términos. En el **Anexo A**, se puede ver el desarrollo completo de la expresión que representa la función permitente cuando $M=6$. La expresión anterior representa todas las posibles combinaciones de los elementos, es decir, todas las posibles interacciones entre ellos. Al considerar las variables y su interdependencia puede ser simplificada, ya que el valor de varios elementos es "0" y nos indica que esos arcos no existen. Por tanto, la expresión simplificada es:

$$Per(R) = R_{16}R_{34}R_{41}R_{63}V_2V_5 + R_{16}R_{41}R_{64}V_2V_3V_5 + R_{16}R_{31}R_{63}V_2V_4V_5 + R_{36}R_{63}V_1V_2V_4V_5 + R_{16}R_{61}V_2V_3V_4V_5 + V_1V_2V_3V_4V_5V_6$$

Esta expresión representa la interacción entre las seis estrategias de mitigación considerando su interdependencia. Podemos explotar información muy valiosa, por ejemplo, notamos que las variables que están presentes en todos los términos son V_2 y V_5 , que representan a inventario estratégico y a colaboración en la cadena de suministro respectivamente. Lo anterior, nos indica que estas estrategias son más importantes entre las seis y por tanto aportan mayor capacidad de mitigación.

A continuación, se muestra la frecuencia de cada elemento en la función, es decir, en cuantos términos de la función está presente cada variable.

Variable o estrategia de mitigación	Frecuencia
V_1 Agilidad en la CS	2
V_2 Inventario estratégico	6
V_3 Información compartida	3
V_4 Visibilidad de la CS	4
V_5 Flexibilidad de la CS	6
V_6 Colaboración en la CS	1

Tabla 11. Importancia de las estrategias de mitigación (Elaboración propia).

Esta función comprueba lo importante que son las estrategias inventario estratégico y colaboración en la cadena de suministro. Por lo cual, sobre estas estrategias se ha escrito una gran cantidad de artículos e informes de investigación. Por otro lado, se puede decir que para lograr una óptima capacidad de mitigación se necesita una combinación y potencialización de estas estrategias. En consecuencia, para incrementar capacidad de mitigación del riesgo en la cadena de suministro se requiere:

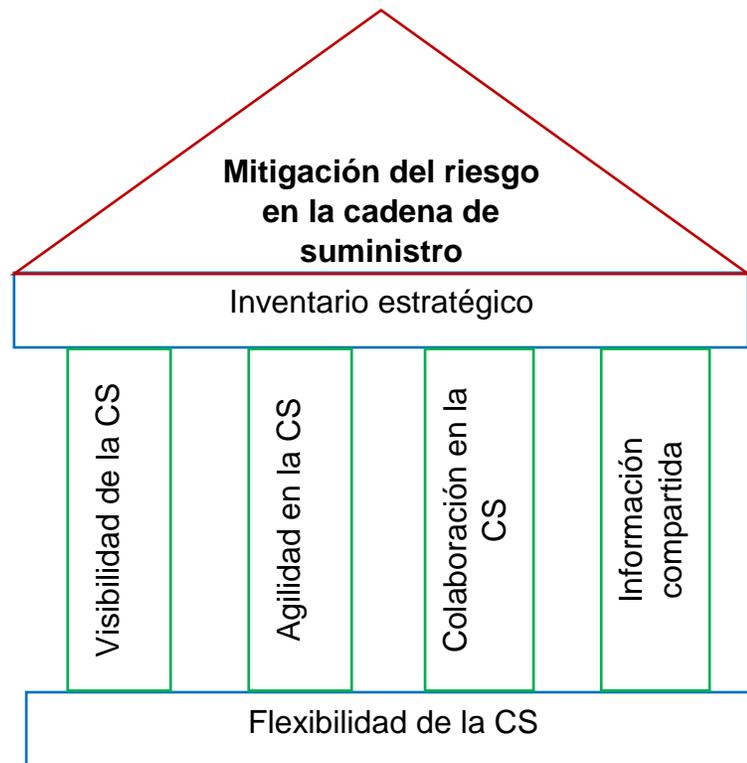


Figura 17. Estrategias esenciales para incrementar capacidad de mitigación (Elaboración propia).

El paso siguiente, es calcular la función permanente después de sustituir valores de las variables. La cuantificación de las variables V_i y R_{ij} (Estos son los elementos de la diagonal principal y los elementos fuera de la diagonal respectivamente de la matriz R) es requerida para la evaluación de la función permanente.

Los valores de las variables V_i y R_{ij} , deben ser obtenidos preferentemente de datos disponibles o específicos o estimados. En la práctica, si los valores de las variables son de previa investigación o de estudio de campo pueden ser usados para determinar el índice de mitigación de riesgo. Pero en caso que ningún valor cuantitativo está disponible, se puede usar una escala, por ejemplo 1 a 9.

Las variables V_i se cuantificarán con la siguiente tabla de valores:

Medición cualitativa de la variable de mitigación	Asignación de valor de la variable V_i
Excepcionalmente bajo	1
Muy bajo	2
Por debajo del promedio	3
Promedio	4
Por encima del promedio	5
Moderado	6
Alto	7
Muy alto	8
Excepcionalmente alto	9

Tabla 12. Valor de la variable de mitigación de riesgo (Elaboración propia).

Por otra parte, las variables R_{ij} se cuantificarán con la siguiente tabla de valores:

Medición cualitativa de la variable en interdependencia	Asignación de valor de la variable R_{ij}
Débil	1
Medio	2
Fuerte	3

Tabla 13. Valor de la variable basado en grado de interdependencia (Elaboración propia).

El último paso es encontrar el índice de mitigación de riesgo y establecer un valor ideal. La función permanente calculada es el índice de mitigación de riesgo buscado (representa la forma de medición de la mitigación), es decir:

$$\text{Índice de mitigación de riesgo} = I_{MR} = Per(R)$$

$$I_{MR} = Per(R) = R_{16}R_{34}R_{41}R_{63}V_2V_5 + R_{16}R_{41}R_{64}V_2V_3V_5 + R_{16}R_{31}R_{63}V_2V_4V_5 + R_{36}R_{63}V_1V_2V_4V_5 + R_{16}R_{61}V_2V_3V_4V_5 + V_1V_2V_3V_4V_5V_6$$

Por otro lado, el valor ideal del índice de mitigación de riesgo es calculado y es $I_{MR\ ideal} = 695,466$. Este es obtenido cuando los valores de las variables $V_i = 9$ que indica un valor excepcionalmente alto y $R_{ij} = 3$ que representa un valor de interdependencia fuerte, es decir, cuando se toman los valores más altos de la escala y son sustituidos en la expresión anterior.

Es posible realizar la comparación de I_{MR} con $I_{MR\ ideal}$ de la siguiente manera:

$$\frac{I_{MR}}{I_{MR\ ideal}} \times 100\%$$

Esta comparación muestra que nivel de mitigación de riesgo en la cadena de suministro existe como porcentaje del valor ideal. Un valor más alto del índice significa más alta mitigación de riesgo y mejor desde el punto de vista del riesgo. El respectivo índice de mitigación de riesgo proporciona información cualitativa a los directores y gestores para mejorar esas áreas que contribuyen capacidad de mitigar el riesgo en la cadena de suministro.

3.4 Funcionamiento del método y cuantificación de mitigación

Un ejemplo es considerado para la demostración del funcionamiento del método. Sea X una organización manufacturera importante en un lugar de México, con ciertos proveedores y clientes, que desea conocer su nivel o capacidad de mitigación de riesgo en su cadena de suministro.

Ciertos valores son asumidos, aunque los valores reales son o deben ser obtenidos de previa investigación o de un estudio de campo por expertos. Las variables de mitigación de riesgo en la cadena de suministro, considerado en este ejemplo, son las mismas que se identificaron en este trabajo.

El índice de mitigación de riesgo es determinado usando valores numéricos de todas las variables de mitigación y sus interdependencias, es decir, calculando la función permanente de la matriz R. Un valor numérico es asignado a las variables de mitigación V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , y V_6 de riesgo en la cadena de suministro, para evaluar una medida de cada variable.

En ese sentido, la mitigación de riesgo en la cadena de suministro en una organización está en función de 6 variables, que son:

- 1) Agilidad en la cadena de suministro
- 2) Inventario estratégico
- 3) Información compartida
- 4) Visibilidad de la cadena de suministro
- 5) Flexibilidad de la cadena de suministro
- 6) Colaboración en la cadena de suministro

Un diagrama de redes es desarrollado basado en las interdependencias de estos elementos (Es igual al presentado anteriormente, ya que se usan las mismas variables de mitigación).

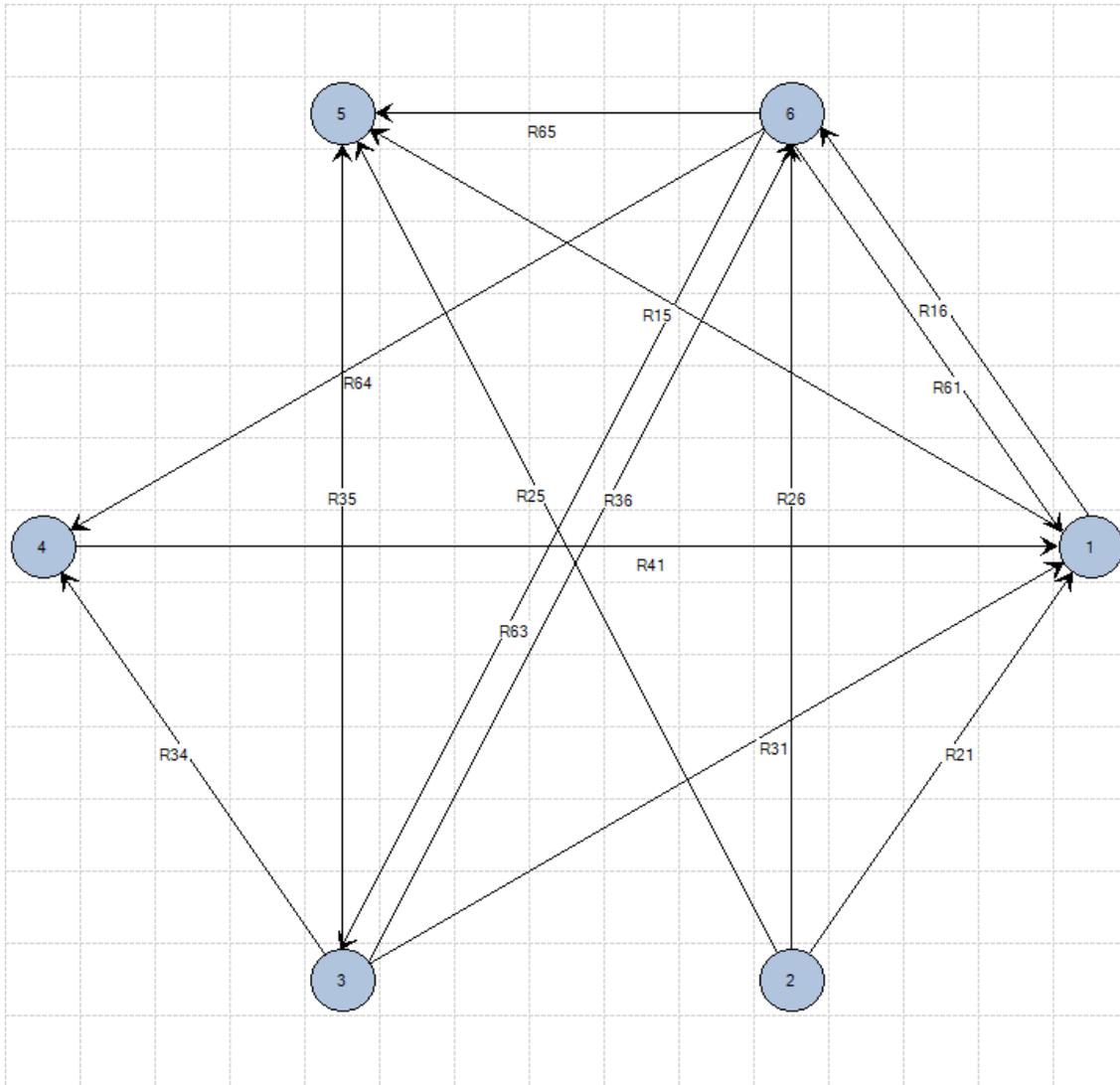


Figura 18. Diagrama de redes de las variables de mitigación del ejemplo.

Con estas variables de mitigación, la matriz de representación es la siguiente:

$$R = \begin{matrix} \text{Atributos} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} V_1 & 0 & 0 & 0 & R_{15} & R_{16} \\ R_{21} & V_2 & 0 & 0 & R_{25} & R_{26} \\ R_{31} & 0 & V_3 & R_{34} & R_{35} & R_{36} \\ R_{41} & 0 & 0 & V_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & V_5 & 0 \\ R_{61} & 0 & R_{63} & R_{64} & R_{65} & V_6 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

La expresión de función permanente de la matriz R es:

$$Per(R) = R_{16}R_{34}R_{41}R_{63}V_2V_5 + R_{16}R_{41}R_{64}V_2V_3V_5 + R_{16}R_{31}R_{63}V_2V_4V_5 + R_{36}R_{63}V_1V_2V_4V_5 + R_{16}R_{61}V_2V_3V_4V_5 + V_1V_2V_3V_4V_5V_6$$

Para encontrar el índice de mitigación de riesgo en la cadena de suministro, la función permanente es determinada. Para evitar la complejidad, una apropiada escala puede ser usada para asignar valores a cada elemento. Por demostración, para los valores de V_i se usará la tabla 12 y se asumirán los siguientes valores como:

$$V_1 = 7, \quad V_2 = 9, \quad V_3 = 6, \quad V_4 = 5, \quad V_5 = 9, \quad y \quad V_6 = 7,$$

Similarmente los valores de R_{ij} son tomados de la tabla 13 como:

$$\begin{aligned} R_{15} = 1, \quad R_{16} = 3, \quad R_{21} = 1, \quad R_{25} = 2, \quad R_{26} = 3, \quad R_{31} = 3, \\ R_{34} = 3, \quad R_{35} = 2, \quad R_{36} = 2, \quad R_{41} = 2, \quad R_{61} = 2, \quad R_{63} = 3, \\ R_{64} = 3, \quad y \quad R_{65} = 2 \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de V_i y R_{ij} , la matriz es escrita como:

$$R = \begin{array}{c|cccccc} & \text{Atributos} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & & 7 & 0 & 0 & 0 & 1 & 3 \\ 2 & & 1 & 9 & 0 & 0 & 2 & 3 \\ 3 & & 3 & 0 & 6 & 3 & 2 & 2 \\ 4 & & 2 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 5 & & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 & 0 \\ 6 & & 2 & 0 & 3 & 3 & 2 & 7 \end{array}$$

El valor de la función permanente de esta matriz R (usando Mathematica 10) es $Per(R) = 174,717$, en consecuencia, el índice de mitigación de riesgo para esta organización en particular es $I_{MR} = Per(R) = 174,717$.

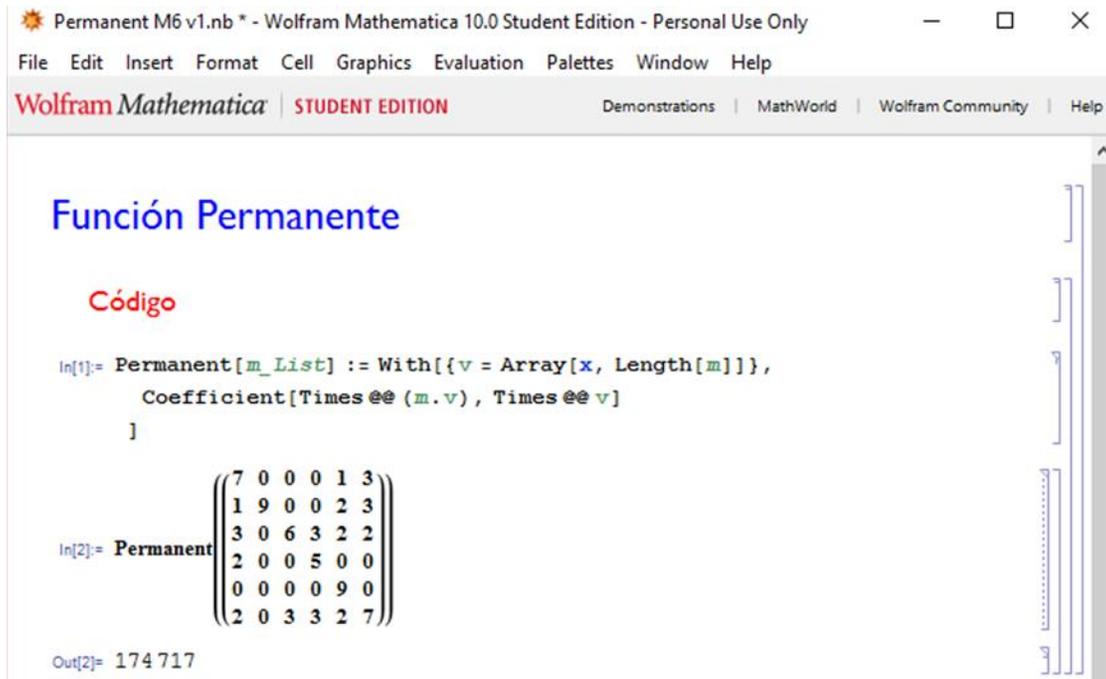


Figura 19. Interfaz gráfica del software Mathematica 10 con la solución del ejemplo.

Por último, realizamos la comparación de I_{MR} con $I_{MR\ ideal}$ de la siguiente manera:

$$\frac{I_{MR}}{I_{MR\ ideal}} \times 100\% = \frac{174,717}{695,466} \times 100\% = 25.122\%$$

El nivel de mitigación de riesgo en la cadena de suministro para esta organización es 25.122% del porcentaje del valor ideal.

Un valor grande del índice de mitigación de riesgo implica más mitigación de riesgo en la cadena de suministro en una organización. Esto ayudará a una organización a comprenderse mejor y volverse más competitiva. Todo lo anterior provee información útil respecto al índice de mitigación de riesgo en una organización cuando es cuantificado como un singular índice numérico.

Como el método es idóneo para procesarlo con computadora, los datos respecto a la función permanente de la matriz R pueden ser almacenados y recuperados. Esta información también puede ser usada para realizar el análisis de sensibilidad, es decir, para el estudio del efecto de los cambios en los parámetros para el índice de mitigación de riesgo.

Capítulo 4. Estudio de caso

*“Cualquiera puede equivocarse; sólo los insensatos perseveran en el error”,
Marco Tulio Cicerón.*

En este capítulo, se presenta el caso de Boeing 787 Dreamliner. Se expone información relevante del caso y la estructura de la cadena de suministro. También, se muestran los riesgos que presentó la cadena de suministro y las estrategias para mitigarlo. Finalmente, se presenta las lecciones aprendidas del caso de estudio.

4.1 Elección del caso y criterio de selección

El estudio de caso es un método de investigación valioso que permite entender una situación y sus consecuencias o, alternativamente, para resolver problemas específicos. Por supuesto, con el fin de resolver los problemas primero hay que entender la situación y sus consecuencias.

Se utiliza el estudio de caso cuando no se requiere control sobre los acontecimientos y cuando se concentra en acontecimientos contemporáneos. Para elegir un método de investigación se deben considerar situaciones relevantes. A continuación, se presenta una tabla con tres condiciones que muestra cómo cada una es afín para los tres mejores métodos de investigación: experimento, encuesta y estudio de caso (Yin, 2009).

Método de investigación	Forma de la pregunta de investigación	¿Requiere control sobre los acontecimientos?	¿Se concentra en acontecimientos contemporáneos?
Experimento	¿Cómo?, ¿Por qué?	Sí	Sí
Encuesta	¿Quién?, ¿Qué? ¿Dónde?, ¿Cuántos?	No	Sí
Estudio de caso	¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Por qué?	No	Sí

Tabla 14. Situaciones relevantes para diferentes métodos de investigación (Yin, 2009).

El caso de este capítulo es real, basado en acontecimientos reales que enfrentó Boeing en su cadena de suministro en la elaboración del Boeing 787 Dreamliner. Se muestra información relevante, sin embargo, recuerda que el caso en sí no puede contemplar todo. El material ha sido seleccionado para proporcionar suficiente información para ayudar a entender aspectos específicos sobre los riesgos y su mitigación.

Es importante subrayar que la esencia del estudio de caso Boeing 787 Dreamliner es la descripción, explicación o comprensión de la situación de riesgos en la cadena de suministro y de una manera lo más intensa y detallada posible. Se ha seleccionado este caso dada las características que presentan, las cuales son idóneas a la investigación de este escrito. Otro aspecto fascinante es que el caso es uno de los más trascendentes en la industria aeroespacial y de mayor interés para investigadores y profesores en la actualidad.

Se pretende que uso del estudio de caso exhiba importantes resultados e información acerca de los riesgos y su mitigación en la cadena de suministro que no puede ser obtenida por medio de los métodos cuantitativos y que es muy significativa y necesaria para la toma de decisiones en las organizaciones. También, se desea la oportunidad, y la capacidad, para desarrollar y analizar las posibles soluciones y sus implicaciones. En resumen, se mostrará:

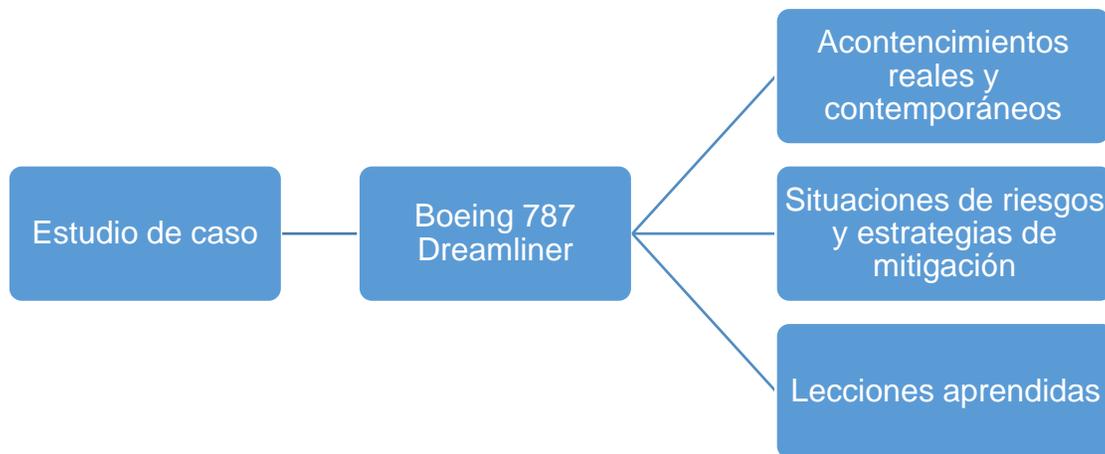


Figura 20. Resumen sobre lo que se pretende mostrar en el estudio de caso (Elaboración propia).

4.2 Presentación del caso

Boeing es la mayor compañía aeroespacial del mundo y el mayor fabricante de aviones comerciales y de defensa, espacio y sistemas de seguridad. Los productos y servicios adaptados de Boeing incluyen aviones comerciales y militares, satélites, armas, sistemas electrónicos y de defensa, sistemas de lanzamiento, sistemas de información y de las comunicaciones, y la logística basados en el rendimiento y la formación (Boeing, n.d.-b).

En 2003, Boeing aprueba una versión inicial de un avión, con el nombre temporal 7E7 (Muchos pensaron que la "E" se refería a varias cosas, como "eficiencia", "económico", o "ecológico", aunque al final Boeing dijo que esta letra significaba "ocho" en idioma inglés "eight"), para seguir siendo competitivo en el mercado, en consecuencia que los costos de combustible comenzaron a elevarse y el enfoque de las compañías aeroespaciales se trasladó desde la velocidad a la eficiencia. En enero de 2005 el avión fue llamado Boeing 787 Dreamliner.



Figura 21. Impresión artística del Boeing 787 Dreamliner (Fuente: Boeing).

En este apartado, se va a examinar la cadena de suministro del Boeing 787. Después, el análisis de los riesgos asociados a su cadena de suministro. Posteriormente, se describen las estrategias de mitigación de riesgos de Boeing para agilizar sus procesos de desarrollo y producción. Finalmente, se concluye con algunas lecciones aprendidas claves para los involucrados en el área de riesgo en la cadena de suministro.

El Boeing 787 Dreamliner es un avión comercial de tamaño medio y fuselaje ancho. Hay tres variantes del Boeing 787 Dreamliner, 787-8, 787-9, y 787-10. En el **Anexo B**, se muestran las características técnicas de las variantes. Es el primer avión comercial que se fabrica en un 50% con materiales compuestos, más resistentes y ligeros que el aluminio. Estos extraordinarios materiales constituyen una de las tecnologías fundamentales responsables del rendimiento incomparable en lo que a consumo de combustible se refiere (Boeing, n.d.-a).

El Boeing 787 Dreamliner se constituye con el 50% de materiales compuestos, 20% de aluminio y 30% de otros materiales. Los materiales compuestos (plásticos reforzados con fibra de carbono) conforman las principales secciones: el fuselaje, la cola y las alas (Modern Airlines, n.d.). La siguiente figura muestra los materiales usado en el cuerpo del avión.

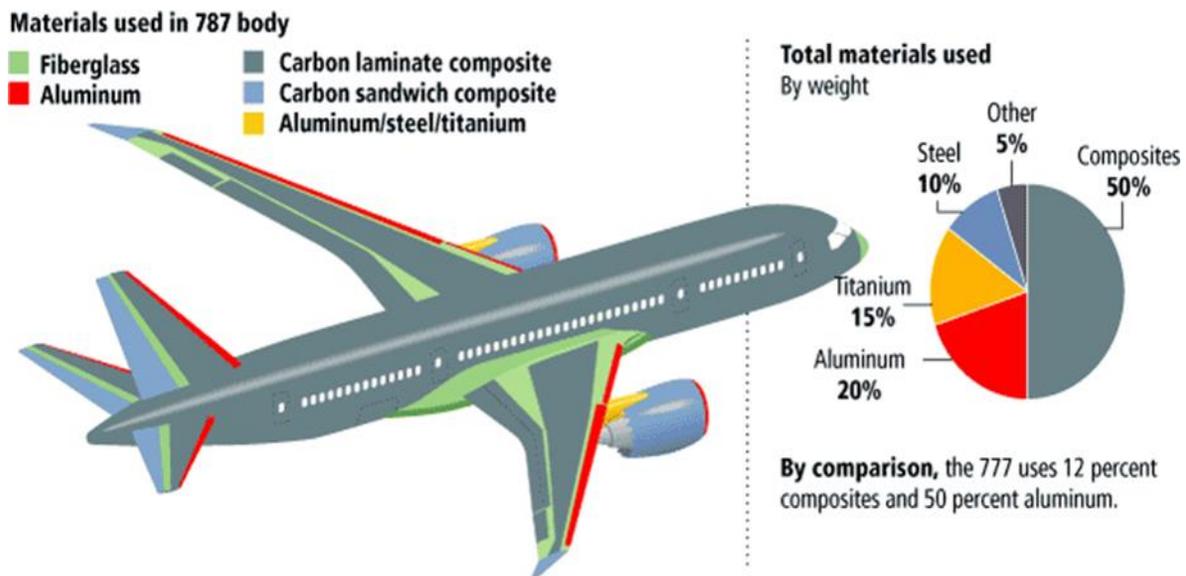


Figura 22. Materiales utilizados para construir el Boeing 787 Dreamliner (Fuente: Modern Airlines).

Toda una serie de avances tecnológicos que aumentan la eficiencia del consumo de combustible (consume un 20% menos de combustible y genera menos emisiones de carbono que los demás aviones de tamaño similar), como materiales compuestos ligeros, sistemas avanzados, nuevos motores, y aerodinámica moderna, hacen del Boeing 787 Dreamliner un avión eficiente también desde el punto de vista medioambiental. Además, los materiales compuestos permiten un menor nivel de altitud en la cabina, haciendo el viaje más confortable para los pasajeros (Boeing, n.d.-a).

La cadena de suministro del Boeing 787 Dreamliner se basa en una estructura escalonada que permite a Boeing fomentar las asociaciones con alrededor de 50 socios estratégicos Tier 1. Estos socios estratégicos sirven como "integradores" que ensamblan diferentes partes y subsistemas producidos por los proveedores Tier 2. La figura siguiente ilustra la cadena de suministro:

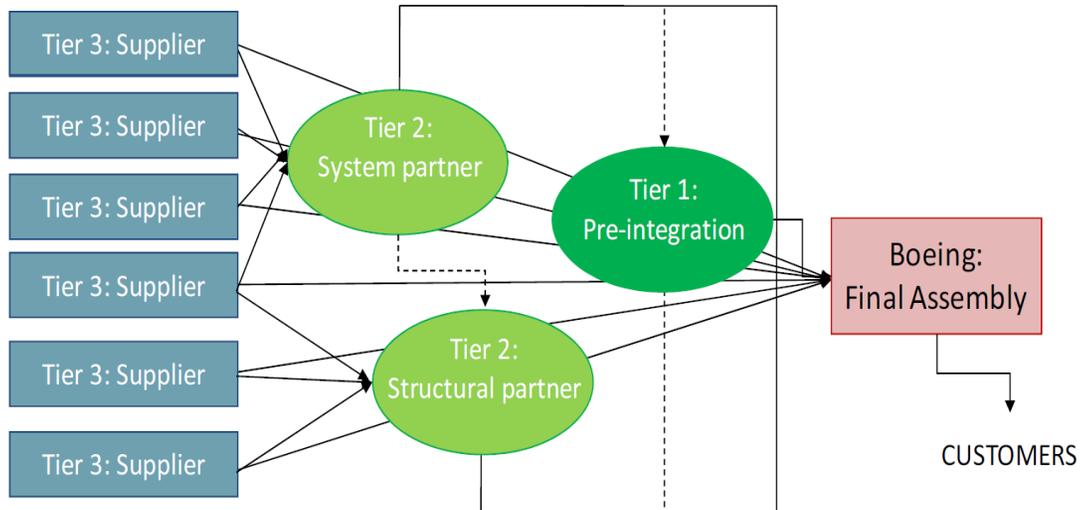


Figura 23. Estructura de la cadena de suministro del Boeing 787 Dreamliner (Tang & Zimmerman, 2009).

Con la finalidad de reducir el tiempo de desarrollo del Boeing 787 Dreamliner de seis a cuatro años, y el costo de desarrollo de 10 a 6 mil millones de dólares, Boeing decidió desarrollar y producir el Dreamliner mediante el uso de esta cadena de suministro. La cadena de suministro del Boeing 787 Dreamliner fue concebida para mantener la fabricación y montaje a bajo costo, mientras los riesgos financieros del desarrollo se difundían a los proveedores de Boeing (Tang & Zimmerman, 2009).

Otras características de la cadena de suministro son: externalización de un 70% de las actividades de desarrollo y producción con el objetivo de disminuir tiempos al poderse desarrollar partes al mismo tiempo; 50 socios estratégicos Tier 1 para disminuir tiempo y costo de desarrollo al fomentar alianzas estratégicas; contratos de riesgo compartido con la finalidad de que los socios estratégicos colaboren y coordinen esfuerzos de desarrollo; y realizar el ensamble completo en 3 días en su planta (Tang & Zimmerman, 2009).

El ensamble del Boeing 787 se lleva a cabo en la planta de Boeing “Everett, Washington”. Al igual que con el Boeing 737, la construcción de los componentes principales del Boeing 787 Dreamliner se realiza mediante contratos con los fabricantes de todo el mundo. La siguiente ilustración muestra los proveedores de partes del avión.

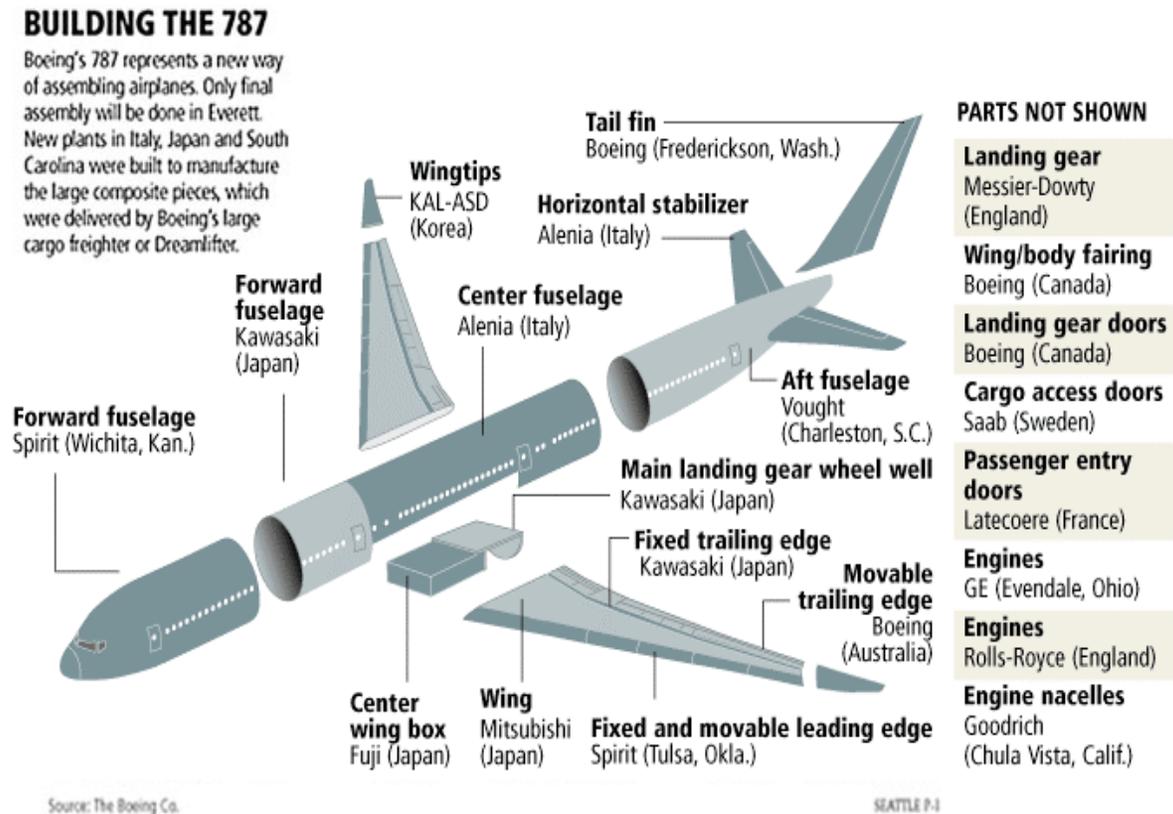


Figura 24. Proveedores de piezas para construir el Boeing 787 Dreamliner (Fuente: Seattle Post-Intelligencer).

Los principales proveedores de Boeing son: Spirit AeroSystems (USA), Alenia Aeronautica (Italy), Kawasaki Heavy Industries (Japan), Vought Aircraft Industries (USA), Fuji Heavy Industries (Japan), and Mitsubishi Heavy Industries (Japan). Estos socios estratégicos son responsables de la entrega de secciones completas del avión, lo que permitiría a Boeing ensamblar estas secciones completas dentro de tres días en su planta de Everett, Washington.

Empezando en Septiembre de 2007, el Boeing 787 Dreamliner empezó a presentar demoras significativas. Los impactos de estas demoras fueron acompañados de costos enormes adicionales así como de otros efectos tangibles e intangibles en Boeing. La tabla siguiente provee un resumen de las principales demoras anunciadas y sus razones:

#Demora	Aviso de la demora	Demora acumulativa	Razones de las demoras reportadas por Boeing
1	Sep 2007	3 meses	La demora es atribuida a la escasez de tornillos o sujetadores y problemas con el software de control de vuelo.
2	Oct 2007	6 meses	Boeing culpó a la red de su cadena de suministro y a problemas de producción.
3	Ene 2008	9 meses	Boeing anuncia un nuevo retraso debido a problemas con los proveedores Tier 1 y el progreso lento de montaje en la planta Everett, Washington.
4	Abr 2008	1 año	Boeing informa otra demora debido a problemas con los proveedores y con la tecnología de fibra de carbono.
5	Dic 2008	2 años	Las demoras fueron causadas por el trabajo incorrecto hecho por los proveedores y por una gran huelga en Boeing de 57 días.
6	Jun 2009	2.5 años	Las demoras son ocasionadas por defectos estructurales que resultan de unir las alas al fuselaje del avión.
7	Nov 2010	3 años	Boeing anunció otra demora para dar tiempo a realizar modificaciones y solucionar los problemas encontrados en las pruebas.
8	Ene 2011	3.5 años	Boeing notificó otra demora debido al trabajo que se requiere después del incendio a bordo en Texas.

Tabla 15. Principales demoras anunciadas para el Boeing 787 Dreamliner (Fuente: Boeing, Modern Airlines, New York Times, Bloomberg).

Aunque la cadena de suministro del Boeing 787 Dreamliner tiene gran potencial para reducir tiempo y costo, presenta varios riesgos que causan demoras muy significativas. La siguiente tabla expone los riesgos por categorías y sus consecuencias.

Categoría de riesgo	Riesgo potencial en el B787 Dreamliner	Consecuencia: ¿Qué pasaba en Boeing?
Suministro	Los proveedores Tier 1 subcontratan desarrollo de tareas a socios Tier 2 que no pueden tener experiencia técnica.	Falta de conocimientos sobre la selección del proveedor por socio Tier 1, demora en el desarrollo y fabricación.
Proceso	Sobre dependencia sobre socios Tier 1 para coordinar sus tareas de desarrollo con sus proveedores de la cadena de suministro.	Necesidad por incrementar la coordinación de las actividades de proveedores requiere viajes de trabajo por personal de Boeing.
Demanda(Clientes)	La publicidad de los problemas podría causar problemas con la aerolínea y la precepción de pasajeros de Boeing.	Las demoras de entrega podrían causar multas financieras y cancelación de órdenes.
Control	Insatisfacción del sindicato con la decisión de Boeing de subcontratar mayor cantidad	Huelga del sindicato que causa el paro de trabajo.
Tecnología	Inviabilidad del material en las pruebas de vuelo.	En los socios proveedores resultaron significativas demoras.

Tabla 16. Riesgos en la cadena de suministro del Boeing 787 Dreamliner (Fuente: Seattle Post-Intelligencer).

Estos riesgos son el resultado de técnicas y materiales tecnológicos no probados, así como de la estructura de la cadena de suministro y el proceso de desarrollo del Boeing 787 Dreamliner.

Después de 3.5 años de demora y un gasto de 10 mil millones de dolares por encima del presupuesto, Boeing entregó su primer Boeing 787 Dreamliner a All Nippon Airways (ANA) en Septiembre de 2011 (Michael, 2011). Se exhiben las estrategias de mitigación de Boeing para reducir el impacto negativo causado por los riesgos y para evitar las demoras adicionales.

Categoría de riesgo	Estrategia de mitigación
Suministro	Adquiere compañía de la etapa de obstáculo (Vought Aircraft Industries).
Proceso	Envía cientos de ingenieros para resolver asuntos con socios sobre bajo desempeño.
Demanda(Clientes)	Boeing paga multas por las demoras de entrega, campaña de relaciones públicas para tranquilizar a clientes.
Control	Concede labor para sindicato - incrementó sueldo y disminuyó outsourcing.
Tecnología	Modifica diseño.

Tabla 17. Estrategias de mitigación de riesgos usadas por Boeing (Tang & Zimmerman, 2009).

Para hacer frente a las interrupciones y demoras, Boeing respondió con las estrategias de mitigación descritas en la tabla anterior, con la finalidad de reducir el impacto negativo de los eventos actuales y de riesgos futuros. Sin embargo, se necesita un equipo que evalúe los riesgo potenciales de forma proactiva y desarrollar estrategias adecuadas para mitigarlos eficazmente para realizar una extraordinaria gestión de riesgos.

Aunque Boeing realizó su mejor esfuerzo para mitigar los riesgos en su cadena de suministro del Boeing 787 Dreamliner podría haber utilizado desde el principio algunas estrategias de forma proactiva con el objeto de tener mayor capacidad de mitigación y que su cadena fuera más resiliente. Se presentan algunas estrategias alternativas para mitigar los riesgos.

Categoría de riesgo	Estrategia de mitigación	Efecto sobre el riesgo
Suministro	Visibilidad de la cadena de suministro	Evita o reduce
	Colaboración de la cadena de suministro	Reduce
Proceso	Riesgo compartido con socios estratégicos	Reduce
	Flexibilidad en la cadena de suministro	Evita o reduce
Demanda(Clientes)	Información compartida	Evita o reduce
Control	Mejorar comunicación para discutir las estrategias	Evita

Tabla 18. Algunas estrategias alternativas para mitigar los riesgos (Elaboración propia).

Al examinar los riesgos asociados con la cadena de suministro de Boeing y mediante el análisis de las estrategias de mitigación de Boeing presentado anteriormente, se ha desarrollado la anterior tabla. Estas son algunas de las estrategias de mitigación que otros fabricantes o gestores o directores involucrados en el área riesgos pueden tener en cuenta en la gestión de sus cadenas de suministro para el desarrollo eficiente de nuevos productos o ya existentes.

4.3 Lecciones aprendidas

Se corroboró que los riesgos en la cadena de suministro pueden ser muy costosos, ocasionar interrupciones y tardar tiempo en mitigarse cuando no se toman las estrategias adecuadas. Una clara implicación es lo conveniente de invertir en la gestión de riesgos y en métodos y modelos que ayuden a cuantificar la mitigación con el objetivo de evitar riesgos futuros.

Sin embargo, podría ser imposible identificar todos los riesgos potenciales y usar las estrategias adecuadas para mitigar todas las posibles eventualidades, Boeing podría haber hecho muchas cosas de manera diferente. Esto puede ser un instructivo para directores y gestores en cualquier organización, al ver los riesgos que Boeing enfrentó y las acciones que tomó para mitigar los riesgos. Espero que el análisis del caso proporcione una guía útil para los involucrados en el área de riesgo en la cadena de suministro.

El caso evidenció efectivamente, un riesgo en la cadena de suministro puede ser un catalizador para el fortalecimiento de la reputación de una organización más allá de su estado previo a las fallas. Una crisis centra y motiva a la organización, proporcionando un fuerte y necesario impulso para el cambio radical, y desencadenando los recursos y nuevas formas de pensar que a menudo son difíciles de influenciar en circunstancias normales. Este es el lado positivo de los riesgos. Algunas de las lecciones aprendidas son:

1. Integre y consolide un equipo de gestión de riesgo con las habilidades de identificar, evaluar, mitigar y monitorear los riesgos en la cadena de suministro. Con el propósito de tener la capacidad de evitar, transferir, reducir y aceptar los riesgos de forma proactiva o reactiva utilizando las mejores estrategias de mitigación.
2. Mejore la flexibilidad, colaboración, visibilidad y agilidad de la cadena de suministro, simultáneamente deberá tener un inventario estratégico e información compartida para incrementar la capacidad de mitigación de riesgos y disminuir las interrupciones en la cadena de suministro.
3. Desarrolle o utilice algún método o modelo para medir la capacidad de mitigación de riesgos en la cadena de suministro y nunca subestime e ignore los riesgos y sus consecuencias, recuerde, ¡los riesgos son omnipresentes!.
4. Invierta en la tener una sólida gestión de riesgos y capacidad de mitigación en la cadena de suministro, los costos de un fracaso, demora o interrupción son muy elevados. Esto puede hacer la diferencia en el éxito y la competitividad de una cadena de suministro.

Conclusiones

Actualmente, gran cantidad de las organizaciones y de los tomadores de decisión no tienen claro cómo identificar, evaluar, controlar o mitigar y monitorear los riesgos en la cadena de suministro. Los riesgos causan interrupciones e infinidad de efectos negativos que impactan en el desempeño financiero de la organización. Lo anterior, nos indica una necesidad de cuantificar la mitigación de riesgo para desarrollar ventajas competitivas en las cadenas de suministro cada vez más globalizadas y complejas.

Las Interrupciones en la cadena de suministro son, sin duda, difícil de predecir, pero las organizaciones pueden controlar el grado en que estas alteraciones podrían afectar su cadena de suministro. La aplicación de mejores prácticas de gestión de riesgos permitirá a los tomadores de decisión estar mejor preparados para gestionar los riesgos y mitigarlos. Aunque, podría ser imposible identificar todos los riesgos potenciales y usar las estrategias adecuadas para mitigar todas las posibles eventualidades, se pueden evitar muchos efectos negativos de forma proactiva.

En este trabajo de investigación se desarrolló un método/modelo que cuantifica la capacidad de mitigación de riesgo en la cadena de suministro, y proporciona información útil para la excelente toma de decisión acerca de las áreas de la organización que presentan deficiencias y se deben mejorar con la finalidad de: disminuir las interrupciones en la cadena de suministro, disminuir las pérdidas ocasionadas por los riesgos, transformar a la organización en exitosa y competitiva, etc.

Esencialmente, para desarrollar este método primero se identificaron las 6 estrategias de mitigación más usadas de acuerdo a informes y artículos de investigación. Después, se estableció una relación entre las variables y se establecieron los diagramas de representación y la matriz de mitigación de riesgo. Posteriormente, se calculó la función permanente después de sustituir valores de las variables en la matriz. Por último, se encontró el índice de mitigación de riesgo y se estableció el valor ideal.

También, se presentó el caso Boeing 787 Dreamliner, que representa un singular caso, pero fue elegido deliberadamente debido a la comprensión que podría ofrecer sobre los riesgos y su mitigación en la cadena de suministro. Este caso es muy revelador y representa una importante situación en que estudiar las cuestiones de investigación de interés. Sin duda, se exhibió importante información y resultados de una manera intensa y detallada posible, para ayudar a entender aspectos específicos y obtener información significativa.

Es razonable decir que los riesgos en la cadena de suministro pueden ser muy costosos, ocasionar interrupciones y tardar tiempo en mitigarse cuando no se toman las estrategias adecuadas. Una clara implicación es lo conveniente de invertir en la gestión de riesgos y en métodos o modelos que ayuden a cuantificar la mitigación con el objetivo de evitar riesgos futuros. Aunque, algunos gestores y directores reconocen que la gestión del riesgo es imprescindible y que sus beneficios son mayores que sus costos, todavía necesita un poco de impulso su inclusión.

Finalmente, sí mejora la flexibilidad, colaboración, visibilidad y agilidad de la cadena de suministro, y simultáneamente tiene un inventario estratégico e información compartida incrementará la capacidad de mitigación de riesgos y disminuirá las interrupciones en la cadena de suministro, contribuyendo a la rentabilidad y aumento de la reputación de la organización con el propósito de hacer a la cadena de suministro más competitiva y exitosa.

Anexo A

Expresión de la función permanente con M=6 variables de mitigación de riesgo.

Función Permanente

Código

```
Permanent[m_List] := With[{v = Array[x, Length[m]]},
  Coefficient[Times@@(m.v), Times@@v]
]
```

$$\text{Permanent} \left(\begin{pmatrix} V_1 & R_{12} & R_{13} & R_{14} & R_{15} & R_{16} \\ R_{21} & V_2 & R_{23} & R_{24} & R_{25} & R_{26} \\ R_{31} & R_{32} & V_3 & R_{34} & R_{35} & R_{36} \\ R_{41} & R_{42} & R_{43} & V_4 & R_{45} & R_{46} \\ R_{51} & R_{52} & R_{53} & R_{54} & V_5 & R_{56} \\ R_{61} & R_{62} & R_{63} & R_{64} & R_{65} & V_6 \end{pmatrix} \right)$$

$$\begin{aligned} &R_{16} R_{25} R_{34} R_{43} R_{52} R_{61} + R_{15} R_{26} R_{34} R_{43} R_{52} R_{61} + R_{16} R_{24} R_{35} R_{43} R_{52} R_{61} + R_{14} R_{26} R_{35} R_{43} R_{52} R_{61} + \\ &R_{15} R_{24} R_{36} R_{43} R_{52} R_{61} + R_{14} R_{25} R_{36} R_{43} R_{52} R_{61} + R_{16} R_{23} R_{34} R_{45} R_{52} R_{61} + R_{13} R_{26} R_{34} R_{45} R_{52} R_{61} + \\ &R_{14} R_{23} R_{36} R_{45} R_{52} R_{61} + R_{13} R_{24} R_{36} R_{45} R_{52} R_{61} + R_{15} R_{23} R_{34} R_{46} R_{52} R_{61} + R_{13} R_{25} R_{34} R_{46} R_{52} R_{61} + \\ &R_{14} R_{23} R_{35} R_{46} R_{52} R_{61} + R_{13} R_{24} R_{35} R_{46} R_{52} R_{61} + R_{16} R_{25} R_{34} R_{42} R_{53} R_{61} + R_{15} R_{26} R_{34} R_{42} R_{53} R_{61} + \\ &R_{16} R_{24} R_{35} R_{42} R_{53} R_{61} + R_{14} R_{26} R_{35} R_{42} R_{53} R_{61} + R_{15} R_{24} R_{36} R_{42} R_{53} R_{61} + R_{14} R_{25} R_{36} R_{42} R_{53} R_{61} + \\ &R_{16} R_{24} R_{32} R_{45} R_{53} R_{61} + R_{14} R_{26} R_{32} R_{45} R_{53} R_{61} + R_{12} R_{26} R_{34} R_{45} R_{53} R_{61} + R_{12} R_{24} R_{36} R_{45} R_{53} R_{61} + \\ &R_{15} R_{24} R_{32} R_{46} R_{53} R_{61} + R_{14} R_{25} R_{32} R_{46} R_{53} R_{61} + R_{12} R_{25} R_{34} R_{46} R_{53} R_{61} + R_{12} R_{24} R_{35} R_{46} R_{53} R_{61} + \\ &R_{16} R_{23} R_{35} R_{42} R_{54} R_{61} + R_{13} R_{26} R_{35} R_{42} R_{54} R_{61} + R_{15} R_{23} R_{36} R_{42} R_{54} R_{61} + R_{13} R_{25} R_{36} R_{42} R_{54} R_{61} + \\ &R_{16} R_{25} R_{32} R_{43} R_{54} R_{61} + R_{15} R_{26} R_{32} R_{43} R_{54} R_{61} + R_{12} R_{26} R_{35} R_{43} R_{54} R_{61} + R_{12} R_{25} R_{36} R_{43} R_{54} R_{61} + \\ &R_{16} R_{23} R_{32} R_{45} R_{54} R_{61} + R_{13} R_{26} R_{32} R_{45} R_{54} R_{61} + R_{12} R_{23} R_{36} R_{45} R_{54} R_{61} + R_{15} R_{23} R_{32} R_{46} R_{54} R_{61} + \\ &R_{13} R_{25} R_{32} R_{46} R_{54} R_{61} + R_{12} R_{23} R_{35} R_{46} R_{54} R_{61} + R_{15} R_{23} R_{34} R_{42} R_{56} R_{61} + R_{13} R_{25} R_{34} R_{42} R_{56} R_{61} + \\ &R_{14} R_{23} R_{35} R_{42} R_{56} R_{61} + R_{13} R_{24} R_{35} R_{42} R_{56} R_{61} + R_{15} R_{24} R_{32} R_{43} R_{56} R_{61} + R_{14} R_{25} R_{32} R_{43} R_{56} R_{61} + \\ &R_{12} R_{25} R_{34} R_{43} R_{56} R_{61} + R_{12} R_{24} R_{35} R_{43} R_{56} R_{61} + R_{14} R_{23} R_{32} R_{45} R_{56} R_{61} + R_{13} R_{24} R_{32} R_{45} R_{56} R_{61} + \\ &R_{12} R_{23} R_{34} R_{45} R_{56} R_{61} + R_{16} R_{25} R_{34} R_{43} R_{51} R_{62} + R_{15} R_{26} R_{34} R_{43} R_{51} R_{62} + R_{16} R_{24} R_{35} R_{43} R_{51} R_{62} + \\ &R_{14} R_{26} R_{35} R_{43} R_{51} R_{62} + R_{15} R_{24} R_{36} R_{43} R_{51} R_{62} + R_{14} R_{25} R_{36} R_{43} R_{51} R_{62} + R_{16} R_{23} R_{34} R_{45} R_{51} R_{62} + \\ &R_{13} R_{26} R_{34} R_{45} R_{51} R_{62} + R_{14} R_{23} R_{36} R_{45} R_{51} R_{62} + R_{13} R_{24} R_{36} R_{45} R_{51} R_{62} + R_{15} R_{23} R_{34} R_{46} R_{51} R_{62} + \\ &R_{13} R_{25} R_{34} R_{46} R_{51} R_{62} + R_{14} R_{23} R_{35} R_{46} R_{51} R_{62} + R_{13} R_{24} R_{35} R_{46} R_{51} R_{62} + R_{16} R_{25} R_{34} R_{41} R_{53} R_{62} + \\ &R_{15} R_{26} R_{34} R_{41} R_{53} R_{62} + R_{16} R_{24} R_{35} R_{41} R_{53} R_{62} + R_{14} R_{26} R_{35} R_{41} R_{53} R_{62} + R_{15} R_{24} R_{36} R_{41} R_{53} R_{62} + \\ &R_{14} R_{25} R_{36} R_{41} R_{53} R_{62} + R_{16} R_{24} R_{31} R_{45} R_{53} R_{62} + R_{14} R_{26} R_{31} R_{45} R_{53} R_{62} + R_{16} R_{21} R_{34} R_{45} R_{53} R_{62} + \\ &R_{14} R_{21} R_{36} R_{45} R_{53} R_{62} + R_{15} R_{24} R_{31} R_{46} R_{53} R_{62} + R_{14} R_{25} R_{31} R_{46} R_{53} R_{62} + R_{15} R_{21} R_{34} R_{46} R_{53} R_{62} + \\ &R_{14} R_{21} R_{35} R_{46} R_{53} R_{62} + R_{16} R_{23} R_{35} R_{41} R_{54} R_{62} + R_{13} R_{26} R_{35} R_{41} R_{54} R_{62} + R_{15} R_{23} R_{36} R_{41} R_{54} R_{62} + \\ &R_{13} R_{25} R_{36} R_{41} R_{54} R_{62} + R_{16} R_{25} R_{31} R_{43} R_{54} R_{62} + R_{15} R_{26} R_{31} R_{43} R_{54} R_{62} + R_{16} R_{21} R_{35} R_{43} R_{54} R_{62} + \\ &R_{15} R_{21} R_{36} R_{43} R_{54} R_{62} + R_{16} R_{23} R_{31} R_{45} R_{54} R_{62} + R_{13} R_{26} R_{31} R_{45} R_{54} R_{62} + R_{13} R_{21} R_{36} R_{45} R_{54} R_{62} + \\ &R_{15} R_{23} R_{31} R_{46} R_{54} R_{62} + R_{13} R_{25} R_{31} R_{46} R_{54} R_{62} + R_{13} R_{21} R_{35} R_{46} R_{54} R_{62} + R_{15} R_{23} R_{34} R_{41} R_{56} R_{62} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& R_{16} R_{21} R_{32} R_{43} R_{54} R_{65} + R_{12} R_{21} R_{36} R_{43} R_{54} R_{65} + R_{12} R_{23} R_{31} R_{46} R_{54} R_{65} + R_{13} R_{21} R_{32} R_{46} R_{54} R_{65} + \\
& R_{14} R_{23} R_{32} R_{41} R_{56} R_{65} + R_{13} R_{24} R_{32} R_{41} R_{56} R_{65} + R_{12} R_{23} R_{34} R_{41} R_{56} R_{65} + R_{14} R_{23} R_{31} R_{42} R_{56} R_{65} + \\
& R_{13} R_{24} R_{31} R_{42} R_{56} R_{65} + R_{13} R_{21} R_{34} R_{42} R_{56} R_{65} + R_{12} R_{24} R_{31} R_{43} R_{56} R_{65} + R_{14} R_{21} R_{32} R_{43} R_{56} R_{65} + \\
& R_{12} R_{21} R_{34} R_{43} R_{56} R_{65} + R_{26} R_{34} R_{45} R_{53} R_{62} V_1 + R_{24} R_{36} R_{45} R_{53} R_{62} V_1 + R_{25} R_{34} R_{46} R_{53} R_{62} V_1 + \\
& R_{24} R_{35} R_{46} R_{53} R_{62} V_1 + R_{26} R_{35} R_{43} R_{54} R_{62} V_1 + R_{25} R_{36} R_{43} R_{54} R_{62} V_1 + R_{23} R_{36} R_{45} R_{54} R_{62} V_1 + \\
& R_{23} R_{35} R_{46} R_{54} R_{62} V_1 + R_{25} R_{34} R_{43} R_{56} R_{62} V_1 + R_{24} R_{35} R_{43} R_{56} R_{62} V_1 + R_{23} R_{34} R_{45} R_{56} R_{62} V_1 + \\
& R_{26} R_{34} R_{45} R_{52} R_{63} V_1 + R_{24} R_{36} R_{45} R_{52} R_{63} V_1 + R_{25} R_{34} R_{46} R_{52} R_{63} V_1 + R_{24} R_{35} R_{46} R_{52} R_{63} V_1 + \\
& R_{26} R_{35} R_{42} R_{54} R_{63} V_1 + R_{25} R_{36} R_{42} R_{54} R_{63} V_1 + R_{26} R_{32} R_{45} R_{54} R_{63} V_1 + R_{25} R_{32} R_{46} R_{54} R_{63} V_1 + \\
& R_{25} R_{34} R_{42} R_{56} R_{63} V_1 + R_{24} R_{35} R_{42} R_{56} R_{63} V_1 + R_{24} R_{32} R_{45} R_{56} R_{63} V_1 + R_{26} R_{35} R_{43} R_{52} R_{64} V_1 + \\
& R_{25} R_{36} R_{43} R_{52} R_{64} V_1 + R_{23} R_{36} R_{45} R_{52} R_{64} V_1 + R_{23} R_{35} R_{46} R_{52} R_{64} V_1 + R_{26} R_{35} R_{42} R_{53} R_{64} V_1 + \\
& R_{25} R_{36} R_{42} R_{53} R_{64} V_1 + R_{26} R_{32} R_{45} R_{53} R_{64} V_1 + R_{25} R_{32} R_{46} R_{53} R_{64} V_1 + R_{23} R_{35} R_{42} R_{56} R_{64} V_1 + \\
& R_{25} R_{32} R_{43} R_{56} R_{64} V_1 + R_{23} R_{32} R_{45} R_{56} R_{64} V_1 + R_{26} R_{34} R_{43} R_{52} R_{65} V_1 + R_{24} R_{36} R_{43} R_{52} R_{65} V_1 + \\
& R_{23} R_{34} R_{46} R_{52} R_{65} V_1 + R_{26} R_{34} R_{42} R_{53} R_{65} V_1 + R_{24} R_{36} R_{42} R_{53} R_{65} V_1 + R_{24} R_{32} R_{46} R_{53} R_{65} V_1 + \\
& R_{23} R_{36} R_{42} R_{54} R_{65} V_1 + R_{26} R_{32} R_{43} R_{54} R_{65} V_1 + R_{23} R_{32} R_{46} R_{54} R_{65} V_1 + R_{23} R_{34} R_{42} R_{56} R_{65} V_1 + \\
& R_{24} R_{32} R_{43} R_{56} R_{65} V_1 + R_{16} R_{34} R_{45} R_{53} R_{61} V_2 + R_{14} R_{36} R_{45} R_{53} R_{61} V_2 + R_{15} R_{34} R_{46} R_{53} R_{61} V_2 + \\
& R_{14} R_{35} R_{46} R_{53} R_{61} V_2 + R_{16} R_{35} R_{43} R_{54} R_{61} V_2 + R_{15} R_{36} R_{43} R_{54} R_{61} V_2 + R_{13} R_{36} R_{45} R_{54} R_{61} V_2 + \\
& R_{13} R_{35} R_{46} R_{54} R_{61} V_2 + R_{15} R_{34} R_{43} R_{56} R_{61} V_2 + R_{14} R_{35} R_{43} R_{56} R_{61} V_2 + R_{13} R_{34} R_{45} R_{56} R_{61} V_2 + \\
& R_{16} R_{34} R_{45} R_{51} R_{63} V_2 + R_{14} R_{36} R_{45} R_{51} R_{63} V_2 + R_{15} R_{34} R_{46} R_{51} R_{63} V_2 + R_{14} R_{35} R_{46} R_{51} R_{63} V_2 + \\
& R_{16} R_{35} R_{41} R_{54} R_{63} V_2 + R_{15} R_{36} R_{41} R_{54} R_{63} V_2 + R_{16} R_{31} R_{45} R_{54} R_{63} V_2 + R_{15} R_{31} R_{46} R_{54} R_{63} V_2 + \\
& R_{15} R_{34} R_{41} R_{56} R_{63} V_2 + R_{14} R_{35} R_{41} R_{56} R_{63} V_2 + R_{14} R_{31} R_{45} R_{56} R_{63} V_2 + R_{16} R_{35} R_{43} R_{51} R_{64} V_2 + \\
& R_{15} R_{36} R_{43} R_{51} R_{64} V_2 + R_{13} R_{36} R_{45} R_{51} R_{64} V_2 + R_{13} R_{35} R_{46} R_{51} R_{64} V_2 + R_{16} R_{35} R_{41} R_{53} R_{64} V_2 + \\
& R_{15} R_{36} R_{41} R_{53} R_{64} V_2 + R_{16} R_{31} R_{45} R_{53} R_{64} V_2 + R_{15} R_{31} R_{46} R_{53} R_{64} V_2 + R_{13} R_{35} R_{41} R_{56} R_{64} V_2 + \\
& R_{15} R_{31} R_{43} R_{56} R_{64} V_2 + R_{13} R_{31} R_{45} R_{56} R_{64} V_2 + R_{16} R_{34} R_{43} R_{51} R_{65} V_2 + R_{14} R_{36} R_{43} R_{51} R_{65} V_2 + \\
& R_{13} R_{34} R_{46} R_{51} R_{65} V_2 + R_{16} R_{34} R_{41} R_{53} R_{65} V_2 + R_{14} R_{36} R_{41} R_{53} R_{65} V_2 + R_{14} R_{31} R_{46} R_{53} R_{65} V_2 + \\
& R_{13} R_{36} R_{41} R_{54} R_{65} V_2 + R_{16} R_{31} R_{43} R_{54} R_{65} V_2 + R_{13} R_{31} R_{46} R_{54} R_{65} V_2 + R_{13} R_{34} R_{41} R_{56} R_{65} V_2 + \\
& R_{14} R_{31} R_{43} R_{56} R_{65} V_2 + R_{36} R_{45} R_{54} R_{63} V_1 V_2 + R_{35} R_{46} R_{54} R_{63} V_1 V_2 + R_{34} R_{45} R_{56} R_{63} V_1 V_2 + \\
& R_{36} R_{45} R_{53} R_{64} V_1 V_2 + R_{35} R_{46} R_{53} R_{64} V_1 V_2 + R_{35} R_{43} R_{56} R_{64} V_1 V_2 + R_{34} R_{46} R_{53} R_{65} V_1 V_2 + \\
& R_{36} R_{43} R_{54} R_{65} V_1 V_2 + R_{34} R_{43} R_{56} R_{65} V_1 V_2 + R_{16} R_{24} R_{45} R_{52} R_{61} V_3 + R_{14} R_{26} R_{45} R_{52} R_{61} V_3 + \\
& R_{15} R_{24} R_{46} R_{52} R_{61} V_3 + R_{14} R_{25} R_{46} R_{52} R_{61} V_3 + R_{16} R_{25} R_{42} R_{54} R_{61} V_3 + R_{15} R_{26} R_{42} R_{54} R_{61} V_3 + \\
& R_{12} R_{26} R_{45} R_{54} R_{61} V_3 + R_{12} R_{25} R_{46} R_{54} R_{61} V_3 + R_{15} R_{24} R_{42} R_{56} R_{61} V_3 + R_{14} R_{25} R_{42} R_{56} R_{61} V_3 + \\
& R_{12} R_{24} R_{45} R_{56} R_{61} V_3 + R_{16} R_{24} R_{45} R_{51} R_{62} V_3 + R_{14} R_{26} R_{45} R_{51} R_{62} V_3 + R_{15} R_{24} R_{46} R_{51} R_{62} V_3 + \\
& R_{14} R_{25} R_{46} R_{51} R_{62} V_3 + R_{16} R_{25} R_{41} R_{54} R_{62} V_3 + R_{15} R_{26} R_{41} R_{54} R_{62} V_3 + R_{16} R_{21} R_{45} R_{54} R_{62} V_3 + \\
& R_{15} R_{21} R_{46} R_{54} R_{62} V_3 + R_{15} R_{24} R_{41} R_{56} R_{62} V_3 + R_{14} R_{25} R_{41} R_{56} R_{62} V_3 + R_{14} R_{21} R_{45} R_{56} R_{62} V_3 + \\
& R_{16} R_{25} R_{42} R_{51} R_{64} V_3 + R_{15} R_{26} R_{42} R_{51} R_{64} V_3 + R_{12} R_{26} R_{45} R_{51} R_{64} V_3 + R_{12} R_{25} R_{46} R_{51} R_{64} V_3 + \\
& R_{16} R_{25} R_{41} R_{52} R_{64} V_3 + R_{15} R_{26} R_{41} R_{52} R_{64} V_3 + R_{16} R_{21} R_{45} R_{52} R_{64} V_3 + R_{15} R_{21} R_{46} R_{52} R_{64} V_3 + \\
& R_{12} R_{25} R_{41} R_{56} R_{64} V_3 + R_{15} R_{21} R_{42} R_{56} R_{64} V_3 + R_{12} R_{21} R_{45} R_{56} R_{64} V_3 + R_{16} R_{24} R_{42} R_{51} R_{65} V_3 + \\
& R_{14} R_{26} R_{42} R_{51} R_{65} V_3 + R_{12} R_{24} R_{46} R_{51} R_{65} V_3 + R_{16} R_{24} R_{41} R_{52} R_{65} V_3 + R_{14} R_{26} R_{41} R_{52} R_{65} V_3 + \\
& R_{14} R_{21} R_{46} R_{52} R_{65} V_3 + R_{12} R_{26} R_{41} R_{54} R_{65} V_3 + R_{16} R_{21} R_{42} R_{54} R_{65} V_3 + R_{12} R_{21} R_{46} R_{54} R_{65} V_3 + \\
& R_{12} R_{24} R_{41} R_{56} R_{65} V_3 + R_{14} R_{21} R_{42} R_{56} R_{65} V_3 + R_{26} R_{45} R_{54} R_{62} V_1 V_3 + R_{25} R_{46} R_{54} R_{62} V_1 V_3 +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& R_{24} R_{45} R_{56} R_{62} V_1 V_3 + R_{26} R_{45} R_{52} R_{64} V_1 V_3 + R_{25} R_{46} R_{52} R_{64} V_1 V_3 + R_{25} R_{42} R_{56} R_{64} V_1 V_3 + \\
& R_{24} R_{46} R_{52} R_{65} V_1 V_3 + R_{26} R_{42} R_{54} R_{65} V_1 V_3 + R_{24} R_{42} R_{56} R_{65} V_1 V_3 + R_{16} R_{45} R_{54} R_{61} V_2 V_3 + \\
& R_{15} R_{46} R_{54} R_{61} V_2 V_3 + R_{14} R_{45} R_{56} R_{61} V_2 V_3 + R_{16} R_{45} R_{51} R_{64} V_2 V_3 + R_{15} R_{46} R_{51} R_{64} V_2 V_3 + \\
& R_{15} R_{41} R_{56} R_{64} V_2 V_3 + R_{14} R_{46} R_{51} R_{65} V_2 V_3 + R_{16} R_{41} R_{54} R_{65} V_2 V_3 + R_{14} R_{41} R_{56} R_{65} V_2 V_3 + \\
& R_{45} R_{56} R_{64} V_1 V_2 V_3 + R_{46} R_{54} R_{65} V_1 V_2 V_3 + R_{16} R_{23} R_{35} R_{52} R_{61} V_4 + R_{13} R_{26} R_{35} R_{52} R_{61} V_4 + \\
& R_{15} R_{23} R_{36} R_{52} R_{61} V_4 + R_{13} R_{25} R_{36} R_{52} R_{61} V_4 + R_{16} R_{25} R_{32} R_{53} R_{61} V_4 + R_{15} R_{26} R_{32} R_{53} R_{61} V_4 + \\
& R_{12} R_{26} R_{35} R_{53} R_{61} V_4 + R_{12} R_{25} R_{36} R_{53} R_{61} V_4 + R_{15} R_{23} R_{32} R_{56} R_{61} V_4 + R_{13} R_{25} R_{32} R_{56} R_{61} V_4 + \\
& R_{12} R_{23} R_{35} R_{56} R_{61} V_4 + R_{16} R_{23} R_{35} R_{51} R_{62} V_4 + R_{13} R_{26} R_{35} R_{51} R_{62} V_4 + R_{15} R_{23} R_{36} R_{51} R_{62} V_4 + \\
& R_{13} R_{25} R_{36} R_{51} R_{62} V_4 + R_{16} R_{25} R_{31} R_{53} R_{62} V_4 + R_{15} R_{26} R_{31} R_{53} R_{62} V_4 + R_{16} R_{21} R_{35} R_{53} R_{62} V_4 + \\
& R_{15} R_{21} R_{36} R_{53} R_{62} V_4 + R_{15} R_{23} R_{31} R_{56} R_{62} V_4 + R_{13} R_{25} R_{31} R_{56} R_{62} V_4 + R_{13} R_{21} R_{35} R_{56} R_{62} V_4 + \\
& R_{16} R_{25} R_{32} R_{51} R_{63} V_4 + R_{15} R_{26} R_{32} R_{51} R_{63} V_4 + R_{12} R_{26} R_{35} R_{51} R_{63} V_4 + R_{12} R_{25} R_{36} R_{51} R_{63} V_4 + \\
& R_{16} R_{25} R_{31} R_{52} R_{63} V_4 + R_{15} R_{26} R_{31} R_{52} R_{63} V_4 + R_{16} R_{21} R_{35} R_{52} R_{63} V_4 + R_{15} R_{21} R_{36} R_{52} R_{63} V_4 + \\
& R_{12} R_{25} R_{31} R_{56} R_{63} V_4 + R_{15} R_{21} R_{32} R_{56} R_{63} V_4 + R_{12} R_{21} R_{35} R_{56} R_{63} V_4 + R_{16} R_{23} R_{32} R_{51} R_{65} V_4 + \\
& R_{13} R_{26} R_{32} R_{51} R_{65} V_4 + R_{12} R_{23} R_{36} R_{51} R_{65} V_4 + R_{16} R_{23} R_{31} R_{52} R_{65} V_4 + R_{13} R_{26} R_{31} R_{52} R_{65} V_4 + \\
& R_{13} R_{21} R_{36} R_{52} R_{65} V_4 + R_{12} R_{26} R_{31} R_{53} R_{65} V_4 + R_{16} R_{21} R_{32} R_{53} R_{65} V_4 + R_{12} R_{21} R_{36} R_{53} R_{65} V_4 + \\
& R_{12} R_{23} R_{31} R_{56} R_{65} V_4 + R_{13} R_{21} R_{32} R_{56} R_{65} V_4 + R_{26} R_{35} R_{53} R_{62} V_1 V_4 + R_{25} R_{36} R_{53} R_{62} V_1 V_4 + \\
& R_{23} R_{35} R_{56} R_{62} V_1 V_4 + R_{26} R_{35} R_{52} R_{63} V_1 V_4 + R_{25} R_{36} R_{52} R_{63} V_1 V_4 + R_{25} R_{32} R_{56} R_{63} V_1 V_4 + \\
& R_{23} R_{36} R_{52} R_{65} V_1 V_4 + R_{26} R_{32} R_{53} R_{65} V_1 V_4 + R_{23} R_{32} R_{56} R_{65} V_1 V_4 + R_{16} R_{35} R_{53} R_{61} V_2 V_4 + \\
& R_{15} R_{36} R_{53} R_{61} V_2 V_4 + R_{13} R_{35} R_{56} R_{61} V_2 V_4 + R_{16} R_{35} R_{51} R_{63} V_2 V_4 + R_{15} R_{36} R_{51} R_{63} V_2 V_4 + \\
& R_{15} R_{31} R_{56} R_{63} V_2 V_4 + R_{13} R_{36} R_{51} R_{65} V_2 V_4 + R_{16} R_{31} R_{53} R_{65} V_2 V_4 + R_{13} R_{31} R_{56} R_{65} V_2 V_4 + \\
& R_{35} R_{56} R_{63} V_1 V_2 V_4 + R_{36} R_{53} R_{65} V_1 V_2 V_4 + R_{16} R_{25} R_{52} R_{61} V_3 V_4 + R_{15} R_{26} R_{52} R_{61} V_3 V_4 + \\
& R_{12} R_{25} R_{56} R_{61} V_3 V_4 + R_{16} R_{25} R_{51} R_{62} V_3 V_4 + R_{15} R_{26} R_{51} R_{62} V_3 V_4 + R_{15} R_{21} R_{56} R_{62} V_3 V_4 + \\
& R_{12} R_{26} R_{51} R_{65} V_3 V_4 + R_{16} R_{21} R_{52} R_{65} V_3 V_4 + R_{12} R_{21} R_{56} R_{65} V_3 V_4 + R_{25} R_{56} R_{62} V_1 V_3 V_4 + \\
& R_{26} R_{52} R_{65} V_1 V_3 V_4 + R_{15} R_{56} R_{61} V_2 V_3 V_4 + R_{16} R_{51} R_{65} V_2 V_3 V_4 + R_{56} R_{65} V_1 V_2 V_3 V_4 + \\
& R_{16} R_{23} R_{34} R_{42} R_{61} V_5 + R_{13} R_{26} R_{34} R_{42} R_{61} V_5 + R_{14} R_{23} R_{36} R_{42} R_{61} V_5 + R_{13} R_{24} R_{36} R_{42} R_{61} V_5 + \\
& R_{16} R_{24} R_{32} R_{43} R_{61} V_5 + R_{14} R_{26} R_{32} R_{43} R_{61} V_5 + R_{12} R_{26} R_{34} R_{43} R_{61} V_5 + R_{12} R_{24} R_{36} R_{43} R_{61} V_5 + \\
& R_{14} R_{23} R_{32} R_{46} R_{61} V_5 + R_{13} R_{24} R_{32} R_{46} R_{61} V_5 + R_{12} R_{23} R_{34} R_{46} R_{61} V_5 + R_{16} R_{23} R_{34} R_{41} R_{62} V_5 + \\
& R_{13} R_{26} R_{34} R_{41} R_{62} V_5 + R_{14} R_{23} R_{36} R_{41} R_{62} V_5 + R_{13} R_{24} R_{36} R_{41} R_{62} V_5 + R_{16} R_{24} R_{31} R_{43} R_{62} V_5 + \\
& R_{14} R_{26} R_{31} R_{43} R_{62} V_5 + R_{16} R_{21} R_{34} R_{43} R_{62} V_5 + R_{14} R_{21} R_{36} R_{43} R_{62} V_5 + R_{14} R_{23} R_{31} R_{46} R_{62} V_5 + \\
& R_{13} R_{24} R_{31} R_{46} R_{62} V_5 + R_{13} R_{21} R_{34} R_{46} R_{62} V_5 + R_{16} R_{24} R_{32} R_{41} R_{63} V_5 + R_{14} R_{26} R_{32} R_{41} R_{63} V_5 + \\
& R_{12} R_{26} R_{34} R_{41} R_{63} V_5 + R_{12} R_{24} R_{36} R_{41} R_{63} V_5 + R_{16} R_{24} R_{31} R_{42} R_{63} V_5 + R_{14} R_{26} R_{31} R_{42} R_{63} V_5 + \\
& R_{16} R_{21} R_{34} R_{42} R_{63} V_5 + R_{14} R_{21} R_{36} R_{42} R_{63} V_5 + R_{12} R_{24} R_{31} R_{46} R_{63} V_5 + R_{14} R_{21} R_{32} R_{46} R_{63} V_5 + \\
& R_{12} R_{21} R_{34} R_{46} R_{63} V_5 + R_{16} R_{23} R_{32} R_{41} R_{64} V_5 + R_{13} R_{26} R_{32} R_{41} R_{64} V_5 + R_{12} R_{23} R_{36} R_{41} R_{64} V_5 + \\
& R_{16} R_{23} R_{31} R_{42} R_{64} V_5 + R_{13} R_{26} R_{31} R_{42} R_{64} V_5 + R_{13} R_{21} R_{36} R_{42} R_{64} V_5 + R_{12} R_{26} R_{31} R_{43} R_{64} V_5 + \\
& R_{16} R_{21} R_{32} R_{43} R_{64} V_5 + R_{12} R_{21} R_{36} R_{43} R_{64} V_5 + R_{12} R_{23} R_{31} R_{46} R_{64} V_5 + R_{13} R_{21} R_{32} R_{46} R_{64} V_5 + \\
& R_{26} R_{34} R_{43} R_{62} V_1 V_5 + R_{24} R_{36} R_{43} R_{62} V_1 V_5 + R_{23} R_{34} R_{46} R_{62} V_1 V_5 + R_{26} R_{34} R_{42} R_{63} V_1 V_5 + \\
& R_{24} R_{36} R_{42} R_{63} V_1 V_5 + R_{24} R_{32} R_{46} R_{63} V_1 V_5 + R_{23} R_{36} R_{42} R_{64} V_1 V_5 + R_{26} R_{32} R_{43} R_{64} V_1 V_5 + \\
& R_{23} R_{32} R_{46} R_{64} V_1 V_5 + R_{16} R_{34} R_{43} R_{61} V_2 V_5 + R_{14} R_{36} R_{43} R_{61} V_2 V_5 + R_{13} R_{34} R_{46} R_{61} V_2 V_5 + \\
& R_{16} R_{34} R_{41} R_{63} V_2 V_5 + R_{14} R_{36} R_{41} R_{63} V_2 V_5 + R_{14} R_{31} R_{46} R_{63} V_2 V_5 + R_{13} R_{36} R_{41} R_{64} V_2 V_5 +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& R_{16} R_{31} R_{43} R_{64} V_2 V_5 + R_{13} R_{31} R_{46} R_{64} V_2 V_5 + R_{34} R_{46} R_{63} V_1 V_2 V_5 + R_{36} R_{43} R_{64} V_1 V_2 V_5 + \\
& R_{16} R_{24} R_{42} R_{61} V_3 V_5 + R_{14} R_{26} R_{42} R_{61} V_3 V_5 + R_{12} R_{24} R_{46} R_{61} V_3 V_5 + R_{16} R_{24} R_{41} R_{62} V_3 V_5 + \\
& R_{14} R_{26} R_{41} R_{62} V_3 V_5 + R_{14} R_{21} R_{46} R_{62} V_3 V_5 + R_{12} R_{26} R_{41} R_{64} V_3 V_5 + R_{16} R_{21} R_{42} R_{64} V_3 V_5 + \\
& R_{12} R_{21} R_{46} R_{64} V_3 V_5 + R_{24} R_{46} R_{62} V_1 V_3 V_5 + R_{26} R_{42} R_{64} V_1 V_3 V_5 + R_{14} R_{46} R_{61} V_2 V_3 V_5 + \\
& R_{16} R_{41} R_{64} V_2 V_3 V_5 + R_{46} R_{64} V_1 V_2 V_3 V_5 + R_{16} R_{23} R_{32} R_{61} V_4 V_5 + R_{13} R_{26} R_{32} R_{61} V_4 V_5 + \\
& R_{12} R_{23} R_{36} R_{61} V_4 V_5 + R_{16} R_{23} R_{31} R_{62} V_4 V_5 + R_{13} R_{26} R_{31} R_{62} V_4 V_5 + R_{13} R_{21} R_{36} R_{62} V_4 V_5 + \\
& R_{12} R_{26} R_{31} R_{63} V_4 V_5 + R_{16} R_{21} R_{32} R_{63} V_4 V_5 + R_{12} R_{21} R_{36} R_{63} V_4 V_5 + R_{23} R_{36} R_{62} V_1 V_4 V_5 + \\
& R_{26} R_{32} R_{63} V_1 V_4 V_5 + R_{13} R_{36} R_{61} V_2 V_4 V_5 + R_{16} R_{31} R_{63} V_2 V_4 V_5 + R_{36} R_{63} V_1 V_2 V_4 V_5 + \\
& R_{12} R_{26} R_{61} V_3 V_4 V_5 + R_{16} R_{21} R_{62} V_3 V_4 V_5 + R_{26} R_{62} V_1 V_3 V_4 V_5 + R_{16} R_{61} V_2 V_3 V_4 V_5 + \\
& R_{15} R_{23} R_{34} R_{42} R_{51} V_6 + R_{13} R_{25} R_{34} R_{42} R_{51} V_6 + R_{14} R_{23} R_{35} R_{42} R_{51} V_6 + R_{13} R_{24} R_{35} R_{42} R_{51} V_6 + \\
& R_{15} R_{24} R_{32} R_{43} R_{51} V_6 + R_{14} R_{25} R_{32} R_{43} R_{51} V_6 + R_{12} R_{25} R_{34} R_{43} R_{51} V_6 + R_{12} R_{24} R_{35} R_{43} R_{51} V_6 + \\
& R_{14} R_{23} R_{32} R_{45} R_{51} V_6 + R_{13} R_{24} R_{32} R_{45} R_{51} V_6 + R_{12} R_{23} R_{34} R_{45} R_{51} V_6 + R_{15} R_{23} R_{34} R_{41} R_{52} V_6 + \\
& R_{13} R_{25} R_{34} R_{41} R_{52} V_6 + R_{14} R_{23} R_{35} R_{41} R_{52} V_6 + R_{13} R_{24} R_{35} R_{41} R_{52} V_6 + R_{15} R_{24} R_{31} R_{43} R_{52} V_6 + \\
& R_{14} R_{25} R_{31} R_{43} R_{52} V_6 + R_{15} R_{21} R_{34} R_{43} R_{52} V_6 + R_{14} R_{21} R_{35} R_{43} R_{52} V_6 + R_{14} R_{23} R_{31} R_{45} R_{52} V_6 + \\
& R_{13} R_{24} R_{31} R_{45} R_{52} V_6 + R_{13} R_{21} R_{34} R_{45} R_{52} V_6 + R_{15} R_{24} R_{32} R_{41} R_{53} V_6 + R_{14} R_{25} R_{32} R_{41} R_{53} V_6 + \\
& R_{12} R_{25} R_{34} R_{41} R_{53} V_6 + R_{12} R_{24} R_{35} R_{41} R_{53} V_6 + R_{15} R_{24} R_{31} R_{42} R_{53} V_6 + R_{14} R_{25} R_{31} R_{42} R_{53} V_6 + \\
& R_{15} R_{21} R_{34} R_{42} R_{53} V_6 + R_{14} R_{21} R_{35} R_{42} R_{53} V_6 + R_{12} R_{24} R_{31} R_{45} R_{53} V_6 + R_{14} R_{21} R_{32} R_{45} R_{53} V_6 + \\
& R_{12} R_{21} R_{34} R_{45} R_{53} V_6 + R_{15} R_{23} R_{32} R_{41} R_{54} V_6 + R_{13} R_{25} R_{32} R_{41} R_{54} V_6 + R_{12} R_{23} R_{35} R_{41} R_{54} V_6 + \\
& R_{15} R_{23} R_{31} R_{42} R_{54} V_6 + R_{13} R_{25} R_{31} R_{42} R_{54} V_6 + R_{13} R_{21} R_{35} R_{42} R_{54} V_6 + R_{12} R_{25} R_{31} R_{43} R_{54} V_6 + \\
& R_{15} R_{21} R_{32} R_{43} R_{54} V_6 + R_{12} R_{21} R_{35} R_{43} R_{54} V_6 + R_{12} R_{23} R_{31} R_{45} R_{54} V_6 + R_{13} R_{21} R_{32} R_{45} R_{54} V_6 + \\
& R_{25} R_{34} R_{43} R_{52} V_1 V_6 + R_{24} R_{35} R_{43} R_{52} V_1 V_6 + R_{23} R_{34} R_{45} R_{52} V_1 V_6 + R_{25} R_{34} R_{42} R_{53} V_1 V_6 + \\
& R_{24} R_{35} R_{42} R_{53} V_1 V_6 + R_{24} R_{32} R_{45} R_{53} V_1 V_6 + R_{23} R_{35} R_{42} R_{54} V_1 V_6 + R_{25} R_{32} R_{43} R_{54} V_1 V_6 + \\
& R_{23} R_{32} R_{45} R_{54} V_1 V_6 + R_{15} R_{34} R_{43} R_{51} V_2 V_6 + R_{14} R_{35} R_{43} R_{51} V_2 V_6 + R_{13} R_{34} R_{45} R_{51} V_2 V_6 + \\
& R_{15} R_{34} R_{41} R_{53} V_2 V_6 + R_{14} R_{35} R_{41} R_{53} V_2 V_6 + R_{14} R_{31} R_{45} R_{53} V_2 V_6 + R_{13} R_{35} R_{41} R_{54} V_2 V_6 + \\
& R_{15} R_{31} R_{43} R_{54} V_2 V_6 + R_{13} R_{31} R_{45} R_{54} V_2 V_6 + R_{34} R_{45} R_{53} V_1 V_2 V_6 + R_{35} R_{43} R_{54} V_1 V_2 V_6 + \\
& R_{15} R_{24} R_{42} R_{51} V_3 V_6 + R_{14} R_{25} R_{42} R_{51} V_3 V_6 + R_{12} R_{24} R_{45} R_{51} V_3 V_6 + R_{15} R_{24} R_{41} R_{52} V_3 V_6 + \\
& R_{14} R_{25} R_{41} R_{52} V_3 V_6 + R_{14} R_{21} R_{45} R_{52} V_3 V_6 + R_{12} R_{25} R_{41} R_{54} V_3 V_6 + R_{15} R_{21} R_{42} R_{54} V_3 V_6 + \\
& R_{12} R_{21} R_{45} R_{54} V_3 V_6 + R_{24} R_{45} R_{52} V_1 V_3 V_6 + R_{25} R_{42} R_{54} V_1 V_3 V_6 + R_{14} R_{45} R_{51} V_2 V_3 V_6 + \\
& R_{15} R_{41} R_{54} V_2 V_3 V_6 + R_{45} R_{54} V_1 V_2 V_3 V_6 + R_{15} R_{23} R_{32} R_{51} V_4 V_6 + R_{13} R_{25} R_{32} R_{51} V_4 V_6 + \\
& R_{12} R_{23} R_{35} R_{51} V_4 V_6 + R_{15} R_{23} R_{31} R_{52} V_4 V_6 + R_{13} R_{25} R_{31} R_{52} V_4 V_6 + R_{13} R_{21} R_{35} R_{52} V_4 V_6 + \\
& R_{12} R_{25} R_{31} R_{53} V_4 V_6 + R_{15} R_{21} R_{32} R_{53} V_4 V_6 + R_{12} R_{21} R_{35} R_{53} V_4 V_6 + R_{23} R_{35} R_{52} V_1 V_4 V_6 + \\
& R_{25} R_{32} R_{53} V_1 V_4 V_6 + R_{13} R_{35} R_{51} V_2 V_4 V_6 + R_{15} R_{31} R_{53} V_2 V_4 V_6 + R_{35} R_{53} V_1 V_2 V_4 V_6 + \\
& R_{12} R_{25} R_{51} V_3 V_4 V_6 + R_{15} R_{21} R_{52} V_3 V_4 V_6 + R_{25} R_{52} V_1 V_3 V_4 V_6 + R_{15} R_{51} V_2 V_3 V_4 V_6 + \\
& R_{14} R_{23} R_{32} R_{41} V_5 V_6 + R_{13} R_{24} R_{32} R_{41} V_5 V_6 + R_{12} R_{23} R_{34} R_{41} V_5 V_6 + R_{14} R_{23} R_{31} R_{42} V_5 V_6 + \\
& R_{13} R_{24} R_{31} R_{42} V_5 V_6 + R_{13} R_{21} R_{34} R_{42} V_5 V_6 + R_{12} R_{24} R_{31} R_{43} V_5 V_6 + R_{14} R_{21} R_{32} R_{43} V_5 V_6 + \\
& R_{12} R_{21} R_{34} R_{43} V_5 V_6 + R_{23} R_{34} R_{42} V_1 V_5 V_6 + R_{24} R_{32} R_{43} V_1 V_5 V_6 + R_{13} R_{34} R_{41} V_2 V_5 V_6 + \\
& R_{14} R_{31} R_{43} V_2 V_5 V_6 + R_{34} R_{43} V_1 V_2 V_5 V_6 + R_{12} R_{24} R_{41} V_3 V_5 V_6 + R_{14} R_{21} R_{42} V_3 V_5 V_6 + \\
& R_{24} R_{42} V_1 V_3 V_5 V_6 + R_{14} R_{41} V_2 V_3 V_5 V_6 + R_{12} R_{23} R_{31} V_4 V_5 V_6 + R_{13} R_{21} R_{32} V_4 V_5 V_6 + \\
& R_{23} R_{32} V_1 V_4 V_5 V_6 + R_{13} R_{31} V_2 V_4 V_5 V_6 + R_{12} R_{21} V_3 V_4 V_5 V_6 + V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 V_6
\end{aligned}$$

Anexo B

Características técnicas de las variantes del Boeing 787 Dreamliner.

	Boeing 787-8 Dreamliner
Descripción	El Boeing 787-8 es un avión muy eficiente con nuevas características atractivas para los pasajeros. Aportará al segmento medio del mercado las economías operativas propias de las grandes aeronaves, empleando un 20% menos combustible que cualquier otro avión de su tamaño.
Capacidad	210 a 250 pasajeros en configuración de dos clases
Alcance	14.200 a 15.200 km
Configuración	Doble pasillo
Corte Transversal	574 cm
Envergadura alar	60 m
Longitud	57 m
Altura	17 m
Velocidad de crucero	0,85 Mach (912 Km/h)
Volumen total de carga	124.59 m ³
Peso máximo al despegue	227.930 kg
Hitos del programa	Lanzamiento del programa en Abril de 2004 Inicio del montaje en 2006 Primer vuelo en Diciembre de 2009 Primer entrega en Septiembre 2011

Tabla 19. Características técnicas del Boeing 787-8 Dreamliner (Fuente: Boeing).

	Boeing 787-9 Dreamliner
Descripción	El Boeing 787-9 Dreamliner es una versión del 787-8 algo más grande. Ambos son aviones super-eficientes con nuevas características atractivas para los pasajeros. Aportará al segmento medio del mercado las economías operativas propias de las grandes aeronaves, empleando un 20% menos combustible que cualquier otro avión de su tamaño.
Capacidad	250 a 290 pasajeros
Alcance	14,800 a 15,750 km
Configuración	Doble pasillo
Corte Transversal	574 cm
Envergadura alar	60 m
Longitud	63 m
Altura	17 m
Velocidad de crucero	0,85 Mach (912 Km/h)
Volumen total de carga	153 m ³
Peso máximo al despegue	250,836 kg
Hitos del programa	Primer entrega en 2014

Tabla 20. Características técnicas del Boeing 787-9 Dreamliner (Fuente: Boeing).

	Boeing 787-10 Dreamliner
Descripción	El Boeing 787-10 Dreamliner será el tercero y el miembro más grande de la familia súper-eficiente 787. Con una mayor capacidad de asientos, alto grado de uniformidad y nuevas funcionalidades para el disfrute de los pasajeros, el 787-10 complementará la familia 787 y establecerá un nuevo punto de referencia para la eficiencia en el consumo de combustible y economía de operación.
Capacidad	323 pasajeros
Alcance	12,900 km
Configuración	Doble pasillo
Corte Transversal	574 cm
Envergadura alar	60 m
Longitud	68 m
Altura	17 m
Velocidad de crucero	0,85 Mach (912 Km/h)
Volumen total de carga	175 m ³
Peso máximo al despegue	250,836 kg
Hitos del programa	Primer entrega en 2018

Tabla 21. Características técnicas del Boeing 787-10 Dreamliner (Fuente: Boeing).

Referencias

- Alcantara, P., & Riglietti, G. (2015). *Supply Chain Resilience Report 2015*. Business Continuity Institute. Retrieved from <https://www.riskmethods.net/resources/research/bci-supply-chain-resilience-2015.pdf>
- Apics. (2012). *APICS 2012 supply chain risk insights and innovations: Digging Deeper into Real-World Practices in Supply Chain and Operations Management*. Apics - The Association for Operations Management. Retrieved from [http://media.apics.org/marketing/APICS 2012 Risk Report.pdf](http://media.apics.org/marketing/APICS%2012%20Risk%20Report.pdf)
- Apics. (2014). *APICS Insights and Innovations: Uncovering chronic disruption in supply chain and operations management*. Apics - Supply Chain Council. Retrieved from <http://www.apics.org/docs/default-source/scc-non-research/chronic-disruption-report-short.pdf?sfvrsn=2>
- Boeing. (n.d.-a). Boeing 787. Retrieved March 14, 2016, from <http://www.boeing.com/commercial/787/>
- Boeing. (n.d.-b). Boeing: The Boeing Company. Retrieved March 10, 2016, from <http://www.boeing.com/>
- Bogataj, D., & Bogataj, M. (2007). Measuring the supply chain risk and vulnerability in frequency space. *International Journal of Production Economics*, 108(1-2), 291–301. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.12.017>
- Campos, J. (2014). Administración del riesgo dentro de la Cadena de Suministro. *Apics - Capítulo México*.
- Cavinato, J. L. (2004). Supply chain logistics risks: From the back room to the board room. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(5), 383–387. <http://doi.org/10.1108/09600030410545427>
- Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2004). Managing risk to avoid supply-chain breakdown. *MIT Sloan Management Review*, 46, 53–61. <http://doi.org/10.1108/IJOPM-10-2012-0449>
- Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2014). Reducing the Risk of Supply Chain Disruptions. *MIT Sloan Management Review*, 55(3), 73–80. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Christopher. (2011). *Logistics & supply chain management*. Harlow, England: Pearson Education Limited.
- Christopher, M., Mena, C., Khan, O., & Yurt, O. (2011). Approaches to managing global sourcing risk. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(2), 67–81. <http://doi.org/10.1108/135985411111115338>

- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–13.
<http://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Cranfield School of Management. (2002). *Supply Chain Vulnerability, report on behalf of DTLR, DTI and Home Office*. Cranfield University. Retrieved from http://www.som.cranfield.ac.uk/som/dinamic-content/research/lscm/downloads/Vulnerability_report.pdf
- Cranfield School of Management. (2004). *Creating Resilient Supply Chains: A Practical Guide*. Cranfield University. Retrieved from http://www.som.cranfield.ac.uk/som/dinamic-content/research/lscm/downloads/57081_Report_AW.pdf
- Dittmann, P. (2014). *Managing risk in the supply chain*. University of Tennessee. Retrieved from <http://globalsupplychaininstitute.utk.edu/publications/documents/Risk.pdf>
- Faisal, M., Banwet, D. K., & Shankar, R. (2006). Mapping supply chains on risk and customer sensitivity dimensions. *Industrial Management and Data Systems*, 106(5-6), 878–895. <http://doi.org/10.1108/02635570610671533>
- Faisal, M. N., Banwet, D. K., & Shankar, R. (2007). Quantification of risk mitigation environment of supply chains using graph theory and matrix methods. *European Journal of Industrial Engineering*, 1(1), 22–39.
<http://doi.org/10.1504/EJIE.2007.012652>
- Glynn, D. G. (2010). The permanent of a square matrix. *European Journal of Combinatorics*, 31(7), 1887–1891. <http://doi.org/10.1016/j.ejc.2010.01.010>
- Grover, S., Agrawal, V. P., & Khan, I. a. (2004). A digraph approach to TQM evaluation of an industry. *International Journal of Production Research*, 42(19), 4031–4053. <http://doi.org/10.1080/00207540410001704032>
- Ivanov, D., & Sokolov, B. (2010). *Adaptive supply chain management*. Springer.
<http://doi.org/10.1007/978-1-84882-952-7>
- Juttner, U., Peck, H., & Christopher, M. (2003). Supply chain risk management: outlining an agenda for future research. *International Journal of Logistics*, 6(March 2015), 197–210. <http://doi.org/10.1080/13675560310001627016>
- Khan, O., & Burnes, B. (2007). Risk and supply chain management: creating a research agenda. *The International Journal of Logistics Management*, 18(2), 197–216. <http://doi.org/10.1108/09574090710816931>
- Kleindorfer, P. R., & Saad, G. H. (2005). Managing Disruption Risks in Supply Chains. *Production and Operations Management*, 14(1), 53–68.
<http://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2005.tb00009.x>
- Kulkarni, S. (2005). Graph theory and matrix approach for performance evaluation of TQM in Indian industries. *The TQM Magazine*, 17, 509–526.
<http://doi.org/10.1108/09544780510627615>

- Manuj, I., & Mentzer, J. T. (2008). Global supply chain risk management strategies. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38(3), 192–223. <http://doi.org/doi:10.1108/09600030810866986>
- Michael. (2011). Boeing 787 Dreamliner – Date for First Delivery. Retrieved March 20, 2016, from <http://www.flightstory.net/20110826/boeing-787-dreamliner-date-for-first-delivery>
- Modern Airlines. (n.d.). Boeing 787 Specs, what makes a Dreamliner? Retrieved March 14, 2016, from <http://modernairliners.com/boeing-787-dreamliner/boeing-787-dreamliner-specs>
- Oke, A., & Gopalakrishnan, M. (2009). Managing disruptions in supply chains: A case study of a retail supply chain. *International Journal of Production Economics*, 118(1), 168–174. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.045>
- Rao, R. V., & Padmanabhan, K. K. (2006). Selection, identification and comparison of industrial robots using digraph and matrix methods. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22(4), 373–383. <http://doi.org/10.1016/j.rcim.2005.08.003>
- Schwarz, H. (2015). *Recipe for Successful Supply Chain Risk Management*. Retrieved from <http://blog.sig.org/the-recipe-for-successful-supply-chain-risk-management/>
- Sodhi, M., & Lee, S. (2007). An analysis of sources of risk in the consumer electronics industry. *Journal of the Operational Research Society*, 58(11), 1430–1439. <http://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602410>
- Sodhi, M. S., & Tang, C. S. (2012). *Managing Supply Chain Risk*. Springer (Vol. 172). Springer US. <http://doi.org/10.1007/978-1-4614-3238-8>
- Spekman, R. E., & Davis, E. W. (2004). Risky business: expanding the discussion on risk and the extended enterprise. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(5), 414–433. <http://doi.org/10.1108/09600030410545454>
- Tang, C., & Tomlin, B. (2008). The power of flexibility for mitigating supply chain risks. *International Journal of Production Economics*, 116(1), 12–27. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.07.008>
- Tang, C., & Zimmerman, J. (2009). Managing New Product Development and Supply Chain Risks : The Boeing 787 Case. *Supply Chain Forum*, 10(2), 74–87. <http://doi.org/10.1080/16258312.2009.11517219>
- Venkatesh, V. G., Rathi, S., & Patwa, S. (2015). Analysis on supply chain risks in Indian apparel retail chains and proposal of risk prioritization model using Interpretive structural modeling. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 26, 153–167. <http://doi.org/10.1016/j.jretconser.2015.06.001>

- Wagner, S., & Bode, C. (2008). An empirical examination of supply chain performance along several demensions of risk. *Journal of Business Logistics*, 29(1), 307–325. <http://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2008.tb00081.x>
- Wagner, S. M., & Neshat, N. (2010). Assessing the vulnerability of supply chains using graph theory. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 121–129. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.007>
- Waters, D. (2007). *Supply Chain Management: Vulnerability and Resilience in Logistics*. London and Philadelphia: Kogan Page.
- Weisstein, E. W. (2006). Permanent. Retrieved February 22, 2016, from <http://mathworld.wolfram.com/Permanent.html>
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods*. SAGE Publications. Retrieved from <https://books.google.com.mx/books?id=fpx1AwwAQBAJ>
- Zsidisin, G. A. (2003). A grounded definition of supply risk. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(5-6), 217–224. <http://doi.org/10.1016/j.pursup.2003.07.002>