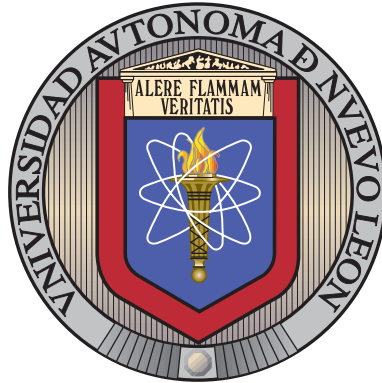


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



MODELO MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN
DEL RENDIMIENTO DE LA CADENA DE
SUMINISTRO RESILIENTE Y SOSTENIBLE

POR

JAVIER ISAAC TORRES VERGARA

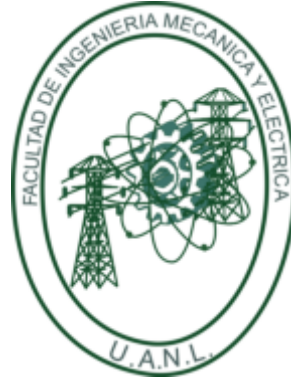
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



MODELO MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN
DEL RENDIMIENTO DE LA CADENA DE
SUMINISTRO RESILIENTE Y SOSTENIBLE

POR

JAVIER ISAAC TORRES VERGARA

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

2021



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Modelo multicriterio para la evaluación del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible», realizada por el alumno Javier Isaac Torres Vergara, con número de matrícula 2033822, sea aceptada para su defensa como requisito para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis

Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez

Asesor

Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

Revisor

Mtro. Manuel Farías Martínez

Revisor

Vo. Bo.

Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado

171

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 2021



Como una muestra de amor, esta tesis se la dedico a:

Mi mamá, mi papá y mi abuela por hacer de mi el hombre que hoy soy, por todo lo que me han enseñado a lo largo de los años, sus ideas, consejos, gracias.

Elsa, Genifer y Sara.

Mis hermanos por su soporte incondicional y apoyo moral, gracias.

Karol y Greicy.

Mis sobrinos, de quienes espero vean esto como una motivación para su desarrollo personal y profesional, los amo.

Sara, Dylan, Luci y Salo.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XVI
Resumen	XVII
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Objetivo	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Justificación	4
1.5. Metodología	5
1.6. Estructura de la tesis	6
2. Estado del arte	8
2.1. Estrategia para la revisión de la literatura	9
2.2. Cadena de suministro	12
2.2.1. Cadena de suministro resiliente	13
2.2.2. Cadena de suministro sostenible	14

2.3. Gestión de la cadena de suministro	14
2.4. Medición del rendimiento de la cadena de suministro	15
2.4.1. Medición del rendimiento de la cadena de suministro resiliente	23
2.4.2. Medición del rendimiento de la cadena de suministro sostenible	30
2.4.3. Integrando la resiliencia y la sostenibilidad en la SCPM	44
2.5. Modelos para la medición del rendimiento en la cadena de suministro	46
2.6. Técnicas para la medición del rendimiento en la cadena de suministro	48
2.6.1. Teoría de conjuntos difusos	49
2.6.2. PLS-SEM	52
2.6.3. Fuzzy DANP	53
2.6.4. Fuzzy TOPSIS	54
2.6.5. Análisis comparativo entre las técnicas	55
2.7. Análisis de la brecha de investigación	56
3. Metodología	59
3.1. Método Fuzzy Delphi	59
3.1.1. Selección del panel de expertos	61
3.1.2. Identificación de criterios	61
3.1.3. Definir escala de evaluación	62
3.1.4. Obtener valores nítidos	63
3.1.5. Identificación del valor umbral d	63

3.2. Método Fuzzy DEMATEL	64
3.2.1. Desarrollar los criterios de evaluación y diseñar la escala lin- güística <i>fuzzy</i>	64
3.2.2. Adquirir y promediar las evaluaciones de los expertos	65
3.2.3. Adquirir la matriz difusa de relación directa normalizada	65
3.2.4. Obtener la matriz difusa de relación total	66
3.2.5. Calcular la matriz de influencia total T	68
3.2.6. Hallar los valores de $(r_i + c_i)$ y $(r_i - c_i)$	68
3.3. Método Fuzzy DANP	69
3.3.1. Adquirir la matriz de influencia total para criterios \tilde{T}_c	69
3.3.2. Adquirir la supermatriz no ponderada \tilde{W}	71
3.3.3. Desarrollar la supermatriz ponderada \tilde{W}^α	71
3.3.4. Calcular los pesos de influencia de los criterios	73
3.4. Índice de consistencia	73
4. Resultados	75
4.1. Identificación y clasificación de criterios	75
4.1.1. Selección del panel de expertos	75
4.1.2. Identificación y clasificación de criterios	75
4.1.3. Evaluación de la importancia de los criterios	78
4.1.4. Obtener valores nítidos	81

4.1.5.	Evaluar la consistencia del juicio	81
4.2.	Evaluación de la influencia entre dimensiones de sostenibilidad y resiliencia	83
4.2.1.	Adquirir y promediar las evaluaciones de los responsables de la toma de decisiones	85
4.2.2.	Calcular la matriz difusa de relación directa normalizada . . .	85
4.2.3.	Obtener la matriz difusa de relación total	86
4.2.4.	Calcular la matriz de influencia total nítida	87
4.2.5.	Establecer el valor umbral	87
4.2.6.	Hallar los valores de $(r_i + c_i)$ y $(r_i - c_i)$	88
4.3.	Evaluación de la influencia entre criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible	89
4.3.1.	Calcular la matriz difusa de relación directa normalizada . . .	90
4.3.2.	Obtener la matriz difusa de relación total	90
4.3.3.	Calcular la matriz de influencia total nítida	91
4.3.4.	Establecer el valor umbral	91
4.3.5.	Hallar los valores de $(r_i + c_i)$ y $(r_i - c_i)$	92
4.4.	Estimación de pesos de prioridad utilizando <i>fuzzy</i> DANP	95
4.4.1.	Adquirir la matriz de influencia total para criterios	96
4.4.2.	Normalización de la matriz de influencia total entre criterios .	96
4.4.3.	Adquirir la supermatriz no ponderada	96

4.4.4.	Desarrollar la supermatriz ponderada	97
4.4.5.	Calcular los pesos de influencia de los criterios	97
4.5.	Implicación de la investigación	99
5.	Conclusiones	100
5.1.	Contribuciones y conclusiones	100
5.2.	Trabajos futuros	103
A.	Apéndice	105
A.1.	Identificación de criterios de la cadena de suministro resiliente	105
A.2.	Identificación de criterios de la cadena de suministro sostenible	106
A.3.	Encuesta clasificación de criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible	109
A.4.	Encuesta Establecimiento del grado de influencia entre dimensiones y criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible	113
A.5.	Definición de dimensiones y criterios	132
A.6.	Matriz promedio del fuzzy Delphi en TFNs	136
A.7.	Umbral d para fuzzy Delphi	138
A.8.	Matrices de influencia entre dimensiones	138
A.9.	Matrices de influencia entre criterios	139
A.10.	Índice de consistencia matrices de comparación por pares	141
A.11.	Matrices nítidas de relación directa entre dimensiones.	150

A.12. Matriz identidad (I) de orden 4	151
A.13. Resta de matrices a nivel dimensión	151
A.14. Matrices inversas	152
A.15. Matrices nítidas de relación total entre dimensiones	153
A.16. Matriz difusa inicial de relación directa entre criterios	154
A.17. Matriz difusa normalizada de relación directa entre criterios	154
A.18. Matrices nítidas de relación directa entre criterios	154
A.19. Matriz identidad (I) de orden 15	156
A.20. Resta de matrices a nivel criterios	157
A.21. Matrices inversas a nivel criterios	158
A.22. Matrices nítidas de relación total entre criterios	160
A.23. Matriz de relación total difusa entre criterios	162
A.24. Matriz difusa de relación total de influencia del sistema	162
A.25. Matriz de relación total de influencia del sistema normalizada	162
A.26. Supermatriz no ponderada	163
A.27. Matriz de influencia total del sistema entre dimensiones	164
A.28. Matriz de influencia total del sistema entre dimensiones normalizada	164
A.29. Supermatriz ponderada	165
A.30. Matriz límite	166
A.31. Matriz límite desfuzzificada	167

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Etapas para el desarrollo de la tesis.	6
2.1. Distribución de las estrategias contempladas en los artículos revisados por año.	46
2.2. Modelos cuantitativos para la SCPM.	48
2.3. Frecuencia de aplicación de las técnicas para la SCPM en los estudios analizados.	49
2.4. Numeros triangulares difusos para las variables linguisticas.	51
3.1. Metodología propuesta para la evaluación del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible.	60
3.2. Flujo propuesto para la aplicación de <i>fuzzy</i> DANP.	60
4.1. Mapa de relaciones de la red entre dimensiones.	89
4.2. Mapa de relaciones de la red entre criterios de la dimensión resiliencia.	94
4.3. Mapa de relaciones de la red entre criterios de la dimensión económico.	94
4.4. Mapa de relaciones de la red entre criterios de la dimensión ambiental.	95
4.5. Mapa de relaciones de la red entre criterios de la dimensión social.	95

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Editorial y resultados por paso del procedimiento de búsqueda.	11
2.2. Breve revisión sobre la medición del rendimiento de la cadena de suministro.	19
2.3. Estudios sobre la medición el rendimiento de la cadena de suministro resiliente.	25
2.4. Criterios en la medición de la cadena de suministro resiliente.	31
2.5. Estudios sobre la medición del rendimiento de la cadena de suministro sostenible.	35
2.6. Criterios utilizados en la medición del rendimiento de la cadena de suministro sostenible por dimensión.	42
2.7. Distribución de estudios por sector y estrategia.	45
2.8. Uso de FST en la medición del rendimiento de la cadena de suministro.	53
2.9. Análisis comparativo de las técnicas con mayor frecuencia de aplicación.	55
2.10. Análisis de la brecha de investigación entre estudios centrados en modelos MCDM en la literatura de SCPM.	58
3.1. Escala lingüística y TFNs para el método Delphi.	62

3.2. Variables lingüísticas y TFNs correspondientes.	64
3.3. Índice de consistencia aleatorio.	74
4.1. Caracterización del grupo de expertos.	76
4.2. Lista refinada de criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible.	77
4.3. Los valores de evaluación de los expertos en cuanto a la importancia de los criterios.	79
4.4. Número difuso triangular correspondiente para la evaluación lingüística.	80
4.5. Lista de criterios basada en juicio de expertos y umbral.	81
4.6. Dimensiones y criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible.	84
4.7. Matriz difusa de relación directa inicial entre dimensiones \tilde{M}	85
4.8. Matriz difusa de relación directa normalizada \tilde{X}	86
4.9. Matriz difusa de relación total \tilde{T}	87
4.10. Matriz de relación total defuzzificada T	87
4.11. Grado de centralidad y relaciones de influencia causa-efecto entre dimensiones.	88
4.12. Matriz de relación total entre criterios defuzzificada.	91
4.13. Grado de centralidad y relaciones de influencia causa-efecto entre criterios.	93
4.14. Ranking de rendimiento para dimensiones y criterios.	98
A.1. Clasificación criterios cadena de suministro resiliente.	105

A.2. Clasificación criterios cadena de suministro sostenible.	107
A.3. Matriz de relación directa normalizada para X_l	150
A.4. Matriz de relación directa normalizada para X_m	150
A.5. Matriz de relación directa normalizada para X_u	151
A.6. Resta entre las matrices I y X_l	151
A.7. Resta entre las matrices I y X_m	152
A.8. Resta entre las matrices I y X_u	152
A.9. Matriz inversa de $I - X_l$	152
A.10. Matriz inversa de $I - X_m$	152
A.11. Matriz inversa de $I - X_u$	153
A.12. Matriz de relación total X_l	153
A.13. Matriz de relación total X_m	153
A.14. Matriz de relación total X_u	153
A.15. Matriz de relación directa normalizada para T_l	155
A.16. Matriz de relación directa normalizada para T_m	155
A.17. Matriz de relación directa normalizada para T_u	156
A.18. Resta entre las matrices I y T_l	157
A.19. Resta entre las matrices I y T_m	157
A.20. Resta entre las matrices I y T_u	158
A.21. Matriz inversa de $I - T_l$	158

A.22.Matriz inversa de $I - T_m$	159
A.23.Matriz inversa de $I - T_u$	159
A.24.Matriz nítida de relación total T_l	160
A.25.Matriz nítida de relación total T_m	161
A.26.Matriz nítida de relación total T_u	161
A.27.Matriz de influencia total del sistema entre dimensiones.	164
A.28.Matriz de influencia total entre dimensiones normalizada.	164

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darme la maravillosa oportunidad de estudiar una maestría en este hermoso país llamado México.

Gracias a la Universidad Autónoma de Nuevo León y a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por abrirme sus puertas y recibirme como uno de sus estudiantes, ha sido y será un honor ser parte de esta Institución.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACyT por darme la oportunidad de ser uno de sus estudiantes, ha sido un honor.

Gracias a mi asesora, la Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez por su orientación, disposición y flexibilidad.

Gracias a mi comité de tesis, Dr. Tomás Eloy Salais Fierro y Mtro. Manuel Farías Martínez por sus valiosas aportaciones.

Gracias al Dr. José Mario Valadez Cedillo, sus ideas y comentarios fortalecieron en gran medida este trabajo.

Gracias a los profesores de la Maestría en Logística y Cadena de Suministro con sus experiencias y conocimientos han enriquecido mi formación y nutrido mi saber.

A mis amigos, compañeros, primos, tíos y todas aquellas personas que estuvieron presentes y me apoyaron de una u otra forma en el transcurso de la maestría, gracias.

RESUMEN

Javier Isaac Torres Vergara.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: MODELO MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA CADENA DE SUMINISTRO RESILIENTE Y SOSTENIBLE.

Número de páginas: 181.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: Desarrollar un modelo basado en técnicas multicriterio para la evaluación de la importancia e influencia entre criterios de desempeño de la cadena de suministro resiliente y sostenible que facilite la toma de decisiones en la medición del rendimiento.

Para alcanzar el objetivo propuesto, inicialmente se realizó una revisión de la literatura con el fin de recopilar de artículos científicos en bases de datos sobre evaluación del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible para identificar criterios de desempeño utilizados, la relación existente entre ellos y su influencia en el rendimiento de la cadena de suministro. Luego, se conformó un panel de expertos para, por un lado, identificar criterios de rendimiento utilizados en la industria y por otro, clasificar los criterios según su importancia en la medición

del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible. Posteriormente, a través del juicio de expertos se determinaron las relaciones de influencia y sus pesos para dimensiones y criterios. Finalmente, se analizan las relaciones de influencia entre criterios y dimensiones y se determina el ranking de acuerdo a los pesos de influencia obtenidos.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Se propone un modelo que establece las relaciones de influencia basado en las cuatro dimensiones de rendimiento de la cadena de suministro: resiliencia, económico, ambiental y social. Los criterios de rendimiento identificados son los más importante y abarcan todas las características de una cadena de suministro resiliente y sostenible para la industria automotriz de acuerdo con los expertos.

La dimensión que más influye en el rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible es la social, compuesta por los criterios de comunicación, responsabilidad social, condiciones de trabajo y transparencia. Mientras que la dimensión ambiental parece carecer de importancia en la industria automotriz según los expertos, aunque de acuerdo al mapa de relaciones de influencia esta tiene capacidad de influir sobre las demás dimensiones. Se identificaron un total de 15 criterios que componen la cadena de suministro resiliente y sostenible. Los cinco criterios más importantes son: visibilidad, flexibilidad, cultura de gestión de riesgo en la cadena de suministro, condiciones de trabajo y comunicación.

Firma del asesor: 
Dra. Jania Astrid Saucedo Martinez

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En el mercado global actual en que operan las organizaciones, la integración de las operaciones con proveedores y clientes se ha convertido en el camino preferido por estas para minimizar costes innecesarios, ineficiencias y garantizar el mejor valor para el consumidor final (Rehman *et al.*, 2018). Por lo cual, la gestión de la cadena de suministro (SCM, por sus siglas en inglés) se ha convertido en un problema crítico para cualquier empresa que busque el crecimiento y la rentabilidad a nivel mundial (Lima-Junior y Carpinetti, 2020).

La gestión de la cadena de suministro es una tarea muy complicada, ya que busca gestionar las relaciones entre cada uno de los eslabones de la cadena de suministro (SC, por sus siglas en inglés) (Dissanayake y Cross, 2018). Como resultado, la SCM conduce a una mayor eficacia organizativa, una mayor competitividad, una mejor atención al cliente y una mayor rentabilidad (Ruiz-Benítez *et al.*, 2018).

Por lo tanto, la medición del rendimiento de la cadena de suministro (SCPM, por sus siglas en inglés) se ha vuelto primordial para evaluar la eficacia y la eficiencia de las operaciones en la cadena de suministro (Lakri *et al.*, 2015; Chorfi *et al.*, 2018). La SCPM se ha convertido en un área de estudio clave en la SCM a fin de allanar el camino para obtener y mantener la competitividad (Ramezankhani *et al.*, 2018). Sin embargo, como afirman Gopal y Thakkar (2012), todavía falta un trabajo empírico

sistémico centrado en este tema. Para responder ello, este estudio propone un enfoque holístico apoyado en métodos multicriterio para la toma de decisiones.

Este capítulo está organizado como sigue, en la Sección 1.1 se presenta la descripción del problema, en la Sección 1.2 y 1.3 se presenta el objetivo y la hipótesis de la investigación respectivamente. La justificación se describe en la Sección 1.4, mientras que la metodología propuesta se muestra en la Sección 1.5. Finalmente, la estructura de la tesis se presenta en la Sección 1.6.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las cadenas de suministro operan en un mercado cada vez más global, bajo constantes cambios causados por innovaciones tecnológicas y necesidades de los clientes que aumentan la volatilidad de la demanda (Cardoso *et al.*, 2015). En consecuencia, las cadenas de suministro son más vulnerables a las perturbaciones y, por consiguiente, ha aumentado el riesgo de continuidad de los negocios (Azevedo *et al.*, 2008).

Dichas perturbaciones según Sahu *et al.* (2017), pueden causar trastornos en los flujos de información, materiales y/o dinero en una o más entidades de la SC además, señala que estos factores pueden influir negativamente en el normal funcionamiento de la cadena de suministro, haciéndola vulnerable, reducir su rendimiento general y, por consiguiente, su competitividad.

Pereira *et al.* (2014) mencionan que la SC se enfrenta a retos adicionales como la corta vida útil de los productos, la alta variabilidad de la demanda y las diferentes expectativas y requisitos de los clientes. Al respecto Kamalahmadi y Parast (2016); Liu *et al.* (2017) y Salehzadeh *et al.* (2017), afirman que responder a esos problemas y ser flexible ante tales situaciones puede aumentar la incertidumbre. De la misma forma, la complejidad dada su naturaleza dinámica y la conectividad que existe en los procesos de la SC (Ekinci y Baykasoğlu, 2019).

Hay numerosos estudios que han abordado la medición del rendimiento de la cadena de suministro sostenible (ver Sección 2.2.2 para mayor detalle) por ejemplo, Malesios *et al.* (2018); Dey *et al.* (2019); Fekpe y Delaporte (2019); Tseng *et al.* (2019); Ahi *et al.* (2016); Haghghi *et al.* (2016). A su vez, diferentes investigadores como Cardoso *et al.* (2015); Chowdhury *et al.* (2019); Ruiz-Benítez *et al.* (2018); Rajesh (2016); Pereira *et al.* (2014) han analizado el rendimiento de la cadena de suministro resiliente (ver Sección 2.2.1 para mayor detalle).

Sin embargo, en la revisión de la literatura realizada, no se encontraron estudios sobre la medición de la cadena de suministro resiliente y sostenible en el contexto de las empresas mexicanas. En adición, se observa que hay una investigación limitada en la evaluación de las cadenas de suministro utilizando metodologías híbridas para evaluar el desempeño de la cadena de suministro (Hemalatha *et al.*, 2017).

1.2 OBJETIVO

Desarrollar un modelo basado en técnicas multicriterio para la evaluación de la importancia e influencia entre criterios de desempeño de la cadena de suministro resiliente y sostenible que facilite la toma de decisiones en la medición del rendimiento.

1.3 HIPÓTESIS

Mediante un modelo basado en técnicas multicriterio se podrá evaluar la importancia e influencia de los criterios de desempeño de la cadena de suministro resiliente y sostenible facilitando así la toma de decisiones en la evaluación del rendimiento.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En el mercado globalizado en el que operan las organizaciones, la competencia ha pasado de ser una competencia entre organizaciones a una entre cadenas de suministro, basada en el nivel de rendimiento de las cadenas de suministro (Rehman *et al.*, 2018). En consecuencia, afirma Dissanayake y Cross (2018) el desarrollo de un mecanismo de evaluación para una SC de alto rendimiento, con mayores exigencias y un alcance de operación más amplio; se ha convertido en una ardua labor, despertando el interés de académicos y profesionales (Theeranuphattana y Tang, 2008; Rehman *et al.*, 2018), convirtiéndose en un problema crítico en la gestión de la cadena de suministros (Moharamkhani *et al.*, 2017).

Asimismo, la evaluación del rendimiento se ha convertido en una tarea muy difícil, llegando a ser una actividad interna importante para los administradores de la cadena de suministro (Dissanayake y Cross, 2018). En ese sentido, cada vez se requiere más de un sistema completo de medición del rendimiento que contribuya a evitar desequilibrios y facilite la ejecución de las operaciones de forma eficaz (Sellitto *et al.*, 2015). Lo anterior, ha generado una alta demanda de un sistemas eficaces de medición del rendimiento para ayudar a las organizaciones a alcanzar sus objetivos empresariales mediante la supervisión de la eficacia del despliegue de sus nuevas estrategias (Jayaram *et al.*, 2014).

La medición del rendimiento de la cadena de suministro permite reconocer los defectos o puntos débiles que hay a lo largo de la red, a su vez, es útil para mejorar el rendimiento mediante la solución de las causas raíces de los problemas (Kocaoğlu *et al.*, 2013). Además, La evaluación regular del rendimiento de una cadena de suministro puede conducir a la mejora del rendimiento de sus miembros (Chen y Paulraj, 2004).

Basándose en Gunasekaran y Kobu (2007) algunas razones para la adopción de sistemas de medición del rendimiento son:

- Para identificar el éxito;
- Para identificar si las necesidades de los clientes están satisfechas;
- Ayudar a la organización a comprender sus procesos y a confirmar lo que saben o a revelar lo que no saben;
- Para identificar dónde existen problemas, cuellos de botella, residuos, etc. y dónde es necesario mejorar;
- Para asegurar que las decisiones se basan en hechos, no en suposiciones, emociones, fe o intuición;
- Para mostrar si las mejoras planeadas realmente ocurrieron.

Como instrumento de gestión indispensable, el análisis del rendimiento puede proporcionar la asistencia necesaria para mejorar el rendimiento en la búsqueda de la excelencia de la cadena de suministro (Chithambaranathan *et al.*, 2015). De acuerdo con Roxas *et al.* (2017), la sostenibilidad puede mejorar la eficiencia de las operaciones, reducir los costos y los riesgos y ofrecer nuevas oportunidades. Mientras que la resiliencia otorga la capacidad de adaptarse a los cambios y hacer frente a las interrupciones para garantizar la continuidad de las operaciones mediante la realización de ajustes rápidos en la SC (Abeysekara *et al.*, 2019).

En consideración a lo anteriormente expuesto, proporcionar un marco capaz de medir el rendimiento de la SC considerando la sostenibilidad y resiliencia simultáneamente, contribuye a superar la incertidumbre sobre lo que debe medirse, así como a evitar la existencia de medidas contradictorias e identificar criterios claves de desempeño en el rendimiento de la SC.

1.5 METODOLOGÍA

La metodología propuesta consta de 4 etapas como se muestra en la Figura 1.1.

- Revisar la literatura sobre rendimiento en la cadena de suministro: Búsqueda y recopilación de artículos científicos en bases de datos sobre evaluación del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible.
- Establecer dimensiones y criterios relevantes: Identificar dimensiones de la cadena de suministro resiliente y sostenible y clasificar según importancia los criterios en la medición del rendimiento del rendimiento.
- Evaluar influencia entre los conductores de la cadena de suministro: Determinar el grado de influencia que hay entre dimensiones y criterios relevantes así como también el peso de estos en la medición del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible.
- Analizar el rendimiento por dimensiones y criterios: Describir las relaciones de influencia que hay entre dimensiones y criterios, sus relaciones causa efecto y como estas impactan en el rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible.

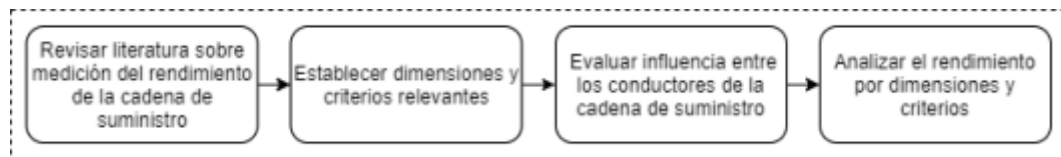


FIGURA 1.1: Etapas para el desarrollo de la tesis.

1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

En orden, el estado del arte se presenta en el capítulo 2, en el se definen generalidades sobre la cadena de suministro y la gestión de la cadena de suministro. Así como también, los principales estudios realizados sobre la medición o evaluación del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible. En adición, se presenta una revisión sobre los criterios, la relación entre estos, las técnicas y los modelos frecuentemente utilizados por los investigadores.

En el capítulo 3, se desarrolla la metodología propuesta para llevar a cabo la investigación. Se describen las técnicas utilizadas para el desarrollo del objetivo del estudio. Los resultados de la investigación se presentan en el capítulo 4. Por último, en el capítulo 5 se exponen las principales contribuciones y conclusiones, asimismo, se presentan oportunidades para futuras investigaciones.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

La medición del rendimiento es uno de los elementos clave para la gestión eficaz de la cadena de suministro (Tarasewicz, 2016). Por lo que, se ha convertido en una prioridad para las organizaciones a fin de allanar el camino para obtener y mantener la competitividad (Ramezankhani *et al.*, 2018).

En consecuencia, la medición del rendimiento en la cadena de suministro se ha convertido en un área clave de estudio dentro de la gestión de la cadena de suministro (Senvar *et al.*, 2014). Cada vez más investigadores como Sufiyan *et al.* (2019), Lim *et al.* (2017), Dey *et al.* (2019) y Sellitto *et al.* (2015) abordan este tema con el objetivo de proponer herramientas o modelos para la SCPM que se ajusten a las condiciones del entorno y que puedan proporcionar información útil sobre la situación de la empresa y su SC.

Lima-Junior y Carpinetti (2020) sostienen que es esencial adoptar métricas que permitan evaluar el desempeño de la cadena de suministro desde diferentes perspectivas a fin de permitir una evaluación equilibrada, así como para establecer objetivos de desempeño que reflejen la estrategia y los objetivos de una empresa. De acuerdo con Hemalatha *et al.* (2017) esto permite a la empresa establecer objetivos estratégicos, evaluar el rendimiento de la SC de la organización y gestionar el futuro las actividades empresariales de forma eficaz.

2.1 ESTRATEGIA PARA LA REVISIÓN DE LA LITERATURA

Para llevar a cabo la revisión de literatura seguimos la metodología propuesta por Tranfield *et al.* (2003) que consta de cinco etapas:

1. Determinar el objetivo de la investigación.
2. Seleccionar estudios.
3. Evaluar la calidad de los artículos.
4. Analizar la información.
5. Sintetizar la información y redactar informe.

Etapas 1. Determinar el objetivo de la investigación: la revisión del estado del arte se llevó a cabo con el fin de identificar modelos y técnicas frecuentemente utilizadas en la medición del rendimiento de la cadena de suministro que integran resiliencia y sostenibilidad, así como también, los criterios de desempeño, la relación existente entre estos y su influencia en el rendimiento de la cadena de suministro.

Etapas 2. Seleccionar estudios: el proceso de revisión se inició con la búsqueda de títulos y resúmenes de documentos en las bases de datos de las editoriales Elsevier, Emerald Insight, Springer, Taylor & Francis e Inderscience. Utilizando la siguiente cadena de búsqueda:

(“Sustainable” OR “Sustainability”) AND (“Resilience” OR “Resilient”) AND “Supply Chain” AND “Performance” AND (“Measurement” OR “Assessment” OR “Evaluation”).

En total se obtuvieron 17,753 resultados. Paso seguido, se refinaron los resultados de la búsqueda por año de publicación y relevancia según los criterios definidos

por cada base de datos. Debido a que la SCM y dentro de ésta la SCPM, es un tema relativamente nuevo que ha entrado en auge desde el 2015 como lo confirman los estudios elaborados por Tuni *et al.* (2018) y Lima-Junior y Carpinetti (2017), el análisis se limitó al periodo comprendido entre 2015 y 2021, obteniendo 13,125 documentos. Luego, se filtró la búsqueda por segunda vez para seleccionar sólo los artículos publicados en revistas académicas en inglés, excluyendo aquellos documentos de conferencias, reseñas de conferencias, documentos de trabajo, informes técnicos, manuales prácticos, libros y capítulos de libros en aras de garantizar la calidad y la coherencia del análisis comparativo. Asimismo, para asegurar que la atención se centra en áreas temáticas afines a la cadena de suministro se excluyeron aquellos documentos clasificados en áreas distintas de los negocios, la gestión, la contabilidad y las ciencias de la decisión, resultando 7,854 artículos.

Etapas 3. Evaluar la calidad de los artículos: posteriormente, se seleccionaron documentos sobre modelos para la medición del rendimiento de la cadena de suministro así como aquellos que proporcionaron herramientas de gestión, para asegurar que la atención se centraba en las herramientas de gestión que se ocupan de la SCPM. Los artículos que no abordaban ninguna de las principales áreas de investigación, incluyendo, la cadena de suministro, la medición del desempeño y las herramientas de gestión fueron excluidos, considerando que el objetivo de este estudio es evaluación del desempeño de la cadena de suministro, resultando un total de 77 artículos. Luego, se eliminaron los resultados duplicados. Finalmente, se consideraron 33 artículos para llevar el análisis en el contexto de la medición del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible. En la Tabla 2.1 se muestra el resumen de la cantidad de documentos identificados en cada paso.

Etapas 4. Analizar la información: los estudios seleccionados se analizaron de forma descriptiva, y se presentan a lo largo de este capítulo a través de tablas y gráficos que representen las características esenciales de los datos a fin de facilitar su interpretación.

TABLA 2.1: Editorial y resultados por paso del procedimiento de búsqueda.

Editorial	Paso				
	1	2	3	4	5
Scopus	5,464	4,698	3,101	10	1
Science Direct	4,491	2,853	1,926	22	16
Emerald Insight	1,000	1,000	1,000	26	11
Springer	5,554	3,754	1,007	7	4
Taylor & Francis	841	585	585	9	0
Inderscience	403	235	235	3	1
Total	17,753	13,125	7,854	77	33

Etapas 5. Sintetizar la información y redactar informe: para llevar a cabo la descripción de los estudios con el fin de complementar y reafirmar conceptos a lo largo del capítulo se encontrarán estudios adicionales correspondientes a fuentes adicionales tales como artículos de revistas no indexadas, libros, capítulos de libro, entre otros documentos.

En la Sección 2.2 se presenta de manera general el concepto de cadena de suministro, seguidamente se introducen los conceptos relativos al presente estudio, cadena de suministro resiliente y sostenible.

En la Sección 2.3 se cita la gestión de la cadena de suministro como gran área de estudio y como a través de ésta se pueden administrar eficientemente las actividades en los diferentes eslabones de la cadena de suministro, eje fundamental para la adopción de estrategias de gestión como la sostenibilidad y la resiliencia.

En la Sección 2.4, inicialmente, se presenta una breve revisión sobre estudios relacionado con la medición del rendimiento de la cadena de suministro tradicional. Luego, las investigaciones relacionadas con la medición del rendimiento en la cadena de suministro resiliente y sostenible respectivamente haciendo énfasis en los criterios utilizados por los investigadores. Seguidamente, se analizan aquellos estudios que

han tenido una aproximación hacia la combinación de las estrategias resiliencia, sostenibilidad y/o *green*. Finalmente, se explica la brecha de investigación existente.

Los modelos utilizados por los autores en la SCPM se detallan en la Sección 2.5. En la Sección 2.6 se revisan las técnicas que han sido empleadas para este fin y se realiza un análisis comparativo entre las técnicas con mayor frecuencia de aplicación.

2.2 CADENA DE SUMINISTRO

La competencia feroz en los mercados mundiales ha obligado a las empresas a centrarse en sus cadenas de suministro (Levi *et al.*, 2003). Las empresas están bajo una enorme presión para centrar la atención en toda su cadena de suministro debido a las altas exigencias de los clientes en cuanto a calidad de los productos, rapidez de la entrega y servicio (Sahu *et al.*, 2017).

La cadena de suministro física es un conjunto de instalaciones tales como plantas, fábricas, proveedores, almacenes y puertos necesarios para llevar el producto desde el origen hasta el punto final de consumo (Levi *et al.*, 2003). Por su parte, Ballou (2004) la define como un conjunto de actividades funcionales que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor.

El Council of Supply Chain Management la define como los intercambios de material e información en el proceso logístico que va desde la adquisición de las materias primas hasta la entrega de los productos acabados al usuario final. Todos los vendedores, proveedores de servicios y clientes son eslabones de la cadena de suministro (Vitasek, 2013). Mientras que Christopher (2016), la define como una red de organizaciones que participan conjuntamente mediante vínculos aguas arriba y aguas abajo, en los diferentes procesos y actividades, para producir valor en forma de productos y servicios de la mano del consumidor final.

El desempeño exitoso y eficiente de una organización se ve altamente influenciado por el grado de rendimiento de las cadenas de suministro que la organización emplea tanto para la adquisición de materias primas como para el transporte y la distribución de productos terminados (Chithambaranathan *et al.*, 2015). En ese orden, el grado de rendimiento de una organización dependerá del desarrollo eficiente y efectivo que ejecuten los miembros de la cadena, por lo que, trabajar de manera colaborativa se ha vuelto una necesidad.

2.2.1 CADENA DE SUMINISTRO RESILIENTE

La capacidad de adaptarse a los cambios y hacer frente a las interrupciones para garantizar la continuidad de las operaciones mediante la realización de ajustes rápidos en la cadena de suministro se denomina resiliencia de la cadena de suministro (Ruiz-Benítez *et al.*, 2018). Una cadena de suministro resiliente (SCRes, por sus siglas en inglés) puede hacer frente a perturbaciones no deseadas, trastornos y desastres (Sahu *et al.*, 2017).

Las actividades de la cadena de suministro mundial a menudo se han visto perturbadas interna y externamente debido a acontecimientos imprevisibles, que incluyen desastres naturales, accidentes y perturbaciones intencionadas (Chowdhury *et al.*, 2019). Mientras que, en el pasado el objetivo principal en el diseño de la SC era la minimización de los costos o la optimización de los servicios, hoy en día se debe hacer hincapié en la resiliencia (Tang, 2006).

Para que una SC sea resiliente a las interrupciones, es imperativo comprender la red de la SC de manera integral (Schmitt y Singh, 2012). Por lo que, el éxito de la cadena de suministro depende de la resiliencia y la capacidad de las empresas para hacer frente a los desafíos del entorno interno y externo (Ruiz-Benítez *et al.*, 2018).

2.2.2 CADENA DE SUMINISTRO SOSTENIBLE

La cadena de suministro sostenible (SSC, por sus siglas en inglés) es otro tema importante en el ámbito de la gestión de la cadena de suministro que ha atraído mucha atención en las últimas décadas. En parte debido a las presiones de diversos interesados para que adopten un compromiso hacia la inclusión de la sostenibilidad en sus operaciones (Taticchi *et al.*, 2013).

Hassini *et al.* (2012) define la sostenibilidad empresarial como la capacidad de realizar negocios con el objetivo a largo plazo de mantener el bienestar de la economía, el medio ambiente y la sociedad. Se atribuye a Elkington (1998) la popularización de estas últimas tres dimensiones, que él denominó el principio de la *triple bottom line* (TBL), también conocido como los tres pilares: Beneficio, planeta y personas.

Al momento de medir la sostenibilidad de la cadena de suministro, los autores parecen tener un consenso acerca de los elementos que la caracterizan, la mayoría integran en sus estudios los tres elementos de la TBL, como los estudios realizados por Tseng *et al.* (2019), Lim *et al.* (2017) y Ahi *et al.* (2016). En la Tabla 2.5 se recopilan los estudios identificados en la revisión de la literatura, la mayoría coincide en la inclusión de estos tres aspectos.

2.3 GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

La gestión de la cadena de suministro se ha convertido hoy en día en una estrategia crucial para que las empresas sigan creciendo a nivel global, aumenten su rentabilidad y sigan siendo competitivas (Lakri *et al.*, 2015). Asimismo, la SCM conlleva a incrementar la efectividad organizacional y a prestar un mejor nivel de servicio (Ruiz-Benítez *et al.*, 2018).

En palabras de Vitasek (2013) la SCM es una función integradora con la res-

ponsabilidad principal de vincular las principales funciones y procesos comerciales dentro de las empresas y entre ellas en un modelo comercial cohesivo y de alto rendimiento. Incluye todas las actividades de gestión logística mencionadas anteriormente, así como las operaciones de fabricación, e impulsa la coordinación de los procesos y actividades con la comercialización, las ventas, el diseño de productos, las finanzas y la tecnología de la información, y entre ellas.

Entre tanto Christopher (2016) menciona que la SCM tiene por objetivo la gestión de las relaciones aguas arriba y aguas abajo con los proveedores y los clientes a fin de ofrecer un valor superior al cliente a un costo menor para la SC en su conjunto. Con base en lo anterior, podemos decir que la SC agrupa tanto a productores, proveedores e intermediarios, que interaccionan entre sí para llevar un bien o un servicio al consumidor final. En ese sentido, la administración efectiva de las operaciones en la cadena de suministro conducirá a cumplir la máxima del nivel de servicio y por lo tanto, impactará en el rendimiento de la cadena de valor.

2.4 MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

La medición del rendimiento de la cadena de suministro es un problema de toma de decisiones multicriterio (MCDM, por sus siglas en inglés), donde las evaluaciones tienen que hacerse desde diferentes puntos de vista y criterios (Öztayşi y Sürer, 2014). En ese orden de ideas, el rendimiento de una cadena de suministro (SCP, por sus siglas en inglés) depende, por lo tanto, del éxito aguas arriba y abajo de sus socios (Dissanayake y Cross, 2018).

Muchos sistemas de SCPM carecen de alineación de estrategias, de un enfoque equilibrado y de un pensamiento sistémico (Cai *et al.*, 2009). De acuerdo con Maskell (1989) en Neely *et al.* (1995) un sistema de medición del rendimiento de un sistema de cadena de suministro debe:

- Derivarse de una estrategia sistemática.
- Ser fácil de entender.
- Dar una retro-alimentación precisa y a tiempo.
- Ser pertinente.
- Estimular el mejoramiento continuo más que un simple monitoreo.
- Incluir métricas no financieras.
- Ser flexible.

La medición del rendimiento de la cadena de suministro a fin de evaluar la eficacia de las estrategias y prácticas de la SCM ha adquirido una importancia aún mayor (Lakri *et al.*, 2015; Chorfi *et al.*, 2018). Lo cual se refleja en los diversos estudios que se han desarrollado en diferentes áreas, por ejemplo Sellitto *et al.* (2015) desarrollaron un marco basado en el modelo de Referencia de Operaciones de la Cadena de Suministro (SCOR, por sus siglas en inglés) y proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) para medir el rendimiento de la cadena de suministro del calzado.

Por su parte, Moharamkhani *et al.* (2017) midieron el rendimiento de tres cadenas de suministro automotrices iraníes, encontrando que la agilidad es el atributo más importante entre todos los analizados. En adición, propone una clasificación en orden de importancia de los demás atributos confiabilidad, costo, gestión de activos y capacidad de respuesta basada en la técnica para el orden de preferencia por similitud con la solución ideal (TOPSIS, por sus siglas en inglés).

Wibowo y Sholeh (2015) abordaron la medición del rendimiento de la cadena de suministro en proyectos de construcción carreteras, determinó que no todas las perspectivas del SCOR pueden utilizarse como indicador clave de rendimiento en es sector. Además, identificaron como factores que conducen al éxito esa cadena de

suministro la preparación del contratista, los socios proveedores, la estrategia de la cadena de suministro y la capacidad de trabajo.

Dissanayake y Cross (2018) aplican modelos de ecuaciones estructurales (SEM, por sus siglas en inglés) para medir el rendimiento de la cadena de suministro en la industria de manufactura del asfalto que a partir del rendimiento global modelara el rendimiento de cada una de las áreas de la cadena de suministro.

El problema de la medición del rendimiento también ha sido abordado desde diferentes enfoques, Ekinci y Baykasoğlu (2019) propusieron aplicar modelación de sistemas dinámicos (SDM, por sus siglas en inglés) vía simulación para reconocer como la complejidad afecta el rendimiento. A su vez, Lima-Junior y Carpinetti (2019) integran la inteligencia artificial en un intento para predecir el rendimiento de la cadena de suministro a través de redes neuronales artificiales (ANN, por sus siglas en inglés).

Rehman *et al.* (2018) proponen la metodología DMAIC (Acrónimo de las palabras Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, en inglés) como estrategia de mejora a seguir posterior a la evaluación del rendimiento de la cadena de suministro, los autores contribuyen al área de estudio con un nuevo índice para medir y mejorar el rendimiento de la cadena de suministro.

Entre tanto, Hemalatha *et al.* (2017) utilizan el método de jerarquía de atributos (AHM, por sus siglas en inglés) en conjunto con *membership degree* para medir el rendimiento de la cadena de suministro. Enmarcan el estudio en las cuatro perspectivas del modelo de Cuadro de Mando Integral (BSC, por sus siglas en inglés).

Por otro lado, Li *et al.* (2019) en miras a generar soluciones más efectivas, proponen un modelo híbrido que combina el análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) con la teoría de conjuntos difusos (*fuzzy set theory*, en inglés). Con el que puede se medir la eficiencia de las entidades aplicando las cantidades de entrada, salida y movimiento de materiales entre las divisiones de cada eslabón en

la cadena de suministro.

Piotrowicz y Cuthbertson (2015) desarrollaron un estudio en el que buscaba explorar los enfoques y métricas utilizados para medir el desempeño de la SC, y comprender la importancia relativa percibida de tales medidas. Encontrando que el BSC, el modelo SCOR y el valor económico añadido son las herramientas más utilizadas. Mientras que las métricas sociales y ambientales tienen una importancia emergente.

Dentro de la revisión de la literatura se encontraron estudios en diversos sectores como automotriz, manufactura, calzado entre otros. Así mismo, los autores han abordado la temática considerando diferentes criterios, predominando la utilización del modelo SCOR. Entre las principales técnicas que han utilizado los autores destacan AHP, y modelos basados en la teoría de conjuntos difusos, en la Tabla 2.2 se presenta un resumen de los estudios analizados.

TABLA 2.2: Breve revisión sobre la medición del rendimiento de la cadena de suministro.

Estudio	Propósito	Técnica	Sector	Aporte
Moharamkhani <i>et al.</i> (2017)	Medición de los rendimientos de tres cadenas de suministro de automóviles iraníes	<i>Fuzzy</i> TOPSIS	Automotriz	La clasificación final de importancia de los atributos es la siguiente: agilidad, fiabilidad, costos, activos y capacidad de respuesta
Sellitto <i>et al.</i> (2015)	Desarrollar y aplicar un modelo para la medición del desempeño de la cadena de suministro basado en el modelo SCOR	AHP	Calzado	Un marco de medición general que informa el desempeño global de una cadena de suministro

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Wibowo y Sholeh (2015)	Analizar el rendimiento de la cadena de suministro en los proyectos de carreteras	AHP	Construcción	No todas las perspectivas en SCOR pueden utilizarse. Los factores que conducen al éxito de la SC de la construcción son: preparación del contratista, socios proveedores, la estrategia de la SC y capacidad de trabajo
Dissanayake y Cross (2018)	Introducir un mecanismo sistemático para desarrollar un modelo SCPM y para generar una relación de regresión única entre el rendimiento global de la SC y cada una de las áreas de SCPM	SEM	Fabricación de asfalto	Demostró cómo se puede desarrollar un modelo de SCPM específico para una organización identificando el conjunto más apropiado de categorías y medidas de SCPM
Hemalatha <i>et al.</i> (2017)	Evaluar el rendimiento de la cadena de suministro	AHM	Hidrocarburos	Técnica híbrida que reúne AHM con el método de transformación de miembros para evaluar el rendimiento de la cadena de suministro

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Ekinci y Bayka- sođlu (2019)	Presentar cómo se debe reconocer la complejidad de las cadenas de suministro del retail y su relación con el rendimiento	SDM	<i>Retail</i>	Basándose en el nivel de información, la complejidad se ha clasificado en tres categorías: complejidad del sistema, complejidad percibida y complejidad de valor añadido
Lima-Junior y Carpinetti (2019)	Predecir el rendimiento basado en métricas del modelo SCOR utilizando redes neuronales artificiales	ANN	Implementación computacional	Contribuye a superar la incertidumbre sobre lo que debe medirse, así como evita la existencia de métricas conflictivas
Rehman <i>et al.</i> (2018)	Rendimiento de la cadena de suministro y la metodología DMAIC para ayudar en el modelado de un novedoso sistema para mejorar el SCP	AHP	Automotriz	Un novedoso sistema de índice de medición del rendimiento de la cadena de suministro (SCPMI) para medir y mejorar el SCP

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Li <i>et al.</i> (2019)	Presentar un modelo de medición del rendimiento en condiciones inciertas en la red de la SC, dada la existencia de escasez en la red	<i>Fuzzy</i> DEA	Automotriz	Un modelo que puede medir la eficiencia de las unidades aplicando las cantidades de entrada, salida y movimiento de materiales entre las divisiones de la SC
Piotrowicz y Cuthbertson (2015)	Explorar los enfoques y métricas utilizados para medir el desempeño de la SC, y comprender la importancia relativa percibida de tales medidas	Encuesta	Varios sectores	BSC, SCOR y el valor económico añadido son las herramientas más utilizadas. Predominan las métricas económicas, centradas en el costo y el servicio al cliente

Fin de la tabla

La medición del rendimiento de la cadena de suministro ha tenido aplicaciones en diferentes sectores económicos, se observa una amplia variedad de técnicas para evaluar el rendimiento. A su vez, herramientas como la inteligencia artificial empiezan a tomar relevancia en la SCPM. En las siguientes secciones se exploran las aplicaciones de la medición del rendimiento en cadenas de suministro que siguen estrategias de resiliencia y sostenibilidad.

2.4.1 MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA CADENA DE SUMINISTRO RESILIENTE

La cadena de suministro resiliente ha sido un tema ampliamente estudiado. Por lo que, en la actualidad es considerada como uno de los temas más importantes en la gestión de la cadena de suministro (Tukamuhabwa *et al.*, 2015; Ivanov *et al.*, 2014; Hosseini *et al.*, 2019). Algunos autores se enfocan en el diseño, la optimización de la cadena de suministro. Por otro lado, otros autores abordan la SCRes desde un enfoque estratégico, desarrollando herramientas o modelos para la SCPM.

Rajesh (2016) en su investigación identificó indicadores de resiliencia de la cadena de suministro a nivel operacional y los agrupó como medidas para los indicadores de nivel estratégico. Asimismo, propone un modelo basado en teoría de gris para predecir los indicadores de rendimiento de la resiliencia de una organización. Sen *et al.* (2018) propusieron un nuevo índice para medir la cadena de suministro verde y resiliente denominado *G-Resilient* empleando lógica difusa y grado de similitud (DOS, por sus siglas en inglés).

Por su parte, Sahu *et al.* (2017) en su estudio sobre rendimiento de la cadena de suministro resiliente desarrollaron un marco jerárquico multinivel para la evaluación de la resiliencia en la cadena de suministro. Chowdhury *et al.* (2019) buscaban explorar la forma en que la capacidad de resiliencia de la cadena de suministro mejora el rendimiento de la cadena de suministro de las organizaciones. Identificando

que la práctica de las relaciones en la cadena de suministro (SCRP, en inglés) y la complejidad de la red (NC, por sus siglas en inglés) moderan individualmente el vínculo entre la SCRes y el SCP.

Por otra parte, Abeyssekara *et al.* (2019) examinaron la influencia de las prácticas resilientes en el rendimiento y la obtención de ventajas competitivas empleando modelos de ecuaciones estructurales de cuadrados mínimos parciales (PLS-SEM, por sus siglas en inglés), encontrando que la agilidad tiene gran influencia. De manera similar, Liu *et al.* (2018) determinaron que la cultura de gestión del riesgo en la cadena de suministro (SCRM) tiene una influencia positiva en los tres pilares de la SCRes (agilidad, integración y reingeniería de la SC) y estos a su vez, tienen un impacto significativo en el rendimiento.

Ruiz-Benítez *et al.* (2018) exploraron la relación entre las estrategias *lean* y resiliencia y su impacto en el rendimiento de la cadena de suministro utilizando modelado estructural interpretativo (ISM, por sus siglas en inglés), encontrando que las prácticas *lean* influyen o tienen una relación directa con la capacidad de resiliencia de la SC y estas en su conjunto son conductores del SCP.

Cardoso *et al.* (2015) abordaron el estudio de la cadena de suministro resiliente con enfoque en el diseño y la planificación, entre sus principales contribuciones, destacan la elaboración de un modelo de programación lineal entera mixta (MILP, por sus siglas en inglés) bajo condiciones de incertidumbre.

Sharma *et al.* (2021) identificaron la eficiencia de la colaboración como el principal criterio para acelerar el rendimiento de la SCres en un entorno social dinámico utilizando modelo de coherencia total (FUCOM, por sus siglas en inglés) y el método del mejor resultado (BWM, por sus siglas en inglés). Asimismo, Gu *et al.* (2021) constataron que tanto la resiliencia de proveedores y clientes podían mejorar el SCP. En la Tabla 2.3 se presentan a modo de resumen los estudios analizados.

TABLA 2.3: Estudios sobre la medición el rendimiento
de la cadena de suministro resiliente.

Estudio	Propósito	Técnica	Sector	Aporte
Rajesh (2016)	Desarrollar un modelo para pronosticar el rendimiento de la cadena de suministro utilizando <i>big data</i>	Teoría de gris	Manufactura de dispositivos electrónicos	Modelo de predicción gris para pronosticar los indicadores de desempeño
Ruiz-Benítez <i>et al.</i> (2018)	Investigar la relación y los vínculos entre las prácticas de una cadena de suministro <i>lean</i> y resiliente y su impacto en el desempeño	ISM	Manufactura de partes aeroespaciales	El desarrollo de vínculos entre diversas prácticas <i>lean</i> y resiliencia y el desempeño de las métricas (operacionales y económicas) Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Abeysekara <i>et al.</i> (2019)	Investigar en qué medida las empresas de la industria textil de Sri Lanka practican la SCRes y examinar si este tipo de prácticas afectan al rendimiento y la ventaja competitiva	PLS-SEM	Industria textil	La agilidad muestra la mayor influencia en el rendimiento de la empresa y la ventaja competitiva
Cardoso <i>et al.</i> (2015)	Identificar las principales características de la SC que un responsable de la toma de decisiones debe tener en cuenta para diseñar y planificar una red resiliente	MILP	Manufactura	Un modelo de diseño y planificación de la cadena de suministro que integra la incertidumbre de la demanda
Sen <i>et al.</i> (2018)	Evaluar un índice general de la cadena de suministro <i>g-resilient</i> /ecosiliente para una empresa automotriz	lógica difusa y DOS	Automotriz	Determinó un índice único conocido como índice <i>G-Resilient</i> para explorar la gestión verde y la resiliencia Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Sahu <i>et al.</i> (2017)	Desarrollar un marco jerárquico de varios niveles para evaluar un índice de valoración a partir del esquema de medición y supervisión	Teoría de conjuntos difusos	Automotriz	Marco hereditario multinivel para la evaluación de la cadena de suministro resiliente
Chowdhury <i>et al.</i> (2019)	Explorar el contexto operativo en el que es probable que la SCRes mejore el SCP de las organizaciones	PLS-SEM	Textil	La SCRP y NC moderaron individualmente el vínculo entre la SCRes y el SCP
Liu <i>et al.</i> (2018)	Investigar la influencia de SCR en el desempeño de la empresa en el contexto de la industria del transporte marítimo de línea	PLS-SEM	Transporte marítimo	La gestión de riesgos juega un papel crucial en los efectos positivos de los tres pilares de la SCRes (agilidad, integración y reingeniería de la SC) Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Sharma <i>et al.</i> (2021)	Explorar las prioridades de las cadenas de suministro minorista para alinear sus operaciones y estrategias comerciales para el mundo post-pandémico	FUCOM-BWM	Retail	Identificaron la eficacia de la colaboración como el principal criterio para acelerar el rendimiento de la RSC en un entorno social dinámico
Gu <i>et al.</i> (2021)	Investigar las repercusiones de los distintos modelos de uso de las TI en la capacidad de resiliencia de los proveedores y los clientes y su eficacia en el rendimiento de la SC	Regresión por mínimos cuadrados	Multi-sector	Muestran que tanto la resiliencia de los proveedores como la de los clientes podrían mejorar el rendimiento de la SC

Fin de la tabla

Se encontraron en la literatura estudios que además de considerar la resiliencia, integran otras estrategias como *lean* y *green*. Las técnicas utilizadas varían de un estudio a otro teniendo en cuenta el objetivos del mismo. Se observa que los investigadores tienden a combinar distintas herramientas en la búsqueda de soluciones holísticas. Como se presentó anteriormente, los estudios sobre la medición del rendimiento de la cadena de suministro resiliente se han desarrollado desde diferentes enfoques en diversos tipos de industrias. En la siguiente sección, se entrara en detalle sobre los criterios que han considerado los investigadores para estudiar la medición del rendimiento de la cadena de suministro resiliente.

2.4.1.1 CRITERIOS EN LA MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA CADENA DE SUMINISTRO RESILIENTE

Como se describió anteriormente, la cadena de suministro resiliente ha sido estudiada desde diferentes perspectivas, generando diversas herramientas que contribuyen a la gestión de la cadena de suministro. En este apartado se analizarán los factores, criterios o características que utilizan los investigadores al estudiar el rendimiento de la cadena de suministro resiliente.

Al momento de definir los habilitadores o conductores de la resiliencia en la cadena de suministro, los autores difieren entre si acerca de los elementos que la caracterizan, Christopher y Peck (2004) pioneros en el tema, identificaron, la reingeniería de la cadena de suministro, la colaboración, la agilidad y la cultura de SCRM como principios básicos de la SCRes.

Por su parte, Kamalahmadi y Parast (2016) realizaron un estudio sobre la base de los hallazgos hechos por Christopher y Peck (2004) y han identificado la flexibilidad, la redundancia, la confianza, el intercambio de información, la visibilidad, la velocidad, el liderazgo y la innovación como elementos esenciales para lograr la SCRes. En esa misma línea, Sangari y Dashtpeyma (2019) desarrollaron un marco

integrado compuesto de los siguientes habilitadores de la SCRes: flexibilidad, velocidad, visibilidad, información compartida, adaptabilidad, vulnerabilidad, robustez, anticipación, compromiso, liderazgo, innovación, integración, colaboración y redundancia.

Por otro lado, Singh *et al.* (2019) identificaron una serie de indicadores que pueden ayudar a mejorar el rendimiento y hacer que la cadena de suministro sea resiliente estos son, agilidad, flexibilidad, colaboración, robustez, redundancia, visibilidad, información compartida, cultura de SCRM. Basado en una revisión sistemática de la literatura realizada, se han identificado un conjunto de criterios de la resiliencia en la cadena de suministro, ver Tabla 2.4.

2.4.2 MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA CADENA DE SUMINISTRO SOSTENIBLE

La gestión de la cadena de suministro sostenible (SSCM, por sus siglas en inglés) está emergiendo rápidamente como una parte importante de la estrategia corporativa que ayuda a lograr un mayor rendimiento, mayor productividad, ahorro de costos, optimización de recursos y procesos y, sobre todo, sirve como un generador de ventaja competitiva (Fekpe y Delaporte, 2019).

Diferentes estudios sobre la medición del rendimiento de la SSC se han desarrollado. Tseng *et al.* (2019) midieron el desempeño de la gestión de la cadena de suministro sostenible impulsado por los datos, además consideraron el riesgo operacional dentro de la SC. Entre sus hallazgos destacan la identificación de los atributos decisivos del rendimiento de la SSCM en la industria textil haciendo uso del *Big Data*.

Sufiyan *et al.* (2019) además de medir la sostenibilidad en la cadena de suministro, en su estudio consideraron agilidad, calidad, servicio al cliente, coordinación y colaboración y eficiencia en la cadena de suministro. Identificaron tres criterios de

TABLA 2.4: Criterios en la medición de la cadena de suministro resiliente.

Criterio	Autor
Flexibilidad	Chowdhury <i>et al.</i> (2019), Sen <i>et al.</i> (2018), Singh <i>et al.</i> (2019), Kamalahmadi y Parast (2016), Rajesh (2016)
Redundancia	Chowdhury <i>et al.</i> (2019), Singh <i>et al.</i> (2019), Kamalahmadi y Parast (2016)
Robustez	Singh <i>et al.</i> (2019), Sangari y Dashtpeyma (2019)
Información compartida	Singh <i>et al.</i> (2019), Kamalahmadi y Parast (2016)
Visibilidad	Chowdhury <i>et al.</i> (2019), Sen <i>et al.</i> (2018), Singh <i>et al.</i> (2019), Kamalahmadi y Parast (2016)
Colaboración	Sahu <i>et al.</i> (2017), Chowdhury <i>et al.</i> (2019), Abeysekara <i>et al.</i> (2019) Kamalahmadi y Parast (2016)
Cultura de SCRМ	Sahu <i>et al.</i> (2017), Abeysekara <i>et al.</i> (2019), Singh <i>et al.</i> (2019), Kamalahmadi y Parast (2016)
Reingeniería de la SC	Sahu <i>et al.</i> (2017), Abeysekara <i>et al.</i> (2019), Kamalahmadi y Parast (2016)
Agilidad	Sahu <i>et al.</i> (2017), Abeysekara <i>et al.</i> (2019), Singh <i>et al.</i> (2019) Kamalahmadi y Parast (2016)
Confianza	Kamalahmadi y Parast (2016)
Velocidad	Kamalahmadi y Parast (2016), Sangari y Dashtpeyma (2019)
Liderazgo	Kamalahmadi y Parast (2016), Sangari y Dashtpeyma (2019)
Innovación	Kamalahmadi y Parast (2016), Sangari y Dashtpeyma (2019)
Adaptabilidad	Sangari y Dashtpeyma (2019)
Vulnerabilidad	Sangari y Dashtpeyma (2019)
Anticipación	Sangari y Dashtpeyma (2019)
Compromiso	Sangari y Dashtpeyma (2019)
Integración	Sangari y Dashtpeyma (2019)
Confiabilidad	Rajesh (2016)
Calidad	Rajesh (2016)
Productividad	Rajesh (2016)
Accesibilidad	Rajesh (2016)

desempeño altamente esenciales en la cadena de suministro de alimentos (FSC, por sus siglas en inglés), estos son, servicio al cliente, calidad y eficiencia de la cadena

de suministro. Añadido a lo anterior, los cinco indicadores clave más importantes, satisfacción del cliente, queja del cliente, entrega a tiempo, logística inversa y calidad del proceso.

Lim *et al.* (2017) en su estudio buscaban identificar la clave y los conductores de la gestión de conocimiento en la gestión (KM, por sus siglas en inglés) de la cadena de suministro sostenible. Encontrando que la gestión del conocimiento es un atributo decisivo en la SSCM y se considera progresivamente una importante fuente de ventaja competitiva sostenible.

Kozarević y Puška (2018) dentro de su estudio contemplaron 4 dimensiones adicionales a la sostenibilidad, la flexibilidad, la agilidad, la calidad y la innovación. Buscando evaluar el rendimiento de la cadena de suministro de alimentos y la influencia que tienen las prácticas en el rendimiento de la SC. Determinaron que las prácticas de la cadena de suministro influyen positivamente en los resultados de la SC. Entre tanto Fekpe y Delaporte (2019) examinaron los efectos de la integración de los elementos de sostenibilidad en el desempeño de las cadenas de suministro de las PYMES manufactureras. Encontrando que el rendimiento de la cadena de suministro está determinado por el grado de integración de los tres elementos de sostenibilidad.

Dey *et al.* (2019) desarrollaron un nuevo método para la medición y gestión del rendimiento de la sostenibilidad de la cadena de suministro en pequeñas y medianas empresas (PYMES). Dentro del modelo además de la sostenibilidad agregaron un nuevo criterio, relacionado con las operaciones. Ahi *et al.* (2016) aplicaron teoría de probabilidad para elaborar un marco estocástico capaz de interpretar cualquier número de características de rendimiento asociadas a la SSCM.

Por otra parte, Hassini *et al.* (2012) desarrollaron un marco original para la gestión de la cadena de suministro sostenible y para las métricas de la cadena de suministro sostenible. En esa misma línea, Malesios *et al.* (2018) midieron el rendimiento de la cadena de suministro de pequeñas y medianas empresas en tres regiones

diferentes para validar la eficacia del modelo. Das (2017) plantearon superar la brecha existente en cuanto a una escala que para medir el rendimiento de la cadena de suministro que incluya las tres dimensiones de la sostenibilidad tanto en términos de las practicas como del rendimiento de la cadena de suministro. Para lo cual aplicaron una serie de encuesta en diferentes sectores de la economía.

Haghighi *et al.* (2016) con el fin de reducir los limitados estudios sobre la medición del rendimiento en la industria del reciclaje, propusieron un enfoque mixto DEA-BSC, para evaluar el rendimiento bajo cada una de las perspectivas del BSC. En su marco solo incluyen los factores más pertinentes de acuerdo al juicio de expertos. Kazancoglu *et al.* (2018) parten de la base de la escasez de enfoques integrales para medir el rendimiento de la cadena de suministro verde y proponen un nuevo marco conceptual holístico para la evaluación del desempeño de la gestión de la cadena de suministro verde basada en la economía circular.

Jakhar (2015) considerando que los gerentes de la cadena de suministro escasamente incorporan premisas de sostenibilidad cuando seleccionan los socios de la cadena de suministro y toman decisiones de asignación de flujo, como por ejemplo, asignar la cantidad de pedidos a cada socio y elegir los modos de transporte apropiados, elaboró un modelo para la selección de socios y la toma de decisiones que además contempla medidas de rendimiento de la cadena de suministro sostenible.

Tseng *et al.* (2018) elaboraron un marco para la evaluación del rendimiento de la gestión de la cadena de suministros sostenible de servicios (SSSCM, por sus siglas en inglés) bajo incertidumbre, dentro de sus hallazgos el aspecto de más alto rango a considerar es el del diseño ambiental de la operación del servicio, y el criterio principal es la logística inversa.

Thanki y Thakkar (2018) proponen un marco para evaluar el rendimiento de la cadena de suministro con enfoque mixto y las relaciones causales entre las perspectivas del BSC y las características de la cadena de suministro, en su trabajo consideran la integración de *lean* y *green*. Siendo uno de los primeros estudios en

abordar esa temática de acuerdo con los mismos autores. Malviya y Kant (2019) mencionan en su estudio la necesidad de un marco capaz de medir la efectividad de la implementación de la gestión de la cadena de suministro verde (GSCM, por sus siglas en inglés) y su impacto en rendimiento, para lo cual desarrollaron no solo elaboraron una metodología que permite medir el rendimiento sino que también ofrece la opción de hacer *benchmarking*.

Uygun y Dede (2016) en su estudio abordaron la medición del rendimiento de la cadena de suministro verde en los 3 eslabones principales, proveedor, transformación y distribución, añadido a esto, consideraron el diseño y la logística inversa. Los autores proponen un enfoque difuso multicriterio para evaluar el rendimiento verde de las empresas. Mumtaz *et al.* (2018) presentan un análisis de regresión lineal para evaluar el impacto de la gestión cadena de suministro verde en el rendimiento en las organizaciones de diferentes industrias. Identificando que el objetivo de proteger la sostenibilidad tanto económica como ambiental puede lograrse mediante la aplicación de las prácticas de GSCM.

Pantouvakis y Vlachos (2020) en su estudio sobre el impacto de la relación entre el talento y su administración y el liderazgo en el rendimiento de la cadena de suministro, descubrieron que el talento influye más en los resultados de sostenibilidad que el liderazgo. Pathak *et al.* (2021) proponen un marco de evaluación del rendimiento que facilite a los profesionales de la logística la selección del sistema de transporte de mercancías (SFT, por sus siglas en inglés) sostenible más competitivo.

TABLA 2.5: Estudios sobre la medición del rendimiento
de la cadena de suministro sostenible.

Estudio	Objetivo	Técnica	Sector	Aporte
Tseng <i>et al.</i> (2019)	Evaluar el desempeño de la SSCM basada en datos en una estructura jerárquica bajo incertidumbres	<i>Fuzzy</i> DE- MATEL	Textil	Identificaron como criterios decisivos con potencial de mejorar el rendimiento de la cadena de suministro al riesgo operacional y el desarrollo de social.
Sufiyan <i>et al.</i> (2019)	Proponer un marco de trabajo integrado de medición de desempeño de la FSC que incluya todos los criterios e indicadores importantes de desempeño	<i>Fuzzy</i> DANP	Alimentos	Identificaron tres criterios de rendimiento altamente esenciales: servicio al cliente, calidad y eficiencia de la SC.

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Lim <i>et al.</i> (2017)	Identificar las claves y atributos impulsores de gestión del conocimiento en la SSCM	ISM		Textil	La KM es un atributo decisivo en la SCM y se considera progresivamente una fuente de ventaja competitiva
Kozarević y Puška (2018)	Mostrar una forma innovadora de procesar los datos recogidos y medir la práctica y el rendimiento de la cadena de suministro	<i>Fuzzy</i> TOP- SIS		Alimentos	Se confirman las hipótesis sobre las relaciones entre las prácticas de la cadena de suministro y el rendimiento.
Ahi <i>et al.</i> (2016)	Desarrollar un marco estocástico completo para medir el rendimiento de la SSC a lo largo del tiempo	Teoría de pro- babilidad		Ejemplo teó- rico	Marco estocástico capaz de acomodar cualquier número de características de rendimiento asociadas con SSCM. Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Das (2017)	Desarrollar y validar una escala con el fin de medir las prácticas de la SSCM adoptadas por una organización y también evaluar su desempeño en las diferentes dimensiones de la SCM	Encuesta	Multi-sector	Instrumento para medir las practicas en la SSCM y el rendimiento de la SSC
Haghighi <i>et al.</i> (2016)	Proponer un marco BSC y DEA para la evaluación del desempeño en las cadenas de suministro sostenibles	DEA	Reciclaje	Marco para evaluar el desempeño en materia de sostenibilidad de las SC mediante la incorporación de los factores de sostenibilidad más pertinentes en el proceso de evaluación del desempeño.
Kazancoglu <i>et al.</i> (2018)	Proponer un nuevo marco conceptual holístico de evaluación del rendimiento de la GSCM	Revisión de literatura	No aplica	Marco sistemático para evaluar el desempeño del GSCM en el contexto de la economía circular.

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Jakhar (2015)	Desarrollar medidas de rendimiento de la SSC y propone un modelo de toma de decisiones para la selección de socios y la asignación de flujos	<i>Fuzzy</i> AHP	Textil	Modelo para la selección de socios y la toma de decisiones de asignación de flujos y medidas de rendimiento de la cadena de suministro sostenible
Tseng <i>et al.</i> (2018)	Desarrollar y evaluar la importancia de la SSSCM sobre la base de un conjunto de buenas practicas	<i>Fuzzy Delphi</i> ANP	Electrónica	El aspecto de más alto rango a considerar es el del diseño ambiental de la operación del servicio, y el criterio principal es la logística inversa
Thanki Thakkar (2018)	y Proponer un BSC y un marco cuantitativo basado en un mapa estratégico para evaluar el rendimiento esbelto y verde de la cadena de suministro	<i>Fuzzy</i> DANP	Textil	Marco de evaluación para investigar las relaciones causales entre las perspectivas del BSC y los factores relacionados

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Fekpe y Delaporte (2019)	Examinar los efectos de la integración de los elementos de sostenibilidad en el desempeño de las cadenas de suministro de las PYMES manufactureras	PLS-SEM	Manufactura	Hay una relación positiva significativa entre cada uno de los tres elementos de sostenibilidad y los constructos de integración
Malesios <i>et al.</i> (2018)	Desarrollar un modelo sólido de medición del rendimiento de la SSC de las PYMES a fin de mejorar objetivamente su sostenibilidad	SEM	Manufactura	Modelo para la medición del rendimiento de la cadena de suministro en las PYMES.
Dey <i>et al.</i> (2019)	Elaborar un método de SSCPM y un marco de gestión para las PYMES mediante la revelación de las características, cuestiones y desafíos de la SSCM	DEA-SEM	Manufactura	Marco de medición y gestión del rendimiento de la sostenibilidad de la cadena de suministro para las PYMES.

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Malviya y Kant (2019)	Estudiar las medidas de rendimiento de la GSCM y elaborar un marco para valorar las repercusiones de la aplicación de la GSCM en el rendimiento de la organización	<i>Fuzzy</i> TOP-SIS	Automotriz	Marco de medición del rendimiento integrando el habilitador de GSCM con los criterios de medición del rendimiento de GSCM.
Uygun y Dede (2016)	Evaluación del rendimiento de la cadena de suministro verde	<i>Fuzzy</i> DANP	Manufactura	Propone un enfoque de toma de decisiones híbrido difuso y multicriterio para evaluar el rendimiento verde de las empresas
Mumtaz <i>et al.</i> (2018)	Proponer un enfoque sistemático para evaluar el impacto de la GSCM en el rendimiento de la organización industrial en el contexto del Pakistán	Regresión lineal	Multi-sector	El objetivo de proteger la sostenibilidad tanto económica como ambiental puede lograrse mediante la aplicación de las prácticas de la GSCM Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Pantouvakis y Vlachos (2020)	Comprender cómo el talento, el liderazgo y sus interacciones influyen en el rendimiento sostenible y el papel de la cultura organizativa esta relación	Análisis de regresión jerárquica	de Marítimo	El talento influye en los resultados de sostenibilidad más que el liderazgo
Pathak <i>et al.</i> (2021)	Desarrollar un marco integrado de evaluación de resultados sobre la base de prioridades competitivas para los (SFT)	<i>Fuzzy set theory</i>	Transporte	Marco de evaluación del rendimiento que facilita la selección de los STF sostenibles más competitivos

Fin de la tabla

2.4.2.1 CRITERIOS EN LA MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA CADENA DE SUMINISTRO SOSTENIBLE

Como se presentó anteriormente, la cadena de suministro sostenible ha sido estudiada desde diferentes enfoques. No obstante, parece haber un consenso entre académicos y profesionales a la hora de medir el rendimiento de la cadena de suministro sostenible, la mayoría coincide en los tres pilares de la *triple bottom line* (económico, ambiental y social), en la Tabla 2.6 se presentan los criterios utilizados por los investigadores en cada una de estas dimensiones.

TABLA 2.6: Criterios utilizados en la medición del rendimiento de la cadena de suministro sostenible por dimensión.

Dimensión	Criterio	Referencia
Económico	Logística integrada	Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Manufactura	Lim <i>et al.</i> (2017)
	Abastecimiento flexible	Lim <i>et al.</i> (2017)
	Calidad	Lim <i>et al.</i> (2017)
	Innovación	Lim <i>et al.</i> (2017)
	Proveeduría estratégica	Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Estabilidad económica	Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Optimización de la logística	Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Estrategia corporativa y compromiso	Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Desarrollo conjunto	Tseng <i>et al.</i> (2019)
Integración tecnológica	Tseng <i>et al.</i> (2019)	

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Ambiental	Minimización y recuperación de residuos	Ahi <i>et al.</i> (2016); Ramezankhani <i>et al.</i> (2018)
	Logística de reversa	Lim <i>et al.</i> (2017); Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Conservación del ambiente	Tseng <i>et al.</i> (2019); Aalirezaei <i>et al.</i> (2018)
	Ciclo de vida del producto	Lim <i>et al.</i> (2017)
	Producción limpia	Lim <i>et al.</i> (2017)
	Leyes y normatividad	Lim <i>et al.</i> (2017)
	Compra verde	Lim <i>et al.</i> (2017)
	Envase verde	Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Almacenamiento verde	Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Utilización eficaz de los sub-productos	Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Formación en sensibilización medioambiental	Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Colaboración con los proveedores	Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Diseño de productos ecológicos	Tseng <i>et al.</i> (2019)
Social	Condiciones de trabajo	Lim <i>et al.</i> (2017); Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Responsabilidad social	Malesios <i>et al.</i> (2018); Dey <i>et al.</i> (2019)
	Comunicación	Lim <i>et al.</i> (2017); Tseng <i>et al.</i> (2019)
	Colaboración	Lim <i>et al.</i> (2017)

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Transparencia	Lim <i>et al.</i> (2017)
Relaciones a largo plazo	Tseng <i>et al.</i> (2019)
Desarrollo de socios en la cadena de suministro	Tseng <i>et al.</i> (2019)
Innovación	Tseng <i>et al.</i> (2019)
Presiones internas	Tseng <i>et al.</i> (2019)

Fin de la tabla

2.4.3 INTEGRANDO LA RESILIENCIA Y LA SOSTENIBILIDAD EN LA SCPM

Si bien la resiliencia y la sostenibilidad han sido ampliamente estudiadas como se describió en secciones anteriores, muy pocas investigaciones, como la desarrollada por Sen *et al.* (2018) quienes desarrollaron un índice para explorar el *greenness* o verde y la resiliencia en la cadena de suministro; Ramezankhani *et al.* (2018) estudiaron la medición del rendimiento de la cadena de suministro desde un enfoque dinámico basado en DEA; Sahu y Sahu (2019), que desarrolló un índice de rendimiento difuso para la medición del rendimiento de la cadena de suministro teniendo en cuenta las estrategias green, servicio, ágil, resiliencia y flexibilidad; Elzarka (2020) quien en su estudio identificó que el paradigma *green* era el menos implementado a pesar de su importancia en la sostenibilidad de la SC o Fahimnia *et al.* (2018) quienes abordaron la integración de la gestión verde y la resiliencia desde la perspectiva del diseño de la cadena de suministro, han estudiado la conexión entre resiliencia y sostenibilidad.

En la Tabla 2.7, se presenta una comparación entre los estudios analizados por industria y estrategia de la cadena de suministro analizada, se puede observar que tanto la sostenibilidad como la resiliencia son las estrategias con mayor aplicación,

TABLA 2.7: Distribución de estudios por sector y estrategia.

Sector	Sostenibilidad ^a	<i>Green</i> ^b	Resiliencia	Mixta ^c
Manufactura aeroespacial			1	
Transporte	1			
Farmacéutico				1
Retail			1	
Bienes de con- sumo				1
Reciclaje	1			
Electrónicos	1			
Marítimo	1		1	
Alimentos	2			
Multi-sector	1	1	1	
Textil	2	1		
Confeción	1		2	
Automotive	1	1	1	2
Manufactura	3	1	2	
General	1	1		
Total	15	5	9	4

^a Estudios que miden al menos dos dimensiones de la sostenibilidad.

^b Estudios que miden las dimensiones verdes o medioambientales.

^c Estudios que miden al mismo tiempo sostenibilidad o *green* y resiliencia.

además, predominan los estudios en los sectores manufactura y automotriz. La integración de resiliencia y sostenibilidad tiene pocas aplicaciones en la industria solo 1 de los 4 estudios mixtos identificados. En ese sentido, Hosseini *et al.* (2019) señalan que futuros trabajos de investigación deberían tener como objetivo tender un puente entre la resiliencia y las cuestiones de sostenibilidad.

La Figura. 2.1 muestra que la resiliencia y la sostenibilidad presentan una

aplicación constante a lo largo de los años, hay una tendencia en el número de artículos publicados hasta 2019, para abril 2021 el número de artículos publicados iguala a los identificados en 2020, lo que muestra una recuperación en el número de publicaciones y refleja en cierta medida el impacto de la pandemia de Covid-19. Los estudios que integran la sostenibilidad o lo verde y la resiliencia comienzan a aparecer en 2018 con aplicaciones constantes hasta 2020 (para abril de 2021 fecha en que se terminó la recolección de artículos, no se encontraron estudios con enfoque mixto en las bases de datos consultadas bajo el procedimiento descrito en la Sección 2.1 etapa 2). Lo anterior confirma la brecha existente en lo relacionado a limitados estudios que integren resiliencia y sostenibilidad considerando que ambas estrategias han sido ampliamente estudiadas en los últimos años.

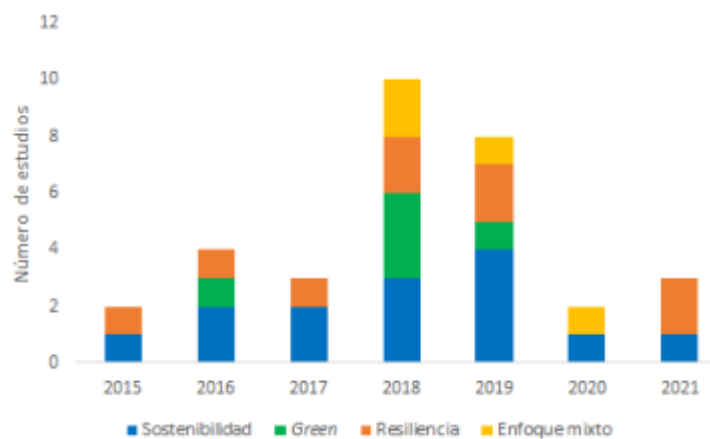


FIGURA 2.1: Distribución de las estrategias contempladas en los artículos revisados por año.

2.5 MODELOS PARA LA MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA CADENA DE SUMINISTRO

En las dos últimas décadas, muchos estudios han propuesto modelos conceptuales o cuantitativos para abordar la evaluación del rendimiento de la cadena de

suministro. En general, los modelos conceptuales sugieren un conjunto de medidas de rendimiento (Gunasekaran *et al.*, 2004; Ahi y Searcy, 2015; Mishra *et al.*, 2018).

Los modelos cuantitativos para la evaluación del rendimiento de las cadenas de suministro proponen el uso de técnicas de toma de decisiones multicriterio, para cuantificar el rendimiento de las cadenas de suministro en función de un conjunto de métricas de rendimiento (Chithambaranathan *et al.*, 2015; Lima-Junior y Carpinetti, 2017).

No obstante, sigue habiendo una falta de modelos cuantitativos de apoyo a la toma de decisiones para hacer frente a disrupciones previsibles (Kim *et al.*, 2015; Spiegler *et al.*, 2012). Al respecto, Malesios *et al.* (2018) señala que en la literatura sobre cadena de suministro sostenible la provisión de métodos para medir el rendimiento de manera cuantitativa es bastante limitada. Por su parte, Liu *et al.* (2018) sostiene que los estudios cuantitativos sobre la SCRes son escasos.

En la literatura de SCPM los modelos MCDM son el tipo más comúnmente adoptado (44%), seguido de la estadística multivariante (40%), la programación matemática (10%). La programación matemática combinada con estadística multivariante (3%). Las técnicas MCDM también se combinan con técnicas de programación matemática (3%). De todos los estudios analizados 3 (el 3% aproximadamente) propuso un marco conceptual. En la Figura 2.2 se muestra la distribución de la aplicación de los diferentes modelos cuantitativos utilizados.

Las principales desventajas de los métodos existentes son: incapacidad para captar aspectos holísticos, falta de adecuación a los diferentes niveles de medición, complejidad de los métodos, requieren detalles complejos, inadecuados para captar la vaguedad del juicio humano (Chithambaranathan *et al.*, 2015).

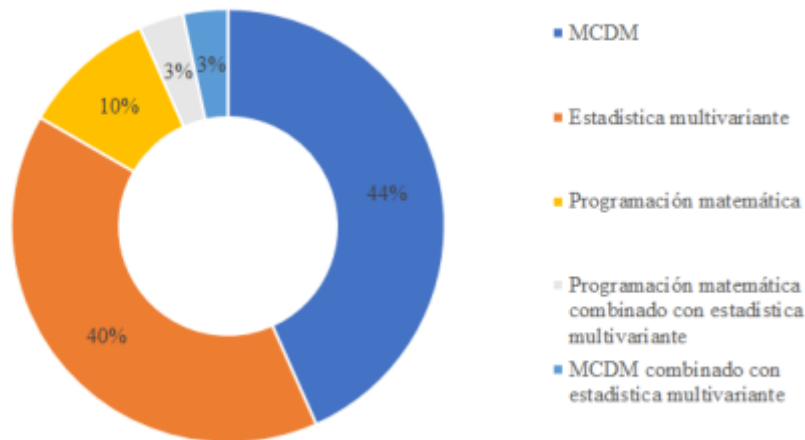


FIGURA 2.2: Modelos cuantitativos para la SCPM.

2.6 TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Como se describió en secciones anteriores, la selección de una técnica para medir el rendimiento de la cadena de suministro depende del objetivo y el alcance del estudio, son diversas las herramientas que los investigadores han aplicado. En la Figura 2.3 se presenta la frecuencia de aplicación de las técnicas utilizadas en los estudios analizados anteriormente.

Las técnicas con mayor frecuencia de aplicación son PLS-SEM (4), *fuzzy* DANP y teoría de conjuntos difusos (3) aplicaciones. Seguido de SEM, *fuzzy* TOPSIS, encuesta, ISM y DEA (2) cada una. Por su parte, DEA-SEM, *fuzzy* AHP-SEM, *fuzzy* ANP, *fuzzy* DEMATEL, *fuzzy* DOS-ISM, teoría de gris, programación lineal, regresión lineal, regresión de cuadrados mínimos, regresión jerárquica, FUCOM-BMW, revisión de literatura y teoría de probabilidad presentan 1 aplicación.

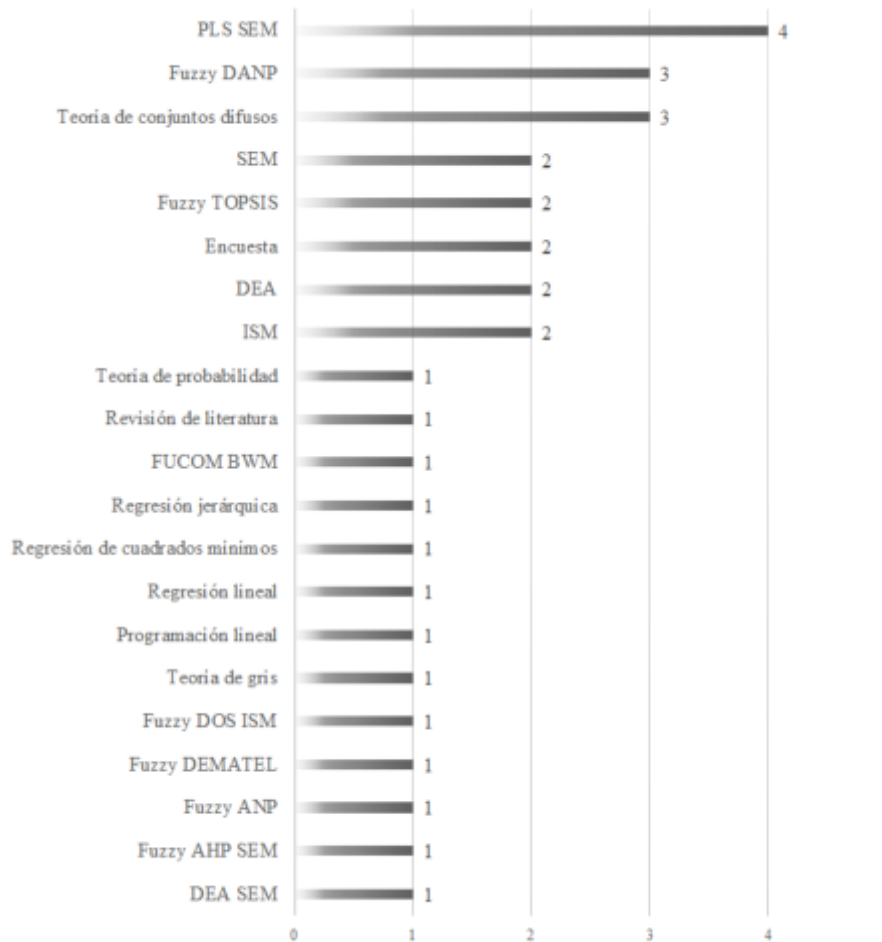


FIGURA 2.3: Frecuencia de aplicación de las técnicas para la SCPM en los estudios analizados.

2.6.1 TEORÍA DE CONJUNTOS DIFUSOS

Los problemas de toma de decisiones multicriterio involucran información cuantitativa como indicadores o datos numéricos que pueden ser fácilmente tratados e información cualitativa como opiniones o juicio de expertos que son fundamentadas completamente en la formación académica y experiencia profesional del experto, es decir basadas en su conocimiento lo cual incluye cierto grado de vaguedad e imprecisión (Wu y Lee, 2007), por lo cual, esta información no puede ser tratada directamente sin antes ser transformada en valores comparables (Chou *et al.*, 2008).

Para ello, la teoría de conjuntos difusos (*fuzzy set theory* (FST), en inglés) desarrollada por L. Zadeh, provee de herramientas útiles para lidiar con problemas en los que existe cierta subjetividad. La FST puede considerarse como un intento de desarrollar un conjunto de conceptos y técnicas para tratar de forma sistemática la imprecisión que surge cuando los límites de un tipo de categorías no están bien definidas Zadeh (1996).

La pertenencia a estas categorías o, como se les llama, conjuntos difusos, es una cuestión de grado más que una afirmación de todo o nada. Con frecuencia, el grado de pertenencia a un conjunto difuso no está bien definido. En estos casos es natural tratar el grado de pertenencia como una variable lingüística con los valores lingüísticos: bajo, no bajo, muy bajo, más o menos bajo, medio, alto, no alto, muy alto, más o menos alto, no bajo y no alto, etc. Cada uno de estos valores representa un subconjunto difuso del intervalo $[0, 1]$.

2.6.1.1 NÚMEROS DIFUSOS

Un número difuso A está definido en un intervalo $[a_l, a_u]$, donde a_l y a_u son respectivamente los límites inferior y superior de A . Existen varios tipos o clases de números difusos, de acuerdo con Wang (2015) los números difusos más comunes son los triangulares y los trapezoidales.

Un número difuso triangular A es un número difuso con función de pertenencia lineal a varias partes μ_A definido en la Ecuación 2.1:

$$\mu_A = \begin{cases} \frac{x-a_l}{a_m-a_l}, & a_l \leq x \leq a_m, \\ \frac{a_u-x}{a_u-a_m}, & a_m \leq x \leq a_u, \\ 0, & \text{de otro modo,} \end{cases} \quad (2.1)$$

que puede indicarse como la tripleta (a_l, a_m, a_u) , representado en la Figura 2.4

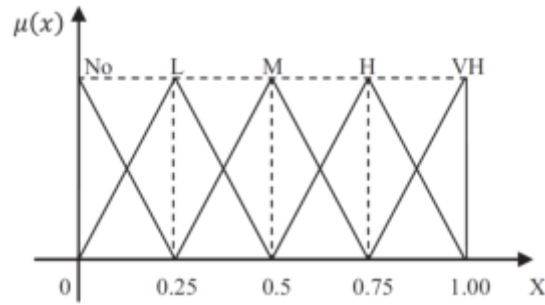


FIGURA 2.4: Números triangulares difusos para las variables lingüísticas.

Fuente: Uygun y Dede (2016)

Un número trapezoidal A es un número difuso con función de membresía μ_A definido en la Ecuación 2.2:

$$\mu_A = \begin{cases} \frac{x-a_l}{a_h-a_l}, & a_l \leq x \leq a_h, \\ 1, & a_h \leq x \leq a_m, \\ \frac{a_u-x}{a_u-a_m}, & a_m \leq x \leq a_u, \\ 0, & \text{de otro modo,} \end{cases} \quad (2.2)$$

que se puede representar como un cuarteto (a_l, a_h, a_m, a_u) . En este estudio se utilizan los números difusos triangulares debido a su extendida aplicación en los problemas de toma de decisiones multicriterio y dada su facilidad de cálculo (Kozarević y Puška, 2018; Sufiyan *et al.*, 2019; Chen y Hwang, 1992).

2.6.1.2 INTERPRETACIÓN DE VALORES DIFUSOS

Como se presentó en la sección anterior, los números difusos están compuestos por una serie finita de elementos, por lo que, suelen requerir ser traducidos en valores nítidos para su interpretación, esta operación se llama defuzzificación. Hay muchas técnicas de defuzzificación, en estudios sobre la medición del rendimiento de la cadena de suministro, el uso de la teoría de conjuntos difusos es frecuente, dentro de los

métodos de desfuzzificación utilizados por los investigadores en esta área de estudio destacan: la técnica de la media difusa, media graduada, el método del centro de gravedad, método de ponderación, entre otros.

En la Tabla 2.8 se muestran las diferentes técnicas de desfuzzificación y las funciones de membresía utilizadas por los autores. En este trabajo, adoptamos el método del centro de gravedad propuesto por Thanki y Thakkar (2018) formulado en la Ecuación 2.3, considerando que es el más común en los estudios analizados en la revisión de literatura sobre SCPM.

$$DF = \frac{l_{ij} + 4m_{ij} + u_{ij}}{6} \quad (2.3)$$

donde l_{ij} es el valor mínimo, m_{ij} el valor medio y u_{ij} el valor máximo posible.

2.6.2 PLS-SEM

El modelo de ecuaciones estructurales de cuadrados mínimos parciales (*partial least squares structural equation modeling*, en inglés) es un enfoque suave del modelado de ecuaciones estructurales (*structural equation modeling*, en inglés) sin supuestos sobre la distribución de los datos, y flexible en cuanto al tamaño de la muestra incluso cuando los modelos son altamente complejos (Esposito Vinzi *et al.*, 2010). El PLS es una técnica de SEM basada en un enfoque iterativo que maximiza la varianza explicada de un constructo endógeno (Fornell y Bookstein, 1982). El enfoque PLS-SEM utiliza los indicadores para caracterizar constructos que no pueden ser medidas directamente (Fekpe y Delaporte, 2019).

En la opinión de Hair Jr *et al.* (2016) la capacidad del método para manejar los problemas de modelación que se encuentran en la investigación de las ciencias sociales, tales como las características inusuales de los datos, el tamaño reducido de las muestras y los modelos altamente complejos, ha generado un incremento en

TABLA 2.8: Uso de FST en la medición del rendimiento de la cadena de suministro.

Estudio	Función	Método para desfuzzificar
Tseng <i>et al.</i> (2019)	Triangular	Método de ponderación
Sufiyan <i>et al.</i> (2019)	Triangular	Centro de gravedad
Uygun y Dede (2016)	Triangular	Conversión de los datos difusos en puntuaciones nítidas (CFCS, por sus siglas en inglés)
Kozarević y Puška (2018)	Triangular	Método de ponderación
Jakhar (2015)	Triangular	Centro de gravedad
Tseng <i>et al.</i> (2018)	Triangular	Centro de gravedad
Thanki y Thakkar (2018)	Triangular	Centro de gravedad
Malviya y Kant (2019)	Triangular	Integración media graduada
Li <i>et al.</i> (2019)	Triangular	Método de la media difusa

la popularidad de la técnica en los últimos años, estudios como los realizados por Abeysekara *et al.* (2019); Chowdhury *et al.* (2019); Liu *et al.* (2018) lo confirman.

2.6.3 FUZZY DANP

El método DANP fue propuesto inicialmente por Yang *et al.* (2008), es una combinación entre el proceso analítico en red y el laboratorio de ensayo y evaluación de decisiones, donde los pesos de influencia que vienen como resultado de DEMATEL se utilizan para convertirlos en vectores prioritarios de ANP. El juicio del expertos es

subjetivo y tiene algunas imprecisiones y vaguedades en situaciones de la vida real. Para resolver este tipo de problema, los conceptos de la teoría de conjuntos difusos (*fuzzy set theory*, en inglés) propuestos por Zadeh (1988) son introducidos.

2.6.3.1 DEMATEL

El laboratorio de ensayo y evaluación de decisiones (*Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*, en inglés) fue desarrollado por el Instituto Battelle de Ginebra para resolver problemas difíciles que implican principalmente técnicas de modelación interactiva del ser humano, así como para medir los aspectos cualitativos y factores relacionados con los problemas de la sociedad (Gabus y Fontela, 1972). DEMATEL es un método integral para proporcionar la relación causal entre los factores complejos a través de gráficos (Sufiyan *et al.*, 2019).

2.6.3.2 ANP

El proceso de red analítica (*analytic network process*, en inglés) es la forma general de proceso de jerarquía analítica (*analytic hierarchy process*, en inglés) y fue propuesto por Saaty (1996) para superar el problema de la interrelación entre los criterios o factores. El método ANP es más apropiado cuando se requiere establecer comparaciones dentro de la estructura de la red, esto es, determinar la relación dentro de los criterios (dependencia interna) y entre diferentes criterios (dependencia externa) (Saaty y Vargas, 2013).

2.6.4 FUZZY TOPSIS

La técnica de preferencia de orden por similitud a una solución ideal (*technique for order of preference by similarity to ideal solution*, en inglés) fue propuesta por

(Hwang y Yoon, 1981). Sin embargo, su popularidad llegó después de que Chen y Hwang (1992) realizaran una modificación para poder expresar mediante valores lingüísticos los valores de las alternativas y el peso de los criterios.

La idea principal surgió del concepto de la solución de compromiso para seleccionar la mejor alternativa más cercana a la solución ideal positiva (solución óptima) y más alejada de la solución ideal negativa (solución inferior). Y entonces, elegir la mejor alternativa (Malviya y Kant, 2019). A diferencia de otras herramientas, TOPSIS requiere de pocos juicios para la parametrización y provee un *benchmarking* contra otras SC (Moharamkhani *et al.*, 2017).

2.6.5 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS TÉCNICAS

Considerando la frecuencia de aplicación de las técnicas descrita en la sección anterior, En la Tabla 2.9 se presenta una comparación entre aquellas que tienen mayor uso. Teniendo en cuenta el objetivo y las necesidades del estudio, se seleccionaron PLS-SEM, *Fuzzy* DANP y *Fuzzy* TOPSIS.

TABLA 2.9: Análisis comparativo de las técnicas con mayor frecuencia de aplicación.

Atributo	Técnica		
	PLS-SEM	<i>Fuzzy</i> DANP	<i>Fuzzy</i> TOPSIS
Comparación por pares	✓	✓	✓
Interrelación entre criterios		✓	
Ponderación	✓	✓	✓
Jerarquización	✓	✓	✓
Reduce la imprecisión		✓	✓
Permite valores medios		✓	✓
Mínimo de muestra	✓		
Validación	✓		

Partiendo de la comparación realizada, basada en los atributos de cada una de las técnicas y considerando el objetivo del estudio, se seleccionó *Fuzzy DANP* al ser la que más se ajusta a las necesidades de la investigación.

2.7 ANÁLISIS DE LA BRECHA DE INVESTIGACIÓN

La anterior revisión de literatura dejó en evidencia que en los últimos años la resiliencia de la cadena de suministro y la sostenibilidad de la cadena de suministro ha captado la atención de los investigadores. En gran parte debido al aumento de la complejidad, la incertidumbre, la volatilidad que opera en los mercados (Abeysekara *et al.*, 2019). Por lo cual, se requieren cada vez más de enfoques holísticos que proporcionen herramientas integrales que apoyen el proceso de toma de decisiones (Lima-Junior y Carpinetti, 2019).

En consecuencia, una integración de técnicas *fuzzy Delphi*, *fuzzy DEMATEL* y *fuzzy ANP* son propuestas para estudiar los retos causados por la resiliencia y la sostenibilidad de la cadena de suministro. Aunque se han realizado varias investigaciones valiosas, para el conocimiento del autor todavía no existe un marco sistemático para evaluar el desempeño de una cadena de suministro, tanto desde el punto de vista de la sostenibilidad como de la resistencia. Detalles de la brecha de investigación identificada, la motivación y contribuciones para abordar dicha brecha se presentan a continuación:

- En la literatura de medición del rendimiento de la cadena de suministro, no se han identificado estudios que consideren la resiliencia y la sostenibilidad. En este estudio se propone un modelo multicriterio *fuzzy DANP* para superar esa brecha.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha seleccionado un modelo multicriterio basado en *fuzzy* como estrategia para evaluar el rendimiento de la cadena de suministro

resiliente y sostenible, la Tabla 2.10 presenta las diferencias entre este estudio y algunos estudios relevantes en la literatura de medición del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible.

En vista de lo anterior, se propone un nuevo modelo basado en la teoría de conjuntos difusos para la medición del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible. En la siguiente sección se presenta una descripción detallada de las herramientas *Fuzzy Delphi* para la identificación y clasificación de los criterios, DEMATEL para la interrelación entre las dimensiones y criterios y ANP para la estimación de los pesos de las dimensiones y los criterios.

TABLA 2.10: Análisis de la brecha de investigación entre estudios centrados en modelos MCDM en la literatura de SCPM.

Referencia	Modelo MCDM	Selección sistemática de criterios	Reducción de la imprecisión	TBL	Elementos de resiliencia	Factores cualitativos
Tseng <i>et al.</i> (2019)	<i>Fuzzy</i> DEMATEL		✓	✓		✓
Sen <i>et al.</i> (2018)	<i>Fuzzy</i> DOS ISM		✓		✓	✓
Uygun y Dede (2016)	<i>Fuzzy</i> DANP	✓	✓			✓
Rajesh (2016)	Teoría de gris				✓	
Jakhar (2015)	FAHP SEM		✓	✓		✓
Este estudio	<i>Fuzzy</i> DANP	✓	✓	✓	✓	✓

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En esta sección se describe la metodología utilizada. La Figura 3.1 muestra el paso a paso del proceso seguido en la investigación a través de un diagrama de flujo. Inicialmente, se realizó revisión de la literatura para identificar los criterios de desempeño y su relación en la medición del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible. Posteriormente, se determinaron los criterios relevantes por medio de *fuzzy Delphi*.

Para la evaluación de las relaciones de influencia entre dimensiones y criterios de desempeño de la cadena de suministro resiliente y sostenible, en primer lugar, se utiliza *fuzzy DEMATEL* para determinar el grado de influencia entre dimensiones y criterios. Seguido, se introduce ANP para estimar los pesos tanto de dimensiones como de criterios. El flujograma propuesto para la aplicación se presenta en la Figura. 3.2. Finalmente, se realiza un análisis del de la cadena de suministro resiliente y sostenible considerando las dimensiones y los criterios evaluados.

3.1 MÉTODO FUZZY DELPHI

La técnica *Delphi* fue ideada inicialmente como una herramienta para pronósticar eventos futuros (Dalkey y Helmer, 1963). Sin embargo, su uso se popularizó

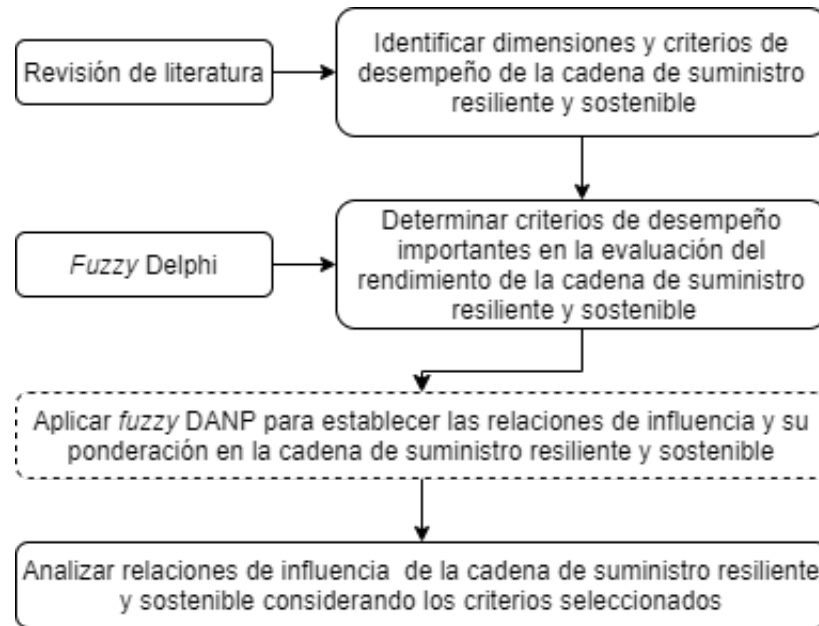


FIGURA 3.1: Metodología propuesta para la evaluación del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible.

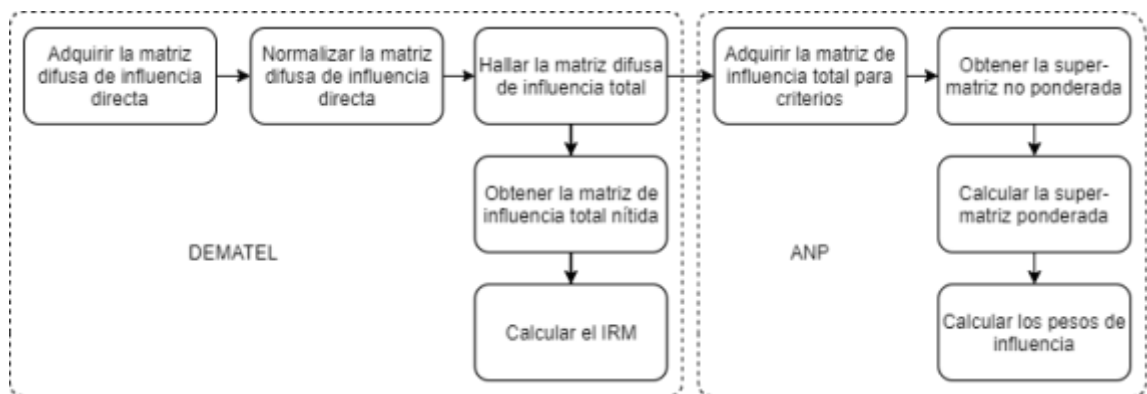


FIGURA 3.2: Flujo propuesto para la aplicación de *fuzzy* DANP.

después de que Kaufmann y Gupta (1988) la introdujeran por primera vez en problemas de toma de decisiones. El Delphi permite obtener un consenso entre un grupo de expertos mediante una secuencia de cuestionarios con retroalimentación controlada sobre las opiniones de los expertos. Para superar la vaguedad y la incertidumbre Murray *et al.* (1985) desarrollo el *Fuzzy Delphi* al integrar la teoría de conjuntos difusos en el *Delphi* tradicional. El método ha sido ampliamente utilizado en dife-

rentes áreas de investigación tales como educación, ciencias de la salud, ingeniería, negocios entre otras (Saido *et al.*, 2018; Sulaiman *et al.*, 2020; Tseng *et al.*, 2018; Malviya y Kant, 2019; Li *et al.*, 2019).

El procedimiento propuesto para la aplicación del *Fuzzy Delphi* es el siguiente:

1. Selección del panel de expertos
2. Identificación de criterios
3. Evaluación de criterios
4. Obtener valores nítidos
5. Evaluar la consistencia del juicio

3.1.1 SELECCIÓN DEL PANEL DE EXPERTOS

Según Okoli y Pawlowski (2004) el *Fuzzy Delphi* debe tener un número relativamente limitado de expertos con conocimientos sobre la investigación, los requisitos de tamaño del grupo son prácticos y deben ser de 10 a 18 miembros. Por su parte, Clayton (1997) recomienda que el tamaño del panel de expertos esté entre 5 y 10 personas para una población heterogénea, personas con experiencia en un tema concreto, pero procedentes de diferentes estratificaciones sociales/profesionales, como profesores, académicos y directores de escuela.

3.1.2 IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS

En esta etapa se recopilan los parámetros a través de revisión de literatura u opiniones de expertos que serán clasificados y evaluados. Se revisan todos los factores recopilados para después seleccionar aquellos que se incluirán en la evaluación.

3.1.3 DEFINIR ESCALA DE EVALUACIÓN

Para llevar a cabo a evaluación de la importancia de los criterios de desempeño, se estableció una escala lingüística *fuzzy* (ver Tabla 3.1). Se seleccionó la función de membresía triangular considerando que es la más utilizada en estudios sobre los sobre SCPM analizados en la revisión de literatura. Así mismo, se fijó el método del centro de gravedad para desfuzzificar.

TABLA 3.1: Escala lingüística y TFNs para el método Delphi.

Variable lingüística	TFNs equivalente
Extremadamente importante	(0.75, 1.00, 1.00)
Importancia demostrada	(0.50, 0.75, 1.00)
Importancia fuerte	(0.25, 0.50, 0.75)
Importancia moderada	(0.00, 0.25, 0.50)
Igualmente importante	(0.00, 0.00, 0.25)

Fuente: Tseng *et al.* (2018)

El número difuso triangular (TFNs, por sus siglas en inglés) se basa en un juicio de tres valores: el valor mínimo posible l , el valor medio posible m y el valor máximo posible u . Estos valores dependen de las preferencias de los términos lingüísticos. Asumimos que el valor de importancia de un número de j elementos dado por i expertos es $\tilde{x} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, entonces $i = 1, 2, 3, \dots, n$ y $j = 1, 2, 3, \dots, m$. El peso \tilde{c}_j de los elementos j es $\tilde{x} = (l_j, m_j, u_j)$, donde $l_j = \min \{l_{ij}\}$, $m_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_{ij}$ y $u_j = \max \{u_{ij}\}$. Una vez se definió la escala de evaluación, se procede a enviar el cuestionario a cada experto para que evalúa la importancia de cada criterio en una escala de igualmente importante hasta extremadamente importante (ver Tabla 3.1).

3.1.4 OBTENER VALORES NÍTIDOS

Se define el proceso para traducir el juicio de los expertos a valores nítidos como un conjunto nítido que está lo más cerca posible del conjunto difuso (Elmoussalami *et al.*, 2018). Considerando que la función triangular es la más empleada por los investigadores. Los números nítidos se obtienen mediante la Ecuación 3.1 como sigue:

$$c_j = \frac{L_j + 4M_j + U_j}{6} \quad (3.1)$$

donde c_j es el número nítido, L_j es la media de los valores mínimos l_{ij} , M_j es la media del promedio de los valores m_{ij} y U_j es la media de los valores máximos u_{ij} dados por los expertos.

3.1.5 IDENTIFICACIÓN DEL VALOR UMBRAL d

El valor umbral es importante para determinar el nivel de consenso entre los expertos. Para ello, utilizamos el método de los vértices propuesto por Chen (2000) que mide la distancia (consistencia) entre dos números difusos triangulares difusos utilizando la Ecuación 3.2:

$$d(M, m) = \sqrt{\frac{1}{3} [(L_j - l_{ij})^2 + (M_j - m_{ij})^2 + (U_j - u_{ij})^2]} \quad (3.2)$$

donde $m = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ son los valores difusos y $M = (L_j, M_j, U_j)$ son el promedio de los valores difusos. De acuerdo con Cheng y Lin (2002), se considera que los expertos han alcanzado el consenso cuando el valor de d es menor o igual a 0.2. Además, para que un criterio sea aceptado, el juicio de los expertos después de la desfuzzificación debe ser mayor que 0.75 (Murry Jr y Hammons, 1995). En caso contrario, la encuesta del FDM deberá repetirse hasta que se logre un consenso.

3.2 MÉTODO FUZZY DEMATEL

El procedimiento de la aplicación de *fuzzy* DEMATEL en este estudio se explica a continuación:

3.2.1 DESARROLLAR LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y DISEÑAR LA ESCALA LINGÜÍSTICA *FUZZY*

Para la evaluación de las relaciones de influencia en la cadena de suministro resiliente y sostenible, se establecen un conjunto de criterios. Dado que los criterios de evaluación tienen la naturaleza de una relación causal y suelen comprender varios aspectos complicados, se utiliza una escala lingüística *fuzzy* para abordar las ambigüedades de los juicios humanas en la toma de decisiones. Los diferentes grados de influencia se expresan con cinco términos lingüísticos, No tiene, Baja, Media, Alta, Muy alta y sus correspondientes TFNs se muestran en la Tabla 3.2.

TABLA 3.2: Variables lingüísticas y TFNs correspondientes.

Escala	Variable lingüística	TFNs equivalente
0	No tiene influencia	(0.00, 0.00, 0.25)
1	Influencia baja	(0.00, 0.25, 0.50)
2	Influencia media	(0.25, 0.50, 0.75)
3	Influencia alta	(0.50, 0.75, 1.00)
4	Influencia muy alta	(0.75, 1.00, 1.00)

Fuente: Adaptado de Uygun y Dede (2016)

3.2.2 ADQUIRIR Y PROMEDIAR LAS EVALUACIONES DE LOS EXPERTOS

En este paso, un grupo de k expertos es consultado para obtener comparaciones por pares para un conjunto de criterios $C = \{C_i | i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ mediante términos lingüísticos con el fin de medir la relación entre los criterios. Luego, a partir de las diferentes matrices directas M^k proporcionadas por k expertos, se calcula una matriz difusa promedio \tilde{M} como se indica a continuación y se llama matriz difusa de relación directa inicial.

$$\tilde{M} = \frac{\tilde{M}^1 \oplus \tilde{M}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{M}^k}{k} \quad (3.3)$$

La matriz difusa de relación directa inicial \tilde{M} se muestra como sigue

$$\tilde{M} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{m}_{12} & \cdots & \tilde{m}_{1n} \\ \tilde{m}_{21} & 0 & \cdots & \tilde{m}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{m}_{n1} & \tilde{m}_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

donde $\tilde{m}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ son números triangulares difusos.

3.2.3 ADQUIRIR LA MATRIZ DIFUSA DE RELACIÓN DIRECTA NORMALIZADA

La matriz de relación directa normalizada \tilde{X} se deriva de la matriz de relación directa inicial \tilde{M} normalizando sus elementos. Cada elemento de la matriz de influencia directa inicial implica el grado de relación entre los elementos del sistema. La matriz \tilde{X} se obtiene usando la Ecuación 3.4.

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \cdots & \tilde{x}_{nn} \end{bmatrix}$$

donde

$$\tilde{X} = s \times \tilde{M} \quad (3.4)$$

y

$$s = 1 / \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \quad (3.5)$$

3.2.4 OBTENER LA MATRIZ DIFUSA DE RELACIÓN TOTAL

Dada $\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{n \times n}$ y $\tilde{x}_{ij} = (l'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$ se definen tres matrices nítidas, cuyos elementos se extraen de \tilde{X} , de la siguiente manera:

$$X_l = \begin{bmatrix} 0 & l'_{12} & \cdots & l'_{1n} \\ l'_{21} & 0 & \cdots & l'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l'_{n1} & l'_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix},$$

$$X_m = \begin{bmatrix} 0 & m'_{12} & \cdots & m'_{1n} \\ m'_{21} & 0 & \cdots & m'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m'_{n1} & m'_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}, y$$

$$X_u = \begin{bmatrix} 0 & u'_{12} & \cdots & u'_{1n} \\ u'_{21} & 0 & \cdots & u'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u'_{n1} & u'_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

Así, la matriz de relación total \tilde{T} puede ser obtenida usando la Ecuación 3.6, donde I se conoce como la matriz de identidad.

$$\tilde{T} = \lim_{k \rightarrow \infty} (\tilde{X} + \tilde{X}^2 + \cdots + \tilde{X}^k) = \tilde{X} (I - \tilde{X})^{-1} \quad (3.6)$$

dada:

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \tilde{t}_{12} & \cdots & \tilde{t}_{1n} \\ \tilde{t}_{21} & \tilde{t}_{22} & \cdots & \tilde{t}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{n1} & \tilde{t}_{n2} & \cdots & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix}$$

donde $\tilde{t}_{ij} = (l'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$ y

$$l'_{ij} = X_l (I - X_l)^{-1} \quad (3.7)$$

$$m'_{ij} = X_m (I - X_m)^{-1} \quad (3.8)$$

$$u'_{ij} = X_u (I - X_u)^{-1} \quad (3.9)$$

3.2.5 CALCULAR LA MATRIZ DE INFLUENCIA TOTAL T

Para obtener los valores nítidos se siguió el método descrito en la Sección 2.6.1, formulado en la Ecuación 3.11

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n1} & t_{n2} & \cdots & t_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

donde

$$t_{ij} = \frac{l_{ij} + 4m_{ij} + u_{ij}}{6} \quad (3.11)$$

3.2.6 HALLAR LOS VALORES DE $(r_i + c_i)$ Y $(r_i - c_i)$

Después de que la matriz de relación total \tilde{T} es desfuzzificada y la matriz T es obtenida, los valores de r_i , c_i , $(r_i + c_i)$ y $(r_i - c_i)$ se calcula siguiendo las Ecuaciones 3.12-3.13 como se muestra a continuación:

$$r_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad \forall_i \quad (3.12)$$

$$c_i = \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad \forall_j \quad (3.13)$$

donde r_i y c_i son la suma de las filas y columnas de la matriz T respectivamente. $(r_i + c_i)$ conocido como centralidad o prominencia, refleja el grado de influencia total del criterio i sobre los demás criterios, $(r_i - c_i)$ llamado relación, representa qué criterio pertenece a la categoría de causa y cuál a la de efecto. El mayor $(r_i + c_i)$

es, el grado de influencia más alto que el criterio i podría tener. Un valor positivo significativo de $(r_i - c_i)$ indica los criterios a los que se debe dar prioridad para la mejora en comparación con otros.

Para reducir la complejidad del mapa de relaciones de la red (IRM, por sus siglas en inglés), el responsable de la toma de decisiones establece un valor umbral para el nivel de influencia, de acuerdo con Sufiyan *et al.* (2019), el umbral puede ser calculado como el promedio de la matriz T , sólo los factores cuyo valor de influencia en la matriz T sea superior al valor umbral pueden ser elegidos y convertidos en el IRM (Yang *et al.*, 2008).

3.3 MÉTODO FUZZY DANP

El procedimiento de combinar *fuzzy* DEMATEL y ANP se explica a continuación:

3.3.1 ADQUIRIR LA MATRIZ DE INFLUENCIA TOTAL PARA CRITERIOS \tilde{T}_c

El primer paso del ANP es comparar los criterios del sistema en una supermatriz no ponderada por comparación de pares. En vista de lo anterior, se utiliza la matriz de influencia total T y un valor umbral para generar una nueva matriz. Los valores de los criterios en la matriz T se restablecen a cero si son menores que el umbral, es decir, su influencia es muy baja o nula Yang *et al.* (2008). La matriz de relación total para criterios, denotada como \tilde{T}_c se forma al sustituir todos los pares de matrices de relación total generadas utilizando el DEMATEL difuso por encima del valor umbral, como se muestra en la Ecuación 3.14.

$$\tilde{T}_c = \begin{matrix} & \begin{matrix} D_1 & \cdots & D_j & \cdots & D_n \\ c_{11} \cdots c_{1m_1} & \cdots & c_{j1} \cdots c_{jm_j} & \cdots & c_{n1} \cdots c_{nm_n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_1 \\ c_{11} \cdots c_{1m_1} \\ \vdots \\ D_i \\ c_{i1} \cdots c_{im_i} \\ \vdots \\ D_n \\ c_{n1} \cdots c_{nm_n} \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{T}_c^{11} & \cdots & \tilde{T}_c^{1j} & \cdots & \tilde{T}_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{T}_c^{i1} & \cdots & \tilde{T}_c^{ij} & \cdots & \tilde{T}_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{T}_c^{n1} & \cdots & \tilde{T}_c^{nj} & \cdots & \tilde{T}_c^{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.14)$$

donde D_i representa las dimensiones y c_{ij} los criterios dentro de cada dimensión respectivamente. Ahora, la matriz de relación total en la Eq. 3.14 se normaliza normalizando cada submatriz, que se denota por \tilde{T}_c^α , matriz de influencia total de cada par de criterios calculada por *fuzzy* DEMATEL. Para la normalización de cada \tilde{T}_c se calcula la suma de filas, y cada fila se divide por el valor de la suma de filas correspondiente. El procedimiento para pasar de \tilde{T}_c^{12} a $\tilde{T}_c^{\alpha 12}$ se muestra en las Eq. 3.15-3.16.

$$\tilde{T}_c^{12} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{c^{11}}^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{1j}}^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{1m_2}}^{12} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{t}_{c^{i1}}^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{ij}}^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{im_2}}^{12} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{t}_{c^{m_1 1}}^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{m_1 j}}^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{m_1 m_2}}^{12} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

dada $t_i^{12} = \sum_{j=1}^{m_2} t_{ij}^{12}, i = 1, 2, \dots, m_2$

$$\tilde{T}_c^{\alpha 12} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{c^{11}}^{12}/t_1^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{1j}}^{12}/t_1^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{1m_2}}^{12}/t_1^{12} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{t}_{c^{i1}}^{12}/t_i^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{ij}}^{12}/t_i^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{im_2}}^{12}/t_i^{12} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{t}_{c^{m_1 1}}^{12}/t_{m_1}^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{m_1 j}}^{12}/t_{m_1}^{12} & \cdots & \tilde{t}_{c^{m_1 m_2}}^{12}/t_{m_1}^{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11}^{\alpha 12} & \cdots & t_{1j}^{\alpha 12} & \cdots & t_{1m_2}^{\alpha 12} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{i1}^{\alpha 12} & \cdots & t_{ij}^{\alpha 12} & \cdots & t_{im_2}^{\alpha 12} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{m_1 1}^{\alpha 12} & \cdots & t_{m_1 j}^{\alpha 12} & \cdots & t_{m_1 m_2}^{\alpha 12} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

La matriz $\tilde{T}_c^{\alpha 12}$, presentada en la Ecuación 3.16, es la matriz de los criterios de la dimensión D_1 y su influencia respecto a los criterios de D_2 . Ahora, cada matriz normalizada \tilde{T}_c^α se pone en la super matriz \tilde{T}_c , matriz de relación total para los criterios, que toma la forma como se muestra en la Ecuación 3.17.

$$\tilde{T}_c^\alpha = \begin{matrix} & \begin{matrix} D_1 \\ c_{11} \dots c_{1m_1} \end{matrix} & \dots & \begin{matrix} D_j \\ c_{j1} \dots c_{jm_j} \end{matrix} & \dots & \begin{matrix} D_n \\ c_{n1} \dots c_{nm_n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_1 \\ c_{11} \dots c_{1m_1} \end{matrix} & \left[\begin{matrix} \tilde{T}_c^{\alpha 11} & \dots & \tilde{T}_c^{\alpha 1j} & \dots & \tilde{T}_c^{\alpha 1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \begin{matrix} D_i \\ c_{i1} \dots c_{im_i} \end{matrix} & \tilde{T}_c^{\alpha i1} & \dots & \tilde{T}_c^{\alpha ij} & \dots & \tilde{T}_c^{\alpha in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \begin{matrix} D_n \\ c_{n1} \dots c_{nm_n} \end{matrix} & \tilde{T}_c^{\alpha n1} & \dots & \tilde{T}_c^{\alpha nj} & \dots & \tilde{T}_c^{\alpha nn} \end{matrix} \right] & & & & & \end{matrix} \quad (3.17)$$

3.3.2 ADQUIRIR LA SUPERMATRIZ NO PONDERADA \tilde{W}

La supermatriz no ponderada se obtiene transponiendo la matriz de relación total normalizada, $(\tilde{T}_c^\alpha)'$ como se muestra en la Ecuación 3.18.

$$\tilde{W} = (\tilde{T}_c^\alpha)' = \begin{matrix} & \begin{matrix} D_1 \\ c_{11} \dots c_{1m_1} \end{matrix} & \dots & \begin{matrix} D_j \\ c_{j1} \dots c_{jm_j} \end{matrix} & \dots & \begin{matrix} D_n \\ c_{n1} \dots c_{nm_n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_1 \\ c_{11} \dots c_{1m_1} \end{matrix} & \left[\begin{matrix} \tilde{W}^{11} & \dots & \tilde{W}^{1j} & \dots & \tilde{W}^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \begin{matrix} D_i \\ c_{i1} \dots c_{im_i} \end{matrix} & \tilde{W}^{i1} & \dots & \tilde{W}^{ij} & \dots & \tilde{W}^{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \begin{matrix} D_n \\ c_{n1} \dots c_{nm_n} \end{matrix} & \tilde{W}^{n1} & \dots & \tilde{W}^{nj} & \dots & \tilde{W}^{nn} \end{matrix} \right] & & & & & \end{matrix} \quad (3.18)$$

3.3.3 DESARROLLAR LA SUPERMATRIZ PONDERADA \tilde{W}^α

La matriz de relación total para las dimensiones, que se denota por \tilde{T}_D se presentada en la Ecuación 3.19, se obtiene de forma similar a la matriz T_c , es decir,

se genera una nueva matriz con los valores de influencia por encima del umbral.

$$\tilde{T}_D = \begin{bmatrix} \tilde{T}_D^{11} & \dots & \tilde{T}_D^{1j} & \dots & \tilde{T}_D^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{T}_D^{i1} & \dots & \tilde{T}_D^{ij} & \dots & \tilde{T}_D^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{T}_D^{n1} & \dots & \tilde{T}_D^{nj} & \dots & \tilde{T}_D^{nn} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Siguiendo la Ecuación 3.20, la matriz de influencia total normalizada $T_D^{\alpha l}$ se calcula de la siguiente manera:

$$T_D^{\alpha l} = \begin{bmatrix} t_D^{11l}/d_1^l & \dots & t_D^{1jl}/d_1^l & \dots & t_D^{1nl}/d_1^l \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1l}/d_1^l & \dots & t_D^{ijl}/d_1^l & \dots & t_D^{inl}/d_1^l \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{n1l}/d_1^l & \dots & t_D^{njl}/d_1^l & \dots & t_D^{nnl}/d_1^l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha 11l} & \dots & t_D^{\alpha 1jl} & \dots & t_D^{\alpha 1nl} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha i1l} & \dots & t_D^{\alpha ijl} & \dots & t_D^{\alpha inl} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha n1l} & \dots & t_D^{\alpha njl} & \dots & t_D^{\alpha nnl} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

De forma similar, se obtienen las matrices $T_D^{\alpha m}$ y $T_D^{\alpha u}$. A continuación, la supermatriz ponderada $W^{\alpha l}$ se calcula por la multiplicación de la matriz de influencia total normalizada $T_D^{\alpha l}$ y la supermatriz no ponderada W^l como se presenta en la siguiente ecuación:

$$W^{\alpha l} = (T_D^{\alpha l}) W^l = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha 11l} \times W^{i1l} & \dots & t_D^{\alpha i1l} \times W^{i1l} & \dots & t_D^{\alpha n1l} \times W^{n1l} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha 1jl} \times W^{ijl} & \dots & t_D^{\alpha ijl} \times W^{ijl} & \dots & t_D^{\alpha njl} \times W^{njl} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha 1nl} \times W^{inl} & \dots & t_D^{\alpha inl} \times W^{inl} & \dots & t_D^{\alpha nnl} \times W^{nnl} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Matrices $W^{\alpha m}$ y $W^{\alpha u}$ se obtienen de forma similar.

3.3.4 CALCULAR LOS PESOS DE INFLUENCIA DE LOS CRITERIOS

Ahora la supermatriz ponderada formada en la Ecuación 3.21 se eleva a una potencia suficientemente grande hasta que converge y los valores vectoriales en la supermatriz limitada se estabilizan. Los pesos de influencia de los criterios se obtienen utilizando los valores estables obtenidos en las supermatrices limitadas y aplicando la función de desfuzzificación mediante la Ecuación 3.11.

3.4 ÍNDICE DE CONSISTENCIA

Saaty (2000) proporciona un índice de consistencia para medir cualquier inconsistencia dentro de los juicios en cada matriz de comparación. El índice se puede utilizar para determinar cuán consistentes son las matrices de comparación de pares. Las matrices de comparación por pares después de ser desfuzzificadas se utilizan para calcular la razón de consistencia. El índice de consistencia (μ), para una matriz de comparación por pares se calcula utilizando la Ecuación 3.22.

$$\mu = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.22)$$

donde, λ_{max} es el mayor valor propio de la matriz de comparación, n es la dimensión de la matriz.

Utilizando la Ecuación 3.23 se obtiene la razón de consistencia (CR, por sus siglas en inglés) de una matriz de comparación por pares, la cual se define como la relación entre el índice de consistencia μ y el valor del índice aleatorio (RI, por sus siglas en inglés) correspondiente en la Tabla 3.3.

$$CR = \frac{\mu}{RI} 100\% \quad (3.23)$$

TABLA 3.3: Índice de consistencia aleatorio.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.4	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.57	1.58

Fuente: Saaty (2000).

En palabras de Saaty (2000) la inconsistencia puede considerarse un ajuste necesario para mejorar la coherencia de las comparaciones, dicho ajuste no debe ser tan grande como el mismo juicio, ni tan pequeño que usarlo no genere ningún impacto. En ese sentido, el autor señala que en una escala de 0 a 1, la inconsistencia debería estar alrededor del 10% para todos los valores de n mayores o iguales a 5. En matrices con una inconsistencia mayor, se considera que los juicios expresados por los expertos son inconsistentes por lo cual se debe repetir la evaluación.

Considerando que la inconsistencia es necesaria dado que, sin esta, nuevos conocimientos como los cambios en las preferencias no serían admitidos. Asimismo, asumir que todos los conocimientos deben ser consistentes va en contra de la experiencia que requiere un ajuste continuo en la comprensión. Por lo tanto, desarrollar un marco de consistencia amplio depende de admitir alguna inconsistencia.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CRITERIOS

4.1.1 SELECCIÓN DEL PANEL DE EXPERTOS

Para la conformación del grupo de expertos se integraron académicos y profesionales de la industria automotriz considerando que es uno de los sectores económicos que los autores estudian con mayor frecuencia como lo demuestran los artículos analizados sobre medición de la cadena de suministro resiliente y sostenible (ver Sección ,2.4). En total se seleccionaron 4 académicos y 13 profesionales. El perfil del panel de expertos se describe en la Tabla 4.1.

4.1.2 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CRITERIOS

A los criterios identificados a través de la revisión de literatura realizada (ver Tablas 2.4 y 2.6) se les aplicó la regla del 80/20 de Pareto como una herramienta para determinar los más utilizados por los investigadores, los detalles de como se realizo este proceso se muestra en el Apéndice A.1 y A.2. De esta forma, se estableció una

TABLA 4.1: Caracterización del grupo de expertos.

Perfil del experto		Frecuencia	Porcentaje
Categoría	Posición		
Profesional	Gerente de producción/operaciones	3	17.65
	Gerente general	2	11.76
	Especialista de compras	3	17.65
	Especialista de planeación/control de producción	3	11.76
	Coordinador de planeación/logística	2	11.76
	Maestro	1	5.88
Académico	Instructor	1	5.88
	Profesor	3	17.65
Años de experiencia			
	0 - 10	4	23.53
	11-21	8	47.06
	22-32	1	5.88
	+ 33	4	23.53
Nivel académico			
	Licenciado	3	17.65
	Ingeniero	1	5.88
	Maestro	11	64.71
	Doctor	2	11.76

lista refinada de 31 criterios que caracterizan a la cadena de suministro resiliente y sostenible como se muestra en la Tabla 4.2.

TABLA 4.2: Lista refinada de criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible.

Dimensión	Criterio
D1 Resiliencia	C1 Flexibilidad
	C2 Colaboración
	C3 Visibilidad
	C4 Cultura de SCRM
	C5 Agilidad
	C6 Redundancia
	C7 Reingeniería
	C8 Información compartida
	C9 Robustez
	C10 Liderazgo
	C11 Innovación
D2 Económico	C12 Logística integrada
	C13 Manufactura
	C14 Calidad
	C15 Proveeduría estratégica
	C16 Estabilidad económica
	C17 Optimización de la logística
	C18 Estrategia corporativa y compromiso
D3 Ambiental	C19 Minimización y recuperación de residuos
	C20 Logística de reversa
	C21 Conservación del ambiente
	C22 Ciclo de vida del producto
	Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

	C23 Producción limpia
	C24 Leyes y normatividad
	C25 Compra verde
	C26 Envase verde
	C27 Almacenamiento verde
D4 Social	C28 Condiciones de trabajo
	C29 Responsabilidad social
	C30 Comunicación
	C31 Transparencia

Fin de la tabla

4.1.3 EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LOS CRITERIOS

Considerando la lista de criterios (Tabla 4.2), a través de una encuesta dispuesta en el Apéndice A.3 se consultó al grupo de expertos sobre la importancia de cada uno de los criterios, para ello se empleó la escala lingüística *fuzzy* descrita en la Tabla 3.1. El juicio de cada experto por criterio en variables lingüísticas se muestra en la Tabla 4.3. Posteriormente, cada respuesta se tradujo a su número difuso triangular correspondiente como se describe en la Tabla 4.4.

TABLA 4.3: Los valores de evaluación de los expertos en cuanto a la importancia de los criterios.

Criterio	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 9	Experto 10	Experto 11	Experto 12	Experto 13	Experto 14	Experto 15	Experto 16	Experto 17
C1	Fuerte	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema	Fuerte	Extrema	Demostrada	Extrema	Demostrada	Demostrada	Extrema	Extrema	Extrema
C2	Demostrada	Extrema	Extrema	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Extrema	Fuerte	Extrema	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Extrema
C3	Extrema	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema	Extrema	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Extrema	Extrema	Extrema	Extrema	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema
C4	Extrema	Extrema	Extrema	Demostrada	Demostrada	Extrema	Fuerte	Extrema	Fuerte	Demostrada	Extrema	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Extrema	Fuerte	Extrema
C5	Igualmente importante	Igualmente importante	Fuerte	Fuerte	Moderada	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Igualmente importante	Fuerte	Fuerte	Moderada	Extrema	Demostrada	Fuerte	Extrema
C6	Igualmente importante	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Moderada	Moderada	Demostrada	Fuerte	Extrema
C7	Extrema	Extrema	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Extrema	Demostrada	Demostrada	Extrema	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Extrema	Demostrada	Fuerte
C8	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Moderada	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Extrema	Fuerte	Moderada	Extrema
C9	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Extrema	Extrema	Demostrada
C10	Demostrada	Extrema	Extrema	Fuerte	Extrema	Demostrada	Demostrada	Extrema	Fuerte	Fuerte	Extrema	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Extrema	Fuerte	Demostrada
C11	Extrema	Extrema	Extrema	Extrema	Fuerte	Extrema	Demostrada	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema	Demostrada	Demostrada	Extrema	Demostrada	Fuerte	Extrema
C12	Fuerte	Extrema	Demostrada	Extrema	Fuerte	Extrema	Extrema	Extrema	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Extrema	Demostrada	Demostrada	Demostrada
C13	Extrema	Demostrada	Fuerte	Extrema	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Demostrada
C14	Extrema	Extrema	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Extrema	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Extrema	Fuerte	Extrema	Demostrada	Fuerte	Moderada
C15	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Extrema	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Extrema	Moderada
C16	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Moderada	Extrema	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Extrema	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Extrema	Moderada	Demostrada
C17	Extrema	Extrema	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Extrema	Extrema	Fuerte	Demostrada	Extrema	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Demostrada
C18	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema	Extrema	Extrema	Moderada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Moderada	Demostrada	Fuerte	Demostrada
C19	Extrema	Demostrada	Extrema	Extrema	Extrema	Extrema	Demostrada	Demostrada	Moderada	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Extrema	Demostrada	Extrema	Fuerte	Extrema
C20	Moderada	Extrema	Fuerte	Extrema	Demostrada	Extrema	Extrema	Extrema	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Extrema	Fuerte	Demostrada	Extrema
C21	Demostrada	Extrema	Extrema	Demostrada	Fuerte	Extrema	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Extrema	Fuerte	Fuerte	Extrema	Fuerte	Extrema
C22	Extrema	Demostrada	Extrema	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Extrema	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Extrema	Extrema	Demostrada
C23	Fuerte	Extrema	Demostrada	Extrema	Fuerte	Extrema	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Extrema
C24	Extrema	Extrema	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Extrema	Demostrada	Demostrada	Extrema	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Extrema
C25	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Moderada	Extrema	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Moderada	Demostrada
C26	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Moderada	Extrema	Moderada	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Extrema	Extrema	Fuerte	Fuerte	Moderada	Demostrada
C27	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Moderada	Extrema	Moderada	Fuerte	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Extrema	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Igualmente importante	Extrema
C28	Demostrada	Extrema	Demostrada	Extrema	Extrema	Extrema	Extrema	Extrema	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Fuerte	Demostrada	Extrema	Extrema	Extrema	Demostrada
C29	Demostrada	Extrema	Extrema	Demostrada	Demostrada	Extrema	Fuerte	Extrema	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Extrema	Demostrada	Extrema	Demostrada	Extrema	Demostrada
C30	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema	Extrema	Demostrada	Extrema	Extrema	Fuerte	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Demostrada	Extrema	Extrema	Fuerte	Extrema
C31	Extrema	Extrema	Extrema	Demostrada	Demostrada	Extrema	Demostrada	Demostrada	Extrema	Demostrada	Demostrada	Fuerte	Demostrada	Extrema	Demostrada	Demostrada	Extrema

4.1.4 OBTENER VALORES NÍTIDOS

Luego, se calcula el promedio del juicio de expertos en números triangulares difusos (ver Apéndice A.6). Para desfuzzificar la evaluación de los expertos, se utilizó la Ecuación 3.1, así el FDM para cada criterio se presenta en la Tabla 4.5.

4.1.5 EVALUAR LA CONSISTENCIA DEL JUICIO

En el juicio de los expertos (FDM), el valor del umbral (d) para cada criterios, el ranking de los criterios y el resultado considerando los parámetros de selección se presentan en la Tabla 4.5. Para definir la inclusión o exclusión de un criterio, se calculó la consistencia (d) o valor limite permisible de la opinión de los expertos utilizando la Ecuación 3.2 como el promedio de la consistencia de los juicios sobre la importancia de cada uno de los criterios previamente establecidos (ver Tabla 4.2).

El cálculo del umbral para cada criterio se presenta en el Apéndice A.7. Como se describió en la Sección 3.1.5 del capítulo 3, para que un criterio sea aceptado el valor d debe ser menor o igual a 0.2 y el FDM después de la desfuzzificación mayor que 0.75, aquellos criterios que cumplen estas condiciones se incluyeron en el estudio. El ranking se obtuvo clasificando de mayor a menor los criterios según el FDM.

TABLA 4.5: Lista de criterios basada en juicio de expertos

y umbral.

Criterio	FDM	d	<i>Ranking</i>	Resultado
C1 Flexibilidad	0.843	0.131	2	Incluir
C2 Colaboración	0.819	0.129	7	Incluir
C3 Visibilidad	0.897	0.085	1	Incluir
C4 Agilidad	0.804	0.143	9	Incluir

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

C5 Redundancia	0.488	0.213	31	Descartar
C6 Reingeniería	0.544	0.167	30	Descartar
C7 Información compartida	0.782	0.105	11	Incluir
C8 Robustez	0.627	0.177	27	Descartar
C9 Liderazgo	0.752	0.131	13	Incluir
C10 Innovación	0.735	0.168	19	Descartar
C11 Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro	0.843	0.131	3	Incluir
C12 Logística integrada	0.750	0.155	15	Incluir
C13 Manufactura	0.642	0.148	25	Descartar
C14 Calidad	0.708	0.177	23	Descartar
C15 Proveeduría estratégica	0.738	0.150	17	Descartar
C16 Estabilidad económica	0.669	0.178	24	Descartar
C17 Optimización de la logística	0.767	0.117	12	Incluir
C18 Estrategia corporativa y compromiso	0.738	0.153	18	Descartar
C19 Minimización y recuperación de residuos	0.789	0.159	10	Incluir
C20 Logística de reversa	0.748	0.181	16	Descartar
C21 Conservación del ambiente	0.721	0.180	22	Descartar
C22 Ciclo de vida del producto	0.752	0.131	14	Incluir
C23 Producción limpia	0.725	0.137	20	Descartar
C24 Leyes y normatividad	0.723	0.159	21	Descartar
C25 Compra verde	0.600	0.164	29	Descartar

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

C26 Envase verde	0.640	0.201	26	Descartar
C27 Almacenamiento verde	0.613	0.214	28	Descartar
C28 Condiciones de trabajo	0.831	0.132	4	Incluir
C29 Responsabilidad social	0.806	0.124	8	Incluir
C30 Comunicación	0.831	0.132	5	Incluir
C31 Transparencia	0.821	0.111	6	Incluir

Fin de la tabla

Finalmente, se incluyen 7 criterios correspondientes a la dimensión resiliencia: flexibilidad, colaboración, visibilidad, agilidad, información compartida, liderazgo y cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro; a su vez para cada dimensión de la sostenibilidad se incluyen los siguientes: en económico (2), logística integrada y optimización de la logística; en ambiental (2), minimización y recuperación de residuos y ciclo de vida del producto; en social (4), condiciones de trabajo, responsabilidad social, comunicación y transparencia. Así, como se muestra en la Tabla 4.6 un total de 4 dimensiones y 15 criterios conforman la cadena de suministro resiliente y sostenible en este estudio.

4.2 EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA ENTRE DIMENSIONES DE SOSTENIBILIDAD Y RESILIENCIA

Para llevar a cabo al evaluación de la influencia entre las dimensiones de la cadena de suministro resiliente y sostenible, expertos de la industria automotriz fueron consultados, como primer paso para llevar a cabo el análisis, se realizó la prueba de consistencia a cada una de las matrices de comparación por pares de cada experto, de acuerdo con Saaty (2000), la medida de la consistencia para que

TABLA 4.6: Dimensiones y criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible.

Dimensión	Criterio
Resiliencia (D1)	C1 Flexibilidad
	C2 Colaboración
	C3 Visibilidad
	C4 Agilidad
	C5 Información compartida
	C6 Liderazgo
	C7 Cultura de riesgos en la cadena de suministro
Económico (D2)	C8 Logística integrada
	C9 Optimización de la logística
Ambiental (D3)	C10 Minimización y recuperación de residuos
	C11 Ciclo de vida del producto
Social (D4)	C12 Condiciones de trabajo
	C13 Responsabilidad social
	C14 Comunicación
	C15 Transparencia

una matriz sea coherente debe ser menor a 0.08 y 0.1 para matrices de orden 4 y 5 respectivamente, considerando esto, el calculo de la razón de consistencia se llevó a cabo y en el Apéndice A.10 se detalla el proceso bajo el cual se determinó este valor para cada matriz.

4.2.1 ADQUIRIR Y PROMEDIAR LAS EVALUACIONES DE LOS RESPONSABLES DE LA TOMA DE DECISIONES

Considerando las dimensiones resiliencia, económico, ambiental y social, las cuales conforman a la cadena de suministro resiliente y sostenible en este estudio, a través de una encuesta (ver Apéndice A.4) se determinó el grado de influencia entre cada una de estas siguiendo la escala lingüística presentada en la Tabla 3.2. La respuesta de los expertos en números triangulares difusos se muestra en el Apéndice A.8. Para determinar la matriz difusa de relación directa inicial \tilde{M} (ver la Tabla 4.7), se calculó el promedio de las respuestas de los expertos.

TABLA 4.7: Matriz difusa de relación directa inicial entre dimensiones \tilde{M} .

	Resiliencia			Económico			Ambiental			Social		
	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)
Resiliencia	0.00	0.00	0.00	0.54	0.79	0.89	0.29	0.54	0.79	0.46	0.71	0.89
Económico	0.57	0.82	0.96	0.00	0.00	0.00	0.25	0.50	0.75	0.50	0.75	0.93
Ambiental	0.29	0.54	0.79	0.32	0.57	0.82	0.00	0.00	0.00	0.43	0.68	0.86
Social	0.43	0.68	0.86	0.43	0.68	0.86	0.43	0.68	0.86	0.00	0.00	0.00

4.2.2 CALCULAR LA MATRIZ DIFUSA DE RELACIÓN DIRECTA NORMALIZADA

Obtenida la matriz \tilde{M} , se divide cada elemento entre el valor máximo de la suma de cada fila o columna correspondiente siguiendo las Ecuaciones 3.4-3.5, obteniendo así la matriz difusa de relación directa normalizada presentada en la Tabla 4.8.

TABLA 4.8: Matriz difusa de relación directa normalizada \tilde{X} .

	Resiliencia			Económico			Ambiental			Social		
	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)
Resiliencia	0.00	0.00	0.00	0.42	0.39	0.34	0.22	0.26	0.30	0.36	0.35	0.34
Económico	0.43	0.40	0.36	0.00	0.00	0.00	0.19	0.24	0.28	0.38	0.36	0.35
Ambiental	0.28	0.30	0.32	0.31	0.32	0.33	0.00	0.00	0.00	0.41	0.38	0.35
Social	0.31	0.32	0.32	0.31	0.32	0.32	0.31	0.32	0.32	0.00	0.00	0.00

4.2.3 OBTENER LA MATRIZ DIFUSA DE RELACIÓN TOTAL

Una vez la matriz de relación directa normalizada fue obtenida, paso seguido, se aplicaron las Ecuaciones 3.6-3.9 para hallar la matriz difusa de relación total (ver Tabla 4.9). Para ello, inicialmente, se extrajo una matriz por cada punto del número triangular difuso (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) donde l_{ij} es el menor, m_{ij} es el medio y u_{ij} es el valor más alto del TFN, en el Apéndice A.11 se presentan las matrices extraídas resultado de esta operación.

Después de haber extraído las matrices, la matriz identidad (ver Apéndice A.12) cuyos elementos son ceros (0) menos los elementos de la diagonal principal que son unos (1) se restó con cada una de estas. El resultado de esta operación se muestra en el Apéndice A.13. Luego, se calculó la matriz inversa de esa sustracción (ver Apéndice A.14). Posteriormente, se multiplicó cada matriz de relación directa normalizada (X_l, X_m, X_u) por la matriz inversa correspondiente obtenida previamente, el resultado de esta operación se muestra en el Apéndice A.15. Finalmente, se llevan esas matrices a una sola resultando la matriz difusa de relación total (ver Tabla 4.9).

TABLA 4.9: Matriz difusa de relación total \tilde{T} .

	Resiliencia			Económico			Ambiental			Social		
	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)
Resiliencia	11.78	18.77	17.81	12.16	19.13	17.95	9.14	16.15	16.70	13.00	20.00	18.56
Económico	12.08	19.04	18.26	11.86	18.85	17.87	9.12	16.14	16.86	13.00	20.00	18.75
Ambiental	11.96	18.98	18.24	12.07	19.08	18.13	8.94	15.93	16.64	13.00	20.00	18.75
Social	11.33	18.30	17.70	11.41	18.38	17.58	8.68	15.59	16.38	12.00	19.00	17.94

TABLA 4.10: Matriz de relación total desfuzzificada T .

	Resiliencia	Económico	Ambiental	Social
Resiliencia	17.44	17.77	15.08	18.59
Económico	17.75	17.52	15.09	18.62
Ambiental	17.69	17.75	14.89	18.63
Social	17.04	17.09	14.57	17.66

4.2.4 CALCULAR LA MATRIZ DE INFLUENCIA TOTAL NÍTIDA

Después se adquiere la matriz T (ver Tabla 4.10) desfuzzificando la matriz \tilde{T} utilizando la Ecuación 3.11.

4.2.5 ESTABLECER EL VALOR UMBRAL

Para determinar la influencia que ejerce una dimensión, como se presentó en el capítulo 3 se calculó el promedio de la matriz de relación total desfuzzificada presentada en la Tabla 4.10 (17.07) considerando este valor como umbral, aquellos valores en la matriz T mayores al umbral ejercen influencia, mientras que aquellos por debajo se considera que su influencia es poca o nula. En la Tabla 4.10 los valores en negrita representan aquellos que ejercen influencia sobre los demás.

4.2.6 HALLAR LOS VALORES DE $(r_i + c_i)$ Y $(r_i - c_i)$

Posteriormente, se calcularon los vectores r_i y c_i como la suma de filas y columnas respectivamente siguiendo las Ecuaciones 3.12-3.13, seguido, se calcula la influencia como la suma de r_i y c_i y la relación como la diferencia entre estos dos términos, teniendo en cuenta el valor de la relación se determinó a que categoría pertenece cada dimensión así, si el valor de la relación es positivo la dimensión es de tipo causa, es decir, influye sobre las demás en la mejora del rendimiento de la cadena de suministro; en caso contrario la dimensión es de tipo efecto, lo cual indica que recibe influencia.

El resultado de esta operación se muestra en la Tabla 4.11. La dimensión social tiene el mayor grado de centralidad con 139.85, seguido de económico con 139.12 y resiliencia con 138.80 muestran su relaciones relativamente fuertes con otras dimensiones de rendimiento dentro del sistema de medición del desempeño. Por lo tanto, estas deben ser resaltadas como dimensiones de rendimiento críticas en términos de interrelación con otras dimensiones dentro del marco propuesto.

Por otro lado, la dimensión social es la que mayor influencia recibe con una relación negativa de 7.15.

TABLA 4.11: Grado de centralidad y relaciones de influencia causa-efecto entre dimensiones.

Dimensión	r_i	c_i	Centralidad	Relación
Resiliencia	68.88	69.92	138.80	-1.03
Económico	68.98	70.13	139.12	-1.15
Ambiental	68.95	59.62	128.56	9.33
Social	66.35	73.50	139.85	-7.15

Una vez se estableció el valor umbral y se definieron las relaciones causa efecto

se construyó el IRM (ver Figura 4.1), se observa que de acuerdo al tipo de relación el aspecto ambiental es el que tiene la mayor capacidad de influir sobre las otras 3 dimensiones con una relación positiva de 9.33, influye sobre las demás dimensiones. Las dimensiones resiliencia y económico con una relación de -1.03 y -1.15 respectivamente, influyen tanto en si mismas como en el aspecto social, mientras que este último con una relación de -7.15 tiene la capacidad de influir sobre si mismo.

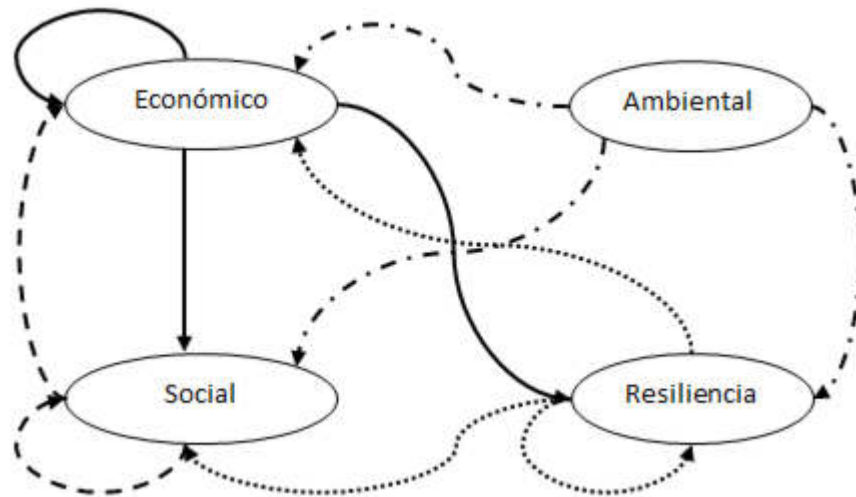


FIGURA 4.1: Mapa de relaciones de la red entre dimensiones.

4.3 EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA ENTRE CRITERIOS DE LA CADENA DE SUMINISTRO RESILIENTE Y SOSTENIBLE

De manera similar a como se establecieron las relaciones de influencia entre las dimensiones de la cadena de suministro resiliente y sostenible se determinó el grado de influencia entre los criterios seleccionados a través del método *fuzzy Delphi* (ver Tabla 4.6). Inicialmente, se aplicó una encuesta (ver Apéndice A.4) en la que se pidió al grupo de expertos evaluar la influencia entre los criterios siguiendo la escala descrita en la Tabla 3.2.

La respuesta de los expertos en TFN se muestra en el Apéndice A.9. El promedio de la evaluaciones del panel de expertos para la influencia que hay entre los 15 criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible se presenta en el Apéndice A.16, esta evaluación se denomina matriz difusa inicial de relación directa entre criterios.

4.3.1 CALCULAR LA MATRIZ DIFUSA DE RELACIÓN DIRECTA NORMALIZADA

La matriz difusa de relación directa inicial para criterios obtenida previamente, se normaliza dividiendo cada elemento de la matriz por el valor máximo de la suma de cada columna o de cada fila, como se muestra en las Ecuaciones 3.4-3.5, la matriz resultante llamada matriz difusa normalizada se presenta en el Apéndice A.17.

4.3.2 OBTENER LA MATRIZ DIFUSA DE RELACIÓN TOTAL

Luego de obtener la matriz de relación directa normalizada para criterios, se extrajo una matriz por cada punto del número triangular difuso aplicando las Ecuaciones 3.6-3.9, en el Apéndice A.18 se presentan las matrices nítidas. Ahora, la matriz identidad (ver Apéndice A.19) se resta con cada una de las matrices extraídas, el resultado de esta operación se encuentra en el Apéndice A.20.

Posteriormente, se calculó la matriz inversa de cada matriz (ver Apéndice A.21). Paso seguido, se multiplicó cada matriz de relación directa normalizada (T_l, T_m, T_u) por la matriz inversa correspondiente obtenida previamente, el resultado de esta operación se concentra en el Apéndice A.22. Finalmente, se llevan esas matrices a una sola resultando la matriz difusa de relación total (ver Apéndice A.23).

4.3.3 CALCULAR LA MATRIZ DE INFLUENCIA TOTAL NÍTIDA

Se aplica el método de desfuzzificación centro de gravedad formulado en la Ecuación 3.11 para obtener la matriz de influencia total nítida presentada en la Tabla 4.12, en la que se condensan las relaciones de influencia entre los criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible.

TABLA 4.12: Matriz de relación total entre criterios desfuzzificada.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅
C ₁	2.21	2.52	2.41	1.94	2.41	2.44	2.30	2.34	2.26	1.86	1.60	1.86	1.95	2.36	2.28
C ₂	2.31	2.48	2.45	1.97	2.44	2.47	2.32	2.36	2.28	1.87	1.60	1.86	1.98	2.38	2.30
C ₃	2.24	2.48	2.31	1.90	2.38	2.39	2.25	2.30	2.22	1.82	1.55	1.80	1.91	2.32	2.24
C ₄	2.42	2.67	2.57	2.00	2.56	2.58	2.43	2.47	2.39	1.96	1.72	1.94	2.05	2.48	2.42
C ₅	2.39	2.66	2.55	2.04	2.46	2.56	2.41	2.45	2.38	1.92	1.66	1.93	2.05	2.49	2.40
C ₆	2.42	2.70	2.59	2.09	2.58	2.54	2.46	2.49	2.41	1.98	1.70	1.99	2.11	2.52	2.44
C ₇	2.42	2.69	2.58	2.05	2.57	2.60	2.36	2.46	2.39	1.96	1.67	1.96	2.07	2.49	2.42
C ₈	2.32	2.58	2.46	1.99	2.46	2.48	2.33	2.30	2.30	1.89	1.62	1.87	1.98	2.39	2.31
C ₉	2.30	2.54	2.44	1.95	2.43	2.45	2.30	2.35	2.20	1.86	1.59	1.84	1.95	2.35	2.28
C ₁₀	2.42	2.69	2.57	2.11	2.58	2.62	2.45	2.48	2.42	1.93	1.74	1.98	2.13	2.52	2.46
C ₁₁	2.43	2.69	2.58	2.11	2.57	2.60	2.44	2.49	2.41	2.02	1.66	1.97	2.12	2.50	2.43
C ₁₂	2.44	2.71	2.58	2.08	2.56	2.63	2.45	2.48	2.40	1.98	1.71	1.92	2.12	2.53	2.45
C ₁₃	2.34	2.59	2.49	2.01	2.47	2.52	2.34	2.38	2.30	1.94	1.66	1.94	1.97	2.44	2.37
C ₁₄	2.43	2.70	2.59	2.08	2.59	2.61	2.45	2.49	2.41	1.98	1.70	1.97	2.09	2.45	2.44
C ₁₅	2.42	2.69	2.60	2.07	2.59	2.62	2.45	2.49	2.41	1.98	1.70	1.98	2.11	2.53	2.37

4.3.4 ESTABLECER EL VALOR UMBRAL

Con el fin de determinar que criterios ejercen influencia sobre los demás, se halló el promedio de la matriz nítida de relación total (2.27). Considerando este valor como umbral, aquellos elementos en la matriz T por encima de este ejercen influencia sobre los demás, los criterios por debajo del umbral tienen influencia muy baja o nula.

4.3.5 HALLAR LOS VALORES DE $(r_i + c_i)$ Y $(r_i - c_i)$

Seguidamente, se calcularon los vectores r_i y c_i siguiendo las Ecuaciones 3.12-3.13. Se calcula la centralidad y la relación como la suma y diferencia entre estos dos términos respectivamente, teniendo en cuenta el valor de la relación se determinó a que categoría pertenece cada criterio así, si el valor de la relación es positivo el criterio es de tipo causa, es decir, influye sobre las demás en la mejora del rendimiento de la cadena de suministro; en caso contrario el criterio es de tipo efecto, lo cual indica que recibe influencia de los demás.

El criterio liderazgo tiene la mayor prominencia 73.14, seguido de colaboración 72.43, información compartida 71.99, comunicación 71.73 y transparencia 70.62, es decir, estos criterios son los que mayor importancia tienen en la cadena de suministro resiliente y sostenible, por lo cual, se deberían priorizar al momento de la toma de decisiones para mejorar el rendimiento de la cadena de suministro.

Por otro lado, el ciclo de vida del producto con 10.14, es el criterio con el mayor grado de relación dentro del sistema y de su dimensión, ejerce 10 relaciones de influencia sobre 15 criterios del sistema. Condiciones de trabajo con una relación de 6.21, ejerce influencia sobre 2 criterios dentro de su dimensión y sobre 8 dentro del marco. Agilidad 4.29 tienen la relación más alta dentro de su dimensión ejerciendo influencia sobre 6 criterios y sobre 4 criterios en todo el sistema.

Por otra parte, el criterio que mayor influencia recibe es colaboración con 6.34, seguido de logística integrada 3.04 y comunicación 1.79, siendo influenciados por los 15 criterios del sistema. En la Tabla 4.13 se presenta la centralidad y relación de todos los criterios. Posterior a establecer el umbral se construyó el IRM para criterios por cada dimensión como se muestra a continuación:

En el IRM mostrado en la Figura 4.2 agilidad influye sobre seis de siete criterios en esta dimensión. Los criterios colaboración, información compartida, liderazgo reciben seis relaciones de influencia externa, ejercen seis relaciones de influencia y

TABLA 4.13: Grado de centralidad y relaciones de influencia causa-efecto entre criterios.

Criterio	r_i	c_i	Centralidad	Relación
Flexibilidad	32.74	35.50	68.23	-2.76
Colaboración	33.05	39.39	72.43	-6.34
Visibilidad	32.10	37.76	69.86	-5.66
Agilidad	34.67	30.38	65.06	4.29
Información compartida	34.35	37.64	71.99	-3.29
Liderazgo	35.01	38.12	73.14	-3.11
Cultura de SCRM	34.69	35.76	70.45	-1.07
Logística integrada	33.27	36.31	69.58	-3.04
Optimización de la logística	32.83	35.18	68.01	-2.35
Minimización y recuperación de residuos	35.13	28.92	64.05	6.20
Ciclo de vida del producto	35.03	24.89	59.92	10.14
Condiciones de trabajo	35.03	28.81	63.84	6.21
Responsabilidad social	33.76	30.59	64.35	3.17
Comunicación	34.97	36.76	71.73	-1.79
Transparencia	35.01	35.61	70.62	-0.61

con ellos mismos. Cultura de SCRM recibe cinco relaciones de influencia externa, ejerce cinco relaciones de influencia y una sobre si mismo. Flexibilidad recibe cinco relaciones de influencia externa y ejerce cinco relaciones de influencia sobre los demás criterios. Visibilidad recibe seis relaciones de influencia externa, ejerce tres relaciones de influencia y una sobre si mismo.

En los criterios de la dimensión económico, logística integrada ejerce influencia

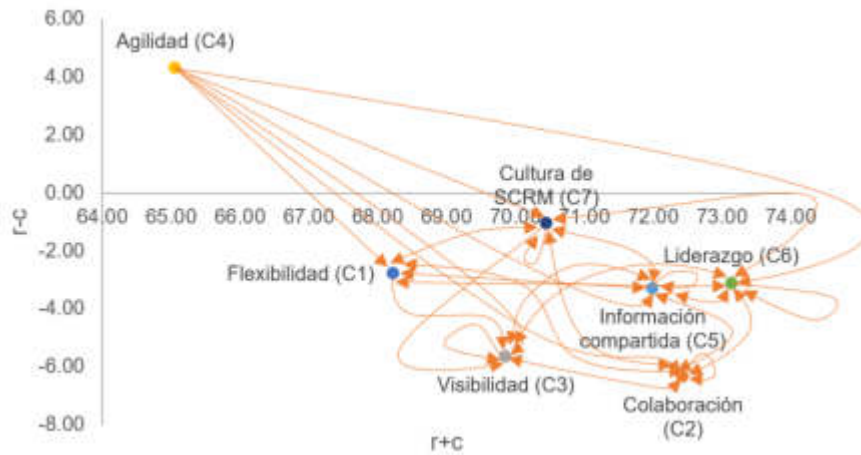


FIGURA 4.2: Mapa de relaciones de la red entre criterios de la dimensión resiliencia.

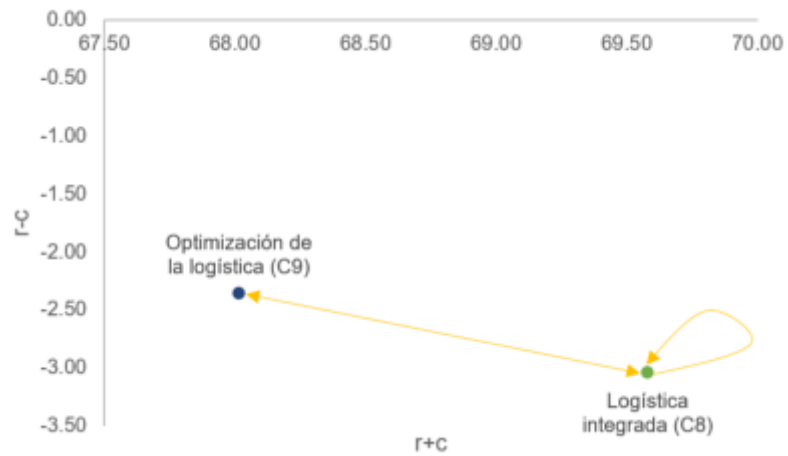


FIGURA 4.3: Mapa de relaciones de la red entre criterios de la dimensión económico.

sobre si mismo y sobre optimización de la logística, a su vez, este último ejerce una relación de influencia externa (ver Figura 4.3). En los criterios de la dimensión ambiental no hay relaciones de influencia interna (Figura 4.4).

La influencia entre los criterios de la dimensión social se presenta en la Figura 4.5, los criterios condiciones de trabajo y responsabilidad social, influyen sobre comunicación y transparencia. A su vez, estos dos últimos presentan influencia bidireccional y sobre ellos mismos. Cabe anotar que los criterios por encima del umbral influyen sobre los de otras dimensiones, para efectos de comprensión se ilustran por

dimensión.

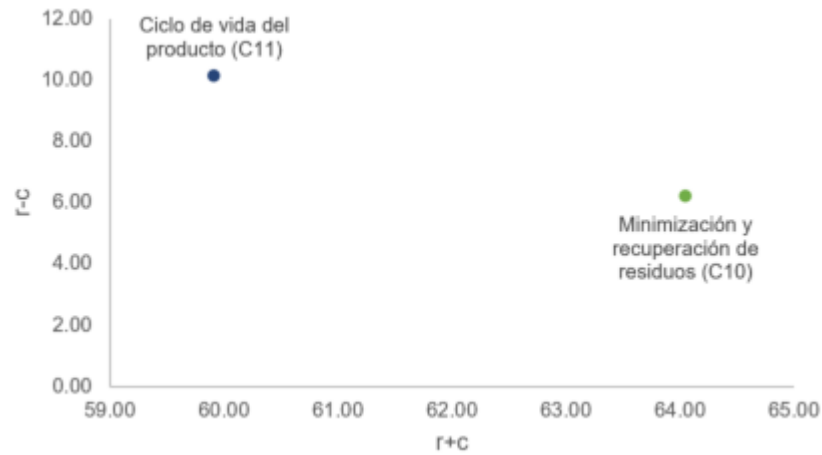


FIGURA 4.4: Mapa de relaciones de la red entre criterios de la dimensión ambiental.

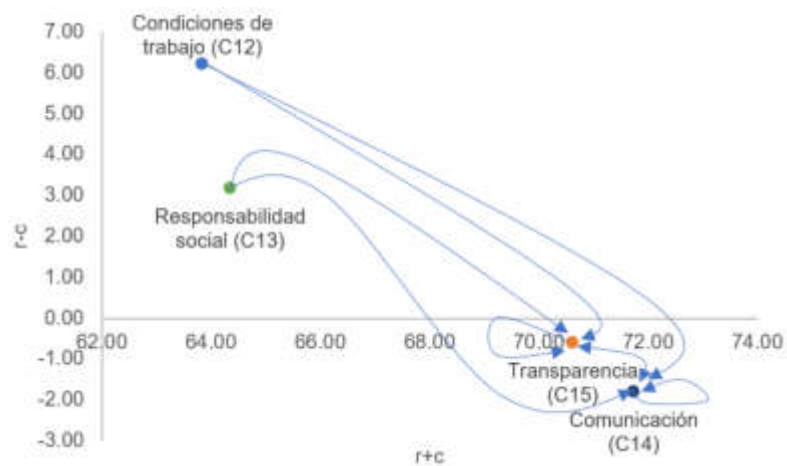


FIGURA 4.5: Mapa de relaciones de la red entre criterios de la dimensión social.

4.4 ESTIMACIÓN DE PESOS DE PRIORIDAD UTILIZANDO FUZZY DANP

Para aplicar *fuzzy* DANP, los pesos de influencia resultado de aplicar *fuzzy* DEMATEL se utilizan para convertirlos en vectores de prioridad en el ANP, es

decir, las relaciones de influencia del IRM de dimensiones. El proceso de combinar *fuzzy* DEMATEL y ANP se describe a continuación:

4.4.1 ADQUIRIR LA MATRIZ DE INFLUENCIA TOTAL PARA CRITERIOS

El primer paso de combinar *fuzzy* DEMATEL y ANP es adquirir la matriz difusa de relación total entre criterios, la cual se forma al sustituir los pares de matrices de relación total generadas en la sección anterior a través de *fuzzy* DEMATEL con valor por arriba del umbral (ver Tabla 4.10), resultando 11 pares de submatrices de relación de influencia, los valores en la matriz por debajo del umbral se restablecieron a cero debido a su baja influencia, así, se conforma la matriz de relación total del sistema dispuesta en el Apéndice A.24.

4.4.2 NORMALIZACIÓN DE LA MATRIZ DE INFLUENCIA TOTAL ENTRE CRITERIOS

Después de calcular la matriz de influencia total del sistema se normaliza cada submatriz utilizando las Ecuaciones 3.15-3.16 obteniendo la matriz de relación total de influencia normalizada presentada en Apéndice A.25.

4.4.3 ADQUIRIR LA SUPERMATRIZ NO PONDERADA

Paso seguido, se adquiere la supermatriz no ponderada Apéndice A.26 transponiendo la matriz de influencia total del sistema normalizada.

4.4.4 DESARROLLAR LA SUPERMATRIZ PONDERADA

Para obtener la supermatriz ponderada, inicialmente, se normaliza la matriz de relación total entre dimensiones de influencia presentada en el Apéndice A.27, dividiendo cada fila por el valor de la suma de filas correspondiente, la matriz resultante denominada matriz de influencia total entre dimensiones normalizada se muestra en el Apéndice A.28, seguidamente, se multiplica por la supermatriz no ponderada, de esta forma se obtiene la supermatriz ponderada descrita en el Apéndice A.29.

4.4.5 CALCULAR LOS PESOS DE INFLUENCIA DE LOS CRITERIOS

Por último, la supermatriz ponderada se elevó a potencia 4 (en este punto la supermatriz se estabilizó), la matriz resultante llamada matriz límite se presenta en el Apéndice A.30, los pesos de influencia se obtuvieron al desfuzzificar la supermatriz límite (ver Apéndice A.31) utilizando la Ecuación 3.11.

Los pesos globales de los criterios son adquiridos directamente de la matriz límite nítida. Los pesos de las dimensiones se obtienen como la suma de los pesos globales de los criterios, mientras que los pesos relativos de criterios se calculan como el cociente entre el peso global del criterio entre el correspondiente peso local de su dimensión, en la Tabla 4.14 se ilustran los pesos locales para dimensiones y los pesos relativos para criterios así como su clasificación.

La dimensión más importante con un peso de 0.12 es la social, la siguen resiliencia (0.04) y económico (0.02). Lo anterior indica que el aspecto social es crítico en el rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible, mientras que el aspecto ambiental carece de importancia de acuerdo a la evaluación realizada por expertos de la industria automotriz.

Los 5 criterios mas importantes de acuerdo al peso global son comunicación, transparencia, responsabilidad social, condiciones de trabajo y logística integrada

con 0.035, 0.033, 0.028, 0.027 y 0.014 respectivamente. Siendo los criterios a los que los tomadores de decisiones o gerentes deben dar mayor prioridad para mejorar el rendimiento de la cadena de suministro.

En la cadena de suministro automotriz los socios deben centrar la atención en la integración de las operaciones logísticas y su optimización. La imagen de los colaboradores y de la empresa local o base es de gran importancia en la cadena de suministro por lo que, deben mantener actualizados sus registros de información pública y permitir la supervisión externa a fin de mantener su legitimidad y reputación. Las empresas deben evaluar continuamente sus actividades y el impacto que generan en las comunidades de su alrededor y en sobre sus colaboradores. La comunicación y el flujo de información aguas arriba y aguas abajo en la cadena de suministro debe ser eficaz, de esto depende el éxito en el desarrollo de las operaciones.

TABLA 4.14: Ranking de rendimiento para dimensiones y criterios.

Dimensión	Peso relativo	Criterio	Peso relativo	Ranking local	Peso global criterios	Ranking global
Resiliencia	0.0422	Flexibilidad	0.1394	5	0.0059	11
		Colaboración	0.1565	1	0.0066	7
		Visibilidad	0.1492	3	0.0063	8
		Agilidad	0.1165	7	0.0049	13
		Información compartida	0.1487	4	0.0063	10
		Liderazgo	0.1497	2	0.0063	9
		Cultura de SCRM	0.1401	6	0.0059	12
Económico	0.0292	Logística integrada	0.5097	1	0.0149	5
		Optimización de la logística	0.4903	2	0.0143	6
Ambiental	0.0000	Minimización y recuperación de residuos	0.0000	1	0.0000	14
		Ciclo de vida del producto	0.0000	2	0.0000	15
Social	0.1250	Condiciones de trabajo	0.2158	4	0.0270	4
		Responsabilidad social	0.2314	3	0.0289	3
		Comunicación	0.2812	1	0.0352	1
		Transparencia	0.2715	2	0.0339	2

4.5 IMPLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Basado en los resultados obtenidos, se propone un modelo que establece las relaciones de influencia basado en las cuatro dimensiones de rendimiento de la cadena de suministro, resiliencia, económico, ambiental y social. Los criterios considerados en este estudio fueron evaluados por expertos y abarcan todas las características de una cadena de suministro resiliente y sostenible para la industria automotriz. Lo que ayudará a los tomadores de decisiones, gerentes, entre otros actores a evaluar sus prioridades y servir como un marco de referencia en la medición del rendimiento de la cadena de suministro.

El método *fuzzy* DEMATEL ayudó a determinar las interrelaciones entre las dimensiones y criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible así como también a fijar el sentido de las relaciones de influencia. El modelo propuesto servirá de guía a los administradores de la cadena de suministro y demás interesados en la construcción y/o consolidación de una cadena de suministro híbrida que combine la resiliencia y la sostenibilidad sujeta a la incertidumbre que existe en el entorno.

La priorización de las características de la cadena de suministro resiliente y sostenible ayudará a los interesados a fijar compromisos acerca de los diferentes criterios. El rendimiento de diferentes cadenas de suministro de la industria automotriz puede ser comparado con el peso los criterios de rendimiento aquí identificados. Este estudio fue realizado para la cadena de suministro automotriz en general por lo que puede ser replegado en otras cadenas de suministro del mismo sector. A su vez, el modelo aquí propuesto puede ser validado en diferentes industrias a través de casos de estudio.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones producto de la investigación sobre la medición del rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible realizada. En la Sección 5.1 se describen las principales contribuciones y conclusiones de este estudio y en la Sección 5.2 sugerencias sobre futuras líneas de investigación.

5.1 CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES

Recopilar información a través del uso de paneles o grupos de expertos es un proceso de ida y vuelta, por lo que, es de gran importancia tener comunicación fluida con los participantes. Además, es imprescindible describir el alcance y el objetivo del proyecto, en el sentido de clarificar a los miembros en qué estarán colaborando y hasta qué punto del proyecto será necesaria su participación.

Constituir un panel de expertos que combine profesionales y académicos de distintas estratificaciones nutre el proceso y mejora la calidad de la información obtenida considerando que se incluyen personas con diferentes perspectivas y experiencias.

El diseño adecuado de los instrumentos de recolección de la información es un aspecto clave para reducir la variabilidad y ayuda a obtener información correcta

de forma ágil. Con el fin de evitar respuestas incompletas y tener que recurrir nuevamente al experto, se recomienda validar que el instrumento con el cual se está recolectando la información, verifica que el formulario se envíe solo si las respuestas están completas.

En problemas de decisiones multicriterio la combinación de herramientas es frecuente, en este estudio la integración de DEMATEL con ANP complementó el estudio, nos permitió obtener las relaciones de influencia y a su vez los pesos de los criterios y dimensiones.

El uso de técnicas como FST es de gran utilidad para mejorar la calidad de las respuestas, reducir la imprecisión y la vaguedad. Su uso puede ser tan sencillo o tan complejo como el investigador desee, por lo que, definir la función de membresía y el método para traducir la información en valores nítidos es clave.

Determinar que en las evaluaciones de los expertos no hay contradicciones, es decir, son consistentes, contribuye a la calidad de la información y de los resultados obtenidos.

Las clasificaciones o *rankings* presentados en este estudio son una guía para el tomador de decisiones en el sentido de facilitar su quehacer.

En estudios que tienen una base sólida de estado del arte, considerar un método sistemático para la identificación, recolección, clasificación, depuración y análisis de los documentos encontrados, es de suma importancia.

Las dimensiones y criterios aquí propuestos son producto de una investigación soportada en revisión de literatura y opinión de expertos por lo que están sujetos a un marco de tiempo temporal, por ende pueden cambiar a medida que avance el tiempo y las condiciones de los mercados.

El umbral en las matrices de relación total desfuzzificadas se establece con el fin de tener un valor límite o de referencia para fijar las relaciones de influencia, en esta investigación se fijó como el promedio de la matriz, no obstante, este puede ser

establecido por los expertos o por el propio investigador, en ese sentido, es probable que la influencia entre dimensiones y entre criterios varíe.

Los mapas de relaciones de la red entre criterios se hicieron por dimensiones con el fin de facilitar su interpretación. Cabe añadir que, las dimensiones y criterios ejercen relaciones de influencia siempre que estén por encima de umbral.

La aplicación del método *fuzzy* DANP requiere de una correcta aplicación del *fuzzy* DEMATEL por lo cual, una correcta aplicación de este último conducirá a resultados adecuados.

Se identificaron un total de 15 criterios que componen la cadena de suministro resiliente y sostenible. De acuerdo con *fuzzy* Delphi, los cinco criterios más importantes son: visibilidad, flexibilidad, cultura de gestión de riesgo en la cadena de suministro, condiciones de trabajo y comunicación.

La dimensión que ejerce le mayor grado de influencia en el rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible es la social. Mientras que, la dimensión ambiental, de acuerdo con los resultados de la aplicación del método *fuzzy* DEMATEL, carece de importancia en la industria automotriz aunque de acuerdo al mapa de relaciones de influencia esta tiene capacidad de influir sobre las demás dimensiones.

Los criterios agilidad, minimización y recuperación de residuos, ciclo de vida del producto, condiciones de trabajo y responsabilidad social, ejercen influencia sobre 10 de 15 criterios del sistema, siendo los criterios con mayor capacidad de influencia para mejorar el rendimiento de la cadena de suministro.

Por su parte, los criterios colaboración, visibilidad, información compartida, liderazgo, cultura de SCRM, logística integrada, comunicación y transparencia se consideran receptores, es decir, reciben influencia de los demás criterios del sistema.

Para establecer comparaciones entre dimensiones y criterios se calcularon los pesos de influencia a través de *fuzzy* DANP. De acuerdo al peso la dimensión social es la más importante. De acuerdo al peso global los criterios más importantes

son: comunicación, transparencia, responsabilidad social, condiciones de trabajo y logística integrada.

La medición del rendimiento de la cadena de suministro es un área de estudio en crecimiento, el número de estudios ha venido aumentando en los últimos años. La revisión de la literatura indica que los métodos multicriterio son los más empleados.

En este trabajo se desarrolló un modelo que combina técnicas DEMATEL y ANP bajo un ambiente *fuzzy* para evaluar la importancia e influencia de los criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible. Se identificaron criterios de desempeño clave, su importancia y relaciones para una cadena de suministro automotriz en Monterrey, Nuevo León, México.

5.2 TRABAJOS FUTUROS

En la revisión de la literatura realizada se encontró que hay escasos estudios que consideren la relación que existe entre los criterios que sigue la cadena de suministro y la obtención de ventajas competitivas, por lo que, un área de investigación sería estudiar esta relación.

Otra línea de investigación futura puede ser el estudio de enfoques mixtos, que combinen criterios como sostenibilidad, gestión verde y resiliencia, siendo limitados los estudios al respecto. En esa misma dirección, estudios que desarrollen métodos cuantitativos para evaluar la adaptabilidad de usar una técnica en particular para medir los criterios frecuentemente utilizados en la evaluación del rendimiento.

Analizar la relación que hay entre los criterios y su influencia en el rendimiento de la cadena de suministro en otras industrias. Por tanto, crear una jerarquía que indique cuales criterios tienen mayor influencia en el rendimiento podría ser una línea de investigación futura en esos sectores.

En cuanto a los modelos utilizados para medir el rendimiento se encontraron li-

mitados estudios que combinen la modelación matemática con métodos multicriterio para la toma de decisiones, esta podría considerarse como un área para explorar, en el sentido de analizar los beneficios que trae la optimización al campo de la medición del rendimiento de la cadena de suministro.

Se encontraron limitadas herramientas con capacidad de predicción y/o capacidad de aprendizaje en la medición del rendimiento de la cadena de suministro, por lo cual, futuros estudios podrían considerar la integración del aprendizaje de máquinas para el desarrollo de los modelos.

Por otro lado, en la revisión se encontraron alrededor de 22 técnicas (ver Figura 2.3) diferentes para medir el rendimiento de la SC. Sin embargo, no hay hallazgos de estudios comparativos que determinen las ventajas y desventajas de utilizar una u otra técnica para evaluar el rendimiento de la cadena de suministro.

La mayoría de los estudios están concentrados en algunos sectores en específico como manufactura y automotriz, por lo que, hay una necesidad de realizar aplicaciones en sectores que hasta ahora han recibido poca atención como el farmacéutico, *retail*, electrónicos entre otros (ver Tabla 2.7). De igual forma, hay escasos estudios en sectores como agricultura, educación, turismo, financiero, salud, entre otros. Por lo cual, se requiere desarrollar investigaciones orientadas a estos sectores.

Si bien este estudio se desarrolló bajo condiciones atípicas (pandemia de COVID-19), futuros estudios podrían explorar la inclusión de factores de complejidad e incertidumbre en la medición del rendimiento de la cadena de suministro.

La influencia de la resiliencia y la sostenibilidad en la obtención de ventajas competitivas puede ser una línea de investigación interesante.

El cálculo de la consistencia permite validar la confiabilidad de las evaluaciones de los expertos. Sin embargo, para métodos multicriterio que combinan dos o más técnicas como es el caso de *fuzzy* DANP, aún no hay métodos específicos para estimar tal parámetro, por lo que, puede ser un área de oportunidad para investigar.

APÉNDICE A

APÉNDICE

A.1 IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS DE LA CADENA DE SUMINISTRO RESILIENTE

En el proceso de organizar los criterios frecuencia y revisando las definiciones para evitar que se repitieran, el criterio velocidad se unificó en agilidad dado que el concepto que abordan ambas son similares, para consultar las definiciones de los criterios ir al Apéndice A.5.

TABLA A.1: Clasificación criterios cadena de suministro

resiliente.

Criterio	Frecuencia	Porcentaje	%acumulado	Pareto
Flexibilidad	6	10.7 %	10.7 %	
Colaboración	6	10.7 %	21.4 %	
Visibilidad	5	8.9 %	30.4 %	
Cultura de SCRM	5	8.9 %	39.3 %	
Agilidad	5	8.9 %	48.2 %	
Redundancia	4	7.1 %	55.4 %	

80 %
Continua en la siguiente página

Continuación de la tabla

Reingeniería	4	7.1 %	62.5 %	
Información comparti- da	3	5.4 %	67.9 %	
Robustez	2	3.6 %	71.4 %	
Velocidad ¹	2	3.6 %	75.0 %	
Liderazgo	2	3.6 %	78.6 %	
Innovación	2	3.6 %	82.1 %	
Confiabilidad	1	1.8 %	83.9 %	
Productividad	1	1.8 %	85.7 %	
Calidad	1	1.8 %	87.5 %	
Accesibilidad	1	1.8 %	89.3 %	
Confianza	1	1.8 %	91.1 %	
Adaptabilidad	1	1.8 %	92.9 %	20 %
Vulnerabilidad	1	1.8 %	94.6 %	
Anticipación	1	1.8 %	96.4 %	
Compromiso	1	1.8 %	98.2 %	
Integración	1	1.8 %	100.0 %	

Fin de la tabla

A.2 IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS DE LA CADENA DE SUMINISTRO SOSTENIBLE

De manera similar, al organizar los criterios de la cadena de suministro sostenible, abastecimiento flexible se incorporó en el criterio flexibilidad de resiliencia; de igual forma innovación. Además, los criterios colaboración y relaciones a largo plazo

¹Se incluye en agilidad

se unieron con el criterio colaboración de resiliencia. Lo anterior considerando que los autores con mayor frecuencia utilizan estos criterios en resiliencia. Las definiciones asociadas a cada criterio se presentan en el Apéndice A.5

TABLA A.2: Clasificación criterios cadena de suministro sostenible.

Dimensión	Criterio	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Pareto
Económico	Logística integrada	2	16.7 %	16.7 %	80 %
	Manufactura	1	8.3 %	25.0 %	
	Abastecimiento flexible ²	1	8.3 %	33.3 %	
	Calidad	1	8.3 %	41.7 %	
	Innovación ³	1	8.3 %	50.0 %	
	Proveeduría estratégica	1	8.3 %	58.3 %	
	Estabilidad económica	1	8.3 %	66.7 %	
	Optimización de la logística	1	8.3 %	75.0 %	
	Estrategia corporativa y compromiso	1	8.3 %	83.3 %	
	Desarrollo conjunto	1	8.3 %	91.7 %	20 %

Continúa en la siguiente página

²Se incluye en criterio flexibilidad de resiliencia

³Se incluye en resiliencia

Continuación de la tabla

	Integración tecnológica	1	8.3 %	100.0 %	
Ambiental	Minimización y recuperación de residuos	6	30.0 %	30.0 %	80 %
	Logística de reversa	2	10.0 %	40.0 %	
	Conservación del ambiente	2	10.0 %	50.0 %	
	Ciclo de vida del producto	1	5.0 %	55.0 %	
	Producción limpia	1	5.0 %	60.0 %	
	Leyes y normatividad	1	5.0 %	65.0 %	
	Compra verde	1	5.0 %	70.0 %	
	Envase verde	1	5.0 %	75.0 %	
	Almacenamiento verde	1	5.0 %	80.0 %	
	Utilización eficaz de los subproductos	1	5.0 %	85.0 %	20 %
	Formación en sensibilización medioambiental	1	5.0 %	90.0 %	
	Colaboración con los proveedores	1	5.0 %	95.0 %	
	Diseño de productos ecológicos	1	5.0 %	100.0 %	

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

Social	Condiciones de trabajo	5	29.4 %	29.4 %	80 %
	Responsabilidad social	4	23.5 %	52.9 %	
	Comunicación	2	11.8 %	64.7 %	
	Colaboración ⁴	1	5.9 %	70.6 %	
	Transparencia	1	5.9 %	76.5 %	
	Relaciones a largo plazo ⁵	1	5.9 %	82.4 %	
	Desarrollo de socios en la cadena de suministro	1	5.9 %	88.2 %	20 %
	Innovación ⁶	1	5.9 %	94.1 %	
	Presiones internas	1	5.9 %	100.0 %	

Fin de la tabla

A.3 ENCUESTA CLASIFICACIÓN DE CRITERIOS DE LA CADENA DE SUMINISTRO RESILIENTE Y SOSTENIBLE

Esta encuesta hace parte de un estudio que tiene por objetivo evaluar el rendimiento de la cadena de suministro resiliente y sostenible mediante un modelo multicriterio para la toma de decisiones. Para ello, se requiere determinar el grado de importancia que tiene cada uno de los criterios que componen a la cadena de su-

⁴Se incluye en resiliencia

⁵Se incluye en el criterio colaboración de resiliencia

⁶Se incluye en resiliencia

ministro resiliente y sostenible. Las definiciones de los criterios se pueden consultar en el siguiente enlace: <https://tinyurl.com/3lu2qgs3>

Sección 1. Criterios en la cadena de suministro resiliente. En esa sección se busca clasificar los criterios que componen a la cadena de suministro resiliente de acuerdo al nivel de importancia. Además, obtener ideas sobre que criterios adicionales se deben tener en consideración.

1. ¿Con que categoría se identifica?

a) Académico

b) Profesional

2. ¿A qué empresa o universidad pertenece?

3. ¿Cuál es su posición o cargo actual en la empresa donde labora?

4. ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene?

5. ¿Cuál es el último grado académico que obtuvo?

a) Licenciado

b) Ingeniero

c) Especialista

d) Maestro

e) Doctor

f) Otro

6. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de importancia que tienen los siguientes criterios de RESILIENCIA en mejorar el rendimiento de la cadena de suministro.

RESILIENCIA	Extrema (5)	Demostrada (4)	Fuerte (3)	Moderada (2)	Igualmente importante (1)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Agilidad					
Redundancia					
Reingeniería					
Información compartida					
Robustez					
Liderazgo					
Innovación					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					

7. En adición a los criterios anteriores y con base en su experiencia, ¿Qué criterio(s) recomienda incluir en la medición de rendimiento de la cadena de suministro resiliente? Indique el grado de importancia de cada criterio recomendado en una escala 1 a 5, donde 1 significa importancia leve y 5 importancia muy alta.
8. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de importancia que tienen los siguientes criterios de la dimensión ECONÓMICO en mejorar el rendimiento de la cadena de suministro sostenible.
9. En adición a los criterios anteriores y con base en su experiencia, ¿Qué criterio(s) recomienda incluir en la dimensión ECONÓMICO? Indique el grado de importancia de cada criterio recomendado en una escala de 1 a 5, donde 1 significa importancia leve y 5 importancia muy alta.
10. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de importancia que tienen los siguientes criterios de la dimensión AMBIENTAL en mejorar el

ECONÓMICO	Extrema (5)	Demostrada (4)	Fuerte (3)	Moderada (2)	Igualmente importante (1)
Logística integrada					
Manufactura					
Calidad					
Proveeduría estratégica					
Estabilidad económica					
Optimización de la logística					
Estrategia corporativa y compromiso					

rendimiento de la cadena de suministro sostenible.

AMBIENTAL	Extrema (5)	Demostrada (4)	Fuerte (3)	Moderada (2)	Igualmente importante (1)
Minimización y recuperación de residuos					
Logística de reversa					
Conservación del ambiente					
Ciclo de vida del producto					
Producción limpia					
Leyes y normatividad					
Compra verde					
Envase verde					
Almacenamiento verde					

11. En adición a los criterios anteriores y con base en su experiencia, ¿Qué criterio(s) recomienda incluir en la dimensión AMBIENTAL? Indique el grado de importancia de cada criterio recomendado en una escala de 1 a 5, donde 1 significa importancia leve y 5 importancia muy alta.

12. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de importancia que tienen los siguientes criterios de la dimensión SOCIAL en mejorar el rendimiento de la cadena de suministro sostenible.

SOCIAL	Extrema (5)	Demostrada (4)	Fuerte (3)	Moderada (2)	Igualmente importante (1)
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

13. En adición a los criterios anteriores y con base en su experiencia, ¿Qué criterio(s) recomienda incluir en la dimensión SOCIAL? Indique el grado de importancia de cada criterio recomendado en una escala de 1 a 5, donde 1 significa importancia leve y 5 importancia muy alta.

¿Algún comentario adicional?

A.4 ENCUESTA ESTABLECIMIENTO DEL GRADO DE INFLUENCIA ENTRE DIMENSIONES Y CRITERIOS DE LA CADENA DE SUMINISTRO RESILIENTE Y SOSTENIBLE

Esta encuesta hace parte de un estudio que tiene por objetivo evaluar el rendimiento de la cadena de suministro resistente y sostenible mediante un modelo multicriterio para la toma de decisiones. Para ello, se requiere determinar el grado de influencia que hay entre las tres dimensiones de la sostenibilidad y la resiliencia, así como también la que existe entre los criterios que componen a cada una. El cuestionario esta dividido en 4 partes: (1) Método para completar el cuestionario, (2)

Información general, (3) Comparación por pares de la influencia de cuatro dimensiones, (4) Influencia entre los criterios. Una explicación del objetivo del estudio y del método propuesto para completar la encuesta se encuentra en el siguiente link: <https://youtu.be/zz3WpXmbLPY>.

Sección 1. Método para completar el cuestionario.

En esta sección se describe el método a seguir para responder correctamente el cuestionario.

Indicar el nivel de influencia del factor:

0 (cero)	1	2	3	4
No tiene influencia	Influencia baja	Influencia media	Influencia alta	Influencia muy alta

Influencia entre dimensiones a través de comparación por pares.

Por ejemplo, si el grado de influencia de **A** es muy alta en **B**, seleccione 4 como se muestra a continuación:

	A	B	C	D
A	0	4		
B		0		

Influencia entre criterios a través de comparación por pares

Para la influencia entre los criterios, por ejemplo la influencia que tiene el **Criterio i** sobre el **Criterio j** y el **Criterio k**. Si el **Criterio i** tiene influencia alta sobre el **Criterio j**, seleccione Influencia alta (3), en cambio si el **Criterio i** tiene influencia baja sobre el **Criterio k** seleccione Influencia baja (1), como se muestra a continuación:

Sección 2. Información general.

	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Criterio j				(3)	
Criterio k		(1)			

En esta sección se solicita información general acerca del perfil del experto.

1. ¿Con que categoría se identifica?
 - a) Académico
 - b) Profesional
2. ¿A qué empresa o universidad pertenece?
3. ¿Cuál es su posición o cargo actual en la empresa donde labora?
4. ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene?
5. ¿Cuál es el último grado académico que obtuvo?
 - a) Licenciado
 - b) Ingeniero
 - c) Especialista
 - d) Maestro
 - e) Doctor
 - f) Otro

Sección 3. Dimensiones de la cadena de suministro resiliente y sostenible. En esa sección se busca determinar el grado de influencia que existe entre la resiliencia y las tres dimensiones de la sostenibilidad: económico, ambiental y social. Para consultar las definiciones asociadas favor ir al siguiente enlace: <https://tinyurl.com/3lu2qgs3>.

6. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que hay entre las dimensiones de la sostenibilidad y la resiliencia para mejorar el rendimiento de la cadena de suministro.

	Económico	Ambiental	Social	Resiliencia
Económico				
Ambiental				
Social				
Resiliencia				

Sección 4. Influencia entre criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible. En esa sección se busca determinar el grado de influencia que existe entre los criterios de la resiliencia y las dimensiones económico, ambiental y social de la sostenibilidad. Para consultar las definiciones asociadas a cada criterio favor ir al siguiente enlace: <https://tinyurl.com/3lu2qgs3>.

7. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la FLEXIBILIDAD sobre los siguientes criterios.
8. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la COLABORACIÓN sobre los siguientes criterios.
9. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la VISIBILIDAD sobre los siguientes criterios.
10. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la AGILIDAD sobre los siguientes criterios.
11. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la INFORMACIÓN COMPARTIDA sobre los siguientes criterios.
12. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene el LIDERAZGO sobre los siguientes criterios.

FLEXIBILIDAD	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Colaboración					
Visibilidad					
Agilidad					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

13. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la CULTURA DE GESTIÓN DE RIESGOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO sobre los siguientes criterios.
14. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la LOGÍSTICA INTEGRADA sobre los siguientes criterios.
15. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la OPTIMIZACIÓN DE LOGÍSTICA sobre los siguientes criterios.
16. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la MINIMIZACIÓN Y RECUPERACIÓN DE RESIDUOS sobre los siguientes criterios.

COLABORACIÓN	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

17. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene el CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO sobre los siguientes criterios.
18. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tienen las CONDICIONES DE TRABAJO sobre los siguientes criterios.
19. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tienen las RESPONSABILIDAD SOCIAL sobre los siguientes criterios.
20. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la COMUNICACIÓN sobre los siguientes criterios.
21. Según su conocimiento y experiencia, indique el grado de influencia que tiene la TRANSPARENCIA sobre los siguientes criterios.

VISIBILIDAD	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

¿Algún comentario adicional?

AGILIDAD	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

INFORMACIÓN COMPARTIDA	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

LIDERAZGO	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

CULTURA DE GESTIÓN DE RIESGOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

LOGÍSTICA INTEGRADA	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

OPTIMIZACIÓN DE LOGÍSTICA	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

MINIMIZACIÓN Y RECUPERACIÓN DE RESIDUOS	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

CONDICIONES DE TRABAJO	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Responsabilidad social					
Comunicación					
Transparencia					

RESPONSABILIDAD SOCIAL	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Comunicación					
Transparencia					

COMUNICACIÓN	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Transparencia					

TRANSPARENCIA	No tiene influencia (0)	Influencia baja (1)	Influencia media (2)	Influencia alta (3)	Influencia muy alta (4)
Flexibilidad					
Colaboración					
Visibilidad					
Reingeniería					
Información compartida					
Liderazgo					
Cultura de gestión de riesgos en la cadena de suministro					
Logística integrada					
Optimización de la logística					
Minimización y recuperación de residuos					
Ciclo de vida del producto					
Condiciones de trabajo					
Responsabilidad social					
Comunicación					

A.5 DEFINICIÓN DE DIMENSIONES Y CRITERIOS

En esta sección se presentan las definiciones de las dimensiones y los criterios identificados en la revisión de literatura.

Resiliencia: capacidad de un sistema o estructura para volver a su estado inicial (o incluso un mejor estado) después de una interrupción (Christopher y Peck, 2004).

Económico: contribuir al desarrollo económico preservando la rentabilidad en las operaciones empresariales (Dahlsrud, 2008).

Ambiental: implica la protección del medio ambiente y el mantenimiento de un equilibrio ecológico adecuado (Sufiyan *et al.*, 2019).

Social: se asocia a la relación entre las empresas y la sociedad, considerando todo el alcance de su impacto en las comunidades (Dahlsrud, 2008).

Flexibilidad: en una cadena de suministro es la capacidad de gestionar los cambios rápidamente sin esfuerzos ni pérdidas excesivas (Rajesh, 2016).

Redundancia: está relacionada con el mantenimiento de la capacidad de reserva para la maquinaria, las piezas y los soportes logísticos, así como con la existencia de un stock de reserva para la materia prima y una fuente de energía/utilidad de reserva (Chowdhury *et al.*, 2019).

Robustez: se refiere a la capacidad de un sistema para continuar funcionando dado los choques externos (Sangari y Dashtpeyma, 2019).

Información compartida: se refiere a un proceso central a través del cual los miembros del equipo utilizan colectivamente sus recursos informativos disponibles (Sangari y Dashtpeyma, 2019).

Visibilidad: es la capacidad de los gestores de la cadena de suministro para ver de un extremo a otro y poder encontrar el lugar del evento disruptivo (Christopher

y Peck, 2004).

Colaboración: capacidad de trabajar eficazmente con otras entidades para obtener beneficios mutuos (Christopher y Peck, 2004).

La cultura de gestión de riesgos de la cadena de suministro: se refiere a asegurar que todos los miembros de la organización adopten la gestión de riesgos de la cadena de suministro (Christopher y Peck, 2004).

Reingeniería: se refiere a la capacidad de la cadena de suministro para ser reajustada, rediseñada y reorganizada (Abeysekara *et al.*, 2019).

Agilidad: capacidad de adaptarse rápidamente a las influencias del entorno, responder adecuadamente a los cambios, reaccionar aún más rápido a los socios y aumentar la estabilidad de la cadena de suministro (Liu *et al.*, 2018).

Velocidad: es la velocidad de reacción de la cadena de suministro a los cambios en el mercado (Singh *et al.*, 2019).

Liderazgo: se refiere a la capacidad de un individuo o un grupo de individuos para influir y guiar a sus seguidores o a otros miembros de una organización (Sangari y Dashtpeyma, 2019).

Innovación: se refiere a cómo las empresas se adaptan y responden a los cambios en ambiente (Kamalahmadi y Parast, 2016).

Logística integrada: se refiere a las prácticas logísticas específicas y a las actividades operativas que coordinan el flujo de materiales de los proveedores a los clientes a lo largo de la entrega de valor, por lo tanto, la construcción de la ventaja competitiva (Lim *et al.*, 2017).

Manufactura: se centra en las etapas de producción para eliminar los costos en los procesos y materiales de fabricación para garantizar la viabilidad del mismo (Lim *et al.*, 2017).

Calidad: se refiere a una empresa y sus socios de la cadena de suministro que ofrece bienes o servicios que crean un alto valor para los clientes (Lim *et al.*, 2017).

Proveeduría estratégica: permite la comercialización y garantiza que los proveedores regionales y de menor nivel de la cadena de suministro puedan acceder fácilmente a tecnologías innovadoras (Tseng *et al.*, 2019).

Estabilidad económica: indica que las empresas modernas que adoptan la cadena de suministro sostenible tienen mejores resultados que las empresas que dependen de las cadenas de suministro tradicionales durante las crisis económicas (Tseng *et al.*, 2019).

Optimización de la logística: representa la optimización de la velocidad, la trayectoria, la carga y el tipo de transporte (Tseng *et al.*, 2019).

Estrategia corporativa y compromiso: proporcionar una política estratégica precisa para unir equipos de nivel estratégico con los niveles táctico y operativo de las empresas, lo cual es necesario para lanzar prácticas de desarrollo sostenible (Tseng *et al.*, 2019).

Logística inversa(reciclaje): utilizando técnicas de recuperación de productos, reutilización, reciclaje y refabricación para reducir los impactos negativos sobre el medio ambiente (Tseng *et al.*, 2019).

Minimización de los residuos y recuperación: se refiere a minimizar los residuos generados por los productos y, si es posible, hacer que los residuos sean recuperables (especialmente para el reciclaje, la creación de energía, etc.) (Lim *et al.*, 2017).

Conservación del ambiente: implica aumentar la precisión de la predicción de la demanda, invertir en tecnología de reducción de las emisiones de carbono, participar en la distribución conjunta, emplear la red de acoplamiento transversal, promover la eficiencia energética, e integrar un diseño ecológico con amplias redes de reciclaje (Tseng *et al.*, 2019).

Ciclo de vida del producto: se enfoca en prácticas ambientalmente amigables a través de la necesidad, diseño, producción, distribución, uso, eliminación y reciclaje, y costos asignados a la empresa, usuario o sociedad (Lim *et al.*, 2017).

Producción limpia: Significa utilizar todos los recursos necesarios para eliminar eficazmente las materias primas tóxicas y reducir la cantidad de toxicidad de todas las emisiones y desechos antes de que salgan de la producción (Lim *et al.*, 2017).

Leyes y normatividad: se basan en el concepto de responsabilidad ampliada del productor, que obliga a los fabricantes a internalizar el producto externamente, y convierte una cadena de suministro de ciclo abierto de producción y distribución en una cadena de suministro de ciclo cerrado que fomenta el reciclaje, reutilizar y mejorar el diseño del producto (Lim *et al.*, 2017).

Compra verde: se refiere a la compra de artículos con atributos ambientales deseables, como reutilizabilidad, reciclabilidad, y tiene influencia en la combinación de recursos, así como la ausencia de materiales peligrosos (Lim *et al.*, 2017).

Almacenamiento verde: se utiliza para abordar las cuestiones del consumo y las estrategias de energía ecológica (Tseng *et al.*, 2019).

Empaque/embalaje verde: incluyendo la adopción de nuevos materiales renovables, puede ayudar a las empresas a lograr el uso mínimo de recursos (Tseng *et al.*, 2019).

Responsabilidad social: está relacionado con la mejora del nivel de vida, proporcionando un empleo pleno y estable, y evaluando los impactos de las prácticas sobre las condiciones de trabajo y el bienestar social (Lim *et al.*, 2017).

Condiciones de trabajo: se refiere a un entorno de trabajo saludable y positivo para los empleados y a las medidas de seguridad adoptadas por la organización para reducir el riesgo de accidentes (Das, 2017).

Comunicación: dentro de la cadena de suministro es el proceso de transmisión

de mensajes entre los socios de la cadena de suministro que aporta visibilidad y eficacia (Tseng *et al.*, 2019).

Transparencia: se refiere a aquellas prácticas para hacerlas más visibles y transparentes a fin de mantener la legitimidad y reputación de las empresas (Lim *et al.*, 2017).

A.6 MATRIZ PROMEDIO DEL FUZZY DELPHI EN TFNs

En este Apéndice se presenta el promedio de las opiniones de los expertos por criterio.

Criterion	(L,	M,	U)
C1	0.62	0.87	0.97
C2	0.59	0.84	0.97
C3	0.68	0.93	1.00
C4	0.57	0.82	0.96
C5	0.28	0.49	0.71
C6	0.31	0.54	0.78
C7	0.54	0.79	0.97
C8	0.38	0.63	0.85
C9	0.51	0.76	0.94
C10	0.50	0.75	0.91
C11	0.62	0.87	0.97
C12	0.51	0.76	0.93
C13	0.40	0.65	0.87
C14	0.47	0.72	0.90
C15	0.50	0.75	0.93
C16	0.43	0.68	0.88
C17	0.53	0.78	0.96
C18	0.50	0.75	0.93
C19	0.56	0.81	0.94
C20	0.51	0.76	0.91
C21	0.49	0.74	0.90
C22	0.51	0.76	0.94
C23	0.49	0.74	0.93
C24	0.49	0.74	0.91
C25	0.35	0.60	0.84
C26	0.40	0.65	0.85
C27	0.38	0.62	0.82
C28	0.60	0.85	0.97
C29	0.57	0.82	0.97
C30	0.60	0.85	0.97
C31	0.59	0.84	0.99

Table with 4 columns (Resiliencia, Económico, Ambiental, Social) and 4 rows (Resiliencia, Económico, Ambiental, Social) for Experto 3. Values range from 0.00 to 1.00.

Table with 4 columns (Resiliencia, Económico, Ambiental, Social) and 4 rows (Resiliencia, Económico, Ambiental, Social) for Experto 7. Values range from 0.00 to 1.00.

Table with 4 columns (Resiliencia, Económico, Ambiental, Social) and 4 rows (Resiliencia, Económico, Ambiental, Social) for Experto 4. Values range from 0.00 to 1.00.

A.9 MATRICES DE INFLUENCIA ENTRE CRITERIOS

En este Apéndice se presentan las matrices de comparación por pares entre criterios de la cadena de suministro resiliente y sostenible por experto en TFNs.

Large matrix for Experto 1 with 15 columns (C1 to C15) and 15 rows (C1 to C15). Values range from 0.00 to 1.00.

Large matrix for Experto 2 with 15 columns (C1 to C15) and 15 rows (C1 to C15). Values range from 0.00 to 1.00.

Table titled 'Experto 3' with columns C1 to C15 and rows for each column. Each cell contains numerical values representing data points for this expert.

Table titled 'Experto 4' with columns C1 to C15 and rows for each column. Each cell contains numerical values representing data points for this expert.

Table titled 'Experto 5' with columns C1 to C15 and rows for each column. Each cell contains numerical values representing data points for this expert.

Table titled 'Experto 6' with columns C1 to C15 and rows for each column. Each cell contains numerical values representing data points for this expert.

Table titled 'Experto 7' with columns C1 to C15 and rows for each column. Each cell contains numerical values representing data points for this expert.

A.10 ÍNDICE DE CONSISTENCIA MATRICES DE COMPARACIÓN POR PARES

Para calcular la consistencia de las matrices de comparación por pares, inicialmente, se desfuzzificaron las respuestas de los expertos (ver Apéndice A.8 y A.9), aplicando la Ecuación 3.11, las matrices nítidas a nivel dimensiones se presentan a continuación:

Experto 1					Experto 2					Experto 3				
D1	D2	D3	D4		D1	D2	D3	D4		D1	D2	D3	D4	
D1	0.000	0.958	0.750	0.500	D1	0.000	0.958	0.750	0.958	D1	0.000	0.750	0.250	0.958
D2	0.958	0.000	0.500	0.750	D2	0.750	0.000	0.750	0.750	D2	0.750	0.000	0.250	0.958
D3	0.750	0.750	0.000	0.500	D3	0.750	0.750	0.000	0.750	D3	0.250	0.250	0.000	0.500
D4	0.500	0.500	0.500	0.000	D4	0.958	0.500	0.750	0.000	D4	0.958	0.958	0.500	0.000

Experto 4					Experto 5					Experto 6				
D1	D2	D3	D4		D1	D2	D3	D4		D1	D2	D3	D4	
D1	0.000	0.958	0.750	0.500	D1	0.000	0.500	0.500	0.500	D1	0.000	0.958	0.500	0.750
D2	0.958	0.000	0.750	0.500	D2	0.500	0.000	0.500	0.500	D2	0.958	0.000	0.500	0.750
D3	0.750	0.750	0.000	0.958	D3	0.500	0.750	0.000	0.500	D3	0.500	0.500	0.000	0.958
D4	0.500	0.500	0.958	0.000	D4	0.500	0.500	0.500	0.000	D4	0.750	0.750	0.958	0.000

Experto 7				
D1	D2	D3	D4	
D1	0.000	0.250	0.250	0.750
D2	0.750	0.000	0.250	0.958
D3	0.250	0.250	0.000	0.500
D4	0.500	0.958	0.500	0.000

De manera similar se hizo con las matrices difusas a nivel criterio, a continuación se presentan las matrices nítidas:

		Experto 3													
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	0.00	0.96	0.75	0.75	0.75	0.75	0.96	0.75	0.96	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.50
C2	0.96	0.00	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.75	0.75	0.96	0.96	0.96	0.75
C3	0.96	0.75	0.00	0.75	0.96	0.75	0.75	0.96	0.96	0.75	0.75	0.75	0.50	0.96	0.50
C4	0.75	0.96	0.75	0.00	0.75	0.75	0.75	0.50	0.75	0.50	0.50	0.50	0.25	0.75	0.50
C5	0.96	0.96	0.96	0.75	0.00	0.50	0.75	0.75	0.96	0.50	0.50	0.50	0.75	0.96	0.75
C6	0.96	0.96	0.75	0.75	0.75	0.00	0.75	0.96	0.75	0.50	0.50	0.75	0.75	0.75	0.96
C7	0.50	0.75	0.96	0.50	0.96	0.96	0.00	0.75	0.75	0.50	0.50	0.75	0.75	0.75	0.50
C8	0.96	0.96	0.96	0.75	0.75	0.50	0.75	0.00	0.75	0.75	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
C9	0.75	0.96	0.96	0.75	0.75	0.50	0.50	0.75	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
C10	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	0.25	0.00	0.50	0.50	0.75	0.25	0.50
C11	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.75	0.00	0.25	0.75	0.25	0.50
C12	0.96	0.96	0.75	0.75	0.96	0.96	0.96	0.75	0.75	0.75	0.50	0.00	0.96	0.96	0.96
C13	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.75	0.50	0.50	0.25	0.75	0.25	0.50	0.00	0.75	0.75
C14	0.75	0.96	0.96	0.75	0.96	0.96	0.96	0.96	0.75	0.96	0.75	0.75	0.96	0.00	0.96
C15	0.25	0.50	0.75	0.50	0.75	0.96	0.75	0.50	0.50	0.75	0.25	0.75	0.96	0.96	0.00

		Experto 4													
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	0.00	0.96	0.75	0.96	0.96	0.96	0.75	0.96	0.75	0.50	0.96	0.25	0.25	0.96	0.96
C2	0.96	0.00	0.96	0.75	0.96	0.96	0.50	0.96	0.50	0.75	0.25	0.25	0.50	0.96	0.25
C3	0.75	0.96	0.00	0.50	0.96	0.75	0.75	0.96	0.75	0.75	0.25	0.50	0.50	0.96	0.75
C4	0.96	0.75	0.96	0.00	0.96	0.50	0.96	0.96	0.75	0.50	0.96	0.25	0.25	0.50	0.75
C5	0.96	0.96	0.96	0.75	0.00	0.96	0.75	0.96	0.96	0.25	0.25	0.25	0.25	0.96	0.96
C6	0.00	0.96	0.96	0.96	0.75	0.00	0.96	0.96	0.50	0.96	0.25	0.96	0.96	0.96	0.75
C7	0.96	0.96	0.96	0.25	0.96	0.96	0.00	0.50	0.75	0.96	0.25	0.25	0.50	0.75	0.96
C8	0.96	0.96	0.96	0.75	0.96	0.75	0.50	0.00	0.96	0.50	0.25	0.50	0.25	0.96	0.96
C9	0.96	0.96	0.96	0.75	0.96	0.50	0.50	0.96	0.00	0.50	0.25	0.50	0.50	0.96	0.96
C10	0.96	0.96	0.25	0.96	0.25	0.96	0.96	0.50	0.96	0.00	0.96	0.75	0.96	0.50	0.75
C11	0.96	0.50	0.50	0.96	0.75	0.25	0.75	0.96	0.96	0.96	0.00	0.96	0.96	0.50	0.50
C12	0.50	0.96	0.96	0.75	0.25	0.96	0.75	0.96	0.96	0.50	0.96	0.00	0.96	0.50	0.75
C13	0.75	0.50	0.75	0.96	0.75	0.96	0.25	0.75	0.50	0.96	0.96	0.96	0.00	0.96	0.96
C14	0.75	0.96	0.96	0.75	0.96	0.75	0.25	0.96	0.96	0.50	0.50	0.25	0.25	0.00	0.75
C15	0.50	0.96	0.96	0.25	0.96	0.75	0.50	0.96	0.96	0.25	0.50	0.50	0.50	0.75	0.00

		Experto 5													
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	0.00	0.50	0.25	0.50	0.25	0.50	0.75	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	0.50	0.50	0.50
C2	0.50	0.00	0.75	0.75	0.96	0.96	0.96	0.96	0.50	0.50	0.25	0.25	0.75	0.96	0.96
C3	0.25	0.75	0.00	0.50	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.25	0.25	0.75	0.96	0.96
C4	0.50	0.25	0.50	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.75
C5	0.25	0.96	0.96	0.75	0.00	0.96	0.96	0.96	0.96	0.50	0.25	0.96	0.96	0.96	0.96
C6	0.25	0.96	0.96	0.75	0.96	0.00	0.96	0.96	0.96	0.96	0.25	0.96	0.96	0.96	0.96
C7	0.75	0.96	0.96	0.75	0.96	0.96	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.50	0.25
C8	0.50	0.96	0.96	0.75	0.96	0.96	0.75	0.00	0.75	0.75	0.75	0.50	0.75	0.75	0.50
C9	0.75	0.75	0.75	0.25	0.75	0.96	0.75	0.75	0.00	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
C10	0.50	0.50	0.75	0.75	0.96	0.75	0.96	0.75	0.75	0.00	0.50	0.75	0.75	0.50	0.75
C11	0.75	0.75	0.96	0.75	0.75	0.75	0.75	0.96	0.75	0.75	0.00	0.75	0.75	0.75	0.50
C12	0.75	0.50	0.75	0.75	0.50	0.75	0.75	0.75	0.50	0.75	0.75	0.00	0.50	0.75	0.75
C13	0.75	0.50	0.75	0.75	0.75	0.50	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.50	0.00	0.75	0.75
C14	0.75	0.75	0.75	0.50	0.75	0.75	0.50	0.75	0.96	0.75	0.50	0.75	0.96	0.00	0.96
C15	0.75	0.75	0.96	0.75	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.00

		Experto 6													
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	0.50	0.50	0.50	0.75	0.50	0.50	0.50
C2	0.96	0.00	0.96	0.50	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
C3	0.96	0.96	0.00	0.50	0.96	0.75	0.96	0.75	0.75	0.50	0.50	0.25	0.25	0.75	0.50
C4	0.96	0.75	0.50	0.00	0.75	0.50	0.25	0.25	0.25	0.75	0.75	0.25	0.50	0.50	0.50
C5	0.75	0.96	0.96	0.50	0.00	0.75	0.96	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.96	0.96
C6	0.50	0.96	0.75	0.25	0.96	0.00	0.96	0.50	0.50	0.50	0.50	0.96	0.96	0.75	0.75
C7	0.50	0.96	0.96	0.25	0.96	0.96	0.00	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.96	0.96
C8	0.75	0.96	0.50	0.50	0.50	0.75	0.50	0.00	0.96	0.50	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
C9	0.50	0.75	0.50	0.25	0.75	0.75	0.50	0.96	0.00	0.75	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
C10	0.50	0.75	0.50	0.75	0.50	0.75	0.25	0.50	0.75	0.00	0.75	0.25	0.96	0.50	0.50
C11	0.50	0.75	0.50	0.96	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.96	0.00	0.25	0.96	0.25	0.25
C12	0.75	0.75	0.25	0.25	0.25	0.96	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.96	0.50	0.25
C13	0.50	0.50	0.50	0.25	0.75	0.75	0.25	0.25	0.25	0.96	0.25	0.96	0.00	0.50	0.75
C14	0.75	0.96	0.96	0.50	0.96	0.96	0.96	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25
C15	0.25	0.50	0.96	0.25	0.96	0.96	0.96	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.96	0.75	0.00

		Experto 7													
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	0.00	0.96	0.96	0.50	0.96	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	0.25	0.50	0.00	0.75	0.75
C2	0.96	0.00	0.96	0.50	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	0.25	0.25	0.25	0.75	0.75
C3	0.96	0.96	0.00	0.50	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
C4	0.75	0.75	0.96	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	0.75	0.50	0.25	0.25	0.50
C5	0.75	0.96	0.96	0.50	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	0.50	0.25	0.25	0.96	0.75
C6	0.75	0.75	0.75	0.75	0.50	0.00	0.50	0.50	0.75	0.25	0.50	0.25	0.25	0.75	0.75
C7	0.96	0.96	0.96	0.75	0.96	0.75	0.00	0.50	0.96	0.50	0.25	0.25	0.25	0.50	0.75
C8	0.96	0.96	0.96	0.75	0.96	0.75	0.75	0.00	0.75	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50
C9	0.75	0.96	0.96	0.75	0.96	0.75	0.96	0.75	0.00	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.50
C10	0.25	0.25	0.25	0.96	0.75	0.50	0.25	0.25	0.50	0.00	0.96	0.25	0.25	0.50	0.50
C11	0.75	0.75	0.75	0.50	0.50	0.75	0.25	0.25	0.50	0.96	0.00	0.25	0.96	0.25	0.50
C12	0.25	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.00	0.96	0.75	0.75
C13	0.00	0.25	0.25	0.50	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.96	0.96	0.96	0.00	0.50	0.50
C14	0.75	0.96	0.96	0.75	0.96	0.75	0.96	0.96	0.75	0.50	0.25	0.25	0.25	0.00	0.75
C15	0.75	0.96	0.96	0.50	0.96	0.50	0.75	0.75	0.75	0.25	0.25	0.50	0.25	0.75	0.00

Posterior a desfuzzificar las matrices a nivel dimensión y criterios, se normalizaron las matrices dividiendo los valores de cada fila por la suma de la fila correspondiente, paso seguido, se calculó la suma de cada fila y su promedio, luego se multiplicó la matriz desfuzzificada por la matriz promedio obteniendo así el vector fila total, después se dividió este vector con la matriz media, a continuación, se halla λ_{max} como el promedio de este cociente, finalmente se emplean la Ecuación 3.22 y 3.23 para calcular el índice de consistencia (μ) y la razón de consistencia (CR) respectivamente, el valor del índice aleatorio para la matriz a nivel dimensiones se fija como 0.89 y para criterios 1.51 como se presentó en la Tabla 3.3, los detalles de este proceso a nivel dimensiones se muestra como sigue:

Experto 1					Suma	Media	Vector fila total	Cociente	λ_{max}	
D1	D2	D3	D4							
D1	0.000	0.434	0.429	0.286	1.148	0.287	0.548	1.910	μ	2.037
D2	0.434	0.000	0.286	0.429	1.148	0.287	0.534	1.861	CR	-0.654
D3	0.340	0.340	0.000	0.286	0.965	0.241	0.523	2.168		-0.735
D4	0.226	0.226	0.286	0.000	0.739	0.185	0.408	2.208		

Experto 2					Suma	Media	Vector fila total	Cociente	λ_{max}	
D1	D2	D3	D4							
D1	0.00	0.43	0.33	0.39	1.157	0.289	0.632	2.183	μ	2.359
D2	0.31	0.00	0.33	0.31	0.944	0.236	0.573	2.430	CR	-0.547
D3	0.31	0.34	0.00	0.31	0.950	0.237	0.572	2.409		-0.615
D4	0.39	0.23	0.33	0.00	0.950	0.237	0.573	2.415		

Experto 3					Suma	Media	Vector fila total	Cociente	λ_{max}	
D1	D2	D3	D4							
D1	0.00	0.38	0.25	0.40	1.030	0.257	0.576	2.239	μ	2.170
D2	0.38	0.00	0.25	0.40	1.030	0.257	0.576	2.239	CR	-0.610
D3	0.13	0.13	0.00	0.21	0.462	0.116	0.314	2.713		-0.685
D4	0.49	0.49	0.50	0.00	1.479	0.370	0.551	1.491		

Experto 4					Suma	Media	Vector fila total	Cociente	λ_{max}	
D1	D2	D3	D4							
D1	0.00	0.43	0.31	0.26	0.994	0.249	0.563	2.263	μ	2.251
D2	0.43	0.00	0.31	0.26	0.994	0.249	0.563	2.263	CR	-0.583
D3	0.34	0.34	0.00	0.49	1.169	0.292	0.575	1.967		-0.655
D4	0.23	0.23	0.39	0.00	0.843	0.211	0.529	2.509		

Experto 5											
	D1	D2	D3	D4	Suma	Media	Vector fila total	Cociente	λ_{max}		
D1	0.000	0.286	0.333	0.333	0.952	0.238	0.381	1.600	μ	1.564	-0.812
D2	0.333	0.000	0.333	0.333	1.000	0.250	0.375	1.500	CR		-0.913
D3	0.333	0.429	0.000	0.333	1.095	0.274	0.426	1.554			
D4	0.333	0.286	0.333	0.000	0.952	0.238	0.381	1.600			

Experto 6											
	D1	D2	D3	D4	Suma	Media	Vector fila total	Cociente	λ_{max}		
D1	0.00	0.43	0.26	0.31	0.994	0.249	0.563	2.263	μ	2.251	-0.583
D2	0.43	0.00	0.26	0.31	0.994	0.249	0.563	2.263	CR		-0.655
D3	0.23	0.23	0.00	0.39	0.843	0.211	0.529	2.509			
D4	0.34	0.34	0.49	0.00	1.169	0.292	0.575	1.967			

Experto 7											
	D1	D2	D3	D4	Suma	Media	Vector fila total	Cociente	λ_{max}		
D1	0.00	0.17	0.25	0.34	0.761	0.190	0.389	2.043	μ	1.810	-0.730
D2	0.50	0.00	0.25	0.43	1.184	0.296	0.535	1.808	CR		-0.820
D3	0.17	0.17	0.00	0.23	0.565	0.141	0.308	2.182			
D4	0.33	0.66	0.50	0.00	1.490	0.373	0.449	1.206			

	Experto 7															Suma	Media	Vector fila total	Cociente	λ_{max}	8.516
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15						
C1	0.00	0.10	0.10	0.05	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.03	0.03	0.05	0.00	0.08	0.08	0.926	0.062	0.535	8.663	μ	-0.463
C2	0.10	0.00	0.10	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.03	0.03	0.03	0.03	0.08	0.08	0.904	0.060	0.522	8.666	CR	-0.293
C3	0.10	0.10	0.00	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.852	0.057	0.493	8.683		
C4	0.08	0.08	0.10	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.03	0.08	0.05	0.03	0.03	0.05	0.909	0.061	0.515	8.496		
C5	0.08	0.10	0.10	0.05	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.03	0.05	0.03	0.03	0.10	0.08	0.952	0.063	0.548	8.628		
C6	0.08	0.08	0.08	0.08	0.05	0.00	0.05	0.05	0.08	0.03	0.05	0.03	0.03	0.08	0.08	0.835	0.056	0.482	8.659		
C7	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.08	0.00	0.05	0.10	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05	0.08	0.970	0.065	0.551	8.522		
C8	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.08	0.08	0.00	0.08	0.05	0.05	0.03	0.03	0.05	0.05	0.974	0.065	0.552	8.507		
C9	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.08	0.10	0.08	0.00	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05	0.922	0.061	0.527	8.583		
C10	0.03	0.03	0.03	0.10	0.08	0.05	0.03	0.03	0.05	0.00	0.10	0.03	0.03	0.05	0.05	0.670	0.045	0.383	8.572		
C11	0.08	0.08	0.08	0.05	0.05	0.08	0.03	0.03	0.05	0.10	0.00	0.03	0.10	0.03	0.05	0.826	0.055	0.448	8.134		
C12	0.03	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.05	0.05	0.00	0.10	0.08	0.08	0.726	0.048	0.403	8.332		
C13	0.00	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.10	0.10	0.10	0.00	0.05	0.05	0.691	0.046	0.374	8.116		
C14	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.08	0.10	0.10	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.00	0.08	1.022	0.068	0.583	8.556		
C15	0.08	0.10	0.10	0.05	0.10	0.05	0.08	0.08	0.08	0.03	0.03	0.05	0.03	0.08	0.00	0.926	0.062	0.532	8.625		

A.11 MATRICES NÍTIDAS DE RELACIÓN DIRECTA ENTRE DIMENSIONES.

TABLA A.3: Matriz de relación directa normalizada para X_l .

	Resiliencia	Económico	Ambiental	Social
Resiliencia	0,00	0,19	0,38	0,43
Económico	0,31	0,00	0,41	0,28
Ambiental	0,31	0,31	0,00	0,31
Social	0,42	0,22	0,36	0,00

TABLA A.4: Matriz de relación directa normalizada para X_m .

	Resiliencia	Económico	Ambiental	Social
Resiliencia	0,00	0,24	0,36	0,4
Económico	0,32	0,00	0,38	0,3
Ambiental	0,32	0,32	0,00	0,32
Social	0,39	0,26	0,35	0,00

TABLA A.5: Matriz de relación directa normalizada para X_u .

	Resiliencia	Económico	Ambiental	Social
Resiliencia	0,00	0,28	0,35	0,36
Económico	0,33	0,00	0,35	0,32
Ambiental	0,32	0,32	0,00	0,32
Social	0,34	0,30	0,34	0,00

A.12 MATRIZ IDENTIDAD (I) DE ORDEN 4

1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

A.13 RESTA DE MATRICES A NIVEL DIMENSIÓN

TABLA A.6: Resta entre las matrices I y X_l .

1.00	-0.42	-0.22	-0.36
-0.43	1.00	-0.19	-0.38
-0.28	-0.31	1.00	-0.41
-0.31	-0.31	-0.31	1.00

TABLA A.7: Resta entre las matrices I y X_m .

1.00	-0.39	-0.26	-0.35
-0.40	1.00	-0.24	-0.36
-0.30	-0.32	1.00	-0.38
-0.32	-0.32	-0.32	1.00

TABLA A.8: Resta entre las matrices I y X_u .

1.00	-0.34	-0.30	-0.34
-0.36	1.00	-0.28	-0.35
-0.32	-0.33	1.00	-0.35
-0.32	-0.32	-0.32	1.00

A.14 MATRICES INVERSAS

TABLA A.9: Matriz inversa de $I - X_l$.

12.78	12.16	9.14	13.00
12.08	12.86	9.12	13.00
11.96	12.07	9.94	13.00
11.33	11.41	8.68	13.00

TABLA A.10: Matriz inversa de $I - X_m$.

19.77	19.13	16.15	20.00
19.04	19.85	16.14	20.00
18.98	19.08	16.93	20.00
18.30	18.38	15.59	20.00

TABLA A.11: Matriz inversa de $I - X_u$.

18.81	17.95	16.70	18.56
18.26	18.87	16.86	18.75
18.24	18.13	17.64	18.75
17.70	17.58	16.38	18.94

A.15 MATRICES NÍTIDAS DE RELACIÓN TOTAL ENTRE DIMENSIONES

TABLA A.12: Matriz de relación total X_l .

11.78	12.16	9.14	13.00
12.08	11.86	9.12	13.00
11.96	12.07	8.94	13.00
11.33	11.41	8.68	12.00

TABLA A.13: Matriz de relación total X_m .

18.77	19.13	16.15	20.00
19.04	18.85	16.14	20.00
18.98	19.08	15.93	20.00
18.30	18.38	15.59	19.00

TABLA A.14: Matriz de relación total X_u .

17.81	17.95	16.70	18.56
18.26	17.87	16.86	18.75
18.24	18.13	16.64	18.75
17.70	17.58	16.38	17.94

A.16 MATRIZ DIFUSA INICIAL DE RELACIÓN DIRECTA ENTRE CRITERIOS

C ₁	C ₂			C ₃			C ₄			C ₅			C ₆			C ₇			C ₈			C ₉			C ₁₀			C ₁₁			C ₁₂			C ₁₃			C ₁₄			C ₁₅		
	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)					
C ₁	0.000	0.000	0.000	0.536	0.786	0.893	0.324	0.521	0.286	0.286	0.500	0.679	0.449	0.679	0.893	0.536	0.786	0.964	0.536	0.786	0.964	0.500	0.750	0.939	0.286	0.536	0.786	0.286	0.500	0.679	0.333	0.643	0.893	0.250	0.464	0.679	0.500	0.699	0.949	0.449	0.679	0.893

A.17 MATRIZ DIFUSA NORMALIZADA DE RELACIÓN DIRECTA ENTRE CRITERIOS

C ₁	C ₂			C ₃			C ₄			C ₅			C ₆			C ₇			C ₈			C ₉			C ₁₀			C ₁₁			C ₁₂			C ₁₃			C ₁₄			C ₁₅		
	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)	(l. m. u)			
C ₁	0.000	0.000	0.000	0.082	0.137	0.161	0.051	0.082	0.047	0.047	0.082	0.114	0.079	0.114	0.161	0.082	0.137	0.161	0.082	0.137	0.161	0.082	0.114	0.141	0.047	0.082	0.114	0.047	0.082	0.114	0.051	0.093	0.137	0.047	0.082	0.114	0.082	0.114	0.141	0.079	0.114	0.161

A.18 MATRICES NÍTIDAS DE RELACIÓN DIRECTA ENTRE CRITERIOS

TABLA A.15: Matriz de relación directa normalizada para T_l .

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	0.000	0.082	0.049	0.044	0.066	0.066	0.082	0.082	0.077	0.044	0.044	0.060	0.038	0.077	0.066
C2	0.089	0.000	0.089	0.051	0.084	0.084	0.079	0.084	0.065	0.037	0.019	0.037	0.051	0.079	0.056
C3	0.075	0.080	0.000	0.035	0.101	0.070	0.075	0.090	0.075	0.045	0.020	0.020	0.025	0.085	0.065
C4	0.093	0.086	0.086	0.000	0.093	0.071	0.079	0.079	0.071	0.036	0.093	0.029	0.014	0.057	0.071
C5	0.075	0.106	0.095	0.045	0.000	0.080	0.080	0.080	0.085	0.015	0.015	0.045	0.050	0.106	0.090
C6	0.056	0.093	0.079	0.065	0.075	0.000	0.084	0.079	0.070	0.056	0.033	0.075	0.075	0.079	0.079
C7	0.082	0.104	0.110	0.038	0.104	0.110	0.000	0.060	0.077	0.044	0.022	0.049	0.049	0.071	0.071
C8	0.080	0.102	0.086	0.064	0.086	0.075	0.064	0.000	0.086	0.053	0.032	0.032	0.032	0.064	0.053
C9	0.091	0.102	0.091	0.051	0.085	0.085	0.068	0.102	0.000	0.040	0.017	0.023	0.028	0.057	0.057
C10	0.046	0.062	0.038	0.100	0.062	0.092	0.062	0.046	0.077	0.000	0.092	0.054	0.115	0.062	0.092
C11	0.068	0.061	0.068	0.106	0.068	0.053	0.061	0.083	0.068	0.114	0.000	0.045	0.106	0.045	0.053
C12	0.088	0.100	0.063	0.050	0.044	0.106	0.075	0.056	0.050	0.044	0.050	0.000	0.100	0.088	0.088
C13	0.063	0.056	0.070	0.056	0.049	0.077	0.042	0.042	0.028	0.105	0.063	0.105	0.000	0.091	0.098
C14	0.072	0.091	0.087	0.058	0.096	0.087	0.077	0.082	0.077	0.053	0.038	0.048	0.058	0.000	0.077
C15	0.051	0.077	0.097	0.041	0.097	0.087	0.082	0.072	0.072	0.046	0.041	0.067	0.077	0.092	0.000

TABLA A.16: Matriz de relación directa normalizada para T_m .

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	0.000	0.079	0.058	0.050	0.068	0.068	0.079	0.079	0.076	0.054	0.050	0.065	0.047	0.076	0.068
C2	0.083	0.000	0.083	0.058	0.080	0.080	0.077	0.080	0.067	0.048	0.032	0.048	0.058	0.077	0.061
C3	0.074	0.077	0.000	0.044	0.091	0.071	0.074	0.084	0.074	0.054	0.034	0.037	0.040	0.081	0.067
C4	0.082	0.082	0.082	0.000	0.086	0.073	0.077	0.077	0.073	0.052	0.086	0.047	0.039	0.064	0.073
C5	0.074	0.095	0.088	0.054	0.000	0.078	0.078	0.078	0.081	0.034	0.034	0.054	0.057	0.095	0.084
C6	0.058	0.087	0.077	0.068	0.074	0.000	0.080	0.077	0.071	0.061	0.045	0.074	0.074	0.077	0.077
C7	0.079	0.093	0.097	0.050	0.093	0.097	0.000	0.065	0.075	0.054	0.036	0.057	0.057	0.072	0.072
C8	0.077	0.092	0.081	0.067	0.081	0.074	0.067	0.000	0.081	0.060	0.042	0.046	0.046	0.067	0.060
C9	0.084	0.092	0.084	0.059	0.081	0.081	0.070	0.092	0.000	0.051	0.033	0.040	0.044	0.062	0.062
C10	0.057	0.066	0.053	0.088	0.066	0.083	0.066	0.057	0.075	0.000	0.083	0.061	0.096	0.066	0.083
C11	0.071	0.067	0.071	0.089	0.071	0.063	0.067	0.076	0.067	0.094	0.000	0.054	0.089	0.058	0.063
C12	0.082	0.090	0.067	0.055	0.055	0.094	0.075	0.063	0.059	0.051	0.055	0.000	0.090	0.082	0.082
C13	0.063	0.063	0.071	0.059	0.054	0.071	0.050	0.054	0.046	0.088	0.067	0.092	0.000	0.084	0.088
C14	0.072	0.085	0.082	0.062	0.088	0.082	0.075	0.078	0.075	0.059	0.049	0.056	0.062	0.000	0.075
C15	0.058	0.075	0.089	0.051	0.089	0.082	0.078	0.072	0.072	0.055	0.051	0.068	0.075	0.085	0.000

A.20 RESTA DE MATRICES A NIVEL CRITERIOS

TABLA A.18: Resta entre las matrices I y T_l .

1.000	-0.082	-0.049	-0.044	-0.066	-0.066	-0.082	-0.082	-0.077	-0.044	-0.044	-0.060	-0.038	-0.077	-0.066
-0.089	1.000	-0.089	-0.051	-0.084	-0.084	-0.079	-0.084	-0.065	-0.037	-0.019	-0.037	-0.051	-0.079	-0.056
-0.075	-0.080	1.000	-0.035	-0.101	-0.070	-0.075	-0.090	-0.075	-0.045	-0.020	-0.020	-0.025	-0.085	-0.065
-0.093	-0.086	-0.086	1.000	-0.093	-0.071	-0.079	-0.079	-0.071	-0.036	-0.093	-0.029	-0.014	-0.057	-0.071
-0.075	-0.106	-0.095	-0.045	1.000	-0.080	-0.080	-0.080	-0.085	-0.015	-0.015	-0.045	-0.050	-0.106	-0.090
-0.056	-0.093	-0.079	-0.065	-0.075	1.000	-0.084	-0.079	-0.070	-0.056	-0.033	-0.075	-0.075	-0.079	-0.079
-0.082	-0.104	-0.110	-0.038	-0.104	-0.110	1.000	-0.060	-0.077	-0.044	-0.022	-0.049	-0.049	-0.071	-0.071
-0.080	-0.102	-0.086	-0.064	-0.086	-0.075	-0.064	1.000	-0.086	-0.053	-0.032	-0.032	-0.032	-0.064	-0.053
-0.091	-0.102	-0.091	-0.051	-0.085	-0.085	-0.068	-0.102	1.000	-0.040	-0.017	-0.023	-0.028	-0.057	-0.057
-0.046	-0.062	-0.038	-0.100	-0.062	-0.092	-0.062	-0.046	-0.077	1.000	-0.092	-0.054	-0.115	-0.062	-0.092
-0.068	-0.061	-0.068	-0.106	-0.068	-0.053	-0.061	-0.083	-0.068	-0.114	1.000	-0.045	-0.106	-0.045	-0.053
-0.088	-0.100	-0.063	-0.050	-0.044	-0.106	-0.075	-0.056	-0.050	-0.044	-0.050	1.000	-0.100	-0.088	-0.088
-0.063	-0.056	-0.070	-0.056	-0.049	-0.077	-0.042	-0.042	-0.028	-0.105	-0.063	-0.105	1.000	-0.091	-0.098
-0.072	-0.091	-0.087	-0.058	-0.096	-0.087	-0.077	-0.082	-0.077	-0.053	-0.038	-0.048	-0.058	1.000	-0.077
-0.051	-0.077	-0.097	-0.041	-0.097	-0.087	-0.082	-0.072	-0.072	-0.046	-0.041	-0.067	-0.077	-0.092	1.000

TABLA A.19: Resta entre las matrices I y T_m .

1.000	-0.079	-0.058	-0.050	-0.068	-0.068	-0.079	-0.079	-0.076	-0.054	-0.050	-0.065	-0.047	-0.076	-0.068
-0.083	1.000	-0.083	-0.058	-0.080	-0.080	-0.077	-0.080	-0.067	-0.048	-0.032	-0.048	-0.058	-0.077	-0.061
-0.074	-0.077	1.000	-0.044	-0.091	-0.071	-0.074	-0.084	-0.074	-0.054	-0.034	-0.037	-0.040	-0.081	-0.067
-0.082	-0.082	-0.082	1.000	-0.086	-0.073	-0.077	-0.077	-0.073	-0.052	-0.086	-0.047	-0.039	-0.064	-0.073
-0.074	-0.095	-0.088	-0.054	1.000	-0.078	-0.078	-0.078	-0.081	-0.034	-0.034	-0.054	-0.057	-0.095	-0.084
-0.058	-0.087	-0.077	-0.068	-0.074	1.000	-0.080	-0.077	-0.071	-0.061	-0.045	-0.074	-0.074	-0.077	-0.077
-0.079	-0.093	-0.097	-0.050	-0.093	-0.097	1.000	-0.065	-0.075	-0.054	-0.036	-0.057	-0.057	-0.072	-0.072
-0.077	-0.092	-0.081	-0.067	-0.081	-0.074	-0.067	1.000	-0.081	-0.060	-0.042	-0.046	-0.046	-0.067	-0.060
-0.084	-0.092	-0.084	-0.059	-0.081	-0.081	-0.070	-0.092	1.000	-0.051	-0.033	-0.040	-0.044	-0.062	-0.062
-0.057	-0.066	-0.053	-0.088	-0.066	-0.083	-0.066	-0.057	-0.075	1.000	-0.083	-0.061	-0.096	-0.066	-0.083
-0.071	-0.067	-0.071	-0.089	-0.071	-0.063	-0.067	-0.076	-0.067	-0.094	1.000	-0.054	-0.089	-0.058	-0.063
-0.082	-0.090	-0.067	-0.055	-0.055	-0.094	-0.075	-0.063	-0.059	-0.051	-0.055	1.000	-0.090	-0.082	-0.082
-0.063	-0.063	-0.071	-0.059	-0.054	-0.071	-0.050	-0.054	-0.046	-0.088	-0.067	-0.092	1.000	-0.084	-0.088
-0.072	-0.085	-0.082	-0.062	-0.088	-0.082	-0.075	-0.078	-0.075	-0.059	-0.049	-0.056	-0.062	1.000	-0.075
-0.058	-0.075	-0.089	-0.051	-0.089	-0.082	-0.078	-0.072	-0.072	-0.055	-0.051	-0.068	-0.075	-0.085	1.000

TABLA A.20: Resta entre las matrices I y T_u .

1.000	-0.074	-0.065	-0.056	-0.068	-0.074	-0.080	-0.080	-0.077	-0.065	-0.056	-0.074	-0.056	-0.077	-0.071
-0.075	1.000	-0.078	-0.067	-0.078	-0.078	-0.075	-0.078	-0.072	-0.061	-0.044	-0.058	-0.067	-0.075	-0.067
-0.071	-0.076	1.000	-0.054	-0.079	-0.076	-0.076	-0.079	-0.076	-0.062	-0.045	-0.051	-0.054	-0.076	-0.071
-0.072	-0.079	-0.075	1.000	-0.082	-0.075	-0.075	-0.075	-0.075	-0.060	-0.079	-0.057	-0.050	-0.069	-0.075
-0.074	-0.080	-0.080	-0.066	1.000	-0.077	-0.077	-0.077	-0.077	-0.048	-0.048	-0.060	-0.063	-0.080	-0.080
-0.058	-0.078	-0.078	-0.072	-0.075	1.000	-0.075	-0.072	-0.072	-0.064	-0.056	-0.072	-0.072	-0.078	-0.078
-0.075	-0.081	-0.081	-0.061	-0.078	-0.081	1.000	-0.070	-0.075	-0.061	-0.046	-0.067	-0.067	-0.072	-0.070
-0.075	-0.078	-0.075	-0.075	-0.075	-0.075	-0.072	1.000	-0.078	-0.069	-0.052	-0.058	-0.058	-0.072	-0.066
-0.079	-0.082	-0.079	-0.067	-0.079	-0.076	-0.073	-0.082	1.000	-0.061	-0.044	-0.052	-0.055	-0.064	-0.064
-0.061	-0.068	-0.061	-0.081	-0.068	-0.078	-0.065	-0.065	-0.074	1.000	-0.078	-0.068	-0.084	-0.068	-0.081
-0.073	-0.073	-0.073	-0.077	-0.077	-0.070	-0.073	-0.067	-0.067	-0.080	1.000	-0.057	-0.077	-0.067	-0.070
-0.077	-0.080	-0.071	-0.062	-0.062	-0.083	-0.074	-0.068	-0.065	-0.059	-0.059	1.000	-0.080	-0.080	-0.080
-0.065	-0.068	-0.074	-0.061	-0.061	-0.071	-0.058	-0.065	-0.058	-0.077	-0.068	-0.081	1.000	-0.084	-0.087
-0.078	-0.078	-0.076	-0.070	-0.078	-0.078	-0.070	-0.076	-0.076	-0.064	-0.059	-0.062	-0.062	1.000	-0.073
-0.066	-0.074	-0.080	-0.060	-0.080	-0.077	-0.077	-0.072	-0.072	-0.060	-0.057	-0.072	-0.072	-0.080	1.000

A.21 MATRICES INVERSAS A NIVEL CRITERIOS

TABLA A.21: Matriz inversa de $I - T_l$.

2.223	1.507	1.380	0.963	1.397	1.407	1.289	1.326	1.249	0.874	0.689	0.875	0.963	1.335	1.252
1.339	2.472	1.452	0.994	1.452	1.460	1.322	1.364	1.274	0.890	0.685	0.878	0.997	1.375	1.278
1.273	1.484	2.313	0.940	1.408	1.390	1.266	1.315	1.232	0.859	0.656	0.826	0.933	1.324	1.233
1.410	1.629	1.523	1.999	1.534	1.521	1.389	1.429	1.345	0.936	0.787	0.913	1.017	1.422	1.355
1.409	1.664	1.548	1.048	2.464	1.547	1.404	1.444	1.369	0.925	0.722	0.939	1.057	1.482	1.386
1.440	1.708	1.585	1.106	1.584	2.526	1.454	1.490	1.401	0.997	0.768	0.999	1.120	1.508	1.426
1.447	1.701	1.595	1.069	1.594	1.609	2.363	1.460	1.394	0.973	0.747	0.966	1.084	1.487	1.403
1.333	1.566	1.450	1.008	1.454	1.453	1.310	2.288	1.293	0.904	0.698	0.872	0.981	1.361	1.276
1.323	1.545	1.435	0.981	1.434	1.441	1.295	1.362	2.196	0.878	0.672	0.851	0.962	1.336	1.260
1.441	1.691	1.561	1.151	1.583	1.623	1.445	1.472	1.416	1.959	0.834	0.993	1.169	1.503	1.450
1.450	1.677	1.572	1.148	1.577	1.576	1.432	1.493	1.399	1.053	1.744	0.975	1.150	1.477	1.404
1.469	1.716	1.572	1.096	1.559	1.627	1.449	1.473	1.385	0.992	0.787	1.936	1.148	1.519	1.437
1.385	1.605	1.509	1.058	1.495	1.534	1.359	1.396	1.307	1.005	0.771	0.991	2.015	1.458	1.388
1.449	1.702	1.586	1.096	1.598	1.600	1.444	1.489	1.404	0.990	0.770	0.972	1.100	2.430	1.418
1.435	1.694	1.601	1.084	1.604	1.607	1.453	1.484	1.403	0.989	0.774	0.993	1.122	1.521	2.353

TABLA A.22: Matriz inversa de $I - T_m$.

2.943	2.255	2.132	1.668	2.136	2.151	2.021	2.059	1.980	1.595	1.368	1.600	1.696	2.078	1.997
2.045	3.210	2.181	1.695	2.173	2.187	2.045	2.086	1.998	1.609	1.368	1.605	1.726	2.106	2.016
1.978	2.216	3.042	1.634	2.120	2.116	1.984	2.030	1.946	1.567	1.329	1.549	1.661	2.048	1.963
2.163	2.419	2.307	2.741	2.306	2.309	2.165	2.206	2.120	1.708	1.497	1.698	1.812	2.217	2.144
2.136	2.407	2.291	1.773	3.205	2.291	2.144	2.185	2.106	1.675	1.436	1.689	1.809	2.223	2.134
2.161	2.444	2.324	1.819	2.315	3.262	2.186	2.224	2.136	1.731	1.475	1.738	1.859	2.248	2.168
2.166	2.436	2.327	1.792	2.318	2.336	3.099	2.201	2.128	1.714	1.456	1.713	1.833	2.231	2.150
2.054	2.309	2.194	1.715	2.189	2.197	2.050	3.026	2.024	1.631	1.387	1.614	1.728	2.111	2.028
2.045	2.293	2.181	1.695	2.173	2.187	2.038	2.096	2.934	1.611	1.368	1.597	1.713	2.092	2.016
2.167	2.433	2.310	1.845	2.315	2.346	2.180	2.213	2.146	2.682	1.516	1.735	1.887	2.246	2.181
2.173	2.427	2.318	1.841	2.313	2.321	2.174	2.223	2.133	1.763	2.435	1.722	1.874	2.232	2.156
2.182	2.447	2.314	1.809	2.298	2.349	2.181	2.211	2.125	1.724	1.484	2.671	1.875	2.254	2.173
2.073	2.320	2.219	1.737	2.199	2.231	2.068	2.110	2.024	1.684	1.435	1.683	2.716	2.160	2.087
2.170	2.440	2.325	1.812	2.324	2.334	2.179	2.223	2.137	1.727	1.476	1.719	1.846	3.174	2.163
2.160	2.434	2.333	1.804	2.327	2.337	2.184	2.219	2.136	1.725	1.479	1.733	1.860	2.255	3.096

TABLA A.23: Matriz inversa de $I - T_u$.

5.269	4.619	4.524	4.020	4.501	4.618	4.434	4.450	4.410	3.877	3.445	3.880	3.961	4.514	4.451
4.331	5.542	4.527	4.022	4.502	4.613	4.422	4.441	4.398	3.867	3.428	3.859	3.963	4.504	4.440
4.233	4.511	5.356	3.923	4.405	4.511	4.326	4.345	4.305	3.783	3.353	3.768	3.865	4.406	4.345
4.445	4.738	4.647	5.067	4.626	4.735	4.541	4.558	4.519	3.970	3.551	3.961	4.055	4.620	4.566
4.385	4.674	4.586	4.072	5.487	4.671	4.480	4.497	4.458	3.905	3.475	3.909	4.009	4.565	4.507
4.433	4.738	4.649	4.135	4.621	5.665	4.541	4.555	4.516	3.974	3.531	3.975	4.075	4.628	4.569
4.385	4.674	4.586	4.067	4.558	4.674	5.407	4.489	4.455	3.915	3.473	3.914	4.012	4.558	4.497
4.363	4.648	4.558	4.059	4.533	4.645	4.452	5.401	4.435	3.903	3.461	3.887	3.984	4.535	4.472
4.268	4.546	4.458	3.960	4.433	4.540	4.352	4.376	5.263	3.807	3.374	3.794	3.892	4.425	4.369
4.440	4.734	4.639	4.147	4.619	4.742	4.536	4.553	4.522	4.918	3.555	3.976	4.090	4.624	4.577
4.447	4.735	4.646	4.140	4.623	4.732	4.540	4.551	4.512	3.989	4.480	3.963	4.080	4.619	4.563
4.450	4.741	4.644	4.127	4.610	4.743	4.541	4.552	4.510	3.970	3.534	4.909	4.083	4.631	4.572
4.351	4.636	4.554	4.044	4.517	4.638	4.436	4.458	4.414	3.908	3.473	3.905	4.928	4.542	4.488
4.449	4.737	4.645	4.132	4.622	4.736	4.535	4.557	4.517	3.973	3.532	3.965	4.064	5.554	4.563
4.439	4.734	4.650	4.123	4.624	4.736	4.541	4.554	4.514	3.969	3.531	3.974	4.073	4.629	5.496

A.22 MATRICES NÍTIDAS DE RELACIÓN TOTAL ENTRE CRITERIOS

TABLA A.24: Matriz nítida de relación total T_l .

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	1.223	1.507	1.380	0.963	1.397	1.407	1.289	1.326	1.249	0.874	0.689	0.875	0.963	1.335	1.252
C2	1.339	1.472	1.452	0.994	1.452	1.460	1.322	1.364	1.274	0.890	0.685	0.878	0.997	1.375	1.278
C3	1.273	1.484	1.313	0.940	1.408	1.390	1.266	1.315	1.232	0.859	0.656	0.826	0.933	1.324	1.233
C4	1.410	1.629	1.523	0.999	1.534	1.521	1.389	1.429	1.345	0.936	0.787	0.913	1.017	1.422	1.355
C5	1.409	1.664	1.548	1.048	1.464	1.547	1.404	1.444	1.369	0.925	0.722	0.939	1.057	1.482	1.386
C6	1.440	1.708	1.585	1.106	1.584	1.526	1.454	1.490	1.401	0.997	0.768	0.999	1.120	1.508	1.426
C7	1.447	1.701	1.595	1.069	1.594	1.609	1.363	1.460	1.394	0.973	0.747	0.966	1.084	1.487	1.403
C8	1.333	1.566	1.450	1.008	1.454	1.453	1.310	1.288	1.293	0.904	0.698	0.872	0.981	1.361	1.276
C9	1.323	1.545	1.435	0.981	1.434	1.441	1.295	1.362	1.196	0.878	0.672	0.851	0.962	1.336	1.260
C10	1.441	1.691	1.561	1.151	1.583	1.623	1.445	1.472	1.416	0.959	0.834	0.993	1.169	1.503	1.450
C11	1.450	1.677	1.572	1.148	1.577	1.576	1.432	1.493	1.399	1.053	0.744	0.975	1.150	1.477	1.404
C12	1.469	1.716	1.572	1.096	1.559	1.627	1.449	1.473	1.385	0.992	0.787	0.936	1.148	1.519	1.437
C13	1.385	1.605	1.509	1.058	1.495	1.534	1.359	1.396	1.307	1.005	0.771	0.991	1.015	1.458	1.388
C14	1.449	1.702	1.586	1.096	1.598	1.600	1.444	1.489	1.404	0.990	0.770	0.972	1.100	1.430	1.418
C15	1.435	1.694	1.601	1.084	1.604	1.607	1.453	1.484	1.403	0.989	0.774	0.993	1.122	1.521	1.353

TABLA A.25: Matriz nítida de relación total T_m .

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	1.943	2.255	2.132	1.668	2.136	2.151	2.021	2.059	1.980	1.595	1.368	1.600	1.696	2.078	1.997
C2	2.045	2.210	2.181	1.695	2.173	2.187	2.045	2.086	1.998	1.609	1.368	1.605	1.726	2.106	2.016
C3	1.978	2.216	2.042	1.634	2.120	2.116	1.984	2.030	1.946	1.567	1.329	1.549	1.661	2.048	1.963
C4	2.163	2.419	2.307	1.741	2.306	2.309	2.165	2.206	2.120	1.708	1.497	1.698	1.812	2.217	2.144
C5	2.136	2.407	2.291	1.773	2.205	2.291	2.144	2.185	2.106	1.675	1.436	1.689	1.809	2.223	2.134
C6	2.161	2.444	2.324	1.819	2.315	2.262	2.186	2.224	2.136	1.731	1.475	1.738	1.859	2.248	2.168
C7	2.166	2.436	2.327	1.792	2.318	2.336	2.099	2.201	2.128	1.714	1.456	1.713	1.833	2.231	2.150
C8	2.054	2.309	2.194	1.715	2.189	2.197	2.050	2.026	2.024	1.631	1.387	1.614	1.728	2.111	2.028
C9	2.045	2.293	2.181	1.695	2.173	2.187	2.038	2.096	1.934	1.611	1.368	1.597	1.713	2.092	2.016
C10	2.167	2.433	2.310	1.845	2.315	2.346	2.180	2.213	2.146	1.682	1.516	1.735	1.887	2.246	2.181
C11	2.173	2.427	2.318	1.841	2.313	2.321	2.174	2.223	2.133	1.763	1.435	1.722	1.874	2.232	2.156
C12	2.182	2.447	2.314	1.809	2.298	2.349	2.181	2.211	2.125	1.724	1.484	1.671	1.875	2.254	2.173
C13	2.073	2.320	2.219	1.737	2.199	2.231	2.068	2.110	2.024	1.684	1.435	1.683	1.716	2.160	2.087
C14	2.170	2.440	2.325	1.812	2.324	2.334	2.179	2.223	2.137	1.727	1.476	1.719	1.846	2.174	2.163
C15	2.160	2.434	2.333	1.804	2.327	2.337	2.184	2.219	2.136	1.725	1.479	1.733	1.860	2.255	2.096

TABLA A.26: Matriz nítida de relación total T_u .

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	4.269	4.619	4.524	4.020	4.501	4.618	4.434	4.450	4.410	3.877	3.445	3.880	3.961	4.514	4.451
C2	4.331	4.542	4.527	4.022	4.502	4.613	4.422	4.441	4.398	3.867	3.428	3.859	3.963	4.504	4.440
C3	4.233	4.511	4.356	3.923	4.405	4.511	4.326	4.345	4.305	3.783	3.353	3.768	3.865	4.406	4.345
C4	4.445	4.738	4.647	4.067	4.626	4.735	4.541	4.558	4.519	3.970	3.551	3.961	4.055	4.620	4.566
C5	4.385	4.674	4.586	4.072	4.487	4.671	4.480	4.497	4.458	3.905	3.475	3.909	4.009	4.565	4.507
C6	4.433	4.738	4.649	4.135	4.621	4.665	4.541	4.555	4.516	3.974	3.531	3.975	4.075	4.628	4.569
C7	4.385	4.674	4.586	4.067	4.558	4.674	4.407	4.489	4.455	3.915	3.473	3.914	4.012	4.558	4.497
C8	4.363	4.648	4.558	4.059	4.533	4.645	4.452	4.401	4.435	3.903	3.461	3.887	3.984	4.535	4.472
C9	4.268	4.546	4.458	3.960	4.433	4.540	4.352	4.376	4.263	3.807	3.374	3.794	3.892	4.425	4.369
C10	4.440	4.734	4.639	4.147	4.619	4.742	4.536	4.553	4.522	3.918	3.555	3.976	4.090	4.624	4.577
C11	4.447	4.735	4.646	4.140	4.623	4.732	4.540	4.551	4.512	3.989	3.480	3.963	4.080	4.619	4.563
C12	4.450	4.741	4.644	4.127	4.610	4.743	4.541	4.552	4.510	3.970	3.534	3.909	4.083	4.631	4.572
C13	4.351	4.636	4.554	4.044	4.517	4.638	4.436	4.458	4.414	3.908	3.473	3.905	3.928	4.542	4.488
C14	4.449	4.737	4.645	4.132	4.622	4.736	4.535	4.557	4.517	3.973	3.532	3.965	4.064	4.554	4.563
C15	4.439	4.734	4.650	4.123	4.624	4.736	4.541	4.554	4.514	3.969	3.531	3.974	4.073	4.629	4.496

A.26 SUPERMATRIZ NO PONDERADA

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	l,	0.076	0.080	0.080	0.081	0.079	0.078	0.080	0.080	0.081	0.078	0.079	0.000	0.000	0.000	0.000
	m,	0.076	0.078	0.078	0.078	0.078	0.077	0.078	0.078	0.078	0.077	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000
	u)	0.075	0.077	0.077	0.077	0.077	0.076	0.077	0.077	0.077	0.076	0.076	0.000	0.000	0.000	0.000
C2	l,	0.093	0.088	0.093	0.093	0.094	0.093	0.094	0.094	0.094	0.091	0.091	0.000	0.000	0.000	0.000
	m,	0.088	0.085	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.087	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000
	u)	0.082	0.080	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.081	0.081	0.000	0.000	0.000	0.000
C3	l,	0.085	0.087	0.082	0.087	0.087	0.086	0.088	0.087	0.087	0.084	0.086	0.000	0.000	0.000	0.000
	m,	0.083	0.084	0.081	0.084	0.084	0.083	0.084	0.084	0.084	0.082	0.083	0.000	0.000	0.000	0.000
	u)	0.080	0.080	0.079	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.000	0.000	0.000	0.000
C4	l,	0.060	0.060	0.059	0.057	0.059	0.060	0.059	0.061	0.060	0.062	0.063	0.000	0.000	0.000	0.000
	m,	0.065	0.065	0.065	0.063	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.066	0.066	0.000	0.000	0.000	0.000
	u)	0.071	0.071	0.071	0.070	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000
C5	l,	0.086	0.087	0.088	0.088	0.082	0.086	0.088	0.087	0.087	0.086	0.086	0.000	0.000	0.000	0.000
	m,	0.083	0.083	0.084	0.084	0.080	0.083	0.084	0.083	0.083	0.083	0.083	0.000	0.000	0.000	0.000
	u)	0.079	0.080	0.080	0.080	0.078	0.080	0.080	0.080	0.080	0.079	0.079	0.000	0.000	0.000	0.000
C6	l,	0.087	0.088	0.087	0.087	0.087	0.083	0.089	0.087	0.088	0.088	0.086	0.000	0.000	0.000	0.000
	m,	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.081	0.084	0.084	0.084	0.084	0.083	0.000	0.000	0.000	0.000
	u)	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.080	0.082	0.082	0.082	0.081	0.081	0.000	0.000	0.000	0.000
C7	l,	0.080	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079	0.075	0.079	0.079	0.078	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000
	m,	0.079	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.076	0.078	0.078	0.078	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000
	u)	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.077	0.078	0.078	0.078	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000
C8	l,	0.082	0.082	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.077	0.083	0.080	0.081	0.186	0.185	0.191	0.188
	m,	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.079	0.077	0.080	0.079	0.080	0.180	0.179	0.181	0.180
	u)	0.079	0.079	0.079	0.078	0.078	0.078	0.078	0.077	0.079	0.078	0.078	0.173	0.173	0.174	0.174
C9	l,	0.077	0.076	0.077	0.077	0.077	0.076	0.077	0.078	0.073	0.077	0.076	0.175	0.173	0.180	0.178
	m,	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.074	0.077	0.076	0.173	0.172	0.174	0.174
	u)	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.077	0.078	0.078	0.172	0.172	0.172	0.172
C10	l,	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	m,	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	u)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C11	l,	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	m,	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	u)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C12	l,	0.054	0.053	0.052	0.052	0.053	0.054	0.053	0.052	0.052	0.054	0.053	0.119	0.131	0.124	0.126
	m,	0.062	0.062	0.061	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.061	0.062	0.062	0.136	0.143	0.140	0.141
	u)	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.149	0.152	0.151	0.151
C13	l,	0.060	0.060	0.059	0.058	0.059	0.061	0.060	0.059	0.059	0.063	0.063	0.145	0.134	0.141	0.142
	m,	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.067	0.066	0.066	0.066	0.067	0.067	0.152	0.146	0.151	0.151
	u)	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.155	0.153	0.155	0.155
C14	l,	0.083	0.083	0.083	0.081	0.083	0.082	0.082	0.082	0.081	0.081	0.081	0.192	0.193	0.183	0.193
	m,	0.081	0.081	0.081	0.080	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.183	0.183	0.177	0.183
	u)	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.079	0.079	0.079	0.176	0.176	0.174	0.176
C15	l,	0.077	0.077	0.077	0.077	0.078	0.078	0.077	0.077	0.077	0.078	0.077	0.182	0.184	0.182	0.172
	m,	0.078	0.077	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.077	0.077	0.078	0.077	0.177	0.177	0.176	0.170
	u)	0.079	0.078	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079	0.078	0.078	0.079	0.078	0.174	0.174	0.174	0.171

A.27 MATRIZ DE INFLUENCIA TOTAL DEL SISTEMA ENTRE DIMENSIONES

TABLA A.27: Matriz de influencia total del sistema entre dimensiones.

	Resiliencia			Económico			Ambiental			Social		
	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)
Resiliencia	11.78	18.77	17.81	12.16	19.13	17.95	0.00	0.00	0.00	13.00	20.00	18.56
Económico	12.08	19.04	18.26	11.86	18.85	17.87	0.00	0.00	0.00	13.00	20.00	18.75
Ambiental	11.96	18.98	18.24	12.07	19.08	18.13	0.00	0.00	0.00	13.00	20.00	18.75
Social	0.00	0.00	0.00	11.41	18.38	17.58	0.00	0.00	0.00	12.00	19.00	17.94

A.28 MATRIZ DE INFLUENCIA TOTAL DEL SISTEMA ENTRE DIMENSIONES NORMALIZADA

TABLA A.28: Matriz de influencia total entre dimensiones normalizada.

	Resiliencia			Económico			Ambiental			Social		
	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)	(l,	m,	u)
Resiliencia	0.319	0.324	0.328	0.329	0.330	0.330	0.000	0.000	0.000	0.352	0.345	0.342
Económico	0.327	0.329	0.333	0.321	0.326	0.326	0.000	0.000	0.000	0.352	0.345	0.342
Ambiental	0.323	0.327	0.331	0.326	0.329	0.329	0.000	0.000	0.000	0.351	0.345	0.340
Social	0.000	0.000	0.000	0.487	0.492	0.495	0.000	0.000	0.000	0.513	0.508	0.505

A.29 SUPERMATRIZ PONDERADA

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	(l,	0.02412	0.0256	0.0255	0.0257	0.02529	0.025	0.0254	0.0262	0.0263	0.0252	0.0256	0	0	0	0
	m,	0.02449	0.0254	0.0254	0.0254	0.02527	0.0251	0.0253	0.0258	0.0258	0.0253	0.0255	0	0	0	0
	u)	0.02471	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.025	0.0251	0.0255	0.0255	0.0252	0.0253	0	0	0	0
C2	(l,	0.02972	0.0282	0.0297	0.0297	0.02987	0.0297	0.0298	0.0307	0.0308	0.0295	0.0296	0	0	0	0
	m,	0.02842	0.0275	0.0284	0.0284	0.02848	0.0284	0.0285	0.029	0.0289	0.0284	0.0284	0	0	0	0
	u)	0.02673	0.0263	0.0268	0.0268	0.02675	0.0267	0.0268	0.0271	0.0272	0.0269	0.0269	0	0	0	0
C3	(l,	0.02722	0.0278	0.0263	0.0278	0.02779	0.0275	0.028	0.0285	0.0286	0.0273	0.0277	0	0	0	0
	m,	0.02687	0.0271	0.0262	0.0271	0.02711	0.027	0.0272	0.0275	0.0275	0.027	0.0272	0	0	0	0
	u)	0.02619	0.0262	0.0258	0.0262	0.02625	0.0262	0.0263	0.0266	0.0266	0.0264	0.0264	0	0	0	0
C4	(l,	0.019	0.019	0.0188	0.0182	0.01882	0.0192	0.0188	0.0198	0.0195	0.0201	0.0202	0	0	0	0
	m,	0.02102	0.0211	0.0209	0.0204	0.02098	0.0211	0.0209	0.0215	0.0214	0.0215	0.0216	0	0	0	0
	u)	0.02327	0.0233	0.0233	0.023	0.0233	0.0233	0.0233	0.0237	0.0237	0.0236	0.0236	0	0	0	0
C5	(l,	0.02756	0.0278	0.0282	0.028	0.02629	0.0275	0.028	0.0286	0.0286	0.0276	0.0278	0	0	0	0
	m,	0.02692	0.027	0.0272	0.0271	0.02609	0.0269	0.0271	0.0274	0.0274	0.027	0.0271	0	0	0	0
	u)	0.02606	0.0261	0.0261	0.0261	0.02568	0.0261	0.0261	0.0265	0.0265	0.0263	0.0263	0	0	0	0
C6	(l,	0.02776	0.028	0.0278	0.0277	0.02778	0.0265	0.0282	0.0285	0.0287	0.0283	0.0278	0	0	0	0
	m,	0.02711	0.0272	0.0271	0.0271	0.02711	0.0263	0.0273	0.0275	0.0276	0.0274	0.0272	0	0	0	0
	u)	0.02673	0.0267	0.0268	0.0267	0.02673	0.0263	0.0268	0.0271	0.0271	0.027	0.0269	0	0	0	0
C7	(l,	0.02544	0.0253	0.0253	0.0253	0.02521	0.0253	0.0239	0.0257	0.0258	0.0252	0.0252	0	0	0	0
	m,	0.02548	0.0254	0.0254	0.0254	0.02537	0.0254	0.0245	0.0257	0.0257	0.0254	0.0255	0	0	0	0
	u)	0.02566	0.0256	0.0257	0.0256	0.02564	0.0256	0.0252	0.026	0.026	0.0258	0.0258	0	0	0	0
C8	(l,	0.027	0.0269	0.0272	0.0269	0.02677	0.0267	0.0265	0.0248	0.0266	0.0259	0.0265	0.0909	0.0901	0.0929	0.0919
	m,	0.02646	0.0264	0.0265	0.0264	0.02636	0.0264	0.0262	0.0251	0.0262	0.026	0.0262	0.0883	0.0881	0.0891	0.0887
	u)	0.02596	0.0259	0.026	0.0259	0.02593	0.0259	0.0259	0.0252	0.0256	0.0257	0.0257	0.0858	0.0858	0.086	0.0859
C9	(l,	0.02544	0.0252	0.0255	0.0253	0.02538	0.0251	0.0252	0.0249	0.0234	0.025	0.0249	0.0855	0.0843	0.0876	0.0868
	m,	0.02544	0.0253	0.0254	0.0254	0.02541	0.0253	0.0254	0.0251	0.0242	0.0252	0.0251	0.0849	0.0845	0.0857	0.0854
	u)	0.02572	0.0257	0.0257	0.0257	0.0257	0.0257	0.0257	0.0254	0.0249	0.0256	0.0255	0.085	0.0849	0.0853	0.0852
C10	(l,	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	m,	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	u)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C11	(l,	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	m,	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	u)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C12	(l,	0.01905	0.0186	0.0182	0.0184	0.0186	0.0192	0.0187	0.0184	0.0182	0.0188	0.0187	0.0608	0.0672	0.0638	0.0646
	m,	0.0215	0.0213	0.0212	0.0213	0.02129	0.0215	0.0213	0.0212	0.0212	0.0213	0.0213	0.069	0.0726	0.0713	0.0716
	u)	0.0234	0.0233	0.0233	0.0233	0.02331	0.0234	0.0233	0.0233	0.0233	0.0232	0.0232	0.0752	0.0766	0.0764	0.0765
C13	(l,	0.02096	0.0211	0.0206	0.0205	0.02094	0.0215	0.021	0.0207	0.0206	0.0222	0.022	0.0745	0.0689	0.0721	0.073
	m,	0.02279	0.0229	0.0227	0.0227	0.02282	0.023	0.0228	0.0227	0.0227	0.0232	0.0231	0.0774	0.074	0.0765	0.0769
	u)	0.02389	0.0239	0.0239	0.0239	0.02391	0.024	0.0239	0.0239	0.0239	0.0239	0.0239	0.0785	0.0771	0.0783	0.0784
C14	(l,	0.02905	0.029	0.0292	0.0286	0.02936	0.0289	0.0288	0.0288	0.0286	0.0285	0.0283	0.0986	0.0989	0.0938	0.099
	m,	0.02791	0.0279	0.028	0.0277	0.02803	0.0279	0.0278	0.0278	0.0277	0.0276	0.0276	0.093	0.0932	0.0901	0.0932
	u)	0.02722	0.0272	0.0272	0.0272	0.02722	0.0272	0.0272	0.0272	0.0272	0.027	0.027	0.0891	0.0891	0.0877	0.0891
C15	(l,	0.02725	0.027	0.0272	0.0273	0.02746	0.0273	0.0272	0.027	0.027	0.0275	0.0269	0.0932	0.0942	0.093	0.088
	m,	0.02682	0.0267	0.0268	0.0268	0.02691	0.0269	0.0268	0.0267	0.0267	0.0268	0.0266	0.0897	0.09	0.0896	0.0866
	u)	0.02684	0.0268	0.0268	0.0269	0.02687	0.0269	0.0268	0.0268	0.0268	0.0268	0.0267	0.0879	0.0881	0.0879	0.0865

A.30 MATRIZ LÍMITE

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	l,	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0046	0.0046	0.0047	0.0047
	m,	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0045	0.0044	0.0045	0.0045
	u)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044
C2	l,	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.0054	0.0054	0.0056	0.0055
	m,	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.005	0.005	0.0051	0.005
	u)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0046	0.0046	0.0047	0.0046
C3	l,	0.006	0.006	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.006	0.007	0.005	0.005	0.0051	0.0051
	m,	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0048	0.0047	0.0048	0.0048
	u)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0045	0.0045	0.0046	0.0046
C4	l,	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004	0.0035	0.0034	0.0035	0.0035
	m,	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.0037	0.0037	0.0038	0.0037
	u)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.0041	0.0041
C5	l,	0.006	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.005	0.005	0.0052	0.0051
	m,	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0048	0.0047	0.0048	0.0048
	u)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
C6	l,	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.005	0.005	0.0052	0.0051
	m,	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048
	u)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046
C7	l,	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0045	0.0045	0.0046	0.0046
	m,	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0045	0.0044	0.0045	0.0045
	u)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0044	0.0044	0.0045	0.0044
C8	l,	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.0345	0.0346	0.0342	0.0343
	m,	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.0336	0.0337	0.0335	0.0336
	u)	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327
C9	l,	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.0325	0.0326	0.0322	0.0323
	m,	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.0323	0.0324	0.0322	0.0323
	u)	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.0324	0.0325	0.0324	0.0324
C10	l,	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	m,	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	u)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C11	l,	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	m,	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	u)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C12	l,	0.011	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010	0.011	0.010	0.011	0.011	0.024	0.024	0.024	0.024
	m,	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.027	0.027	0.027	0.027
	u)	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.029	0.029	0.029	0.029
C13	l,	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.027	0.027	0.027	0.027
	m,	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.029	0.029	0.029	0.029
	u)	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.030	0.030	0.030	0.030
C14	l,	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.037	0.037	0.037	0.037
	m,	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.035	0.035	0.035	0.035
	u)	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.034	0.034	0.034	0.034
C15	l,	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.035	0.035	0.035	0.035
	u)	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.034	0.034	0.034	0.034

A.31 MATRIZ LÍMITE DESFUZZIFICADA

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅
C ₁	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.004	0.004	0.005	0.005
C ₂	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005
C ₃	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005
C ₄	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004
C ₅	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005
C ₆	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005
C ₇	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.004	0.004	0.005	0.004
C ₈	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.034	0.034	0.033	0.034
C ₉	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.032	0.032	0.032	0.032
C ₁₀	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C ₁₁	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C ₁₂	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.027	0.027	0.027	0.027
C ₁₃	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.029	0.029	0.029	0.029
C ₁₄	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.035	0.035	0.035	0.035
C ₁₅	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.034	0.034	0.034	0.034

BIBLIOGRAFÍA

- AALIREZAEI, A., N. ESFANDI y A. NOORBAKHS (2018), «Evaluation of relationships between GSCM practices and SCP using SEM approach: an empirical investigation on Iranian automobile industry», *Journal of Remanufacturing*, **8**(1-2), págs. 51–80.
- ABEYSEKARA, N., H. WANG y D. KURUPPUARACHCHI (2019), «Effect of supply-chain resilience on firm performance and competitive advantage», *Business Process Management Journal*, **25**(7), págs. 1673–1695.
- AHI, P., M. Y. JABER y C. SEARCY (2016), «A comprehensive multidimensional framework for assessing the performance of sustainable supply chains», *Applied Mathematical Modelling*, **40**(23-24), págs. 10153–10166.
- AHI, P. y C. SEARCY (2015), «An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains», *Journal of Cleaner Production*, **86**, págs. 360–377.
- AZEVEDO, S., V. MACHADO, A. BARROSO y V. CRUZ-MACHADO (2008), «Supply chain vulnerability: environment changes and dependencies», *International journal of logistics and transport*, **2**(1), págs. 41–55.
- BALLOU, R. H. (2004), *Logística: Administración de la cadena de suministro*, quinta edición, Pearson educación.
- CAI, J., X. LIU, Z. XIAO y J. LIU (2009), «Improving supply chain performance

- management: A systematic approach to analyzing iterative KPI accomplishment», *Decision support systems*, **46**(2), págs. 512–521.
- CARDOSO, S. R., A. P. BARBOSA-PÓVOA, S. RELVAS y A. Q. NOVAIS (2015), «Resilience metrics in the assessment of complex supply-chains performance operating under demand uncertainty», *Omega*, **56**, págs. 53–73.
- CHEN, C.-T. (2000), «Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment», *Fuzzy sets and systems*, **114**(1), págs. 1–9.
- CHEN, I. J. y A. PAULRAJ (2004), «Understanding supply chain management: critical research and a theoretical framework», *International Journal of production research*, **42**(1), págs. 131–163.
- CHEN, S.-J. y C.-L. HWANG (1992), «Fuzzy multiple attribute decision making methods», en *Fuzzy multiple attribute decision making*, Springer, págs. 289–486.
- CHENG, C.-H. y Y. LIN (2002), «Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation», *European journal of operational research*, **142**(1), págs. 174–186.
- CHITHAMBARANATHAN, P., N. SUBRAMANIAN y P. PALANIAPPAN (2015), «An innovative framework for performance analysis of members of supply chains», *Benchmarking: An International Journal*, **22**(2), págs. 309–334.
- CHORFI, Z., L. BENABBOU y A. BERRADO (2018), «An integrated performance measurement framework for enhancing public health care supply chains», *Supply Chain Forum: An International Journal*, **19**(3), págs. 191–203.
- CHOU, S.-Y., Y.-H. CHANG y C.-Y. SHEN (2008), «A fuzzy simple additive weighting system under group decision-making for facility location selection with objective/subjective attributes», *European Journal of Operational Research*, **189**(1), págs. 132–145, URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221707004754>.

- CHOWDHURY, M. M. H., M. QUADDUS y R. AGARWAL (2019), «Supply chain resilience for performance: role of relational practices and network complexities», *Supply Chain Management: An International Journal*, **24**(5), págs. 659–676.
- CHRISTOPHER, M. (2016), *Logistics & supply chain management*, quinta edición, Pearson UK.
- CHRISTOPHER, M. y H. PECK (2004), «Building the Resilient Supply Chain», *The International Journal of Logistics Management*, **15**(2), págs. 1–14.
- CLAYTON, M. J. (1997), «Delphi: a technique to harness expert opinion for critical decision-making tasks in education», *Educational psychology*, **17**(4), págs. 373–386.
- DAHLSTRUD, A. (2008), «How corporate social responsibility is defined: an analysis of 37 definitions», *Corporate social responsibility and environmental management*, **15**(1), págs. 1–13.
- DALKEY, N. y O. HELMER (1963), «An experimental application of the Delphi method to the use of experts», *Management science*, **9**(3), págs. 458–467.
- DAS, D. (2017), «Development and validation of a scale for measuring Sustainable Supply Chain Management practices and performance», *Journal of Cleaner Production*, **164**, págs. 1344–1362.
- DEY, P. K., G.-L. YANG, C. MALESIOS, D. DE y K. EVANGELINOS (2019), «Performance Management of Supply Chain Sustainability in Small and Medium-sized Enterprises Using a Combined Structural Equation Modelling and Data Envelopment Analysis», *Computational Economics*, págs. 1–41.
- DISSANAYAKE, C. K. y J. A. CROSS (2018), «Systematic mechanism for identifying the relative impact of supply chain performance areas on the overall supply chain performance using SCOR model and SEM», *International Journal of Production Economics*, **201**, págs. 102–115.

- EKINCI, E. y A. BAYKASOĞLU (2019), «Complexity and performance measurement for retail supply chains», *Industrial Management & Data Systems*.
- ELKINGTON, J. (1998), «Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business», *Environmental quality management*, **8**(1), págs. 37–51.
- ELMOUSALAMI, H. H., A. H. ELYAMANY y A. H. IBRAHIM (2018), «Evaluation of cost drivers for field canals improvement projects», *Water resources management*, **32**(1), págs. 53–65.
- ELZARKA, S. (2020), «A study on using lean, agile, resilient and green index to assess the sustainability of Egyptian FMCGs supply chains», *International Journal of Logistics Systems and Management*, **37**(2), págs. 285–298.
- ESPOSITO VINZI, V., W. W. CHIN, J. HENSELER y H. WANG (2010), *Handbook of partial least squares: Concepts, methods and applications*, Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer.
- FAHIMNIA, B., A. JABBARZADEH y J. SARKIS (2018), «Greening versus resilience: A supply chain design perspective», *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **119**, págs. 129–148.
- FEKPE, E. y Y. DELAPORTE (2019), «Sustainability integration and supply chain performance of manufacturing small and medium size enterprises», *African Journal of Economic and Management Studies*, **10**(2), págs. 130–147.
- FORNELL, C. y F. L. BOOKSTEIN (1982), «Two structural equation models: LISREL and PLS applied to consumer exit-voice theory», *Journal of Marketing research*, **19**(4), págs. 440–452.
- GABUS, A. y E. FONTELA (1972), «World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL», *Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland*, págs. 1–8.

- GOPAL, P. y J. THAKKAR (2012), «A review on supply chain performance measures and metrics: 2000-2011», *International journal of productivity and performance management*, **61**(5), págs. 518–547.
- GU, M., L. YANG y B. HUO (2021), «The impact of information technology usage on supply chain resilience and performance: An ambidexterous view», *International Journal of Production Economics*, **232**, pág. 107956.
- GUNASEKARAN, A. y B. KOBU (2007), «Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: a review of recent literature (1995–2004) for research and applications», *International journal of production research*, **45**(12), págs. 2819–2840.
- GUNASEKARAN, A., C. PATEL y R. E. MCGAUGHEY (2004), «A framework for supply chain performance measurement», *International journal of production economics*, **87**(3), págs. 333–347.
- HAGHIGHI, S. M., S. TORABI y R. GHASEMI (2016), «An integrated approach for performance evaluation in sustainable supply chain networks (with a case study)», *Journal of cleaner production*, **137**, págs. 579–597.
- HAIR JR, J. F., G. T. M. HULT, C. RINGLE y M. SARSTEDT (2016), *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*, Sage publications.
- HASSINI, E., C. SURTI y C. SEARCY (2012), «A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics», *International Journal of Production Economics*, **140**(1), págs. 69–82.
- HEMALATHA, S., K. N. RAO, G. RAMBABU y K. VENKATASUBBAIAH (2017), «Supply chain performance evaluation through AHM and Membership degree transformation», *Materials Today: Proceedings*, **4**(8), págs. 7848–7858.
- HOSSEINI, S., D. IVANOV y A. DOLGUI (2019), «Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis», *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **125**, págs. 285–307.

- HWANG, C.-L. y K. YOON (1981), «Methods for multiple attribute decision making», en *Multiple attribute decision making*, Springer, págs. 58–191.
- IVANOV, D., B. SOKOLOV y A. DOLGUI (2014), «The Ripple effect in supply chains: trade-off ‘efficiency-flexibility-resilience’ in disruption management», *International Journal of Production Research*, **52**(7), págs. 2154–2172.
- JAKHAR, S. K. (2015), «Performance evaluation and a flow allocation decision model for a sustainable supply chain of an apparel industry», *Journal of Cleaner Production*, **87**, págs. 391–413.
- JAYARAM, J., M. DIXIT y J. MOTWANI (2014), «Supply chain management capability of small and medium sized family businesses in India: A multiple case study approach», *International Journal of Production Economics*, **147**, págs. 472–485.
- KAMALAHMADI, M. y M. M. PARAST (2016), «A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: Major findings and directions for future research», *International Journal of Production Economics*, **171**, págs. 116–133.
- KAUFMANN, A. y M. M. GUPTA (1988), *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*, Elsevier Science Inc.
- KAZANCOGLU, Y., I. KAZANCOGLU y M. SAGNAK (2018), «A new holistic conceptual framework for green supply chain management performance assessment based on circular economy», *Journal of cleaner production*, **195**, págs. 1282–1299.
- KIM, Y., Y.-S. CHEN y K. LINDERMAN (2015), «Supply network disruption and resilience: A network structural perspective», *Journal of operations Management*, **33**, págs. 43–59.
- KOCAOĞLU, B., B. GÜLSÜN y M. TANYAŞ (2013), «A SCOR based approach for measuring a benchmarkable supply chain performance», *Journal of Intelligent Manufacturing*, **24**(1), págs. 113–132.

- KOZAREVIĆ, S. y A. PUŠKA (2018), «Use of fuzzy logic for measuring practices and performances of supply chain», *Operations Research Perspectives*, **5**, págs. 150–160.
- LAKRI, S., Y. DALLERY y Z. JEMAI (2015), «Measurement and management of supply chain performance: Practices in today's large companies», *Supply Chain Forum: An International Journal*, **16**(4), págs. 16–30.
- LEVI, D. S., P. KAMINSKY y E. S. LEVI (2003), *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies*, tercera edición, McGraw-Hill.
- LI, Y., A.-R. ABTAHI y M. SEYEDAN (2019), «Supply chain performance evaluation using fuzzy network data envelopment analysis: a case study in automotive industry», *Annals of Operations Research*, **275**(2), págs. 461–484.
- LIM, M. K., M.-L. TSENG, K. H. TAN y T. D. BUI (2017), «Knowledge management in sustainable supply chain management: Improving performance through an interpretive structural modelling approach», *Journal of cleaner production*, **162**, págs. 806–816.
- LIMA-JUNIOR, F. R. y L. C. R. CARPINETTI (2017), «Quantitative models for supply chain performance evaluation: a literature review», *Computers & Industrial Engineering*, **113**, págs. 333–346.
- LIMA-JUNIOR, F. R. y L. C. R. CARPINETTI (2019), «Predicting supply chain performance based on SCOR® metrics and multilayer perceptron neural networks», *International Journal of Production Economics*, **212**, págs. 19–38.
- LIMA-JUNIOR, F. R. y L. C. R. CARPINETTI (2020), «An adaptive network-based fuzzy inference system to supply chain performance evaluation based on SCOR® metrics», *Computers & Industrial Engineering*, **139**, pág. 106 191.
- LIU, C.-L., K.-C. SHANG, T.-C. LIRN, K.-H. LAI y Y. V. LUN (2018), «Supply chain resilience, firm performance, and management policies in the liner shipping

- industry», *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **110**, págs. 202–219.
- LIU, Z., R. ZHAO, X. LIU y L. CHEN (2017), «Contract designing for a supply chain with uncertain information based on confidence level», *Applied Soft Computing*, **56**, págs. 617–631.
- MALESIOS, C., P. K. DEY y F. B. ABDELAZIZ (2018), «Supply chain sustainability performance measurement of small and medium sized enterprises using structural equation modeling», *Annals of Operations Research*, págs. 1–31.
- MALVIYA, R. K. y R. KANT (2019), «Developing integrated framework to measure performance of green supply chain management», *Benchmarking: An International Journal*, **27**(2), págs. 634–665.
- MISHRA, D., A. GUNASEKARAN, T. PAPADOPOULOS y R. DUBEY (2018), «Supply chain performance measures and metrics: a bibliometric study», *Benchmarking: An International Journal*.
- MOHARAMKHANI, A., A. BOZORGI-AMIRI y H. MINA (2017), «Supply chain performance measurement using SCOR model based on interval-valued fuzzy TOPSIS», *International Journal of Logistics Systems and Management*, **27**(1), págs. 115–132.
- MUMTAZ, U., Y. ALI y A. PETRILLO (2018), «A linear regression approach to evaluate the green supply chain management impact on industrial organizational performance», *Science of the total environment*, **624**, págs. 162–169.
- MURRAY, T. J., L. L. PIPINO y J. P. VAN GIGCH (1985), «A pilot study of fuzzy set modification of Delphi», *Human Systems Management*, **5**(1), págs. 76–80.
- MURRY JR, J. W. y J. O. HAMMONS (1995), «Delphi: A versatile methodology for conducting qualitative research», *The review of higher education*, **18**(4), págs. 423–436.

- NEELY, A., M. GREGORY y K. PLATTS (1995), «Performance measurement system design: a literature review and research agenda», *International journal of operations & production management*, **15**(4), págs. 80–116.
- OKOLI, C. y S. D. PAWLOWSKI (2004), «The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications», *Information & management*, **42**(1), págs. 15–29.
- ÖZTAYŞI, B. y Ö. SÜRER (2014), «Supply chain performance measurement using a SCOR based fuzzy VIKOR approach», en *Supply chain management under fuzziness*, Springer, págs. 199–224.
- PANTOUVAKIS, A. y I. VLACHOS (2020), «Talent and leadership effects on sustainable performance in the maritime industry», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **86**, pág. 102 440.
- PATHAK, D. K., R. SHANKAR y A. CHOUDHARY (2021), «Performance assessment framework based on competitive priorities for sustainable freight transportation systems», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **90**, pág. 102 663.
- PEREIRA, C. R., M. CHRISTOPHER y A. L. DA SILVA (2014), «Achieving supply chain resilience: the role of procurement», *Supply Chain Management: an international journal*, **19**(5/6), págs. 626–642.
- PIOTROWICZ, W. y R. CUTHBERTSON (2015), «Performance measurement and metrics in supply chains: an exploratory study», *International Journal of Productivity and Performance Management*, **64**(8), págs. 1068–1091.
- RAJESH, R. (2016), «Forecasting supply chain resilience performance using grey prediction», *Electronic Commerce Research and Applications*, **20**, págs. 42–58.
- RAMEZANKHANI, M., S. A. TORABI y F. VAHIDI (2018), «Supply chain performance measurement and evaluation: A mixed sustainability and resilience approach», *Computers & Industrial Engineering*, **126**, págs. 531–548.

- REHMAN, S. T., S. A. KHAN, S. KUSI-SARPONG y S. M. HASSAN (2018), «Supply chain performance measurement and improvement system», *Journal of Modelling in Management*, **13**(3), págs. 522–549.
- ROXAS, B., N. ASHILL y D. CHADEE (2017), «Effects of entrepreneurial and environmental sustainability orientations on firm performance: A study of small businesses in the Philippines», *Journal of Small Business Management*, **55**(S1), págs. 163–178.
- RUIZ-BENÍTEZ, R., C. LÓPEZ y J. C. REAL (2018), «The lean and resilient management of the supply chain and its impact on performance», *International Journal of Production Economics*, **203**, págs. 190–202.
- SAATY, T. L. (1996), *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*, tomo 4922, RWS Publ.
- SAATY, T. L. (2000), *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*, tomo 6, RWS publications.
- SAATY, T. L. y L. G. VARGAS (2013), «The analytic network process», en *Decision making with the analytic network process*, Springer, págs. 1–40.
- SAHU, A. K., S. DATTA y S. MAHAPATRA (2017), «Evaluation of performance index in resilient supply chain: a fuzzy-based approach», *Benchmarking: An International Journal*, **24**(1), págs. 118–142.
- SAHU, K. y A. K. SAHU (2019), «Performance Measurement of Medicines Delivery of Pharmaceutical Companies Under Chain of Sustainable Procurement», *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development (IJSESD)*, **10**(3), págs. 116–128.
- SAIDO, G., S. SIRAJ, D. DEWITT y O. AL-AMEDY (2018), «Development of an instructional model for higher order thinking in science among secondary school students: a fuzzy Delphi approach», *International Journal of Science Education*, **40**(8), págs. 847–866.

- SALEHZADEH, R., J. K. POOL, A.-M. MOHSENI y G. TAHANI (2017), «Factors influencing organisational performance: the role of knowledge sharing and organisational agility», *International Journal of Business Excellence*, **11**(3), págs. 344–356.
- SANGARI, M. S. y M. DASHTPEYMA (2019), «An integrated framework of supply chain resilience enablers: a hybrid ISM-FANP approach», *International Journal of Business Excellence*, **18**(2), págs. 242–268.
- SCHMITT, A. J. y M. SINGH (2012), «A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain», *International Journal of Production Economics*, **139**(1), págs. 22–32.
- SELLITTO, M. A., G. M. PEREIRA, M. BORCHARDT, R. I. DA SILVA y C. V. VIEGAS (2015), «A SCOR-based model for supply chain performance measurement: application in the footwear industry», *International Journal of Production Research*, **53**(16), págs. 4917–4926.
- SEN, D. K., S. DATTA y S. MAHAPATRA (2018), «On evaluation of supply chain's ecosilient (g-resilient) performance index», *Benchmarking: An International Journal*, **25**(7), págs. 2370–2389.
- SENVAR, O., U. R. TUZKAYA y C. KAHRAMAN (2014), «Supply chain performance measurement: an integrated DEMATEL and Fuzzy-ANP approach», en *Supply Chain Management Under Fuzziness*, Springer, págs. 143–165.
- SHARMA, M., S. LUTHRA, S. JOSHI y A. KUMAR (2021), «Accelerating retail supply chain performance against pandemic disruption: adopting resilient strategies to mitigate the long-term effects», *Journal of Enterprise Information Management*.
- SINGH, C. S., G. SONI y G. K. BADHOTIYA (2019), «Performance indicators for supply chain resilience: review and conceptual framework», *Journal of Industrial Engineering International*, **15**(1), págs. 105–117.

- SPIEGLER, V. L., M. M. NAIM y J. WIKNER (2012), «A control engineering approach to the assessment of supply chain resilience», *International Journal of Production Research*, **50**(21), págs. 6162–6187.
- SUFIYAN, M., A. HALEEM, S. KHAN y M. I. KHAN (2019), «Evaluating food supply chain performance using hybrid fuzzy MCDM technique», *Sustainable Production and Consumption*, **20**, págs. 40–57.
- SULAIMAN, H. F., R. ISMAIL, H. MOHD YUSOFF, N. ANUAR, M. R. MOHD JAMIL y F. DAUD (2020), «Validation of Occupational Zoonotic Disease Questionnaire Using Fuzzy Delphi Method», *Journal of agromedicine*, **25**(2), págs. 166–172.
- TANG, C. S. (2006), «Robust strategies for mitigating supply chain disruptions», *International Journal of Logistics: Research and Applications*, **9**(1), págs. 33–45.
- TARASEWICZ, R. (2016), «Integrated approach to supply chain performance measurement—results of the study on Polish market», *Transportation Research Procedia*, **14**, págs. 1433–1442.
- TATICCHI, P., F. TONELLI y R. PASQUALINO (2013), «Performance measurement of sustainable supply chains: A literature review and a research agenda», *International Journal of Productivity and Performance Management*, **62**(8), págs. 782–804.
- THANKI, S. y J. THAKKAR (2018), «A quantitative framework for lean and green assessment of supply chain performance», *International Journal of Productivity and Performance Management*, **67**(2), págs. 366–400.
- THEERANUPHATTANA, A. y J. C. TANG (2008), «A conceptual model of performance measurement for supply chains», *Journal of Manufacturing Technology Management*, **19**(1), págs. 125–148.
- TRANFIELD, D., D. DENYER y P. SMART (2003), «Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review», *British journal of management*, **14**(3), págs. 207–222.

- TSENG, M.-L., M. K. LIM, W.-P. WONG, Y.-C. CHEN y Y. ZHAN (2018), «A framework for evaluating the performance of sustainable service supply chain management under uncertainty», *International Journal of Production Economics*, **195**, págs. 359–372.
- TSENG, M.-L., K.-J. WU, M. K. LIM y W.-P. WONG (2019), «Data-driven sustainable supply chain management performance: A hierarchical structure assessment under uncertainties», *Journal of cleaner production*, **227**, págs. 760–771.
- TUKAMUHABWA, B. R., M. STEVENSON, J. BUSBY y M. ZORZINI (2015), «Supply chain resilience: definition, review and theoretical foundations for further study», *International Journal of Production Research*, **53**(18), págs. 5592–5623.
- TUNI, A., A. RENTIZELAS y A. DUFFY (2018), «Environmental performance measurement for green supply chains», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **48**(8).
- UYGUN, Ö. y A. DEDE (2016), «Performance evaluation of green supply chain management using integrated fuzzy multi-criteria decision making techniques», *Computers & Industrial Engineering*, **102**, págs. 502–511.
- VITASEK, K. (2013), *Supply chain management terms and glossary*, Supply Chain Visions.
- WANG, Y.-J. (2015), «Ranking triangle and trapezoidal fuzzy numbers based on the relative preference relation», *Applied Mathematical Modelling*, **39**(2), págs. 586–599.
- WIBOWO, M. A. y M. N. SHOLEH (2015), «The analysis of supply chain performance measurement at construction project», *Procedia Engineering*, **125**, págs. 25–31.
- WU, W.-W. y Y.-T. LEE (2007), «Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method», *Expert Systems with Applications*, **32**(2), págs. 499–507.

-
- YANG, Y.-P. O., H.-M. SHIEH, J.-D. LEU y G.-H. TZENG (2008), «A novel hybrid MCDM model combined with DEMATEL and ANP with applications», *International journal of operations research*, **5**(3), págs. 160–168.
- ZADEH, L. A. (1988), «Fuzzy logic», *Computer*, **21**(4), págs. 83–93.
- ZADEH, L. A. (1996), «Fuzzy sets», en *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A Zadeh*, World Scientific, págs. 394–432.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Javier Isaac Torres Vergara

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

MODELO MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO
DE LA CADENA DE SUMINISTRO RESILIENTE Y SOSTENIBLE

Nació el 14 de diciembre del año 1994 en Cartagena, Colombia. Hijo de Genifer Rafael Torres Jiménez y Elsa Vergara Hernández. Estudió la educación básica y parte de la secundaria en la Institución Educativa República de Argentina, posteriormente ingresó a la Institución Educativa CASD Manuela Beltrán donde culminó sus estudios de bachillerato. Es Ingeniero industrial por la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, donde se desempeñó como joven investigador en el año 2017. Miembro fundador de la Corporación para el Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial Sostenible - Igenios Center, donde ejerció como Director Ejecutivo entre julio de 2018 y agosto de 2019. A su vez, es director del grupo de investigación Optimus Center avalado por el Ministerio de Ciencias de Colombia.