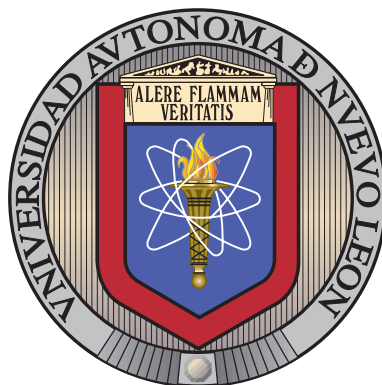


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



CONTROL Y SEGUIMIENTO DE INDICADORES DE
DESEMPEÑO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

POR

LORAINÉ SANCHEZ JIMENEZ

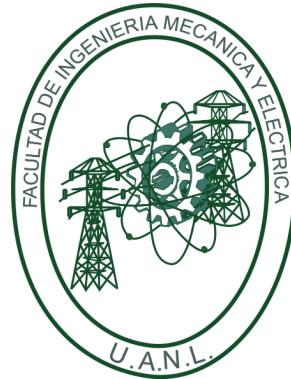
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

AGOSTO 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



CONTROL Y SEGUIMIENTO DE INDICADORES DE
DESEMPEÑO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

POR

LORAINÉ SANCHEZ JIMENEZ

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

AGOSTO 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 «Control y Seguimiento de Indicadores de Desempeño de la Cadena de Suministro», realizada por el alumno Loraine Sanchez Jimenez , con número de matrícula 2033827, sea aceptada para su defensa como requisito para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro .

El Comité de Tesis

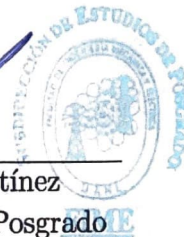
Dr. Tomás Eloy Salais Fierro
Asesor

Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez
Revisor

Dr. Giovanni Lizárraga Lizárraga
Revisor

Vo. Bo.

Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado



168

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, agosto 2021

*Porque de él, por él y para él son todas las cosas
¡A él sea la gloria por siempre!*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	xiv
Resumen	xv
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Objetivo general	4
1.3. Hipótesis	4
1.4. Justificación de la investigación	4
1.5. Metodología	6
1.6. Estructura de tesis	7
1.7. Conclusiones del capítulo	8
2. Antecedentes	9
2.1. Evaluación del desempeño de la cadena de suministro	9
2.1.1. Indicadores en la cadena de suministro	16
2.2. Retos en la implementación de indicadores	18

2.3. Herramientas para evaluar el desempeño	20
2.3.1. Enfoques	21
2.3.2. Técnicas de desarrollo y evaluación	24
2.3.3. Modelos para el análisis y diseño de cadenas de suministro	26
2.3.4. Análisis actual del uso de herramientas	27
2.4. Casos aplicativos	34
2.5. Conclusiones del capítulo	36
3. Metodología	38
3.1. Descripción de la metodología	39
3.2. Revisión de literatura	41
3.2.1. Medición de rendimiento de compras	41
3.2.2. Atributos y métricas del modelo SCOR	43
3.2.3. Proceso analítico jerárquico difuso (FAHP)	46
3.2.4. Teoría de conjuntos difusos (<i>Fuzzy set theory</i>)	47
3.3. Modelo	49
3.3.1. Determinación de indicadores centrados en compras de SCOR	50
3.3.2. Metodología FAHP	52
3.3.3. Metodología sistema de inferencia difusa	56
3.3.4. Simulación	58
3.4. Conclusiones del capítulo	58

4. Análisis de resultados	59
4.1. Desarrollo del modelo	59
4.1.1. Determinar indicadores de compras	59
4.1.2. Aplicación de FAHP	64
4.1.3. Aplicación FIS	69
4.1.4. Escenarios de simulación	78
4.2. Análisis de sensibilidad y coherencia del sistema difuso	81
4.3. Conclusiones del capítulo	84
5. Conclusiones	86
5.1. Conclusiones generales	86
5.2. Recomendaciones	88
5.3. Limitaciones	89
5.4. Contribuciones y trabajo futuro	90
5.4.1. Contribuciones	90
5.4.2. Trabajo futuro	91
A. Apéndice	92
A.1. Indicadores de compras en la literatura	92
A.2. Atributos y métricas SCOR nivel 1, 2 y 3	93
A.3. Estructura y resultados del cuestionario	94
A.4. Juicios de expertos	96

A.5. Consistencias juicios de expertos	97
A.6. Reglas de inferencia para FIS 2	102
A.7. Pruebas de análisis de sensibilidad para FIS 1 y FIS 2	109

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Metodología de la investigación	7
2.1. Integración de la cadena de suministro y la logística	10
2.2. Marco para el diseño de sistemas de medición del rendimiento	11
2.3. Indicadores de desempeño en la cadena de suministro y logística	12
2.4. Marco de análisis para la evaluación del desempeño de la CS	15
2.5. Resultados del marco para la evaluación del desempeño de la CS	16
2.6. Atributos de la información	19
2.7. Herramientas para evaluar el desempeño	21
2.8. Perspectiva BSC	23
2.9. Modelo SCOR	24
2.10. Metodología de revisión de literatura	27
2.11. Resumen de la revisión	29
2.12. BSC versus SCOR	30
2.13. SCOR combinado con otras técnicas	31

3.1. Metodología propuesta para sistema de medición de rendimiento . . .	39
3.2. Atributos y metricas SCOR nivel 1 y 2	45
3.3. Proceso de desarrollo de un FAHP	47
3.4. Elementos principales de un sistema de inferencia difusa	49
3.5. Modelo propuesto	50
3.6. Estructura general del árbol jerárquico del AHP	52
3.7. Función de membresía triangular	53
4.1. Indicadores de compras en la literatura	60
4.2. Atributo confiabilidad y sus métricas	61
4.3. Modelo configurado	63
4.4. Árbol jerárquico para FAHP	64
4.5. Funciones de pertenencia de los términos lingüísticos antecedentes . .	70
4.6. Funciones de pertenencia de los términos lingüísticos consecuentes . .	71
4.7. Diseño del FIS 1	74
4.8. Funciones de membresía FIS 1	74
4.9. Editor de reglas FIS 1	75
4.10. Visor de reglas FIS 1	75
4.11. Diseño del FIS 2	76
4.12. Visor de reglas FIS 1	77
4.13. Superficies de respuesta de FIS 2	80

4.14. Gráficos factoriales de interacción FIS 1	82
4.15. Gráficos factoriales de interacción FIS 2	83

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Métricas de nivel 1 y atributos de desempeño del modelo SCOR . . .	18
2.2. Resumen revisión de literatura	28
2.3. Comparación de técnicas de inteligencia artificial	33
2.4. Aplicaciones de la inferencia difusa en la cadena de suministro	34
3.1. Factores externos e internos en las compras	42
3.2. Características del modelo SCOR	44
3.3. Atributos e indicadores de nivel 1 enfocados en compras de SCOR . .	51
3.4. Términos lingüísticos y números difusos triangulares	54
3.5. Índice de consistencia aleatoria (RI) para (n) criterios	56
3.6. Valores máximos de CR	56
4.1. Asociación de indicadores	61
4.2. Asociación final de indicadores y conversión de cifras	62
4.3. Número de juicios de expertos para FAHP	65
4.4. Máximo valor propio de la matriz de comparación del experto 3 . . .	66

4.5. Consistencia de los juicios	66
4.6. Agrupación de juicios	67
4.7. Medias geométricas y pesos difusos relativos de cada criterio	68
4.8. Pesos relativos promediados y normalizados de los criterios (atributos)	68
4.9. Términos lingüísticos para evaluar los antecedentes.	70
4.10. Términos lingüísticos para evaluar el consecuente	70
4.11. Número de reglas difusas para el modelo FIS de evaluación	72
4.12. Valoración de indicadores de FIS 1	72
4.13. Reglas de inferencia para FIS 1	73
4.14. Resumen del diseño e información de factores - FIS 1	81
4.15. Resumen del diseño e información de factores - FIS 2	83

AGRADECIMIENTOS

Gracias principalmente a Dios por brindarme la oportunidad de vivir esta experiencia que desde el día uno resultó ser enriquecedora en todos los aspectos.

A mi hermosa familia por ser mi motor y a mis grandes amigos por su apoyo incondicional en esta aventura.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Nuevo León, a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y, sobre todo a la Maestría en Logística y Cadena de Suministro por aceptarme y abrirme sus puertas.

A todos los profesores que con sus enseñanzas y conocimientos apoyaron mi desarrollo profesional.

Al Dr. Tomás Eloy Saláis Fierro, mi tutor de tesis, por su confianza, su tiempo, su orientación y motivación durante el desarrollo de la investigación.

A mi comité de tesis, la Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez y el Dr. Giovanni Lizárraga Lizárraga que con sus comentarios ayudaron a construir un mejor trabajo.

A todas las personas bonitas mexicanas y cubanas que tuve la fortuna de conocer y fueron partícipes de este proceso.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por brindarme los recursos durante la realización de los estudios.

¡Gracias México!

RESUMEN

Lorraine Sanchez Jimenez.

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: CONTROL Y SEGUIMIENTO DE INDICADORES DE DESEMPEÑO
DE LA CADENA DE SUMINISTRO.

Número de páginas: 127.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: La medición del desempeño evalúa la efectividad de las estrategias de gestión implementadas en la cadena de suministro, sin embargo, los sistemas de medición tradicionales utilizados para llevar a cabo esta práctica se basan en datos históricos, estáticos e independientes y, son menos eficientes en sus resultados porque no toman en cuenta la variabilidad de los procesos. Por esta razón, este trabajo busca mejorar la toma de decisiones empresariales mediante un sistema de evaluación de desempeño predictivo que permita monitorear el rendimiento de la cadena de suministro. A fin de lograr el objetivo planteado, el desarrollo de la investigación comienza con una revisión de literatura sobre las herramientas utilizadas en la medición del rendimiento de la cadena de suministro con el fin de conformar un modelo híbrido que retroalimente los sistemas de medición utilizados en las empresas y evalúe la efectividad de la gestión. El documento explica el paso a paso de la aplicación del modelo en el área de compras y presenta una guía para el análisis de resultados.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: La tesis propone un sistema de medición de rendimiento predictivo, cíclico y adaptativo para cualquier categoría de la cadena de suministro o giro empresarial que ayude a mejorar la toma de decisiones. El sistema

propuesto este compuesto por un modelo híbrido basado en métricas y atributos del modelo de las operaciones de la cadena de suministro, un proceso analítico jerárquico difuso para realizar análisis de prioridades y obtener pesos de criterios que ayuden a la definición de las reglas de causa y efecto del sistema de inferencia difusa el cual realiza la medición del rendimiento.

Según el comportamiento y los resultados obtenidos, el modelo logra cumplir con el objetivo planteado al realizar con éxito la evaluación del rendimiento del área de compras tomando en cuenta la variabilidad de los procesos, identificando el atributo de rendimiento con mayor impacto, proponiendo una metodología para la definición de reglas difusas y permitiendo el análisis de gráficas de superficie que representan el estado actual de la empresa. Además, facilita la mejora continua de los indicadores de desempeño obteniendo una visión integral sobre las brechas que deben abordarse y como abordarlas.

Firma del asesor: 
Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la cadena de suministro permite diagnosticar la condición actual de los procesos logísticos por medio del control y seguimiento de métricas que detecten áreas de oportunidad para mejora. Los indicadores de desempeño fundamentados en los objetivos estratégicos de las empresas ayudan a garantizar el progreso en la gestión de rendimiento. Entre los principales retos de la cadena de suministro se encuentra aumentar el nivel de servicio y la rentabilidad. Para lograrlo, es necesario el uso de políticas adecuadas, flexibles y adaptables que mediante revisión continua comprueben la efectividad de los procesos actuales frente a los planeados. El principal inconveniente para la realización de esta actividad es la medición de grandes cantidades de indicadores o la inadecuada definición de estos.

En el primer capítulo de este estudio se presenta la importancia de la retroalimentación de los indicadores de desempeño, la adaptación constante requerida de los sistemas de medición ante la variabilidad de los procesos y la gestión de procesos logísticos. Se explica la necesidad del por qué realizar la propuesta indicando los pasos a seguir para la realización del estudio y su estructura.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Ante la globalización y la competitividad actual, las cadenas de suministro están creciendo tanto en longitud como en complejidad y se ven obligadas a mejorar constantemente en pro de añadir valor mediante procesos eficientes que garanticen su permanencia en el mercado (Blackhurst *et al.*, 2005). Por lo tanto, se hace necesario contar con un sistema de medición de desempeño como una herramienta versátil y adaptable.

Hay diferentes pasos para desarrollar un sistema de desempeño para la cadena de suministro: identificar el logro, registrar si se satisfacen las necesidades del cliente, comprender los procesos de negocio, suministrar decisiones objetivas, permitir el progreso, seguir los avances e identificar los cuellos de botella, los residuos, las deficiencias y las oportunidades de mejora (Gunasekaran y Kobu, 2007).

Los criterios de medición deben basarse en objetivos estratégicos, tener una definición clara del propósito y precisar el alcance para centrarse en una adecuada compilación de información y técnicas de cálculo (Ptak y Schragenheim, 2003). Luego de seleccionar los aspectos a verificar, lo siguiente es controlar y medir la información que se desea analizar. Por último, evaluar y obtener resultados para la posterior mejora. La implementación de métricas conlleva a la identificación de niveles de eficiencia, eficacia, economía, calidad de servicios y desempeño de un proyecto (Jhawar *et al.*, 2014). En la medida en que se determine su rendimiento y capture información, aumentara su utilidad (Diez *et al.*, 2012).

Dado lo anterior, las deficiencias en los sistemas de medición de desempeño de la cadena de suministro se presentan por la falta de conexión entre los objetivos estratégicos de las organizaciones y las métricas utilizadas, la ausencia de medidas de vinculación con el valor del cliente, la centralización sesgada en finanzas y la existencia de varias medidas de desempeño conflictivas (Brewer y Speh, 2000).

Otra falencia encontrada, es el exceso de indicadores y la carencia de guías para su desarrollo a distintos grados y procesos, lo cual entorpece el control, seguimiento y evaluación de los fines de la cadena de suministro y sus procesos logísticos implicados (Frazelle, 2001). A menudo las empresas no se dan cuenta que la medición del rendimiento puede abordarse mejor utilizando unas cuantas métricas. Además, falta una clara distinción entre las mediciones a nivel estratégico, táctico y operacional.

Un error muy frecuente es utilizar *Benchmarking* o evaluación comparativa definiendo las mediciones de bienes, servicios, procesos y prácticas de la compañía en comparación con los estándares de competidores y otras empresas líderes que no son logísticamente parecidas o sin considerar el contexto (Christopher, 1992).

Por otra parte, el diseño, el desarrollo y la aplicación del sistema de medición del rendimiento no es una práctica única, sino que debe ser inspeccionada y supervisada continuamente para adaptarse a la variabilidad del entorno competitivo (Beamon, 1999; Bourne *et al.*, 2000). Adicionalmente, los sistemas de medición tradicionales se basan en información histórica, independiente y estática y, son menos eficientes en sus resultados (Lapide, 2010); se fundamentan en acciones correctivas, es decir, encuentran las deficiencias que se produjeron en el pasado y a partir de ese diagnóstico proponen mejoras, sin embargo, no son ideales para medir la variabilidad de los procesos de la cadena de suministro ni para tener en cuenta la volatilidad. Por consiguiente, muchas investigaciones proponen la implantación de sistemas de rendimiento predictivo que prevean los problemas o necesidades futuras anticipando el rendimiento (Stefanovic, 2015), por lo que, es fundamental que una cadena de suministro cuente con un sistema adaptable a sus necesidades y personalizado a su línea de negocio.

En conclusión, establecer un sistema de medición de desempeño sin considerar criterios indispensables, sin optimizar procesos, sin visualizar la cadena de suministro como un todo y sin realizar las retroalimentaciones necesarias a la par de los cambios es claramente una pérdida de tiempo, esfuerzos y recursos que lejos está de

determinar el estado actual de una organización. Por lo tanto, se hace necesaria la implementación de políticas adecuadas, flexibles y adaptables que mediante revisión continua comprueben la efectividad de los procesos actuales frente a los planeados y ayuden a la construcción de planes de acción de mejora.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Mejorar la toma de decisiones empresariales mediante un sistema de evaluación de desempeño predictivo que permita monitorear el rendimiento de la cadena de suministro.

1.3 HIPÓTESIS

Al determinar un sistema de medición de indicadores de desempeño y una forma ideal para evaluarlos mediante un modelo híbrido conformado por los atributos y métricas del Modelo de Referencia de Operaciones de la Cadena de Suministro, un Proceso Analítico Jerárquico Difuso y un Sistema de Inferencia Difusa se puede mejorar la toma de decisiones empresariales minimizando errores de gestión que inciden en el rendimiento de la cadena de suministro.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia de este estudio se ve reflejada en lo descrito por Salazar *et al.* (2012) al decir que, gracias a la conjunción de los objetivos y las buenas prácticas en las distintas áreas, la cadena de suministro logra ser competitiva en los mercados actuales previa medición del desempeño a través del margen de beneficio, la calidad de productos, información y servicios, los plazos de entrega, la satisfacción del cliente,

entre otros indicadores. Medir es un tema relevante, pero medir de manera ideal es crucial.

Conforme con el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). En México existen más de 4.1 millones de unidades económicas de las cuales un 99.8 % está conformado por Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) que generan un 72 % de empleos en el país y contribuyen un 52 % del Producto Interno Bruto (PIB). Actualmente estas unidades económicas se están fortaleciendo, pero diferentes aspectos provocan su liquidación en menos de cinco años. Se estima que 70 % de estas empresas cierran en menos de este tiempo. Uno de los grandes desafíos de estas empresas en México es la falta de formalización (Díaz *et al.*, 2013) en otros términos; la carencia de instructivos, la poca proyección, la ausencia de programas y de una composición o estructura ordenada.

La mayoría de los autores proponen modelos estratégicos estructurados para PyMEs que terminan siendo inadecuados debido a su informalidad. Otros escritores plantean estructuras logísticas enfocadas en sus particularidades, sin embargo, el flujo de información interna no es tomado en cuenta a lo largo de la cadena debilitando las relaciones entre las áreas.

Según las cifras anteriores, las PyMEs son la base de la economía de mercado en el desarrollo del país (Ayyagari y Demirguc-Kunt, 2007). Debido a la importancia de este tipo de empresas es esencial medir su desempeño y conocer las variables que influyen en su rentabilidad que les permitiría permanecer y consolidarse en el mercado. Chopra y Meindl (2013) afirman que menos del 10 % de las organizaciones operan con un sistema de medición del rendimiento de la cadena de suministro formal y las compañías que si cuentan con un programa de medición, en la mayoría de los casos, cambian las medidas y/o los objetivos a mitad de camino anulando en esencia el impacto de las métricas.

Jurburg y Tanco (2012), comparten que: a pesar de la cantidad excesiva de indicadores que existen y se podrían calcular, la clave es medir solo indicadores

que realmente importen, analizando el rendimiento del equilibrio en la cadena de suministro evitando caer en el proceso de averiguar qué aspectos medir o tratando de medir todo. Por lo cual, es relevante que los tomadores de decisiones estén alerta a los indicios, actividades o resultados de dichas mediciones para desarrollar los ajustes y mejoras necesarias.

En cuanto a la medición de procesos, Kaplan y Norton (1996) comentan que los sistemas de control operativo y de gestión están contruidos con base en medidas y objetivos financieros, esta percepción no ha cambiado, actualmente las métricas económicas siguen dominando con enfoque sobre costos. Las mediciones deben garantizar información actual no solo datos financieros. Medir es comparar magnitudes con patrones definidos para eliminar la incertidumbre o reducirla, escogiendo las variables críticas para el éxito de la medición (Beltrán, 2012).

El estado actual de una empresa se puede evaluar mediante la implementación de indicadores de desempeño; identificando con objetividad como las etapas, procesos o actividades de la cadena de suministro están favoreciendo o afectando el logro y alcance de los objetivos estratégicos. Para lograr el eficiente rendimiento de la cadena de suministro es necesario realizar control y seguimiento a las métricas establecidas asegurándose que estas se encuentren alineadas y balanceadas con el estado actual de la empresa. El sistema de medición, los responsables y la periodicidad en las evaluaciones deben estar claramente definidos para poder lograr el éxito en la retroalimentación.

1.5 METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se lleva a cabo a partir de la comprensión sistemática del problema, el cumplimiento del objetivo y la integración de la metodología. La Figura 1.1 muestra las etapas secuenciales de la investigación: inicialmente, se realiza un fundamento teórico revisando la literatura sobre elementos que sirven de marco

de referencia; información concerniente a indicadores de desempeño aplicados en la cadena de suministro, las herramientas de medición y los sistemas de evaluación utilizados. Luego, con base al análisis de lo encontrado en el estado del arte se fundamenta la selección de una o varias herramientas para ejecutar la propuesta. La siguiente etapa consiste en el establecimiento de la metodología y el diseño del modelo de sistema de medición. Por último, aplicar el modelo, verificar, analizar y difundir resultados.



FIGURA 1.1: Metodología de la investigación

1.6 ESTRUCTURA DE TESIS

El presente trabajo de estudio está segmentado en los siguientes capítulos: En el primer capítulo se presenta la introducción y generalidades de la tesis; da a conocer la problemática en estudio y el objetivo propuesto. El capítulo dos aborda los antecedentes; por medio de revisión de literatura se analizan y comparan casos similares de estudio, adicionalmente, se abordan conceptos asociados a indicadores de desempeño, evaluación de indicadores y métodos de solución al problema. El tercer capítulo corresponde a la metodología que contiene las etapas del desarrollo de la tesis. En el cuarto capítulo denominado resultados se hace un análisis con los datos obtenidos mediante la aplicación de la propuesta. Por último, en el quinto capítulo se presentan las conclusiones que revela la investigación, el desarrollo y la validación de la propuesta además de incluir las contribuciones y trabajo futuro.

1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Debido a la problemática encontrada en la estructura, composición y enfoque de los sistemas de medición del rendimiento de la cadena de suministro tradicionales y según la falta de formalización de estos. Este estudio se orienta en proponer un sistema de medición de desempeño predictivo que se anticipe a los sucesos y ayude a las compañías a determinar si los indicadores utilizados y el estado de funcionamiento de las operaciones se están llevando a cabo de manera correcta. La propuesta a desarrollar permite la identificación de áreas de oportunidad analizando posibles acciones de mejora teniendo en cuenta cada proceso de la cadena de suministro con indicadores apropiados y sobre todo manteniendo un sistema continuo de evaluación para el aumento del rendimiento.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

Ante la competitividad actual, las empresas optan por realizar mejoras continuas en sus procesos y servicios garantizando buenos resultados utilizando menos recursos. Los líderes de las organizaciones buscan hallar alternativas de solución que generen impactos positivos en los procesos logísticos de la cadena de suministro haciendo énfasis en la medición del desempeño, controlando correctamente los índices establecidos y teniendo la adaptabilidad necesaria para acoger nuevos índices que les permita posesionarse en el mercado.

Este capítulo contiene una fundamentación teórica y un panorama sobre el estado del arte en relación con el tema de investigación; conceptos básicos sobre indicadores de desempeño, la evaluación de estos, las herramientas de medición utilizadas para calcular el rendimiento de la cadena de suministro y sus aplicaciones.

2.1 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

La gestión de la cadena de suministro se ha convertido en un tema crítico para cualquier empresa que busque crecimiento y rentabilidad global (Lakri *et al.*, 2015). La cadena de suministro considera la integración de un conjunto de actividades

funcionales repetitivas a lo largo de la red que incluyen procesos de negocio, personas, tecnología e infraestructura para la transformación de materia prima en productos y servicios terminados añadiendo valor al consumidor (Ballou, 2004). Las actividades logísticas interrelacionan las tareas en la cadena de suministro; por lo tanto, la logística planea, efectúa e inspecciona eficiente y eficazmente la gestión de bienes, servicios e información relacionada entre el punto de origen y el punto de consumo (Kozlenkova *et al.*, 2015). Un esquema representativo de la relación entre la gestión de la cadena de suministro y la logística se muestra en la Figura 2.1.

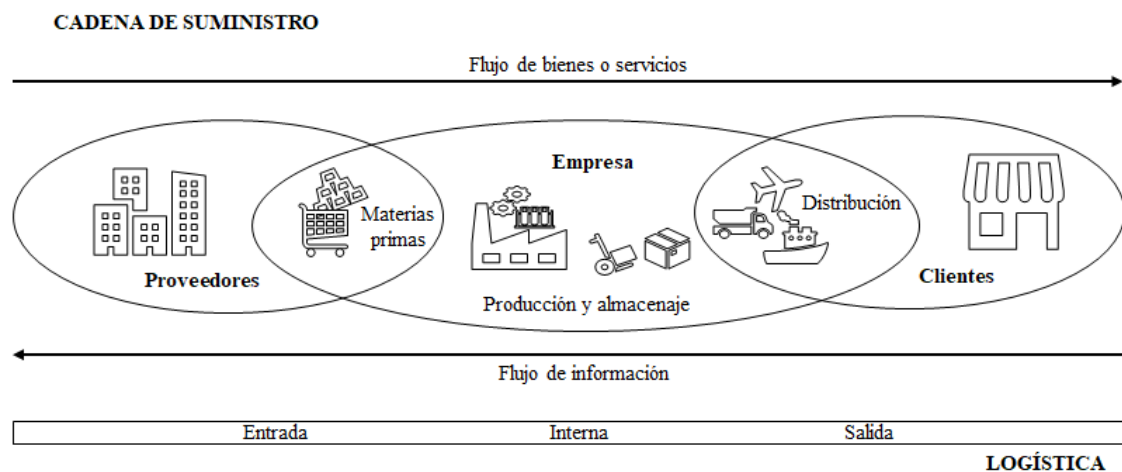


FIGURA 2.1: Integración de la cadena de suministro y la logística

Fuente: Correa y Gómez (2009)

La forma estructural de la cadena de suministro tiene doble efecto: reducir costos y crear valor añadido con una gestión conducida por inspecciones habituales de la operación logística para gestionar el flujo de materiales, información y finanzas (García *et al.*, 2014). Además, dentro de su administración se consideran agentes internos y externos buscando abarcar toda la cadena de proveedores, los procesos productivos y el sistema de distribución en el sentido vertical, incorporándose a ello, la aplicación de tecnologías de información, las comunicaciones y el surgimiento de nuevos sistemas de gestión (Taylor y Guerrero, 2012).

El diseño de las cadenas de suministro debe contemplar en su modelo estruc-

tural las exigencias del mercado para garantizar altos estándares de calidad y lograr mayor competitividad. Hoy en día las empresas tienen menos límites debido a la globalización, la subcontratación, las tecnologías de la información y las necesidades incrementales de integración (David y Shalle, 2014). Por consiguiente, se hace indispensable conocer las cantidades, el manejo y el aprovechamiento de recursos necesarios para el desarrollo de operaciones que permitan el logro de los objetivos estratégicos de las organizaciones.

Heredia (2001) manifiesta que la importancia de la eficiencia, eficacia y la complejidad en las cadenas de suministro ha impuesto el cálculo, evaluación, comparación e implementación de sistemas de medición de desempeño que a través de indicadores cuantifican el grado de estos factores. La medición del desempeño puede definirse como el proceso de evaluación cuantitativa y/o cualitativa de la eficacia y la eficiencia de una actividad o de un proceso empresarial (Lima-Junior y Carpinetti, 2017). Un sistema de medición de desempeño según Handfield y Nichols (2002) debe permitir a sus responsables entender su funcionamiento, contribuir sobre su comportamiento y adquirir información sobre su rendimiento. Puede ser considerado mediante tres niveles distintos (Figura 2.2): de forma individual, como conjunto de indicadores o como la relación entre el sistema de medición y el entorno en el que opera. Este marco se adapta a las características o necesidades de las organizaciones.

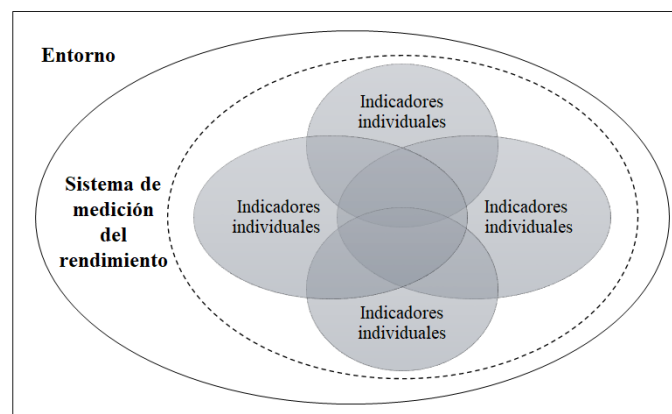


FIGURA 2.2: Marco para el diseño de sistemas de medición del rendimiento

Fuente: Neely *et al.* (1995)

Según Mora (2014) los principales objetivos de los indicadores logísticos se encaminan a identificar problemas operativos y realizar acciones de mejora, medir la fracción de competitividad frente a competidores nacionales e internacional, aumentar el nivel de servicio mediante la disminución del tiempo de entrega y la optimización de los procesos, aprovechar los recursos y activos para aumentar la productividad y efectividad en las operaciones, reducir costos y compararse con empresas del sector en el ámbito local y mundial.

Zuluaga *et al.* (2014) mencionan que «los indicadores de desempeño logístico pueden ser clasificados en ocho procesos que envuelven la cadena de suministro: Compras o abastecimiento, Gestión de inventario, Gestión de almacenes (recepción, almacenamiento y preparación de pedidos), Producción, Transporte y distribución, Gestión de pedidos, Servicio al cliente y Procesos de apoyo (recursos humanos y tecnologías de información)». Por medio de la Figura 2.3 los mismos autores muestran la estructura de los procesos e indicadores y su relación con la cadena de suministro.

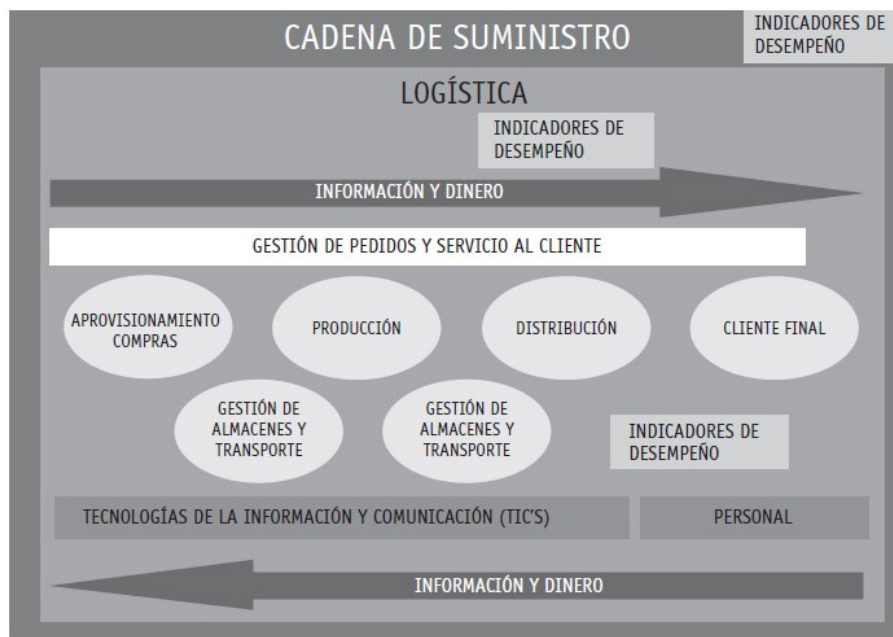


FIGURA 2.3: Indicadores de desempeño en la cadena de suministro y logística

Fuente: Zuluaga *et al.* (2014)

Los indicadores de desempeño son utilizados para calcular aspectos como la

eficacia de las estrategias aplicadas, la marcha en el horizonte financiero, determinar calidad y volumen de servicios ofrecidos y la comparación del rendimiento con otros estándares (Ponjuan Dante, 1998). Es esencial definir el ámbito de la evaluación del rendimiento al momento de efectuar un sistema de medición, tener claro ¿Qué medir? ¿Cómo hacerlo? y sobre todo conocer las prioridades de medición. También, es importante considerar los recursos disponibles para efectuar la práctica con éxito. Además, Poluha (2007) complementa lo anterior expresando que los indicadores de desempeño en la cadena de suministro tienen que cumplir con ciertos aspectos como: facilidad de definición, aplicación y comprensión de tal manera que permitan la toma de decisiones. Al evaluar el desempeño se obtienen índices con los cuales se analizan los procesos y se conoce el estado actual: satisfactorio o con área de oportunidad. Es un error creer que contar con indicadores es garantía de calidad; evaluarlos y realizar mejoras constantes si pudiera llegar a serlo.

Sin embargo, conforme al estado del arte, ese diagnóstico que se realiza por medio de la medición del desempeño durante muchos años giraba en torno al ámbito financiero, sin tener en cuenta aspectos logísticos o las estrategias actuales de medición que impactan positivamente a la cadena de suministro. A finales de los años 80, los investigadores anunciaron su inconformidad con los sistemas de medición del rendimiento tradicionales enfocados en costos, identificaron sus principales deficiencias y mediaron por un cambio estructural. Entre las principales falencias encontraron el fomento del cortoplacismo, la optimización local, la minimización de la varianza en lugar de la mejora continua, la carencia del enfoque estratégico y la no inclusión de factores externos (Unahabhokha *et al.*, 2007). En las décadas posteriores, se desarrollaron nuevos marcos de medición del rendimiento con una visión más equilibrada y que incluían criterios múltiples (Gunasekaran y Kobu, 2007):

- Perspectiva del cuadro de mando integral (financiero, cliente, proceso empresarial interno y el aprendizaje y el crecimiento).
- Los componentes de las medidas de rendimiento (recursos, productos y flexi-

bilidad).

- Ubicación de las medidas en los enlaces de la cadena de suministro (planear, originar, hacer y entregar).
- Niveles de toma de decisiones (estratégico, táctico y operacional).
- Naturaleza de las medidas (financieras y no financieras).
- Base de las medidas (cuantitativa y no cuantitativa).
- Medidas tradicionales frente a medidas modernas (basadas en la función o el valor con base).

Con estos marcos se empezaron a tomar en cuenta criterios importantes, pero siguen siendo implementados en sistemas de medición usuales que se fundamentan de datos históricos, independientes y estáticos (Lapide, 2010); estableciendo principalmente acciones correctivas, es decir, a partir del diagnóstico encontrado sobre deficiencias pasadas propone mejoras. Aunque no es una mala práctica, en la actualidad no se considera completa, en vista que, no mide la variabilidad de los procesos de la cadena de suministro. Para superar este inconveniente, se proponen sistemas de medición de rendimiento predictivo donde los responsables utilizan las medidas tanto para controlar el rendimiento pasado como para estimular la acción futura anticipándose a lo que pueda ocurrir (Neely *et al.*, 1995).

Por otra parte, Lima-Junior y Carpinetti (2020) detallaron que hoy en día las mediciones enfocadas en el costo, el cliente y los procesos internos son las más populares. No obstante, en la literatura se encuentran muchos estudios sobre evaluaciones dirigidas a la agilidad, capacidad de respuesta, flexibilidad y sostenibilidad de la cadena de suministro (Lima-Junior y Carpinetti, 2017). En la misma investigación anterior, los autores proponen un marco conceptual completo sobre factores utilizados para analizar y caracterizar las mediciones en la cadena de suministro (Figura 2.4). Dentro de su caracterización de información tuvieron en cuenta estudios cualitativos o modelos conceptuales y modelos cuantitativos.

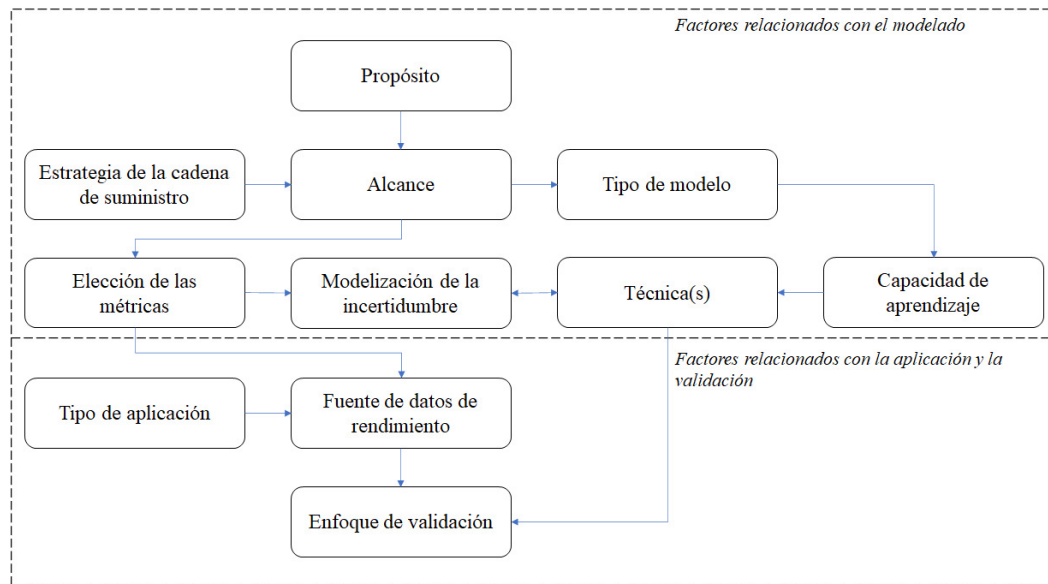


FIGURA 2.4: Marco de análisis para la evaluación del desempeño de la CS

Fuente: Lima-Junior y Carpinetti (2017)

La caracterización y los resultados son presentados en la Figura 2.5. Los aspectos predominantes en el análisis realizado fueron las mediciones sobre lagunas de rendimiento basadas en objetivos, el estudio de la cadena de suministro de forma genérica, la elección de métricas usando como guía otros estudios, la utilización de la comparación por pares y la toma de decisiones multicriterio. Identificaron que las técnicas más utilizadas para medir el rendimiento son el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), el Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés), la Lógica Difusa y los Sistemas Adaptativos de Inferencia Neuro-Difusa (ANFIS, por sus siglas en inglés). Por otro lado, los sectores donde más se implementan sistemas de medición son automotriz, alimentos, electrónica, química y servicios y por último la fuente de datos más empleada es la basada en juicio de expertos. Estos hallazgos son referentes para el diseño del modelo a proponer.

En conclusión, en un contexto global, el uso de métricas admite el seguimiento y control sobre la ejecución de actividades identificando deficiencias en las operaciones enfocándose en la disminución de tiempo, costos y errores fortaleciendo la confiabilidad y disponibilidad de insumos.

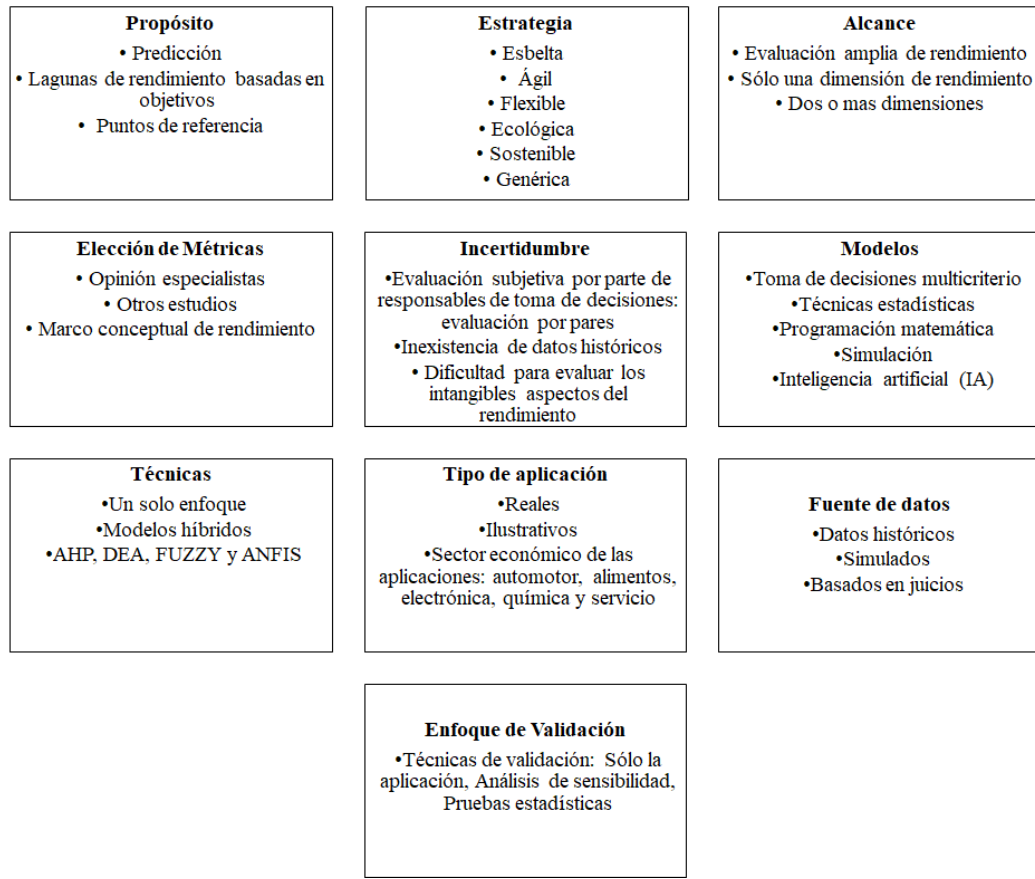


FIGURA 2.5: Resultados del marco para la evaluación del desempeño de la CS

2.1.1 INDICADORES EN LA CADENA DE SUMINISTRO

El consejo de la cadena de suministro presenta indicadores de rendimiento empleados en el Modelo de Referencia de Operaciones de la Cadena de Suministro (SCOR, por sus siglas en inglés), estos, son considerados generales para la medición del comportamiento de cadenas de suministro simples o complejas.

El modelo consta de cuatro elementos principales: rendimiento, procesos, mejores prácticas y talento humano. La sección de rendimiento se centra en la comprensión de los resultados de la cadena de suministro y constituye dos tipos de componentes: atributos que agrupan métricas y expresan estrategias específicas para llegar a un objetivo y métricas las cuales son estándar para cuantificar el desempeño de un proceso, es decir, miden la capacidad de alcanzar esas direcciones estratégicas.

SCOR reconoce cinco atributos de rendimientos, los tres primeros definidos a continuación son considerados centrados en el cliente y los dos últimos tienen un enfoque interno:

- Confiabilidad (*Reliability*): capacidad de realizar las tareas según lo requerido, se refiere a la previsibilidad. Tiene en cuenta factores de entrega como tiempo, cantidad y calidad adecuada.
- Capacidad de respuesta (*Responsiveness*): hace referencia a la velocidad que tiene la cadena de suministro para realizar tareas.
- Agilidad (*Agility*): capacidad para responder a cambios por factores externos.
- Costos (*Cost*): se refiere a los costos operativos de la cadena de suministro.
- Gestión de activos (*Assets*): garantiza la efectividad organizacional con la que se utilizan los recursos y activos con el fin de lograr satisfacer la demanda.

En asociación con los atributos se encuentran las métricas estratégicas de nivel 1 las cuales calculan si una organización tiene éxito en el logro de su posicionamiento deseado dentro del espacio competitivo del mercado. Las métricas de diagnóstico se reconocen en tres niveles predefinidos:

- Métricas del nivel 1: realiza una evaluación del estado actual de la cadena de suministro. Estas métricas son también conocidas como estratégicas o indicadores clave de desempeño (KPI's, por sus siglas en inglés). En este nivel se establecen mediciones relacionadas con objetivos realistas para apoyar la dirección de las estrategias.
- Métricas del nivel 2: sirven como diagnóstico para las métricas del nivel 1, identifican la causa de una brecha en el rendimiento.
- Métricas del nivel 3: sirven como diagnóstico para las métricas de nivel 2.

El análisis del rendimiento de los niveles 1 a 3 se denomina descomposición de las métricas, diagnóstico del desempeño o análisis de causa raíz. Este es el primer paso para identificar los procesos que necesitan más investigación. La Tabla 2.1 relaciona las métricas estratégicas del nivel 1 con sus correspondientes atributos de rendimiento contemplados en el modelo SCOR.

TABLA 2.1: Métricas de nivel 1 y atributos de desempeño del modelo SCOR

Nivel 1 Métrica estratégica	Atributo de rendimiento				
	Enfoque externo			Enfoque interno	
	Confiabilidad	Capacidad de respuesta	Agilidad	Costo	Gestión de activos
Cumplimiento perfecto de los pedidos					
Duración del ciclo de ejecución de pedidos					
Adaptabilidad de la cadena de suministro superior					
Adaptabilidad de la cadena de suministro inferior					
Valor total en riesgo					
Costos totales de gestión de la cadena de suministro					
Costos de los productos vendidos					
Duración del ciclo de caja					
Rendimiento activos fijos de la cadena de suministro					
Rendimiento del capital circulante					

Fuente: Supply (2017)

2.2 RETOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES

La complejidad de la cadena de suministro se hace cada vez más difícil de administrar y las organizaciones que cuenten con sistemas de medición robustos con gran cantidad de elementos pueden llegar a ser vulnerables. Conocer y utilizar un sistema dinámico y complejo no necesariamente conduce a la previsión del comportamiento del sistema y las condiciones externas cambiantes.

En los procesos de la cadena de suministros se requieren herramientas cuantitativas de fácil y práctica aplicación donde se establezca una rápida conexión con la gestión y la alta gerencia que apunte a la excelencia operativa de la organización (Butilca y IlieŞ, 2011). Por ende es fundamental el apoyo de la dirección para este

tipo de prácticas.

Kaplan y Norton (1996) comentan que los sistemas de control operativo y de gestión están contruidos con base en medidas y objetivos financieros, sin brindarle mucha importancia a las medidas no financieras que con un buen manejo en los procesos lograrían grandes avances y beneficios. Por otra parte, Evans y Lindsay (2008) exponen sobre las evaluaciones centradas en eventos pasados sin valor para las decisiones, las mediciones deben garantizar datos actuales involucrando todo tipo de datos no solo económicos. El papel del flujo de información en este proceso es esencial, los datos compartidos entre eslabones de la cadena deben ser establecidos con anterioridad teniendo en cuenta ciertos atributos presentados en la Figura 2.6, sin embargo, en la mayoría de los casos las empresas no poseen datos históricos o estructurados.

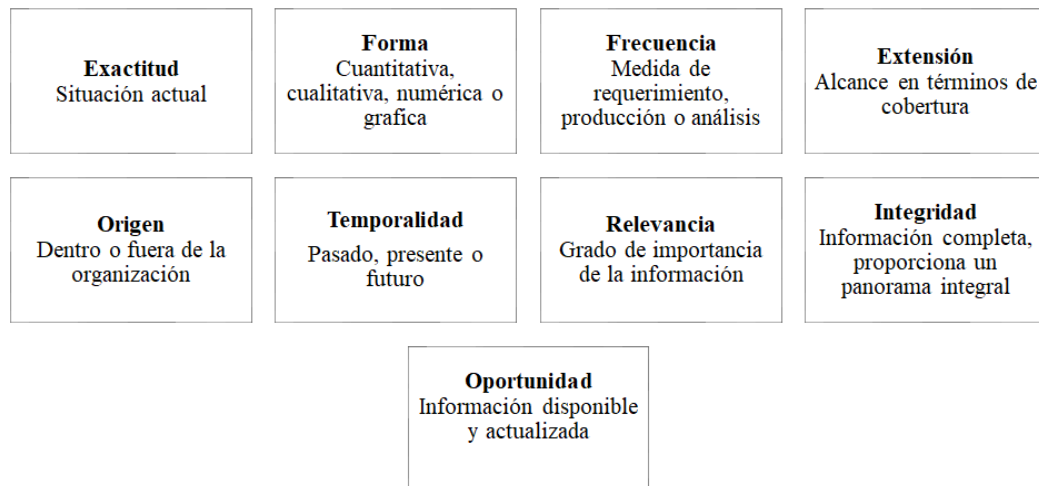


FIGURA 2.6: Atributos de la información

Fuente: Mora (2014)

Hugos (2003) propone como primera medida identificar el sector del mercado de la actividad económica como estudio de comportamiento para el correcto desempeño de la información recolectada y entregada por los indicadores.

La sostenibilidad y capacidad de recuperación a nivel operacional se ha convertido recientemente en uno de los retos, desafíos y necesidad para las cadenas de

suministro de las empresas a fin de permanecer en el duro y cambiante entorno competitivo del mercado. Un obstáculo para la aceptación de prácticas sostenibles es la imposibilidad de medir el desempeño de la cadena, el flujo de información y la estructura organizativa asociada, debido a la deficiente formulación de indicadores. Aun así, este tema es de alta relevancia en este tiempo y es esencial identificar los aspectos de la cadena de suministro sostenible y clasificar estos indicadores (Ahi y Searcy, 2014).

Adicionalmente, las herramientas convencionales usualmente utilizadas para medir el desempeño no contemplan la incertidumbre, ni la existencia de brechas de información, los grandes volúmenes de datos, entre otros aspectos indispensables, por lo cual, se está recurriendo a técnicas de inteligencia artificial que ayudan a predecir escenarios y generar información clave para procesos óptimos que ayuden a satisfacer necesidades actuales.

2.3 HERRAMIENTAS PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO

Las mediciones de la cadena de suministro controlan el rendimiento, las evaluaciones equívocas afectan directamente las operaciones claves de cualquier empresa y generan pérdidas de ingresos provocando a su vez un crecimiento deficiente a largo plazo. Por consiguiente, es vital utilizar herramientas para medir el desempeño de la cadena de suministro.

En la literatura se pueden encontrar sistemas, marcos, modelos y técnicas para la medición. La determinación de cual utilizar varía de acuerdo con el interés y el beneficio que deseen obtener las organizaciones. Según el estudio de revisión de literatura sobre esta temática realizado por Jagan *et al.* (2019), el cual se centró en investigaciones publicadas entre los años 1998 a 2018, caracteriza las herramientas de medición de desempeño en la cadena de suministro como enfoques y técnicas, concluyeron que el Cuadro de Mando Integral (BSC, por sus siglas en inglés) fue el

modelo más utilizado esos años y el AHP la técnica con mayor uso. Por otro lado, Beamon (1998) los clasificó como modelos. La Figura 2.7 muestra el resumen de los hallazgos de estas dos investigaciones:

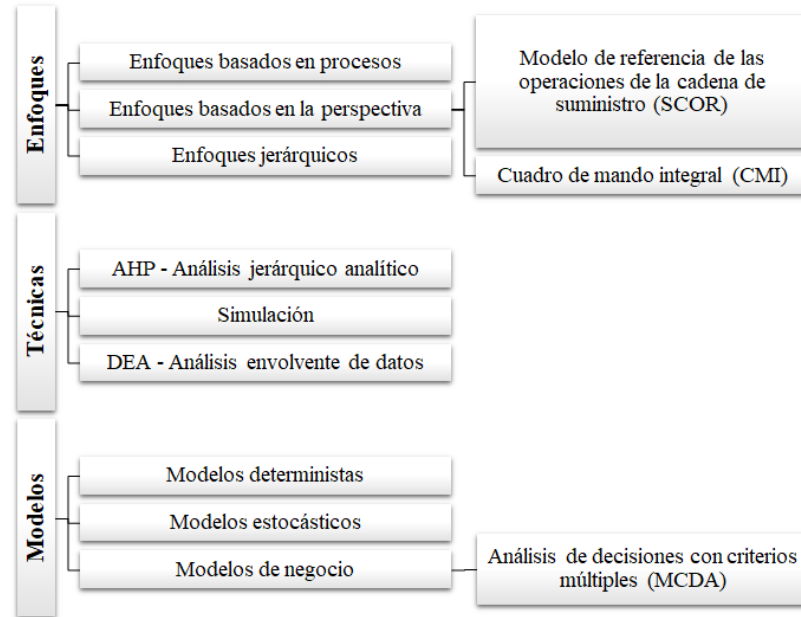


FIGURA 2.7: Herramientas para evaluar el desempeño

Fuente: Jagan *et al.* (2019); Beamon (1998)

2.3.1 ENFOQUES

Los autores Jagan *et al.* (2019) han seguido un procedimiento sistemático de revisión de literatura sobre este tema, identificando las principales tendencias en el campo de la medición del rendimiento de la cadena de suministro. Estos sistemas los clasifican como enfoques basados en la perspectiva, proceso y jerarquía:

2.3.1.1 ENFOQUES BASADOS EN PROCESOS

La gestión de la cadena de suministro es la integración de procesos y actividades involucradas desde el proveedor hasta el cliente final. Muchos investigadores han

considerado el proceso operativo clave de la cadena de suministro para desarrollar el marco de medición del desempeño (Jagan *et al.*, 2019). El modelo de gestión basado en procesos se sostiene en el cumplimiento de la misión de las organizaciones orientando las actividades necesarias hacia la satisfacción de los actores principales de la cadena: clientes, proveedores, empleados, accionista y mercado consumidor en general.

2.3.1.2 ENFOQUES BASADOS EN PERSPECTIVAS

Fue desarrollado por Otto y Kotzab (2003) considerando que un conjunto particular de objetivos sigue perspectivas que en consecuencia conducen a un grupo de medidas de rendimiento. En su momento, los autores del modelo sugirieron seis disciplinas que ayudarán al desarrollo de la gestión de la cadena de suministro: dinámica de sistemas, investigación operativa/tecnología de la información, logística, comercialización, organización y estrategia. Gracias a este modelo se estableció un marco diferenciado de métricas delimitadas por perspectivas comprensibles, cada una de ellas con su propia noción de una cadena de suministro, sus problemas, soluciones y sus métricas de rendimiento. Este enfoque reúne las medidas de rendimiento genéricas y también proporciona la interrelación entre las mismas.

Jagan *et al.* (2019) identificaron que se han considerado dos modelos de perspectiva principales: modelos basados en el cuadro de mando integral y modelos basados en referencias de operaciones de la cadena de suministro:

- BSC: el cuadro de mando integral proporciona información detallada sobre las operaciones centrales. Es un sistema de información ejecutivo que monitorea el desempeño relacionando las estrategias con los objetivos medidos a través indicadores ligados a planes de acción focalizados para crear valor (Brewer y Speh, 2000; Amo, 2010). El enfoque de este modelo utiliza los aspectos relacionados en la Figura 2.8 para medir el desempeño de la cadena de suministro. Es

usual que las compañías que usan cuadros de mando se enfoquen en indicadores financieros.

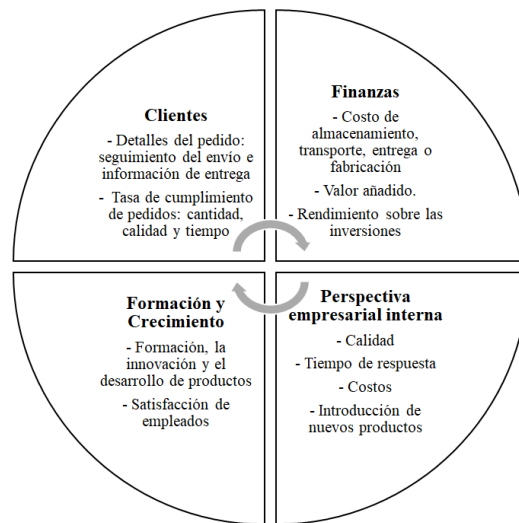


FIGURA 2.8: Perspectiva BSC

Fuente: Chavan (2009)

- o SCOR: es definido como estándar por su amplia utilización, su estructura permite unir etapas de procesos logísticos, de reingeniería, indicadores de rendimiento, realizar evaluación comparativo, mejores prácticas y tecnologías dentro de la cadena de suministro, lo cual otorga una mejora en la gestión y en la relación de los actores (Supply, 2017).

El modelo permite describir las actividades de negocio necesarias para satisfacer la demanda de un cliente. Está organizado en torno a cinco procesos primarios de gestión: planificar (*plan*), aprovisionamiento (*source*), manufactura (*make*), entregar (*deliver*) y devolver (*return*). Estos procesos integrados ofrecen una visión clara de principio a fin de la cadena de suministros y apoya optimizaciones internas y externas. Se utiliza para describir cadenas de suministro simples o complejas utilizando un conjunto común de definiciones, como resultado se pueden vincular distintas industrias para describir la profundidad y amplitud de prácticamente cualquier cadena de suministro.

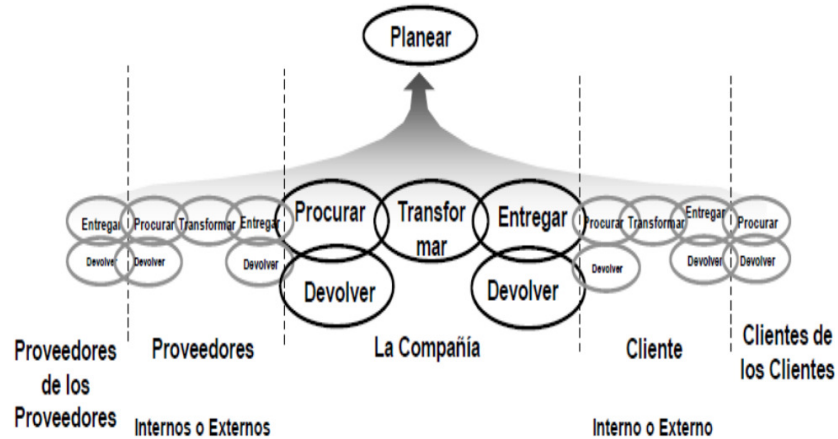


FIGURA 2.9: Modelo SCOR

Fuente: Supply (2017)

2.3.1.3 ENFOQUES BASADOS EN JERARQUIA

Jagan *et al.* (2019) comparten que los modelos basados en la jerarquía son útiles para medir el rendimiento de una cadena de suministro en diferentes niveles jerárquicos. Los tomadores de decisiones requieren las medidas correctas en el momento adecuado para cada nivel: estratégico, táctico y operativo de la cadena de suministro.

2.3.2 TÉCNICAS DE DESARROLLO Y EVALUACIÓN

Los sistemas de medición del rendimiento de la cadena de suministro también se han clasificado sobre la base de las técnicas adoptadas con fines de desarrollo y evaluación:

- AHP: desarrollado por Thomas L. Saaty proporciona una forma de clasificar las alternativas de un problema derivando prioridades. Este proceso construye un problema de toma de decisiones en varias jerarquías como meta, criterios, subcriterios y alternativas de decisión. La técnica de AHP realiza comparacio-

nes por pares para medir la importancia relativa de los elementos en cada nivel de la jerarquía y evalúa las alternativas en el nivel más bajo de la jerarquía para tomar la mejor decisión entre múltiples opciones. Adicionalmente, facilita a los responsables de la toma de decisiones una forma de transformar los juicios subjetivos en medidas objetivas. Debido a su simplicidad matemática y flexibilidad, ha sido una herramienta de decisión favorita para la investigación en muchos campos como la ingeniería, la alimentación, los negocios, la ecología, la salud y el gobierno (Sipahi y Timor, 2010).

- DEA: técnica basada en programación matemática para evaluar el rendimiento relativo de las organizaciones. Si bien las principales aplicaciones han sido en la evaluación de empresas sin fines de lucro, la técnica puede aplicarse con éxito a otras situaciones como el análisis de la relación costo-beneficio y la toma de decisiones con criterios múltiples (Santos *et al.*, 2013). Es una herramienta para identificar las mejores prácticas cuando existen múltiples métricas o medidas de rendimiento. Aunque posee una fuerte teoría de la producción en la economía, el instrumento se utiliza también para la evaluación comparativa en la gestión de las operaciones donde se selecciona un conjunto de medidas para evaluar el rendimiento de operaciones de fabricación y servicio (Zhu, 2020).
- Simulación: es una técnica que brinda apoyo a la toma de decisiones ya que proporciona una aproximación de un comportamiento que puede ocurrir bajo ciertas condiciones que afecten al sistema. Su utilización sirve para reducir riesgos y costos (en los que se incurriría) al no tomar la decisión adecuada. La simulación facilita la gestión de una cadena de suministro; crea un modelo de un sistema complejo e incluye variables aleatorias. Su principal ventaja radica en las distintas aplicaciones que se le puede dar, principalmente permite estudiar cómo se ve afectado todo el sistema ante pequeños y grandes cambios sin tener que implementarlos realmente (AbuKhoussa *et al.*, 2014).

2.3.3 MODELOS PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE CADENAS DE SUMINISTRO

El enfoque de modelación está impulsado por la naturaleza de los insumos y el objetivo del estudio. En general, existen modelos para el análisis y diseño de una cadena de suministro: determinísticos, estocásticos y de negocios. En los modelos determinísticos las variables son conocidas y especificadas. En los modelos estocásticos al menos una de las variables es desconocida y supone que sigue una distribución de probabilidad particular. Por último, los modelos de negocios integran múltiples y diferentes indicadores de desempeño en un sistema de medición. Los más conocidos por su grado de utilización e importancia según el estado del arte son BSC, SCOR y DEA (definidos anteriormente) adicionalmente, se incluye la metodología de análisis multicriterio (Beamon, 1998):

- Análisis multicriterio (MCDA, por sus siglas en inglés): describe procesos que evalúan elementos cuantitativos y cualitativos de forma simultánea considerando factores que pueden resultar conflictivos o de análisis de decisiones que implican dos o más atributos. Su objetivo general es ayudar a un decisor a elegir la mejor alternativa entre una serie de opciones en un entorno de posiciones contradictorias y en competencia. En los últimos años se han propuesto varios métodos para abordar los problemas del MCDA: los métodos de función de valor los cuales sintetizan las evaluaciones del rendimiento de las alternativas en función de criterios individuales junto con información entre criterios que refleja su importancia relativa para dar una evaluación general de cada opción que ayude a la toma de decisiones. Métodos de objetivos y puntos de referencia que adopta decisiones y especifica algunos objetivos que deben alcanzarse. Y, métodos de clasificación que hacen una comparación por pares o global entre las alternativas que tienen distintos rangos de valor (Belton y Stewart, 2002).

2.3.4 ANÁLISIS ACTUAL DEL USO DE HERRAMIENTAS

Partiendo del diagnóstico de información inicial encontrado en el estado del arte presentado anteriormente. Se realiza una nueva revisión sistemática de literatura basada en herramientas, técnicas de inteligencia artificial y modelos híbridos utilizados para evaluar la cadena de suministro con la finalidad de conformar un modelo que permita realizar retroalimentación a los sistemas de medición del rendimiento utilizados actualmente en las empresas. La metodología de revisión de literatura y los criterios considerados en la búsqueda se relacionan en la Figura 2.10.

Colección de artículos	Objetivo de la búsqueda: herramientas para medir el desempeño de la cadena de suministro
	Bases de datos: Elsevier, Emerald, Springer, Taylor & Francis, IOPscience, IEEE y Wiley
	Palabras claves para la búsqueda: "Measurement", "Performance", "Measures", "Systems supply chain"
	Criterios: artículos publicados entre los años 2015 a 2021 en inglés y que proporcionen un sistema de gestión
	Artículos identificados por medio del título
	Suprimir artículos repetidos y no relevantes por medio de la lectura del resumen
	33 artículos incluidos en el análisis
	Clasificación de artículos basado en: herramientas, modelos, técnicas de inteligencia artificial y giro económico.
	Revisión final y análisis de resultados

FIGURA 2.10: Metodología de revisión de literatura

El panorama identificado en la revisión muestra el uso de herramientas para la medición de la cadena de suministro, lo cual argumenta la pertinencia de la realización de este proyecto evidenciando el gran interés de las empresas e investigadores por el tema. Además, se observa que las evaluaciones son realizadas en distintos giros empresariales y que en su mayoría son implementadas en el área de fabricación o manufactura, para la evaluación y selección de proveedores, en casos ilustrativos o en estudios de investigación donde proponen nuevos sistemas de medición que superan limitaciones e inconvenientes.

Los 33 artículos incluidos se presentan en la Tabla 2.2 donde los números del 1 al 17 corresponden a: **1:**AHP, **2:**DEA, **3:**Delphi, **4:**Laboratorio de Ensayo y Evaluación de Decisiones (DEMATEL), **5:**Simulación, **6:**Modelos de Ecuaciones Estructurales

turales (SEM), **7**:BSC, **8**:SCOR, **9**:Redes Neuronales Artificiales (ANN), **10**:ANFIS, **11**:Sistema de Inferencia Difusa (FIS), **12**:Proceso Analítico Jerárquico Difuso (FAHP), **13**:Proceso de Red Analítica Difusa (FANP), **14**:Despliegue de la Función de Calidad con Lógica Difusa (FQFD), **15**: DEMATEL y ANP con Lógica difusa (FDANP), **16**:Técnica de Ordenación del Rendimiento por Similitud a la Solución Ideal con Lógica Difusa (FTOPSIS) y **17**: DEMATEL con Lógica Difusa (FDEMATEL).

TABLA 2.2: Resumen revisión de literatura

N	Autor	Giro	Técnicas						Modelos		IA			Híbridos					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Lima-Junior y Carpinetti (2020)	Caso ilustrativo							✓		✓								
2	Lopes y Pires (2020)	Galvanización												✓					
3	Jiang <i>et al.</i> (2020)	Sostenibilidad											✓						
4	Lima-Junior y Carpinetti (2019)	Investigación							✓	✓									
5	Akkawuttiwanich y Yenradee (2018)	Fabricación							✓						✓				
6	Bukhori <i>et al.</i> (2015)	Agricultura	✓						✓										
7	Sellitto <i>et al.</i> (2015)	Calzado	✓						✓										
8	Tavana <i>et al.</i> (2016b)	CS de 3 niveles		✓															
9	Wibowo y Sholeh (2016)	Construcción	✓						✓										
10	Chand <i>et al.</i> (2020)	Fabricación			✓	✓													
11	Govindan <i>et al.</i> (2017)	Fabricación											✓						
12	Rasolofo-Distler y Distler (2018)	Servicios						✓											
13	Thanki y Thakkar (2018)	Caso textil						✓									✓		
14	Ramezankhani <i>et al.</i> (2018)	Fabricación	✓			✓													
15	Haghighi <i>et al.</i> (2016)	Reciclaje	✓					✓											
16	Tajbakhsh y Hassini (2015)	Manufactura	✓																
17	Yu <i>et al.</i> (2016)	Transporte	✓																
18	Zanon <i>et al.</i> (2020)	Cliente							✓			✓							
19	Dissanayake y Cross (2018)	Fabricación	✓				✓		✓										
20	Tavana <i>et al.</i> (2016a)	Proveedores	✓								✓	✓							
21	Miranda <i>et al.</i> (2019)	Mantenimiento					✓												
22	Brandenburg (2017)	Ventas	✓				✓												
23	Singh <i>et al.</i> (2018)	Manufactura						✓				✓	✓						
24	Chorfi <i>et al.</i> (2015)	Farmaceutico	✓																
25	Lima y Carpinetti (2016)	Caso ilustrativo							✓									✓	
26	Deshmukh y Sunnapwar (2019)	Proveedores											✓						
27	Prasetyaningsih <i>et al.</i> (2020)	Investigacion							✓				✓						
28	Marimin y Darmawan (2020)	Agroindustria	✓						✓										
29	Khan y Dweiri (2019)	Automotriz											✓						
30	Liao y Wu (2016)	Proveedores											✓						
31	Lima-Junior y Carpinetti (2016)	Proveedores							✓									✓	
32	Uygun y Dede (2016)	CS verde												✓			✓	✓	
33	Garg (2016)	Proveedores	✓															✓	
Total			9	5	1	2	2	1	4	12	2	2	2	7	2	1	1	4	1

Con el propósito de proponer un modelo híbrido (combinación de varias he-

ramientas) que pueda adaptarse a los distintos sectores industriales y a cualquier categoría o estrategia de la cadena de suministro se realiza un análisis en cuanto a funcionalidad de las herramientas más representativas por categorías (Figura 2.11), es decir, comparaciones entre los modelos, las dos técnicas más usadas y las herramientas que incluyen técnicas de inteligencia artificial para conocer su aplicabilidad.

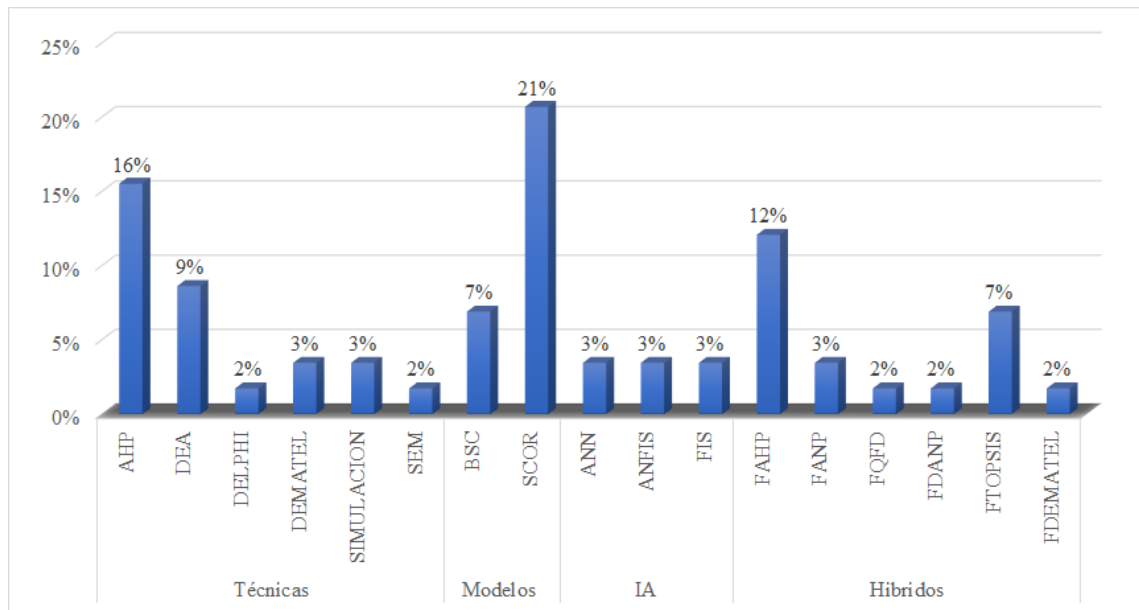


FIGURA 2.11: Resumen de la revisión

Inicialmente, se realiza un análisis comparativo entre los modelos, los resultados obtenidos evidencian que el modelo SCOR y sus métricas posee mayor utilización en la actualidad desplazando el modelo BSC al segundo lugar (esta información modifica lo expuesto en la sección 2.3). El SCOR cuenta con un historial probado en casos prácticos y de investigación en una variedad de sectores a lo largo de muchos años. Este modelo se adapta fácilmente a los requisitos cambiantes de los usuarios, incluye de manera efectiva las métricas óptimas para evaluar el desempeño y sus criterios son compatibles en varios contextos de la cadena de suministro, por ser un modelo estándar permite evaluar el desempeño de la cadena de suministro de manera efectiva (Kocaoğlu y Tanyaş, 2011). El BSC por su parte cuenta con trayectoria de uso, principalmente en el ámbito financiero, sin embargo, este modelo posee limitaciones al incluir menos medidas, se hace complicado medir la cadena de suministro integrada

utilizando este enfoque (Brewer y Speh, 2000).

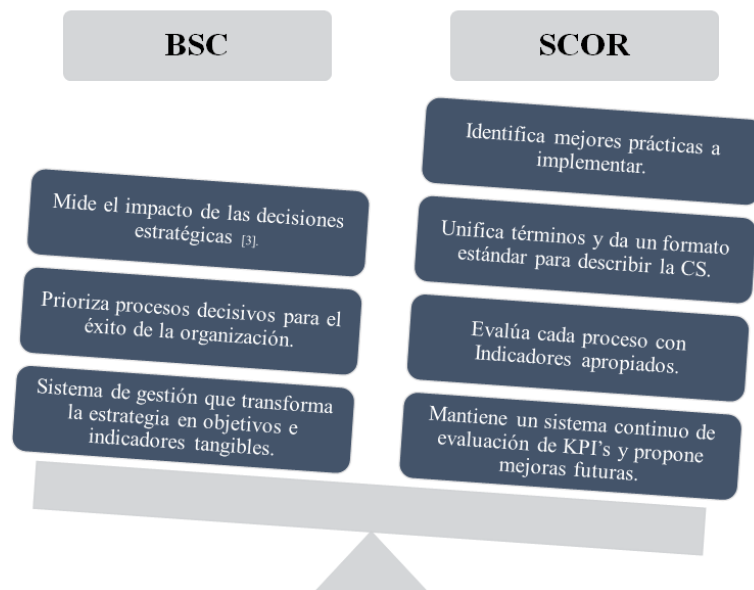


FIGURA 2.12: BSC versus SCOR

Fuente: Brewer y Speh (2000); Council (2016)

La Figura 2.12 incluye aspectos relevantes de ambos modelos, se evidencia que SCOR es ideal para este proyecto, ya que su configuración permite realizar retroalimentaciones continuas, describe cadenas de suministro y establece una estructura jerárquica compuesta por atributos y métricas. Adicionalmente, su enfoque permite evaluar el desempeño actual brindando alternativas de mejora (Kevan, 2005).

En cuanto al resultado obtenido de técnicas, se encuentra AHP con 16 % seguido de DEA con 9 % de utilización en los artículos incluidos. El primero, es adoptado por su amplia aplicabilidad debido a su simplicidad, facilidad de uso y gran flexibilidad, además, puede integrarse con otras técnicas como programación lineal, despliegue de funciones de calidad, lógica difusa, etc. Consta de tres operaciones principales: construcción de jerarquías, análisis de prioridades y la verificación de coherencia. AHP es una de las herramientas de toma de decisiones de múltiples criterios más utilizadas, también, se emplea en la selección, evaluación, análisis de costos y beneficios, asignaciones, planificación y desarrollo, prioridad y clasificación

(Vaidya y Kumar, 2006). Por otro lado, DEA es aplicada para identificar fuentes de ineficiencia, clasificar las unidades de toma de decisiones (DMU, por sus siglas en inglés), evaluar la gestión, evaluar la efectividad de programas o políticas, crear una base cuantitativa para reasignar recursos, etc (Liu *et al.*, 2013). Si bien, las dos técnicas son muy útiles y ambas tienen trayectoria en evaluar la cadena de suministro. Los resultados arrojados por DEA suelen ser más certeros y precisos.

Antes de determinar cuál de las dos técnicas añadir al modelo híbrido, es necesario identificar en la literatura cuales son las herramientas que comúnmente se combinan con el SCOR. Según Delipinar y Kocaoglu (2016) son: AHP, simulación y TOPSIS.



FIGURA 2.13: SCOR combinado con otras técnicas

En la revisión de literatura realizada en este proyecto de cierta forma se comprueba la afirmación anterior, puesto que, de los 33 artículos incluidos 12 usan este modelo y de este valor 5 son combinados con AHP y 2 con FTOPSIS (ver Figura 2.13). Por lo tanto, se puede considerar agregar AHP constituyendo un marco para evaluar el rendimiento del sistema (Elgazzar y Leach, 2012).

Un aspecto importante e interesante observado en el resumen de literatura del uso de herramientas (Figura 2.11) es la categoría “Híbridos”, compuesta en su mayoría por técnicas de análisis multicriterio combinadas con lógica difusa. La lógica difusa o en inglés *Fuzzy Logic* es una metodología que suministra una forma simple de

adquirir conclusiones a partir de datos imprecisos, vagos, ambiguos o de información incompleta. Proporciona una manera de representar razonamientos comunes (preferencias cualitativas) en un lenguaje matemático a través de la teoría de conjuntos difusos y funciones de pertenencia asociadas, de modo que, también trabaja con datos numéricos y términos lingüísticos (Zadeh, 1988). Las características principales de un sistema basado en la teoría de conjuntos difusos son la flexibilidad, capacidad para modelar problemas no lineales y su base en el lenguaje natural. Debido a esto, actualmente los investigadores proponen cada vez más estas combinaciones con lógica difusa, en vista de lograr superar las deficiencias en los resultados de las técnicas tradicionales que utilizan lógica clásica.

En la Figura 2.11 se observa que el FAHP y FTOPSIS poseen una consideración de utilización relevante en los artículos con 12 % y 7 %, respectivamente. El primero sigue los pasos normales de un AHP agregando escalas difusas y términos lingüísticos que pueden constatar mejor el razonamiento humano en la toma de decisiones. Por su parte, TOPSIS, se basa en que la alternativa seleccionada debe poseer la menor distancia a la solución ideal positiva (solución que minimiza criterios de costos y maximiza criterios de beneficio) y la mayor distancia a la solución ideal negativa (Nădăban y Dzitac, 2016). La cualidad de utilizar un enfoque difuso en esta técnica es asignar la importancia relativa de los atributos utilizando números difusos en lugar de números precisos para adaptarse al mundo real (Sun, 2010).

Teniendo en cuenta el análisis anterior, donde se consideró la agregación del AHP clásico como técnica ideal en combinación con el modelo SCOR para este estudio y precisando la relevancia de agregar a esta técnica la lógica difusa para complementar funciones y poder cubrir situaciones particulares que se pueden encontrar en las empresas, se decide utilizar FAHP.

Por último, se puede observar como la inteligencia artificial está logrando un espacio en la gestión de la cadena de suministro imitando conductas inteligentes por medio de métodos computacionales, simulando inteligencia humana, contem-

plando razonamientos y percepciones, ayudando en la resolución de problemas y en la planificación empresarial. En el ámbito de la evaluación del rendimiento permite aumentar, integrar, prever, mejorar y medir a los trabajadores, procesos y equipos, optimizando tiempos y recursos para obtener mayor productividad (Büyüközkan, 2018). Este agente flexible comprende una serie de algoritmos, técnicas y herramientas que tienen capacidad de procesamiento y almacenamiento de información, diversifican escenarios, complementan información y son aptas para tratar datos históricos. De modo que, su implementación se está llevando cada vez más a cabo para añadir capacidades inteligentes a las mediciones, estimar el desempeño de la cadena de suministro con base en medidas múltiples y para predecir o comprobar resultados. La Tabla 2.3 realiza una comparación en cuanto a ventajas y desventajas de las identificadas.

TABLA 2.3: Comparación de técnicas de inteligencia artificial

Técnica	Ventajas	Desventajas
ANN	Permite realizar predicciones Adaptable a nuevos ambientes Aprende de datos históricos	No tratan dato imprecisos y mediciones cualitativas Requiere mucha información para el entrenamiento
ANFIS	Exactitud en predicciones Capacidad de aprendizaje basada en datos históricos Idoneidad en decisiones en condiciones de incertidumbre	Maldición de la dimensionalidad Complejidad de entrenamiento Tipo y número de funciones de pertenencia
FIS	Permite realizar predicciones en relación causa/efecto Trata con información incompleta e imprecisa Capacidad de interpretación y facilidad de codificación	No permite el uso de datos históricos Falta de capacidad de aprendizaje

Fuente: Lima-Junior y Carpinetti (2020); Tavana *et al.* (2016a); Zanon *et al.* (2020); Salleh y Hussain (2017)

De acuerdo con lo expuesto en la Tabla 2.3, el sistema de inferencia difusa es ideal para este proyecto debido a que trata la incertidumbre en la toma decisiones, modela el razonamiento humano a través de reglas difusas si-entonces y posee amplio potencial para manejar las relaciones no lineales entre las variables de entrada y salida en las predicciones. En cuanto a su desventaja de no permitir datos históricos, en muchas ocasiones las empresas no cuentan con esta información.

En conclusión, en este apartado se realizó un análisis actual sobre las herra-

mientas utilizadas para evaluar el rendimiento de la cadena de suministro en distintas categorías, se definieron conceptos, se compararon funciones y aplicaciones. Conforme al razonamiento realizado el modelo híbrido a proponer queda conformado por el modelo SCOR, un FAHP y un FIS.

2.4 CASOS APLICATIVOS

Actualmente hay muchos estudios donde realizan alguna medición de cierto factor o aspecto de interés que con su debido control y evaluación beneficia el rendimiento de la cadena de suministro. A continuación, se presentan casos de estudio donde utilizan el sistema de inferencia difusa para resolver una amplia gama de problemas:

TABLA 2.4: Aplicaciones de la inferencia difusa en la cadena de suministro

Autor	Campo	Propuesta	Técnica
Singh <i>et al.</i> (2018)	Rendimiento sostenible de pymes	Método de evaluación de la sostenibilidad para pymes manufactureras	FIS/FAHP
Omair <i>et al.</i> (2021)	Priorización de proveedores en factores de sostenibles	Selección de proveedores sostenibles mediante el desarrollo de un marco de apoyo a la toma de decisiones	FIS/AHP
Lima-Junior y Carpinetti (2020)	Sistema de evaluación del desempeño basado en las métricas SCOR y ANFIS	Ayudar a los gerentes a identificar las brechas entre el desempeño esperado y alcanzado	SCOR/ANFIS
Supriya (2020)	Clasificación de los proveedores de servicios de Internet	Ayudar a los clientes a tomar una decisión acertada utilizando un marco de estimación jerárquico	FIS/FAHP/TOPSIS
Jovčić <i>et al.</i> (2019)	Selección de proveedor 3PL	Toma de decisiones en la selección de proveedores de logística de terceros (3PL)	FAHP/FIS
Kayhan y Kahraman (2019)	Priorizar proveedores	Determinar y priorizar los principales factores de confiabilidad de los proveedores en la industria de la construcción.	FAHP/FIS
Fanaei <i>et al.</i> (2019)	Predicción del rendimiento de proyectos de construcción	Marco para medir y predecir cualitativamente KPI de proyectos de construcción	ANFIS/AHP
Tavana <i>et al.</i> (2017)	Planificación de la ubicaciones	Marco de evaluación difusa de tres etapas diseñado para ubicar granjas solares	ANFIS/FAHP/FIS

Tabla 2.4 continúa de la página anterior

Shojaiemehr y Rafsanjani (2018)	Modelo de negociación automatizada	Enfoque de modificación de la oferta del proveedor para la negociación automatizada en el comercio electrónico	AHP/FIS
Y. López y Talavera (2017)	Selección de ERP	Metodología para obtener una mejor selección de Planificación de Recursos Empresariales	AHP/FIS
T. Singh y Sarkar (2016)	Evaluar la usabilidad del sitio web de comercio electrónico	Modelo para evaluar y comparar con éxito los sitios web sobre la base de la usabilidad	ANFIS/AHP
Zanon <i>et al.</i> (2020)	Evaluación del rendimiento del valor percibido por el cliente	Modelo para predecir el impacto de los indicadores SCOR® en el valor percibido	SCOR/FIS
Cinar y Cebi (2020)	Evaluación de riesgos del sector minero	Método de evaluación de riesgos híbrido para el sector minero	QFD/FIS/AHP

De los artículos incluidos en la Tabla 2.4 se puede apreciar que varios autores proponen el sistema de inferencia difusa para la toma de decisiones, evaluación de riesgos, evaluar el rendimiento sostenible de las empresas o los proveedores, otros plantean su combinación con AHP para la toma de decisiones, selección y asignación de pesos a criterios, otros investigadores presentan enfoques similares utilizando el FAHP, en estos casos, las ventajas de la lógica difusa se extienden a la selección y ponderación de los criterios, pero la evaluación en sí la realiza el sistema de inferencia difusa. El FIS también puede utilizarse en una etapa inicial para transformar valores difusos en valores nítidos y alimentar un AHP, en estos casos solo se utiliza la lógica difusa para la valoración de criterios.

Una investigación interesante y relevante para esta tesis debido a que incluye dos de las tres herramientas seleccionadas como ideales en la sección anterior es la realizada por Zanon *et al.* (2020), la cual propone un modelo para predecir el impacto de los indicadores SCOR en el valor percibido por el cliente aplicando un sistema de inferencia basada en las percepciones de expertos y clientes. El ámbito de respuesta de su sistema permite identificar los indicadores SCOR que influyen en el valor percibido. El sistema propuesto identifica y analiza las brechas entre el valor percibido real y el deseado e internaliza estos resultados como motor de iniciativas

de mejora continua. Un enfoque como este se implementará en esta tesis realizando una adaptación al modelo incorporando el FAHP como método de ponderación de criterios. Para este paso, la metodología realizada por Tavana *et al.* (2017) servirá como guía fundamental para lograr la complementación de todas las herramientas.

2.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Debido a los altos grados de competitividad actuales, las compañías se ven obligadas a desarrollar estrategias para lograr la excelencia operativa. Hoy por hoy, el objetivo principal de las cadenas de suministro está dirigido a lograr aumentar su eficiencia al menor costo, sin descuidar los estándares de calidad y el nivel de servicio. Sin duda alguna un sistema de medición del rendimiento de la cadena de suministro bien estructurado, enfocado a los objetivos estratégicos y con las retroalimentaciones necesarias cada cierto tiempo determinado ayuda a lograr ese fin aportando buenas prácticas a la gestión. Durante la investigación y análisis del tema de referencia en este capítulo, se pueden notar varias apreciaciones:

- La cantidad de métodos, enfoques y técnicas utilizadas para las mediciones que pueden ser adaptadas a las necesidades particulares de los negocios.
- Las evaluaciones enfocadas en medir el costo, agilidad, la capacidad de respuesta, flexibilidad y sostenibilidad de la cadena de suministro.
- El análisis actual de uso de herramientas identificó que las empresas aplican las evaluaciones en el área de fabricación o manufactura, servicio al cliente, mantenimiento y transporte. Además de medir estrategias de la cadena de suministro encaminada a la evaluación y selección proveedores, mediciones verdes y ecológicas, predicción de la satisfacción del cliente, entre otras.
- La implementación de sistemas de medición predictivos para anticiparse a los sucesos y tomar mejores decisiones.

- El uso de técnicas de inteligencia artificial para brindarle capacidades inteligentes a las mediciones y simular el razonamiento humano.
- Se identificó el modelo SCOR como el más utilizado por su estructura y amplia aplicabilidad, la técnica AHP más aplicada debido a su simplicidad y facilidad de uso y, la lógica difusa como técnica para obtener conclusiones a partir de datos imprecisos

Estos hallazgos determinan que el tema de este proyecto es pertinente y de interés en el ámbito de la cadena de suministro. De acuerdo con lo anterior, no existe ninguna justificación para no contar con un sistema de medición de rendimiento que solo brinda oportunidades de mejora. Si no hay medidas, no hay manera de evaluar el desempeño, de identificar errores, minimizar costos, mejorar el flujo de información y procesos, garantizar la calidad, etc.

Finalmente, este capítulo logró su objetivo de proponer un método que evalúe y retroalimente los sistemas actuales de medición utilizados en las compañías y su rendimiento de manera cíclica y en cualquier configuración de la cadena de suministro. Considerando el análisis y los resultados observados en la sección 2.3.4 del presente documento, la propuesta metodológica conforma las métricas y atributos del modelo SCOR, la técnica FAHP y el uso de un sistema de inferencia difusa con el propósito de lograr la minimización de errores y la mejora en la toma de decisiones empresariales.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En la gestión de la cadena de suministro es fundamental ofrecer un servicio o producto de calidad; en tiempo, forma y cantidad. Para ello, es necesario contar con medios y suministros correctos, mejorar la cadena de suministro desde el abastecimiento garantiza el aumento en el nivel de servicio final. Por lo cual, analizar la relación de causa y efecto del rendimiento de compras y el rendimiento de la cadena de suministro general puede ayudar a los tomadores de decisiones a identificar los atributos de desempeño que necesitan esfuerzos de mejora, sin embargo, modelar esta relación depende en su mayoría de sesgos cognitivos relacionados con información incompleta o imprecisa. Con el fin de superar esto, se propone la utilización de un sistema de inferencia difusa dado que en la literatura se ha empleado en la gestión de la cadena de suministro ayudando a predecir el rendimiento de los indicadores de desempeño del modelo SCOR asociados con esta etapa y se plantea el uso de AHP difuso como técnica de consenso para aumentar la solidez del diseño.

El objetivo de este capítulo es presentar un sistema de medición de desempeño que solucione la problemática planteada en la sección 1.1 del presente documento. La metodología propuesta comprende tres elementos: revisión de la literatura, desarrollo y aplicación del modelo.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología propuesta es un ajuste a la realizada por Zanon *et al.* (2020) basada en el método prescriptivo axiomático cuantitativo que se caracteriza por inducir conocimiento sobre la conducta de una variable del sistema con base al comportamiento de otras variables (Bertrand y Fransoo, 2016). Los autores proponen un modelo de toma de decisiones basado en un sistema de inferencia difusa para predecir el impacto de los indicadores SCOR en el valor percibido por el cliente, como resultado, el modelo es capaz de identificar y analizar las brechas entre el valor percibido real y el deseado.

Las modificaciones realizadas en la metodología se establecen en la configuración de la cadena de suministro en el área de compras con base a supuestos sobre los atributos de desempeño de SCOR enfocados en la misma área y en la inclusión de un FAHP como técnica de consenso para aumentar la solidez del diseño de la base de reglas del FIS. La Figura 3.1 ilustra los elementos principales del método.

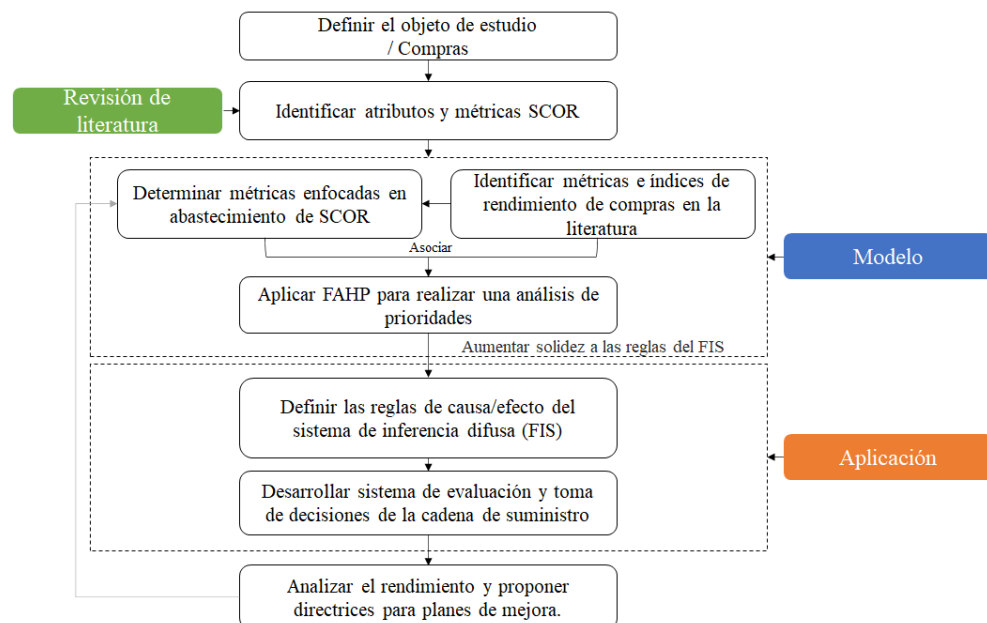


FIGURA 3.1: Metodología propuesta para sistema de medición de rendimiento

Fuente: en aproximación a Zanon *et al.* (2020)

La metodología comienza con la definición del objeto de estudio, es decir, establecer la categoría o estrategia de la cadena de suministro a la cual se le desea medir el rendimiento. Los tres elementos principales que conforman la metodología son explicados de manera general a continuación:

- Inicialmente, se realiza una revisión de literatura sobre cuatro construcciones teóricas principales: medición del rendimiento de compras, modelo SCOR enfocado en atributos e indicadores, técnica FAHP como método de análisis de prioridades y, sobre el sistema de inferencia difusa y su aplicabilidad para la medición del desempeño de la cadena de suministro.
- En segundo lugar, se desarrolla el modelo de sistema de evaluación y toma de decisiones. Sus principales pasos se describen en la sección 3.3 y se basa en la inclusión de los resultados del FAHP como datos de entrada para la formulación matemática del FIS estructurado sobre reglas prescriptivas que exponen la relación de causa y efecto entre las métricas centradas en el abastecimiento de SCOR y la medición de este.
- Por último, se realiza la experimentación con el fin de demostrar la aplicabilidad del modelo, para ello, se necesitan cifras reales de indicadores (índices de desempeño). En este paso se evalúa el desempeño y se analizan los resultados obtenidos.

Para la recolección de datos se requieren dos entradas en el modelo: desempeño actual de los indicadores SCOR enfocados en compras y la segunda entrada proviene del conocimiento de expertos; información recopilada por medio de puntuaciones y lingüística que fundamente las particularidades y especificaciones del entorno de las compras.

En cuanto a la aplicación del modelo, en el capítulo 4 se describe detalladamente el procedimiento de recolección de datos. Los productos son dos: el desempeño actual de compras y las pautas para los planes de mejora. El modelo propuesto es

cíclico con el fin de realizar continuamente mediciones de diferentes categorías de la cadena de suministro y abierto para su implementación en cualquier giro empresarial. La validación de información se pretende realizar por medio de un análisis de sensibilidad para probar las reglas y operaciones del sistema y, comprobar que la propuesta sea capaz de ser aplicada en otras categorías de la cadena de suministro (adaptable).

3.2 REVISIÓN DE LITERATURA

3.2.1 MEDICIÓN DE RENDIMIENTO DE COMPRAS

La función de compras permite adquirir los insumos que la empresa requiere con la calidad necesaria, en la cantidad correcta, en el momento oportuno, al precio correcto y al mejor proveedor. Realizar este proceso de manera ideal permite a la compañía obtener beneficios como proveer un flujo continuo de materiales y servicios para satisfacer necesidades, asegurar la continuidad del abastecimiento procurando relaciones efectivas con las fuentes existentes y desarrollando otras fuentes de suministro, comprar de manera eficiente y prudente, obteniendo los mejores valores y mantener relaciones de cooperación sólidas con otros departamentos proporcionando la información y el asesoramiento necesarios para garantizar el funcionamiento eficaz de la organización en su conjunto (Baily *et al.*, 2005).

La contribución de la función del abastecimiento ha incrementado continuamente durante los últimos años, concentrándose en actividades como la negociación de relaciones a largo plazo, el desarrollo de proveedores y la reducción total de costos, en lugar de ordenar y reponer rutinas. Por consiguiente, hoy por hoy los directivos han hecho hincapié en la medición de sus procesos; miden y evalúan la contribución de la función de compras y suministros y, el resultado suele ser positivo. Por lo cual, es probable que los dirigentes promuevan su desarrollo (Johnson *et al.*, 2011).

Además, con la globalización y el aumento de la competitividad en el mercado son varios los factores (Tabla 3.1) que han impulsado su estudio:

TABLA 3.1: Factores externos e internos en las compras

Factores externos	Factores internos
Conceptos de vanguardia	Nivel y porcentajes de recursos adquiridos
Menos proveedores, pero más grandes	Sistemas integrados
Aumento de conciencia ambiental	Cambios estructurales
Actividad de la competencia	Medición del rendimiento
Demandas de los clientes	
Avance tecnológico	
Recursos finitos	
Intervención del gobierno	
Cambios en las pautas del comercio	
Innovación	

Fuente: Baily *et al.* (2005)

En el proceso de compras la calidad del material que se adquiere afecta la calidad de los productos de la empresa y finalmente el nivel de servicio. Esta función posee la capacidad de maximizar el valor y minimizar el desperdicio, por lo cual, muchas empresas han priorizado la mejora de sus procesos, incluyendo su participación en todas las etapas de la cadena de suministro, en los niveles de la toma de decisiones y en la integración con la estrategia corporativa (Wisner y Tan, 2000).

En el desarrollo de las compras se pueden realizar progresos operacionales, tácticos y estratégicos en el ámbito de la gestión del suministro si se actúa de forma proactiva; mejorando la eficiencia y la eficacia de la cadena (Baily *et al.*, 2005). Por ello, es vital encontrar la forma de medir el estado de desarrollo alcanzado para identificar lo que es capaz de ofrecer en términos de rendimiento indicando si el progreso es apropiado para las necesidades de la empresa.

Van Weel (1985) comparte que la incapacidad de medir el rendimiento de las

compras había obstaculizado el reconocimiento de la función por parte de la dirección o, por el contrario, si se cuenta con formas rudimentarias y complejas de medir el rendimiento se vuelve una práctica tediosa que no proyecta buenos resultados, esto, a falta de medios más sofisticados. Las medidas rigurosas del rendimiento de las compras tienden a ser negativas, indicadores de fracaso más que de éxito. Por otro lado, la mejora del rendimiento debe ser impulsada por los informes de rendimiento real evaluado contra algún tipo de estándar (Baily *et al.*, 2005).

Por esta razón, la propuesta de la presente tesis se encamina en evaluar el rendimiento tanto de los sistemas actuales de medición como el rendimiento de compras, asociando y relacionando las métricas utilizadas en las empresas con las propuestas por el modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministro. Las áreas comunes para la medición de la información de compras son: compras operativas, coordinación con otras funciones, organización y sistema de compras, ejecución del presupuesto, rendimiento creativo, desarrollo de políticas, la planificación y la previsión.

Con la metodología propuesta se pretende examinar actividades operacionales (datos cuantitativos) y actividades tácticas y estratégicas (datos cualitativos y menos tangibles). Cuanto mayor sea el grado de desarrollo de las compras, mayor será el alcance de la evaluación del rendimiento. La medición conduce al reconocimiento de la función; establece objetivos y establece reglas básicas a partir de las cuales se pueden elaborar políticas. Además, la evaluación comparativa tiene por objeto descubrir “mejores prácticas”, personalizarlas e implementarlas.

3.2.2 ATRIBUTOS Y MÉTRICAS DEL MODELO SCOR

Complementando la información compartida en las secciones 2.1.1 y 2.3.1.2 del presente documento, el modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministro se introdujo como un formato estándar que enlaza procesos, elementos,

indicadores, mejores prácticas y una guía para la excelencia de la cadena de suministro para satisfacer la demanda del cliente (Supply, 2017). Ha sido universalmente reconocido y ampliamente aplicado en la industria, puesto que permite a las empresas comunicarse utilizando una terminología usual que es comprensible dentro y entre organizaciones (Akkawuttiwanich y Yenradee, 2018). Además, es adecuado para respaldar la gestión táctica y operativa para la implementación de la toma de decisiones de planificación estratégica (Estampe *et al.*, 2013). La Tabla 3.2 incluye sus principales características:

TABLA 3.2: Características del modelo SCOR

Características	Descripción
Tipo de análisis	Analiza 4 dimensiones: confiabilidad del desempeño comercial, flexibilidad/capacidad de respuesta, costos y rotación del capital comprometido
Condiciones y limitaciones	Aplicación en el sector industrial y de servicios
	Contribuye a las operaciones integrando diferentes actores en la cadena
Grado de conceptualización	Procesos de modelos: planificación, abastecimiento, fabricación, entrega y devoluciones
	Lenguaje común estandarizado para diferentes actores
	Definición de conceptos básicos: procesos, tipología de procesos y modos de gestión
Indicadores establecidos	Definición de indicadores explicada usando modos de cálculo
	Asociación de indicadores con cada proceso
	Permite comparaciones de medidas internas y externas
	Sugiere el “mejor en su clase”

Fuente: Estampe *et al.* (2013)

Es considerado en este estudio en vista que proporciona una metodología sistemática integral que puede ser utilizada por cualquier organización para analizar el desempeño de la cadena de suministro (Dissanayake y Cross, 2018). También, brinda la posibilidad de realizar comparaciones de desempeño con otras organizaciones por medio de la herramienta SCORmark (Lima-Junior y Carpinetti, 2019).

La Figura 3.2 ilustra la estructura jerárquica del modelo entre atributos e indicadores, esta configuración permite seleccionar las medidas relevantes de interés para la aplicación (Dissanayake y Cross, 2018). En su composición incluye indicadores de nivel 1, 2 y 3. En este estudio solo se emplean los del nivel 1.

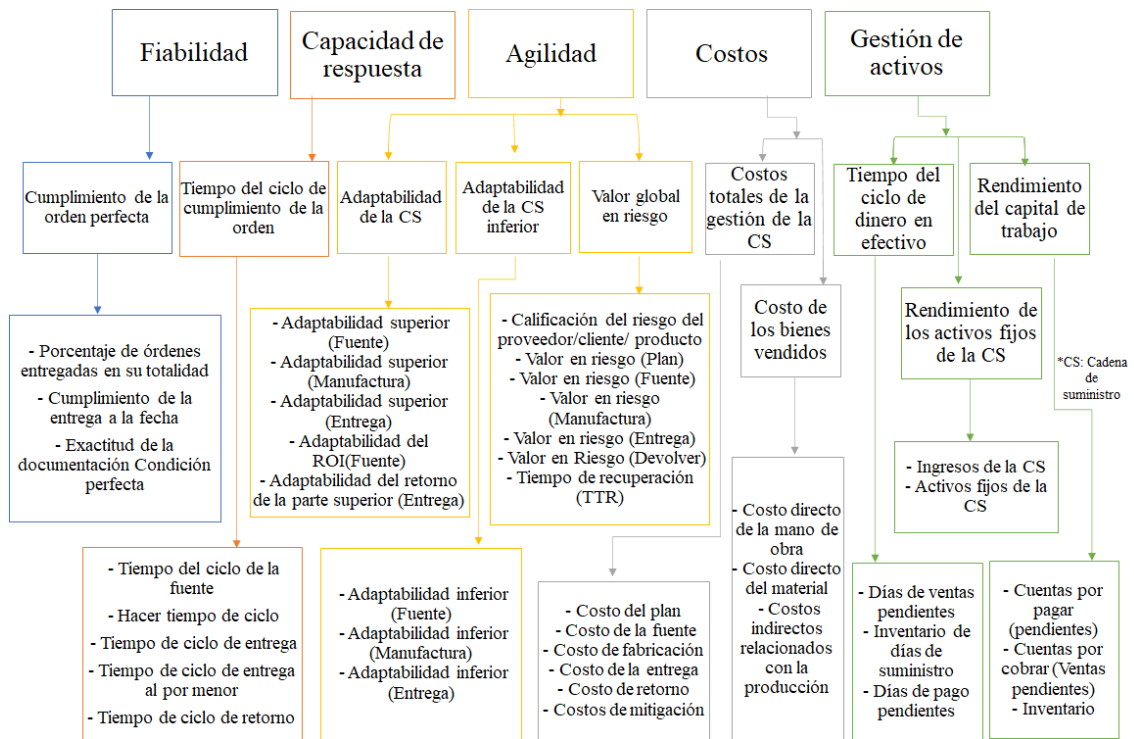


FIGURA 3.2: Atributos y métricas SCOR nivel 1 y 2

Fuente: Supply (2017)

Para cada métrica establecida en el nivel 1, según la dimensión de medida, existe una jerarquía de métricas interrelacionadas. El desarrollo de estas métricas y sus relaciones de causa y efecto permite analizar el desempeño de una cadena de suministro desde diferentes perspectivas (Ganga y Carpinetti, 2011).

Según Akkawuttiwanich y Yenradee (2018) no hay un método lógico para gestionar estos indicadores para la mejora de la cadena de suministro. Por lo cual, Dissanayake y Cross (2018) proponen la lógica difusa para abordar este problema. En esta investigación, se plantea un sistema de inferencia difusa para evaluar cómo el rendimiento del abastecimiento se comporta de acuerdo con las variaciones de los atributos de rendimiento de SCOR: confiabilidad, agilidad, capacidad de respuesta, costos y gestión de activos.

3.2.3 PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO DIFUSO (FAHP)

El proceso de jerarquía analítica es un método de toma de decisiones multicriterio ampliamente aplicado para establecer los pesos de los juicios y las prioridades de las alternativas de una manera organizada por medio de comparaciones por pares (Liu *et al.*, 2020). La técnica fue introducida por Saaty (1987) y actualmente es uno de los enfoques más populares, sin embargo, a pesar de su simplicidad y eficiencia es criticado por no tener en cuenta la incertidumbre y debido a la ambigüedad de los criterios cualitativos y subjetivos no logra reflejar los puntos de vista de los responsables de manera exacta. Por consiguiente, se necesitan métodos formales que garanticen un medio estructurado de toma de decisiones que tenga en cuenta los factores mencionados.

En busca de entender la naturaleza difusa del razonamiento humano, se propone una versión ampliada de AHP combinada con conjuntos difusos. Técnica conocida como AHP difusa evalúa y clasifica alternativas y tiene la ventaja de permitir el uso de valores lingüísticos adecuados para afrontar la imprecisión y subjetividad del riesgo. El primer método de FAHP fue presentado por van Laarhoven y Pedrycz (1983). El método ha encontrado numerosas aplicaciones en la toma de decisiones tanto en los casos de un único decisor como en los casos en los que la decisión debe ser tomada en consenso por un grupo de expertos. La importancia de utilizar números difusos en este proceso procede principalmente en las comparaciones por pares, puesto que, se hace complejo reflejar las preferencias inciertas de los responsables, dado que sus opiniones no son exentas de subjetividad (Adenso-Díaz *et al.*, 2020).

El desarrollo de un modelo FAHP sigue en general el del AHP tradicional con algunas modificaciones, la Figura 3.3 ilustra su metodología; los cuadros blanco y azul claro muestran los pasos comunes entre el AHP y el FAHP pero en los pasos 3 y 4 se aplican técnicas diferentes. El cuadro azul oscuro es un paso realizado solo en FAHP.

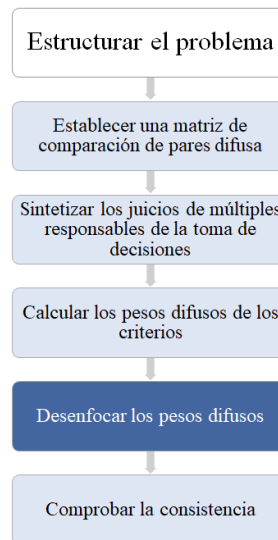


FIGURA 3.3: Proceso de desarrollo de un FAHP

Fuente: Liu *et al.* (2020)

En este estudio, se emplea un FAHP para la asignación de pesos a los atributos de rendimiento de SCOR. Por otro lado, el FAHP también presenta algunas limitaciones como el agregar o eliminar criterios en el algoritmo y es probable que se esperen juicios inconsistentes con números difusos (Yang *et al.*, 2011). En consecuencia, se propone un enfoque híbrido que utiliza un sistema de inferencia difusa y un FAHP que no solo elimina las limitaciones anteriores, sino que también sirva como una herramienta sólida para la priorización y evaluación.

3.2.4 TEORÍA DE CONJUNTOS DIFUSOS (*Fuzzy set theory*)

La teoría de conjuntos difusos introducida por Zadeh (1965), es una herramienta que ayuda en la toma de decisiones bajo incertidumbre. La lógica difusa facilita esta práctica mediante el razonamiento aproximado y los términos lingüísticos para situaciones inciertas y subjetivas típicas de medidas de naturaleza cualitativa o métodos basados en la comparación por pares, como AHP y ANP (Lin *et al.*, 2006). Un conjunto difuso se define como objetos distinguidos por una función de pertenencia.

cia determinada por un grado de información imprecisa a un valor proporcionado, normalmente de cero a uno (Zadeh, 1965).

Sea X el universo del discurso y x un elemento en X . El conjunto \tilde{A} en X está definido por una función de pertenencia $\mu_A(x)$ que asocia el elemento x en X a un valor real $x \in [0, 1]$ para representar el grado de pertenencia x en \tilde{A} , es decir, si $\mu_A(x) = 0$, x no pertenece al conjunto \tilde{A} , si $\mu_A(x) = 1$, x está totalmente incluido en el conjunto A y si $\mu_A(x)$ tiene un valor entre 0 y 1, pertenece parcialmente al conjunto difuso \tilde{A} . Por lo tanto, $\forall x \in X, \tilde{A} = \{x, \mu_A(x)\}$, donde el grado de pertenencia de cualquier x puede ser caculado por las funciones de pertenencia (Zanon *et al.*, 2020).

Un número difuso triangular descrito por la función de pertenencia como en la Ecuación 3.1 es un conjunto difuso que cumple las propiedades de normalidad y convexidad; se considera normal si hay al menos un elemento con $\mu_A(x) = 1$ y se considera convexo si $\forall x_1$ y $x_2 \in X$ y $\forall \lambda \in [0, 1]$, $\mu_A[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min[\mu_A(x_1) \mu_A(x_2)]$ (Zadeh, 1965).

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } x_i < a, \\ \frac{x_i - a}{m - a} & \text{si } a \leq x_i \leq m, \\ \frac{b - x_i}{b - m} & \text{si } m \leq x_i \leq b, \\ 0 & \text{si } x_i > b. \end{cases} \quad (3.1)$$

Un sistema de inferencia difusa es un proceso de razonamiento sistemático que expone mapeos de entrada/salida utilizando lógica difusa para producir valores numéricos a partir de valores lingüísticos asociados a funciones de pertenencia (Mamdani y Assilian, 1975).

Las técnicas de lógica difusa más populares se dividen en tres tipos de modelos lingüísticos: Mamdani, ecuaciones relacionales y los modelos Takagi-Sugeno-Kang. Dado que los sistemas Mamdani tienen bases de reglas intuitivas y fáciles de entender, son adecuados para aplicaciones de sistemas expertos donde las reglas se crean a partir del conocimiento humano. El motivo de su desarrollo y su popularidad se debe a que incluye información cualitativa similar a la forma en que las personas

toman decisiones. Ha sido ampliamente implementado en contexto de la cadena de suministro en temas de selección y evaluación de proveedores, riesgos, sostenibilidad, gestión de la cadena de suministro ecológica, entre otros (Yang *et al.*, 2011). Fundamentalmente, posee elementos principales relacionados en la Figura 3.4.

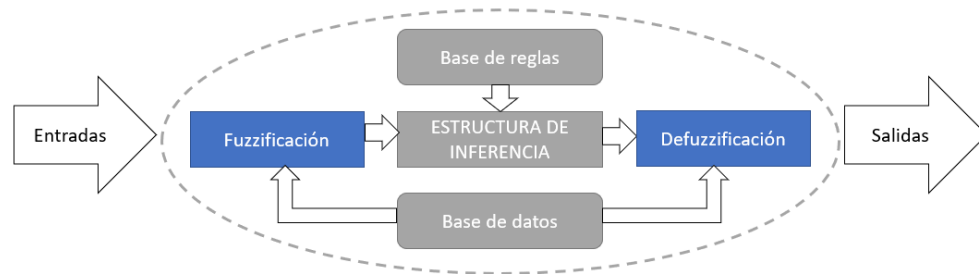


FIGURA 3.4: Elementos principales de un sistema de inferencia difusa

Fuente: Zanon *et al.* (2020)

Una base de reglas compuesta por condiciones SI-ENTONCES, una base de datos conformada por conjuntos difusos utilizados en las reglas, una toma de decisiones que incluyen operaciones lógicas de inferencia sobre las reglas, una fuzzificación para transformar entradas nítidas basadas en valores lingüísticos y una defuzzificación para convertir la salida de la lógica difusa en una sola salida nítida. Este sistema construye un modelo de predicción que anticipa los resultados de las métricas de retraso de la cadena de suministro en función de las métricas principales y los escenarios si-entonces.

3.3 MODELO

La Figura 3.5 muestra el modelo propuesto que busca comprender el impacto de las dimensiones del desempeño de la cadena de suministro. Establece una estructura cíclica compuesta por tres pasos: determinar indicadores centrados en el área de estudio, categorizar los atributos de rendimiento y aplicar el sistema de inferencia difusa y, por último, modelar escenarios de simulación.

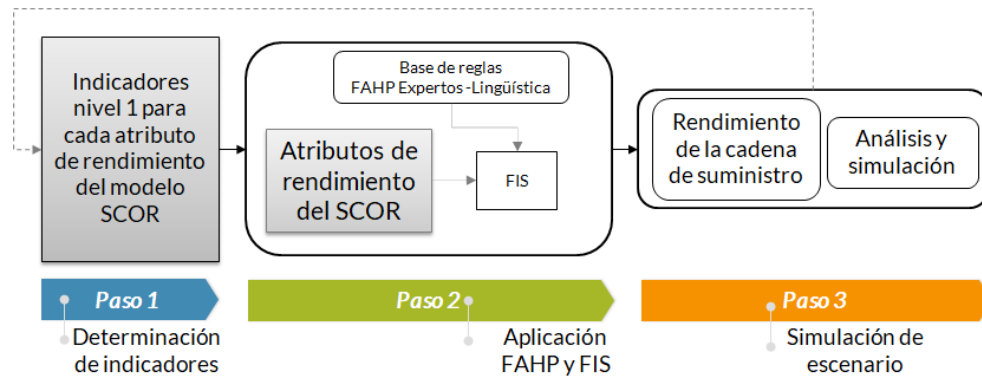


FIGURA 3.5: Modelo propuesto

Fuente: en aproximación a Zanon *et al.* (2020)

El sistema tiene como objetivo mejorar continuamente los indicadores de desempeño permitiendo obtener una visión integral sobre las brechas que deben abordarse y cómo abordarlas. La simulación de múltiples escenarios ayuda a identificar qué atributo de desempeño impacta mayormente en el área de estudio y brinda información relevante para desarrollar planes de acción efectivos.

El modelo se configura acorde al número de entradas, es decir, según el área de estudio de la cadena de suministro a evaluar se identifican los indicadores SCOR que apliquen y por ende los atributos. La cantidad de indicadores por atributo determina la cantidad de FIS a realizar. Como se había mencionado anteriormente, en este estudio se evaluará el rendimiento de compras, los pasos para la definición del enfoque se presentan a continuación:

3.3.1 DETERMINACIÓN DE INDICADORES CENTRADOS EN COMPRAS DE SCOR

Como primer paso, se realiza una búsqueda y recopilación de información sobre los indicadores enfocados en compras del modelo SCOR alineados con las estrategias competitivas para gestionar la cadena de suministro. El Supply (2017) propone la

elección de al menos una métrica asociada con cada atributo de desempeño con el fin de impulsar una evaluación equilibrada y un proceso de toma de decisiones basado en diferentes perspectivas. De acuerdo con lo revisado, los atributos y métricas que dentro de su fundamento incluyen temas relacionados con la fuente están presentados en la Tabla 3.3. Es necesario precisar que no toda esta información es incluida automáticamente en el modelo, la decisión de cuál indicador contemplar depende de la asociación que se realice con los indicadores de la empresa o en el caso de este trabajo con los encontrados en la literatura.

TABLA 3.3: Atributos e indicadores de nivel 1 enfocados en compras de SCOR

Atributo	Nivel 1	
	Indicador	Descripción
Confiabilidad	Cumplimiento perfecto de los pedidos	Porcentaje de pedidos que cumplen los requisitos de entrega con documentación completa y precisa y sin daños en la entrega.
Agilidad	Adaptabilidad de la cadena de suministro superior	El máximo aumento porcentual sostenible de la cantidad entregada que se puede lograr en 30 días.
	La adaptabilidad de la cadena de suministro en la parte inferior	La reducción de las cantidades pedidas es sostenible a los 30 días antes de la entrega, sin penalizaciones de inventario o de costos.
	Valor total en riesgo	Comprender la exposición al riesgo de una cartera de negociación basada en la volatilidad histórica.
Capacidad de respuesta	Tiempo del ciclo de cumplimiento de la orden	El promedio de tiempo de ciclo real logrado consistentemente para cumplir con los pedidos de los clientes.
Costos	Costo total de la gestión de la cadena de suministro	La suma de los costos asociados a los procesos de SCOR nivel 2 para Planificar, Originar, Entregar y Devolver.
Gestión de activos	Duración del ciclo de caja	Tiempo que tarda una inversión realizada en volver a una empresa después de haberla gastado en materias primas
	Rendimiento de los activos fijos de la cadena de suministro	Mide el rendimiento que una organización recibe sobre su capital invertido en activos fijos de la cadena de suministro.
	Rendimiento del capital circulante	Evalúa la magnitud de la inversión en relación con la posición del capital circulante de una empresa frente a los ingresos generados por una cadena de suministro.

Fuente: Supply (2017)

3.3.2 METODOLOGÍA FAHP

Tomando en cuenta el análisis realizado por Liu *et al.* (2020) sobre los principios, características, complejidad, ventajas y desventajas de cada técnica utilizada en cada paso de desarrollo del FAHP y de acuerdo con la aplicación en este estudio y con la confianza relativa en los juicios se elige considerar los conjuntos difusos de tipo 1, la media geométrica para la agregación de la decisión de grupo y la obtención de los pesos difusos debido a su sencillez y practicidad, el método del centroide para la defuzzificación y el método de Saaty para la medición de consistencia. La explicación detallada de cada paso se describe a continuación:

1. **Árbol jerárquico:** en esta etapa se diseña la estructura jerárquica de la toma de decisiones utilizando los criterios y subcriterios (niveles de objetivos). La Figura 3.6 muestra un ejemplo del árbol jerárquico en sus distintos niveles, también podría contemplar subcriterios.

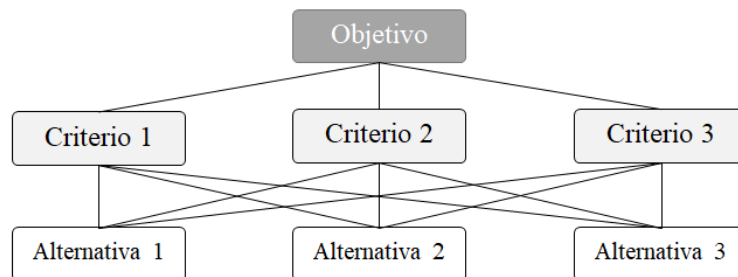


FIGURA 3.6: Estructura general del árbol jerárquico del AHP

En el caso de este estudio solo se necesita el primer y segundo nivel (sombreados en color gris), es decir, la estructuración del objetivo y los criterios que corresponden a los atributos de rendimiento de SCOR.

2. **Representación para la comparación por pares:** para llevar a cabo este paso es necesario la utilización de números difusos para modelar la vaguedad de los juicios. Los números difusos triangulares (TFN's, por sus siglas en inglés) poseen mayor representación de juicios en las investigaciones debido a su sencillez

y capacidad de hacer frente a la incertidumbre en la mayoría de los casos (Liu *et al.*, 2020).

Un TFN (\tilde{A}) se representan como una tripleta (l, m, u) donde l y u son los valores inferiores y superiores, respectivamente, y m es el valor medio o con la mayor membresía ($l \leq m \leq u$) como se muestra en la Figura 3.7.

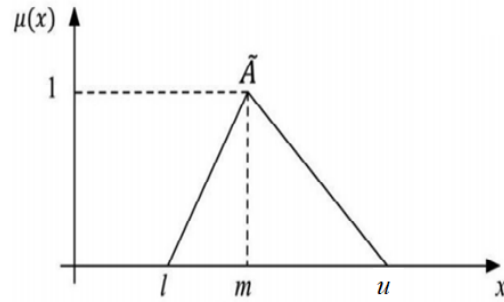


FIGURA 3.7: Función de membresía triangular

Los términos lingüísticos representan la importancia relativa de un criterio sobre otro (por ejemplo, “igualmente importante”, “moderadamente importante”, “absolutamente importante”). Los mapeos entre el conjunto difuso y el término lingüístico se ajustan a unas escalas difusas que representan los niveles de los términos lingüísticos vinculando expresiones verbales y numéricas (ver Tabla 3.4).

A partir de los juicios o preferencias de los expertos se establecen matrices de comparación por pares entre todos los criterios de las dimensiones del sistema jerárquico, como se muestra en la matriz \tilde{A} .

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & \tilde{a}_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Donde $\tilde{a}_{ii} = 1$, $\tilde{a}_{ji} = 1/\tilde{a}_{ij}$, $\tilde{a}_{ij} \neq 0$, por ejemplo, si el responsable de la toma de decisiones afirma que el criterio 1 es “moderadamente importante” con respecto al criterio 2, basándose en los valores dados en la Tabla 3.4, se evalúa su juicio

TABLA 3.4: Términos lingüísticos y números difusos triangulares

Escala de Saaty	Escalas lingüísticas	Escala triangular difusa
1	Igual importancia	(1,1,1)
3	Moderada importancia	(2,3,4)
5	Fuerte importancia	(4,5,6)
7	Muy fuerte importancia	(6,7,8)
9	Importancia absoluta	(9,9,9)
2	Valores intermedios entre dos escalas adyacentes	(1,2,3)
4		(3,4,5)
6		(5,6,7)
8		(7,8,9)

Fuente: Ganesh *et al.* (2021)

con el número difuso (2,3,4). Pero si, por el contrario, opina que el criterio 2 es “moderadamente importante” en relación con el criterio 1, entonces su juicio se representa con el número recíproco $(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$.

- Sintetizar los juicios: si hay más de un decisor, los juicios de los distintos expertos pueden variar por lo cual sus preferencias deben agregarse por medio de un promedio y obtener un resultado final. Para esta síntesis la media geométrica ha sido ampliamente utilizada en las investigaciones pues ha demostrado ser un enfoque válido para aproximar los valores propios de una matriz (Liu *et al.*, 2020).

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) &= \left(\prod_{t=1}^q \tilde{A}_{ij}^{(t)} \right)^{\frac{1}{q}} = (\tilde{a}_{ij}^{(1)} \otimes \tilde{a}_{ij}^{(2)} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{ij}^{(q)})^{\frac{1}{q}} \\ &= \left(\left(\prod_{t=1}^q l_{ij}^{(t)} \right)^{\frac{1}{q}}, \left(\prod_{t=1}^q m_{ij}^{(t)} \right)^{\frac{1}{q}}, \left(\prod_{t=1}^q u_{ij}^{(t)} \right)^{\frac{1}{q}} \right) \end{aligned} \quad (3.3)$$

- Calcular pesos difusos: en este paso se agregan múltiples conjuntos difusos de la matriz en uno solo por medio de la media geométrica (\tilde{r}_i) :

$$\tilde{r}_i = [\tilde{a}_{ij} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in}]^{1/n} \quad (3.4)$$

El valor de la “media” por la operación geométrica es entonces normalizado para generar el peso difuso de un criterio, mediante la Ecuación 3.5.

$$\tilde{W}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \quad (3.5)$$

5. Desenfocar pesos difusos: La defuzzificación convierte los resultados difusos en valores crispados que son más intuitivos y fáciles para la comparación final. En este paso se aplica el método del centroide o centro de área, el cual tiene muchas formas de cálculo. El peso difuso del criterio i se convierte en un número equivalente positivo empleando la Ecuación 3.6 que considera tanto los peores como los mejores resultados que surgen de un número difuso, seguidamente se normaliza este número utilizando la expresión dada por la Ecuación 3.7.

$$M_i = \frac{(l_i^W + 2m_i^W + u_i^W)}{4}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.6)$$

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (3.7)$$

6. Comprobar la consistencia: este paso garantiza que existan pocas contradicciones entre la comparación por pares de la matriz. La importancia de esta etapa radica en que una gran incoherencia puede mostrar una falta de comprensión del problema (Liu *et al.*, 2020). Para controlar los resultados de este método se calcula el ratio de consistencia de cada una de las matrices y la inconsistencia global de la jerarquía. En esta investigación, se emplea el método de defuzzificación (ecuación 3.6) para convertir las matrices de comparación difusa en matrices crispadas, a las que posteriormente se les halla la consistencia por medio del método de saaty. El índice de consistencia (CI) y el ratio de consistencia (CR) se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.8)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.9)$$

TABLA 3.5: Índice de consistencia aleatoria (RI) para (n) criterios

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

Fuente: Al-Harbi (2001)

λMax es el valor propio máximo de la matriz de comparación y (RI) es el índice aleatorio. El valor de este último depende del tamaño de la matriz n .

El ratio de consistencia debe cumplir con ciertos parámetros (Tabla 3.6) para que los juicios sean aceptadas. Si en una matriz supera el CR máximo la comparación debe ser revisada.

TABLA 3.6: Valores máximos de CR

Tamaño de la matriz (n)	% máximo CR
3	5 %
4	9 %
≥ 5	10 %

3.3.3 METODOLOGÍA SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA

Con esta herramienta se busca inferir los valores de las compras como resultado del desempeño de los indicadores de nivel 1 de SCOR. La configuración a seguir es la realizada por Zanon *et al.* (2020):

La base de reglas posee conectores “ AND ” que forman relaciones implicativas entre los términos lingüísticos de las variables de entrada de las reglas activas (Pedrycz y Gomide, 2007). Por un menor esfuerzo computacional suele usarse el operador t -norm (mínimo):

$$\mu_A(x) \text{ AND } \mu_B(y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3.10)$$

La estructura del FIS constituye la relación de alcance entre los números difusos resultantes de las operaciones lógicas y el consecuente de las reglas activas (Pourjavad y Shahin, 2018). El operador de implicación mínima (mamdani) mencionado en la siguiente ecuación se utiliza comúnmente:

$$\mu_{RA \rightarrow B}(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3.11)$$

La composición entre una instancia única difusa y la relación de implicación precisa el número difuso de salida de cada regla. La Ecuación 3.12 muestra el operador max-min utilizado por Zadeh para el razonamiento aproximado establecido en reglas *if-then*

$$S \circ R(x, y) = \max\{\min(\mu_A(x, y), \mu_B(y, z))\} \quad (3.12)$$

Las salidas resultantes de las reglas se añaden en un único conjunto difuso por medio del operador Max que se usa al preferir la compensación de las variables de entrada (Von Altrock, 1997)

$$AG(\cdot) = \max(\mu_{R1}(x), \mu_{R2}(x) \dots \mu_{Rn}(x)) \quad (3.13)$$

Finalmente, la defuzzificación convierte los números difusos de salida en números crispados utilizando el método del centro de área (CoA) que toma en consideración todos los valores de pertenencia en el cálculo de la salida (Zimmermann, 2010).

$$CoA = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_A(X_K) X_K}{\sum_{k=1}^n \mu_A(X_K)} \quad (3.14)$$

En otras palabras, por medio de esta metodología se define la terminología lingüística y los conjuntos difusos de las variables de entrada y salida. Los números difusos triangulares se suelen adoptar para este tipo de aplicación (Kaushal y Basak, 2018).

3.3.4 SIMULACIÓN

Finalmente, el tercer paso del modelo se basa en realizar simulaciones de escenarios mediante las superficies de respuesta del último FIS que proporciona la clasificación del rendimiento de compras como un número exacto y las superficies de respuesta respectivas. El ranking de la salida varía en un rango específico y representa la valoración del rendimiento y el rendimiento actual. Las gráficas de superficies muestran el desempeño en función de la combinación de dos atributos y son generadas de acuerdo con la cantidad de atributos seleccionados. Las rutinas computacionales para el modelo propuesto se implementarán en MATLAB.

Con el resultado de la simulación se espera visualizar que atributo tiene mayor impacto en compras, de esta manera, se pueden hacer cambios requeridos tanto en el modelo como en los procesos realizados en esta área con el fin de obtener mejores resultados en el rendimiento y tomar mejores decisiones.

3.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

De acuerdo con las metodologías planteadas para cada herramienta, el modelo híbrido propuesto basado en las métricas y atributos del modelo SCOR con FAHP para la asignación de pesos y FIS para la evaluación del rendimiento parece ser una técnica viable que ayude a los gerentes en el proceso de toma de decisiones.

Los indicadores SCOR de nivel 1 se emplean como un medio para evaluar el área de compras permitiendo la evaluación comparativa con otras cadenas de suministro y facilitando la comunicación con las partes interesadas. El sistema brinda la posibilidad de anticiparse y de realizar simulaciones constantes variando los datos e índices de entrada a fin de obtener resultados deseados. Además, con el modelo se pretende valorar la cantidad de indicadores utilizados en las empresas y su propósito con efectos correctivos.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el desarrollo de este capítulo se relacionan los datos de entrada al modelo; determinando los indicadores de compra utilizados en las industrias, estos, se asocian cualitativa y cuantitativamente con los indicadores del modelo SCOR del nivel 1. Como siguiente paso, se realiza la aplicación del FAHP tomando en cuenta la opinión de once expertos y la importancia relativa dada a los indicadores y atributos. Posteriormente, mediante el uso del FIS se aplica el modelo obteniendo resultados predictivos sobre el rendimiento del área de estudio. Por último, se realiza el análisis de los resultados obtenidos. El objetivo principal del capítulo es ejemplificar el paso a paso del desarrollo del modelo, obtener el valor del rendimiento y demostrar que la simulación de escenarios ayuda a comprender la contribución de los atributos de rendimiento en la cadena.

4.1 DESARROLLO DEL MODELO

4.1.1 DETERMINAR INDICADORES DE COMPRAS

Inicialmente, se realiza una búsqueda en la literatura de los indicadores utilizados comúnmente en compras en industrias de diferentes sectores económicos. Para la

recolección de información se contemplan nueve fuentes (Apéndice A.1) y mediante la frecuencia se establecen 12 indicadores relacionados en la Figura 4.1. Esta identificación permite tener un panorama general y actual de las mediciones en esta área y otorga una familiarización con la temática para futuras mediciones en empresas de distintos giros.



FIGURA 4.1: Indicadores de compras en la literatura

Los 12 indicadores se asocian con los del modelo SCOR de primer nivel. Para la identificación de métricas enfocadas en el abastecimiento del modelo SCOR, se realiza una revisión detallada teniendo en cuenta métricas de los niveles 1, 2 y 3 (Apéndice A.2). En este estudio, el segundo y tercer nivel de métricas se tiene en cuenta solo en esta parte, en vista que, las métricas encontradas en la literatura tienden a ser específicas en las mediciones y la estructura de los indicadores del nivel 1 del modelo de referencia de las operaciones de la cadena de suministro son algo generales. El registro de esta información se realiza revisando los procedimientos y las métricas de gestión para el proceso “*source*”, con el fin de obtener una contextualización mayor y lograr una asociación exitosa. Mediante la Figura 4.2 se ejemplifica el método de revisión de los niveles de medición contemplados.

RL.1.1 Cumplimiento perfecto de los pedidos	RL.2.1. % de ordenes entregadas completas	Exactitud ITEMS entregadas Exactitud cantidades entregadas
	RL.2.2. Entrega en fecha y hora acordada	Logro de la fecha de entrega al cliente – tiempo de recepción de cliente Lugar preciso de entrega
	RL.2.3. Documentación precisa	Documentación exacta de pago Documentación conforme Otra documentación requerida
	RL.2.4. Condición perfecta	Ordenes entregadas conformes libres de daños Ordenes Entregadas conformes libres de defectos % de ordenes entregadas libres de daños Garantía y devoluciones

FIGURA 4.2: Atributo confiabilidad y sus métricas

Fuente: Supply (2017)

La agrupación de todos los indicadores es relacionada en la Tabla 4.1. Es necesario mencionar que no todos los indicadores del nivel 1 de SCOR enfocados en compras citados en el capítulo anterior por medio de la Tabla 3.3 se están tomando en cuenta en la asociación; el valor total en riesgo y el rendimiento de los activos fijos de la cadena de suministro no se relacionan con la base de las métricas encontradas en la literatura. La misma situación puede suceder cuando se aplique el modelo en un caso de estudio.

TABLA 4.1: Asociación de indicadores

Indicador literatura	Indicador nivel 1 SCOR
Tasa de cumplimiento	RL.1.1 Cumplimiento perfecto de los pedidos
Calidad del suministro	
Fiabilidad del proveedor	
Selección y evaluación de proveedores	
Tasa de defectos	
Adquisición de emergencia	AG.1.1.Adaptabilidad de la cadena de suministro superior
Retorno de la inversión	AM.1.1 Duración del ciclo de caja
Exactitud del inventario	AM.1.3 Rendimiento del capital circulante
Costos de adquisiciones	CO.1.1 Costo total de la gestión de la cadena de suministro
Rendimiento de los precios	
Tiempo de ciclo de adquisición	RS.1.1 Duración del ciclo de ejecución de pedidos
Tiempo de entrega del proveedor	

Al observar la Tabla 4.1 se confirma lo mencionado anteriormente, la generalidad del nivel 1 de SCOR asocia varios indicadores como en el caso de cumplimiento perfecto de los pedidos, costo total de la gestión de la cadena de suministro y duración del ciclo de ejecución de pedidos. Debido a esto y en busca de poseer solo una entrada de datos por indicador se simplifica la información considerando los indicadores más relevantes según la estructura de las métricas, la frecuencia de uso y el impacto en compras tomando en cuenta cuatros aspectos principales: costo, calidad, entrega e inventario. La Tabla 4.2 relaciona la asociación final y la conversión de cifras.

TABLA 4.2: Asociación final de indicadores y conversión de cifras

Indicador nivel 1 SCOR	Indicador literatura	Unidad	Cifra actual	Figura de referencia	Relación proporcional	Figura convertida (rango 0-10)
Cumplimiento perfecto de los pedidos	Tasa de cumplimiento	Porcentaje	88	96	Directo	9
Adaptabilidad de la CS superior	Adquisición de emergencia	Porcentaje	5	3	Inverso	6
Duración del ciclo de caja	Retorno de la inversión	Tiempo	6	4	Inverso	7
Rendimiento del capital circulante	Exactitud del inventario	Porcentaje	80	97	Directo	8
Costo total de la gestión de la CS	Costos de adquisiciones	Porcentaje	50	40	Inverso	8
Duración del ciclo de ejecución de pedidos	Tiempo de ciclo de adquisición	Tiempo	6.5	4	Inverso	6

CS: cadena de suministro

La mayoría de las unidades son presentadas en porcentajes para hacer adaptables las modificaciones entre diferentes empresas (tipo, tamaño, giro empresarial, etc.). Los índices de rendimiento actuales y las figuras de referencia (tomadas como cifras objetivas) se obtienen de informes de la evolución del desempeño logístico de las cadenas de suministro en México realizados por la secretaria de economía y otras entidades. En el caso de aplicar este modelo en una empresa, estas cifras pueden ser tomadas del sistema de planificación de recursos empresariales o de los índices del sistema de medición que utilicen.

Las cifras son convertidas en un rango uniforme de cero a diez con la finalidad de hacer factibles futuras evaluaciones comparativas internas y externas. El cálculo de las cifras convertidas se lleva a cabo mediante la relación proporcional del indicador con respecto al rendimiento, es decir, en el caso de una proporción directa cuanto mayor sea su valor mejor será el rendimiento, por ejemplo, en el cum-

plimiento perfecto de los pedidos y en el rendimiento del capital circulante. Por el contrario, una proporción inversa se refiere a altas cifras que afectan o empeoran el rendimiento, como en el caso de duración del ciclo de ejecución de los pedidos y los demás restantes. Para hallar los valores se utilizan las Ecuaciones 4.1 y 4.2.

$$\text{Relación proporcional directa} = \frac{\text{cifra actual}}{\text{cifra de referencia}} \quad (4.1)$$

$$\text{Relación proporcional inversa} = \frac{\text{cifra de referencia}}{\text{cifra actual}} \quad (4.2)$$

De acuerdo con la asociación final, el modelo a implementar en este estudio se representa mediante la Figura 4.3. En adelante, se utilizan solo los términos del modelo SCOR para continuar con los siguientes pasos de desarrollo.

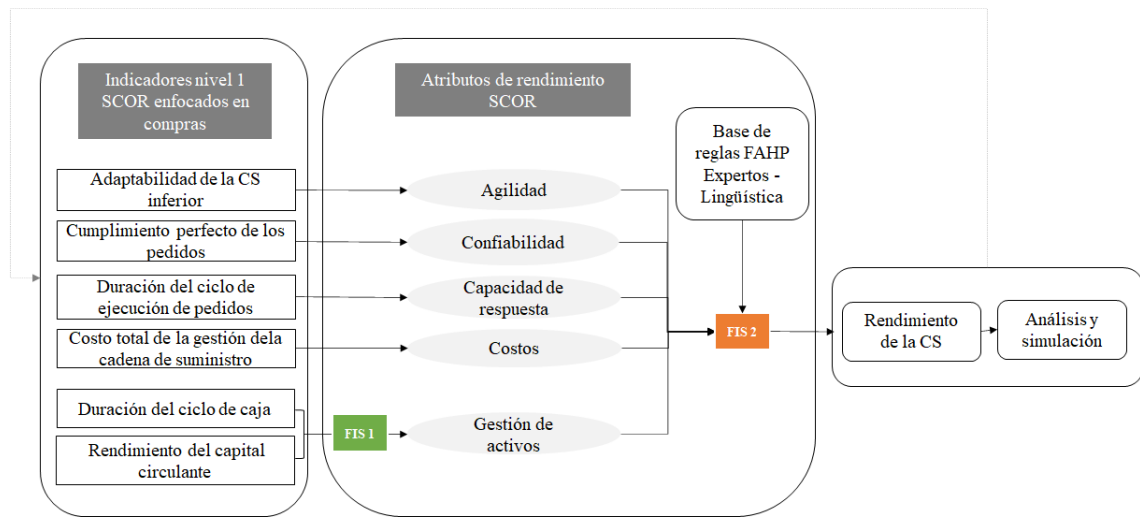


FIGURA 4.3: Modelo configurado

En la Figura 4.3 se pueden observar seis indicadores de entrada, de los cuales dos corresponden al atributo gestión de activos, por consiguiente, en esta parte, se realiza el primer FIS para obtener la evaluación de este atributo y luego realizar el segundo FIS para conocer el rendimiento de compras.

4.1.2 APLICACIÓN DE FAHP

En la sección anterior se identificaron los posibles indicadores utilizados en las empresas en el proceso de compras y se asociaron con los de SCOR cualitativa y cuantitativamente. Con la técnica FAHP se pretende conocer el grado de importancia de cada atributo de rendimiento con respecto al área de estudio. Estas dos fuentes de datos alimentarán la base de reglas del FIS.

Como se mencionó anteriormente, el FAHP está compuesto por una serie de pasos desarrollados a continuación:

Estructurar el problema o determinar el objetivo: en este caso, se busca priorizar los atributos de rendimiento del modelo SCOR con el fin de categorizarlos. Por medio de la Figura 4.4 se representa la jerarquía compuesta por objetivo y atributos con sus siglas de identificación.

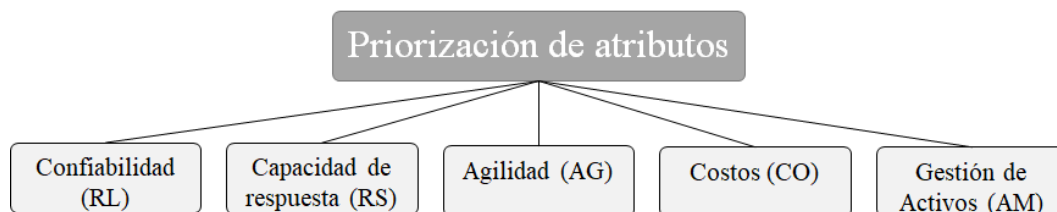


FIGURA 4.4: Árbol jerárquico para FAHP

Matriz de comparación por pares: para este punto es necesario el diseño y aplicación de un cuestionario que permita recoger la información de entrada. Por medio de una encuesta realizada en la plataforma “onlineencuesta” se recolectan los datos. Se utiliza esta plataforma debido a su entorno amigable, su flexibilidad en el diseño y por su proyección de resultados. En la encuesta se incluye las comparaciones por pares de los atributos entre sí, es decir, confiabilidad se compara con los otros cuatro atributos, luego agilidad con los siguientes tres y así sucesivamente.

En relación con la definición del número de expertos a considerar, se realiza una revisión de literatura a fin de contemplar un número ideal de juicios. La Tabla

4.3 relaciona los artículos revisados.

TABLA 4.3: Número de juicios de expertos para FAHP

Autor	Número de expertos	Método	Tecnica
Jovčić <i>et al.</i> (2019)	15 expertos	Cuestionarios	FAHP/FTOPSIS
Jain <i>et al.</i> (2020)	8 expertos	Reuniones	FAHP/FTOPSIS/FIS
Elgazzar <i>et al.</i> (2010)	4 expertos	Cuestionarios	FAHP
Abbasimehr y Tarokh (2017)	5 expertos	Cuestionarios	FAHP/FIS
Govindan <i>et al.</i> (2017)	12 expertos	Debates	FAHP/FTOPSIS
Ayhan y Kilic (2015)	2 expertos	Reuniones	FAHP

De acuerdo con la información anterior, según el promedio de lo hallado ocho expertos son adecuados para continuar con el método, sin embargo, la encuesta se realiza a quince del área de compras; personas con conocimientos y experiencia laboral en el campo. El Apéndice A.3 muestra la información detallada del cuestionario.

Una vez obtenidos los resultados de la encuesta, se utiliza la escala mencionada en la Tabla 3.4 con la intención de convertir los términos lingüísticos en números difusos triangulares. Para consolidar la información recolectada y realizar los cálculos del FAHP se utiliza el programa Excel. Especialistas en esta técnica consideran que este programa es ideal dado que proporciona algunos beneficios como facilidad de uso, menor tiempo de ejecución, mayor exactitud y la opción de realizar cambios a valores introducidos sin necesidad de modificar las formas de cálculo. En el Apéndice A.4 se encuentran las matrices de comparación por pares difusa de cada experto para los criterios principales (atributos de rendimiento).

Comprobar consistencia: aunque muchos estudios no incluyen este paso, es indispensable comprobar la consistencia de los juicios de los expertos a fin de garantizar la conformidad de los resultados de los cálculos, proceder con el método y deducir a partir de este. Utilizando el juicio del experto 3 se convierte la matriz en números no difusos, por medio de la Ecuación 3.6 se normalizan los números y se halla el máximo valor propio (λ_{max}) de la matriz de comparación.

Posteriormente, se halla el índice de consistencia (CI) por medio de la Ecuación

TABLA 4.4: Máximo valor propio de la matriz de comparación del experto 3

Números no difusos					Números normalizados					\bar{X}		
1.00	9.00	9.00	7.00	7.00	0.66	0.69	0.43	0.69	0.69	0.63	3.467	5.495
0.11	1.00	1.00	1.00	1.00	0.07	0.08	0.05	0.10	0.10	0.08	0.439	5.572
0.11	1.00	1.00	0.20	0.20	0.07	0.08	0.05	0.02	0.02	0.05	0.246	5.168
0.14	1.00	5.00	1.00	1.00	0.10	0.08	0.24	0.10	0.10	0.12	0.651	5.363
0.14	1.00	5.00	1.00	1.00	0.10	0.08	0.24	0.10	0.10	0.12	0.651	5.363
1.51	13.00	21.00	10.20	10.20							1	λ_{max} 5.392

3.8, donde n es igual a 5. Para hallar la razón de consistencia (CR) se utiliza la Ecuación 3.9, el índice de consistencia aleatoria (RI) es 1.12 el cual depende del tamaño de la matriz (Tabla 3.5).

$$CI = \frac{(5.392-5)}{(5-1)} = 0.098 \quad CR = \frac{0.098}{1.12} = 0.088$$

Según el resultado obtenido, el juicio del experto tres cumple la propiedad de transitividad y proporcionalidad (Tabla 3.6) debido a que es menor que 0.1, por lo tanto, se reconoce como consistente y aceptable. En caso de que alguna matriz de juicio sobrepase esta medida se debe reconstruir mediante nuevas preferencias o no tenerla en cuenta.

El mismo procedimiento de cálculo anterior se realiza con las otras 14 matrices (ver Apéndice A.5). Los resultados están resumidos y relacionados en la Tabla 4.5

TABLA 4.5: Consistencia de los juicios

Experto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CI	0.111	0.093	0.098	0.204	0.103	0.266	0.083	0.098	0.356	0.110	0.088	0.312	0.072	0.107	0.091
CR	0.099	0.083	0.088	0.182	0.092	0.238	0.074	0.087	0.318	0.098	0.078	0.278	0.065	0.096	0.081

Los juicios con ratios de consistencias menor o igual a 0.10 son contemplados para la continuación de los pasos del FAHP, es decir, son incluidas las preferencias 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14 y 15 (sombreados en color verde) un total de once expertos. Los dictámenes mayores a 0.1 son descartados.

Sintetizar los juicios: una vez establecidas las matrices que se incluyen en el cálculo, utilizando la media geométrica (Ecuación 3.3) se resumen los juicios para la agregación de la decisión del grupo obteniendo los siguientes resultados:

TABLA 4.6: Agrupación de juicios

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1.00	1.00	1.00	1.69	2.06	2.44	1.53	1.78	2.02	0.53	0.68	0.88	1.27	1.53	1.85
AG	0.41	0.49	0.59	1.00	1.00	1.00	0.51	0.58	0.69	0.24	0.29	0.36	0.66	0.78	0.94
RS	0.49	0.56	0.65	1.46	1.71	1.97	1.00	1.00	1.00	0.22	0.27	0.35	0.90	1.03	1.18
CO	1.13	1.48	1.90	2.77	3.43	4.13	2.84	3.70	4.52	1.00	1.00	1.00	2.73	3.22	3.74
AM	0.54	0.66	0.79	1.07	1.28	1.51	0.85	0.97	1.11	0.27	0.31	0.37	1.00	1.00	1.00

El ratio de consistencia de esta matriz es de 0.016 valor apto para la metodología que traduce que hay pocas contradicciones entre los distintos responsables contemplados.

Cálculo de pesos difusos: basándose en la Tabla 4.6, la media geométrica de los valores de comparación difusa de cada criterio se calcula mediante la Ecuación 3.4. Por ejemplo, en el caso del atributo confiabilidad (RL) se calcula como:

$$\tilde{r}_i = \left[(1 * 1.69 * 1.53 * 0.53 * 1.27)^{\frac{1}{5}}, (1 * 2.06 * 1.78 * 0.68 * 1.53)^{\frac{1}{5}}, \right. \\ \left. (1 * 2.44 * 2.02 * 0.88 * 1.85)^{\frac{1}{5}} \right] = [1.116, 1.305, 1.518]$$

Por lo tanto, las medias geométricas de todos los criterios con valores difusos se muestran en la Tabla 4.7. Además, se añaden los totales, la inversa de los totales y el vector reordenado de cada \tilde{r}_i , de tal forma que los valores de los TFN's queden organizados según (l, m, u) .

Para hallar los pesos, se utiliza la Ecuación 3.5 y la forma de cálculo se ejemplifica mediante el atributo confiabilidad (RL):

$$W_i = [(0.151 * 1.116), (0.176 * 1.305), (0.206 * 1.518)] = [0.169, 0.230, 0.312]$$

Realizando el mismo procedimiento para todos los criterios se obtienen las ponderaciones difusas relativas.

TABLA 4.7: Medias geométricas y pesos difusos relativos de cada criterio

	r_i			W_i		
RL	1.116	1.305	1.518	0.169	0.230	0.312
AG	0.506	0.578	0.672	0.077	0.102	0.138
RS	0.679	0.769	0.882	0.103	0.135	0.181
CO	1.894	2.271	2.657	0.287	0.400	0.547
AM	0.666	0.759	0.865	0.101	0.134	0.178
Total	4.861	5.682	6.593			
Invertir (Potencia de -1)	0.206	0.176	0.152			
Aumentar el orden	0.152	0.176	0.206			

Desenfocar los pesos difusos: para este último paso, inicialmente se halla el peso relativo no difuso de cada atributo M_i mediante el método del centroide (Ecuación 3.6). Posteriormente, los M_i no difusos se dividen por el valor total (Ecuación 3.7). De esta manera, se calculan los pesos normalizados N_i de cada criterio. Estas cifras junto con la categoría de importancia de los atributos están plasmadas en la Tabla 4.8.

TABLA 4.8: Pesos relativos promediados y normalizados de los criterios (atributos)

Atributo	M_i	N_i	Rank	
RL	0.235	0.230	2	23 %
AG	0.105	0.102	5	10 %
RS	0.139	0.136	3	14 %
CO	0.408	0.399	1	40 %
AM	0.137	0.133	4	13 %

Con los resultados obtenidos se puede observar que el atributo costos con un peso relativo de aproximadamente 40 % posee mayor relevancia según el juicio de los expertos en el área de compra de la cadena de suministro, seguido por la confiabilidad con un 23 %, mientras que, capacidad de respuesta y gestión de activos obtienen 14 % y 13 %, respectivamente. Por último, según los resultados obtenidos el atributo que

menos impacta el área de estudio es la agilidad con un 10 %.

Con el *ranking* relacionado en la Tabla 4.8 logrado con la aplicación del FAHP, el siguiente paso en el desarrollo del estudio es incorporar esta información como datos de entrada en el sistema de inferencia difusa para evaluar el rendimiento.

4.1.3 APLICACIÓN FIS

Se establecen dos FIS como se muestra en la Figura 4.3:

- FIS 1 calcula la gestión de activos a partir de sus concernientes indicadores. La base de reglas y las funciones de membresía de este primer FIS se parametrizan de acuerdo con la percepción de los expertos sobre la cadena de suministro y el proceso realizado por el FAHP;
- FIS 2 calcula el valor del abastecimiento en cinco entradas: gestión de activos; el consecuente del FIS 1. Adaptabilidad de la cadena de suministro superior, cumplimiento perfecto de los pedidos, duración del ciclo de ejecución de pedidos y costo total de la gestión de la cadena de suministro, los indicadores de nivel 1 de agilidad, confiabilidad, capacidad de respuesta y costos, respectivamente. Es significativo manifestar que, en el segundo FIS, se debe parametrizar la base de reglas considerando la perspectiva del valor de compras.

4.1.3.1 FUNCIONES DE PERTENENCIA PARA LAS ENTRADAS Y SALIDAS

Para los dos FIS definidos se aplican variables de calificación lingüística, en el caso de antecedentes (entradas) se proponen tres términos denominados: “bajo”, “medio” y “alto”. Para el consecuente (salida), cinco términos: “muy bajo”, “bajo”, “medio”, “alto” y “muy alto” (Zanon *et al.*, 2020). Los conjuntos difusos designados a estos términos lingüísticos se presentan en las Tablas 4.9 y 4.10.

TABLA 4.9: Términos lingüísticos para evaluar los antecedentes.

Términos lingüísticos	Número triangular difuso
Bajo	(0, 0, 5)
Medio	(0, 5, 10)
Alto	(5, 10, 10)

TABLA 4.10: Términos lingüísticos para evaluar el consecuente

Términos lingüísticos	Número triangular difuso
Muy bajo	(0, 0, 2,5)
Bajo	(0, 2,5, 5)
Medio	(2,5, 5, 7,5)
Alto	(5, 7,5, 10)
Muy alto	(7,5, 10, 10)

En las Figuras 4.5 y 4.6 se establecen funciones de pertenencia triangulares incorporadas en las variables antecedente y consecuente debido a su idoneidad para este tipo de aplicación (Osiro *et al.*, 2014). Los TFN's son definidos en el intervalo $[0,10]$ para hacer posible las comparaciones.

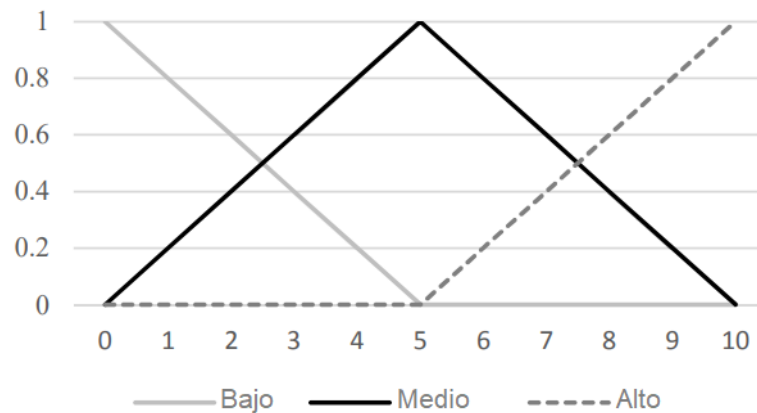


FIGURA 4.5: Funciones de pertenencia de los términos lingüísticos antecedentes

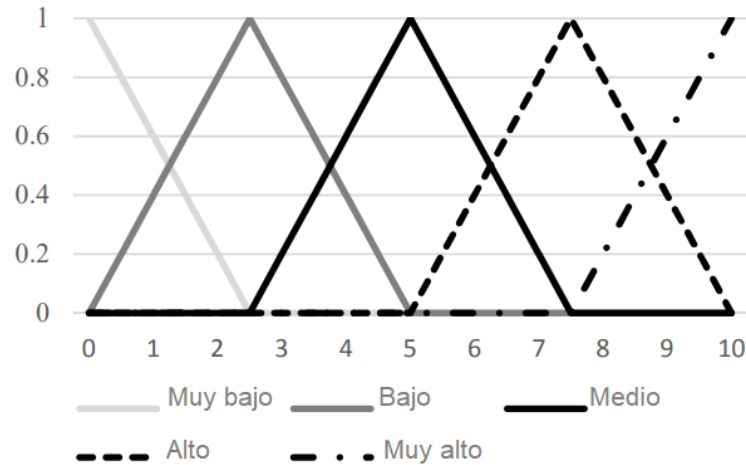


FIGURA 4.6: Funciones de pertenencia de los términos lingüísticos consecuentes

4.1.3.2 REGLAS DIFUSAS PARA EL MODELO

La experiencia y conocimiento humano frecuentemente se pueden presentar a modo de reglas difusas, por ello, estas reglas poseen un papel fundamental en la resolución de la mayoría de los problemas reales.

Normalmente, las reglas pueden ser conformadas bajo juicios de expertos por medio de instrumentos de recolección de información como cuestionarios, entrevistas o técnicas de papel basados en experiencia y lógica (Tavana *et al.*, 2019). Sin embargo, cuando la cantidad de reglas es alta su definición puede llegar a ser confusa y tediosa al plasmar o definir las salidas, para estos casos, se sugiere la utilización de técnicas de consenso que permitan priorizar criterios aumentando la solidez de las reglas (Zanon *et al.*, 2020). También, en ciertas ocasiones no se tiene acceso a dichos expertos, de ser así, se puede utilizar una base de datos de variables de entrada – salida.

Las reglas difusas “SI-ENTONCES” o en inglés “*IF-THEN*” se generan en función de las variables lingüísticas antecedentes y del número de entradas. Un FIS tiene una base de reglas igual ax^n , donde x es el número de variables lingüísticas antecedentes y n es el número de entradas a un FIS. El número de reglas aumenta

significativamente cuando aumenta el número de entradas.

Para este modelo, se tienen tres términos lingüísticos antecedentes (bajo, medio, alto) y dos FIS con diferentes variables de entrada. La tabla 4.11 relaciona las variables de entrada, salida y la cantidad de reglas de cada FIS. En ambos casos se toman en cuenta todos los escenarios y combinaciones posibles.

TABLA 4.11: Número de reglas difusas para el modelo FIS de evaluación

	Entrada	Salida	Reglas
FIS 1	Capital circulante	Gestión de activos	$3^2 = 9$
	Ciclo de caja		
FIS 2	Confiable	Rendimiento de compras	$3^5 = 243$
	Agilidad		
	Capacidad de respuesta		
	Costos		
	Gestión de activos		

Utilizando y adaptando el procedimiento realizado por Liu y Zhang (2020) y Tavana *et al.* (2017), se construyen las reglas con base a las ponderaciones de los criterios. Para obtener una prioridad entre los dos indicadores de gestión de activos del FIS 1 se pide a los 15 expertos su valoración de importancia (Tabla 4.12), obteniendo para el rendimiento del capital circulante un peso de 0.235 y para duración del ciclo de caja 0.764. En cuanto al FIS 2 se utilizan los resultados del FAHP (Tabla 4.8). La proporción de los términos lingüísticos se determina en un intervalo de $[0,1]$ tanto de los antecedentes como del consecuente y la salida de la regla se inclina según el peso definido para los cinco términos lingüísticos del consecuente.

TABLA 4.12: Valoración de indicadores de FIS 1

Experto/ Indicador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Capital Circulante	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Ciclo de caja	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1

La Tabla 4.13 presenta las reglas difusas para el FIS 1. En la columna “ENTONCES” las siglas significan: MB: muy bajo, B: bajo, M: medio, A: alto y MA: muy alto. El mismo procedimiento se realiza para las reglas del FIS 2, debido a la cantidad son relacionadas en el Apéndice A.6

TABLA 4.13: Reglas de inferencia para FIS 1

Regla	SI			ENTONCES
	Duración del ciclo de caja	OP	Rendimiento del capital circulante	Gestión de activos
1	Bajo	AND	Bajo	MB
2	Bajo	AND	Medio	MB
3	Bajo	AND	Alto	B
4	Medio	AND	Bajo	B
5	Medio	AND	Medio	M
6	Medio	AND	Alto	A
7	Alto	AND	Bajo	A
8	Alto	AND	Medio	MA
9	Alto	AND	Alto	MA

4.1.3.3 REGISTROS COMPUTACIONALES

El modelo difuso se basa en el algoritmo de Mamdani y se ejecuta en la caja de herramientas *Fuzzy Logic Toolbox* del software MATLAB que desarrolla programas de lógica difusa basándose en grados de pertenencia para obtener respuestas de varios problemas.

La Figura 4.7 muestra el diseño del FIS 1 con sus dos variables de entrada: indicadores de ciclo de caja y capital circulante y, la variable de salida correspondiente al atributo de gestión de activos. Los parámetros configurados para el diseño de los dos FIS fueron descritos en la sección 3.3.3.

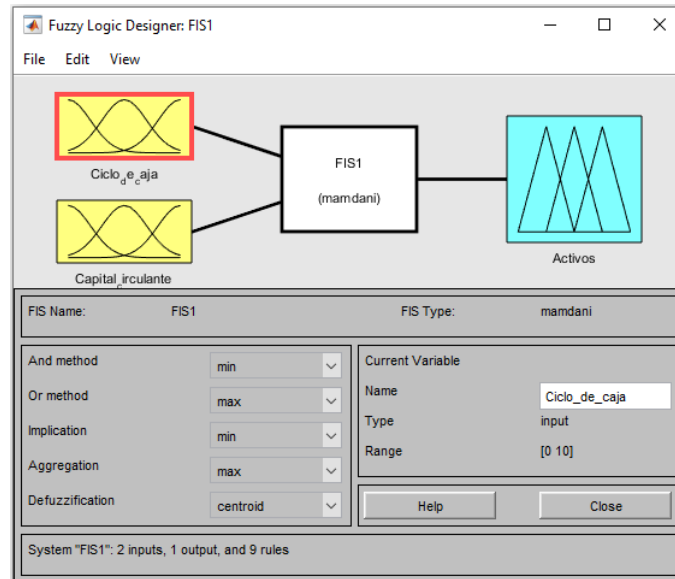


FIGURA 4.7: Diseño del FIS 1

En la Figura 4.8 se muestra la introducción de las funciones de membresía, es decir, las etiquetas lingüísticas de entrada y salida mencionadas en las Tablas 4.9 y 4.10. Las mismas escalas son utilizadas para cada variable.

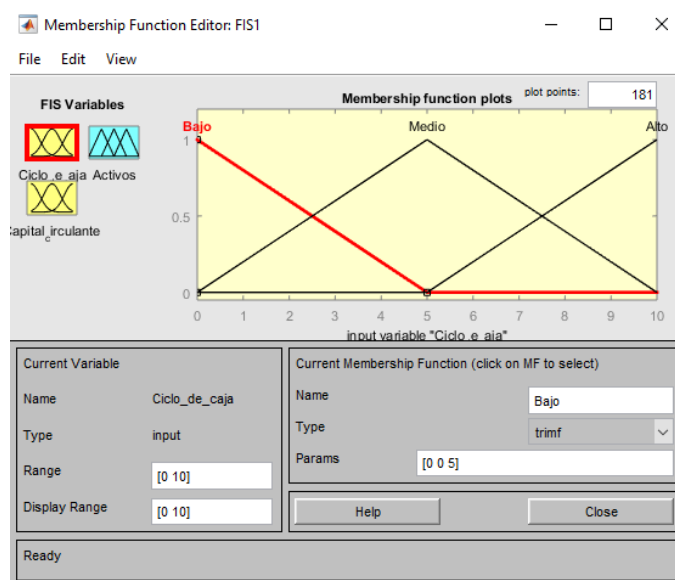


FIGURA 4.8: Funciones de membresía FIS 1

La Figura 4.9 presenta el editor de regla del FIS 1, en él, se incluyen las reglas mencionadas en la Tabla 4.13.

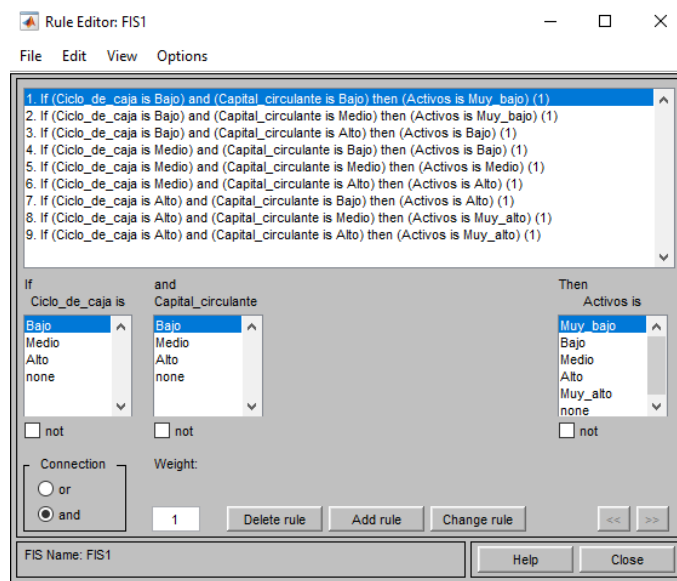


FIGURA 4.9: Editor de reglas FIS 1

La Figura 4.10 presenta el visor de reglas: una hoja de ruta de todo el proceso de inferencia difusa. Las dos primeras columnas incorporan los antecedentes (gráficos amarillos) y la tercera el consecuente de cada regla (gráficos azules). Cada regla es una fila de gráficos y cada columna es una variable. Los números de las reglas se muestran a la izquierda de cada fila.

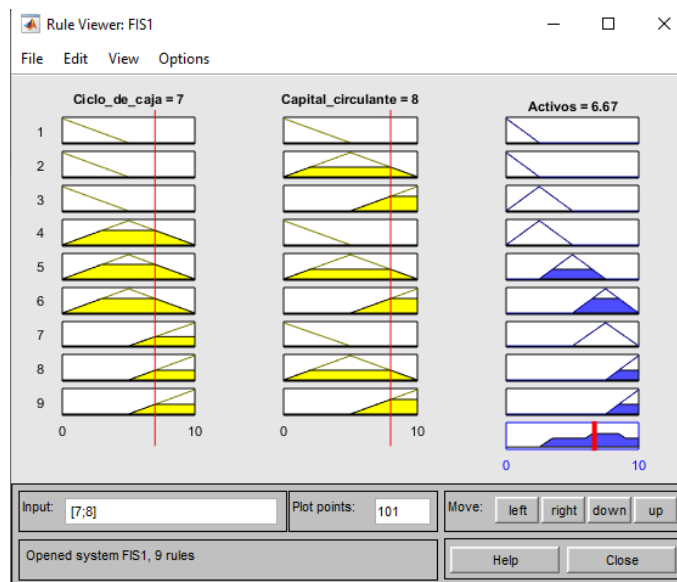


FIGURA 4.10: Visor de reglas FIS 1

Los gráficos resultantes en la tercera columna corresponden a la decisión ponderada agregada para el sistema de inferencia dado. Esta decisión dependerá de los valores de entrada. La salida defuzzificada se muestra como una línea vertical de color rojo en negrita. Las variables (indicadores) y sus valores actuales se muestran en la parte superior de las columnas. En la parte inferior izquierda hay un campo de texto “*Input*” en el que se introducen los valores de entrada específicos. También pueden ser ajustados de manera manual moviendo horizontalmente las líneas de índice rojas de cada variable. Una vez definido un valor para las entradas, la salida se volverá a calcular automáticamente. En este caso, se incluye la cifra de 7 para el indicador de ciclo de caja y 8 para capital circulante, estos índices fueron asignadas en la Tabla 4.2.

Finalmente, el resultado obtenido en el este primer FIS es de 6.67, valor representativo de gestión de activos a partir de sus correspondientes indicadores que traduce tener un comportamiento medio según la escala utilizada. El valor es determinado de acuerdo con agregación de reglas activas o ejecutadas (5, 6, 8 y 9, gráficos con relleno de color azul).

Se utiliza el mismo procedimiento de introducción de datos anterior en la programación del FIS 2, realizando pequeñas modificaciones: el número de entradas es 5 e incluye 243 reglas. La Figura 4.11 muestra el diseño del FIS 2.

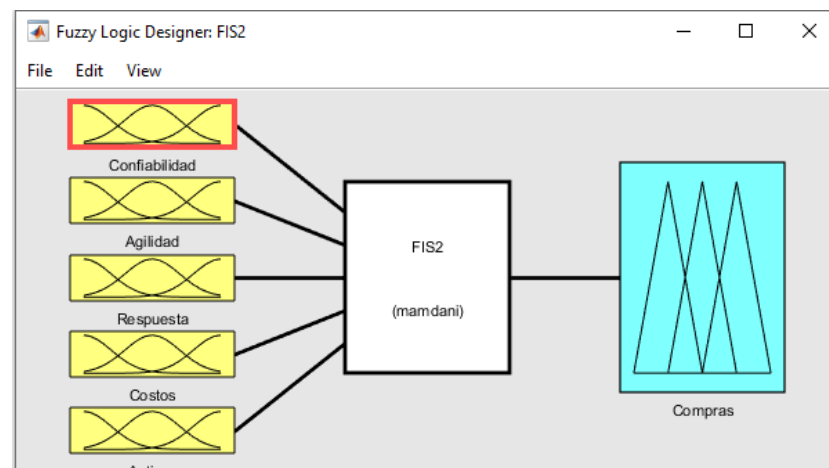


FIGURA 4.11: Diseño del FIS 2

Las variables de entrada están definidas por los cinco atributos de rendimiento y sus cifras de evaluación fueron obtenidas de sus correspondientes indicadores (ver Tabla 4.2), menos en el caso del valor de gestión de activo que fue hallado mediante la aplicación del FIS 1.

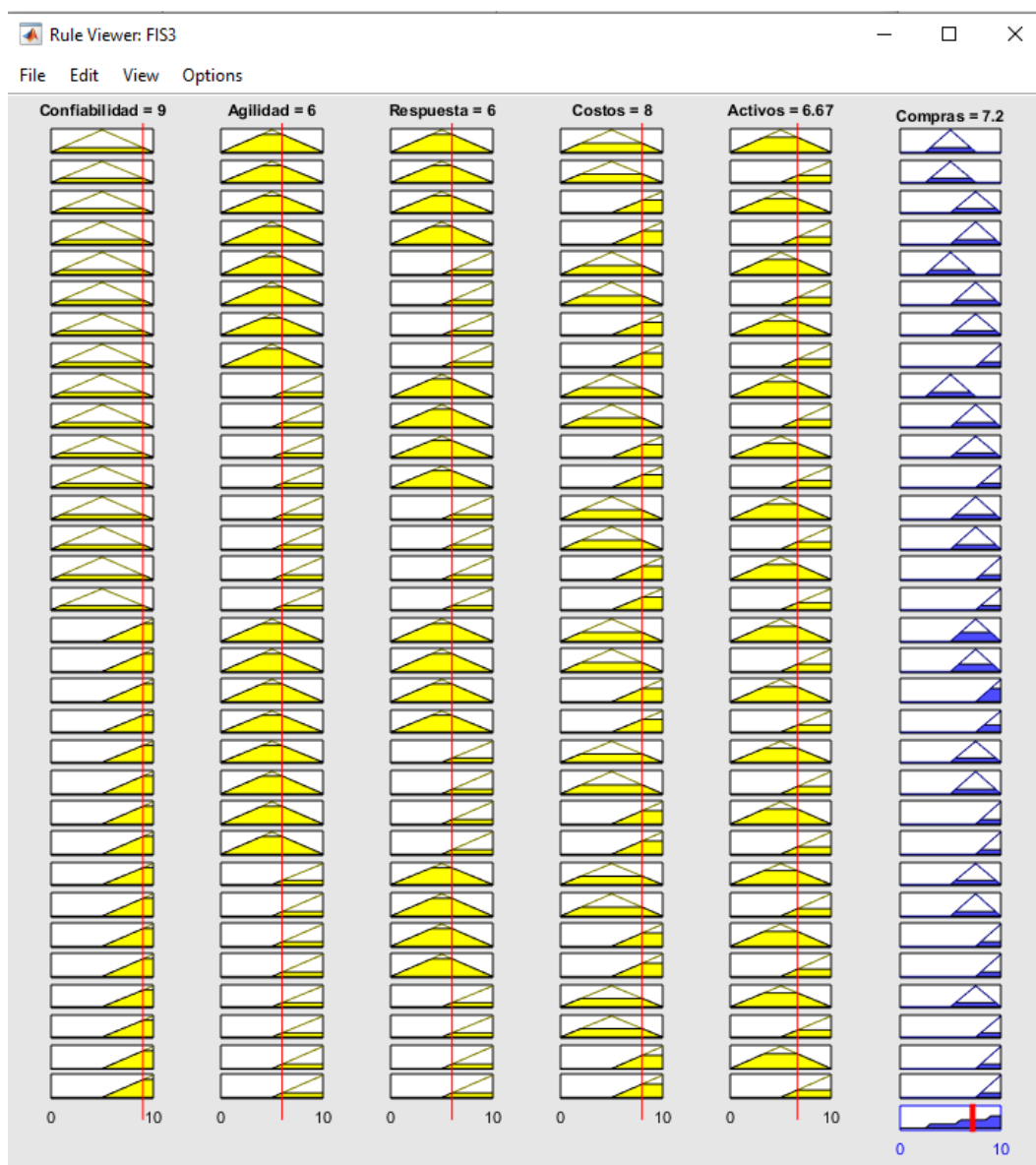


FIGURA 4.12: Visor de reglas FIS 1

Debido a la alta cantidad de reglas, la Figura 4.12 resume el resultado del sistema difuso mostrando solo las reglas activas, un total de 32 correspondientes a los números de regla 122, 123, 125, 126, 131, 132, 134, 135, 149, 150, 152, 153, 158,

159, 161, 162, 203, 204, 206, 207, 212, 213, 215, 216, 230, 231, 233, 234, 239, 240, 242 y 243 de la Tabla A.6. De lo cual, se infiere que ninguna de estas combinaciones de “SI-ENTONCES” incluye una valoración “baja” en ninguna variable. Por consiguiente, se puede decir que para la agregación del resultado solo se toman en cuenta reglas conformadas con términos “medios” y “altos”.

Finalmente, tras la aplicación del segundo FIS y según el resultado obtenido, el rendimiento de compras presenta un valor de 7.2 determinado como “medio” conforme a los escenarios tomados en cuenta y las evaluaciones ingresadas en cada una de las variables del modelo. Es preciso mencionar que esos índices pueden ser modificados en busca de un mejor comportamiento o a fin de tener un valor deseado.

4.1.4 ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Tras el resultado del FIS 2 se generan diez superficies de comparación entre los atributos del modelo SCOR representadas en la Figura 4.13. Las gráficas muestran la relación tridimensional entre varias variables de entrada y salida. La variación de la salida frente a las variables de entrada depende de las reglas de inferencia difusa desarrolladas. El eje x y y de cada superficie de comparación corresponde a las variables de entrada, mientras que el eje z representa la salida del sistema, tanto las variables de entrada como la de salida poseen un intervalo de $[0,10]$. Por consiguiente, en este caso, se muestra el trazado del rendimiento de compras en función de los atributos. Este análisis ayuda a identificar el camino más corto para maximizar el índice de valor de compras. Además, la superficie de salida del FIS brinda a los investigadores y expertos la oportunidad de examinar el efecto de los criterios en el desempeño.

Como datos generales para el análisis de las gráficas el comportamiento de las fluctuaciones muy aleatorias en la superficie representa debilidad y al mismo tiempo indican un desarrollo erróneo de las reglas difusas generadas. Con el fin de

representar la sostenibilidad y la fuerza de las reglas, las superficies deben mostrar un patrón aproximado ascendente y descendente. Por lo tanto, según el comportamiento obtenido de pocas alteraciones en las superficies se puede deducir que el desarrollo de las reglas fue bueno.

A cada superficie de comparación se le agregaron los índices de evaluación de cada variable, la flecha indica el camino para mejorar teóricamente el área de compras. Como apreciaciones principales se tienen que:

- Al comparar costos con los otros atributos se comprueba que posee mayor contribución en compras
- Confiabilidad posee mayor contribución a compras que agilidad, gestión de activos y capacidad de respuesta
- El comportamiento de gestión de activos, agilidad y capacidad de respuesta no presenta contribución significativa para compras
- Se pueden observar solo tres tendencias repetitivas en el comportamiento de las 10 superficies

En conclusión, mediante el análisis de todas las superficies, es posible deducir que la mejora principalmente de costos, seguido de confiabilidad debe ser esencial, debido a que estos dos atributos poseen mayor impacto en el área de estudio bajo los escenarios y parámetros contemplados. A partir de este diagnóstico se puede trazar una ruta de mejora que conecte el resultado del FIS 2 con un punto óptimo que se desee alcanzar para mejorar la situación actual y planes de mejora que ayuden al aumento del rendimiento.

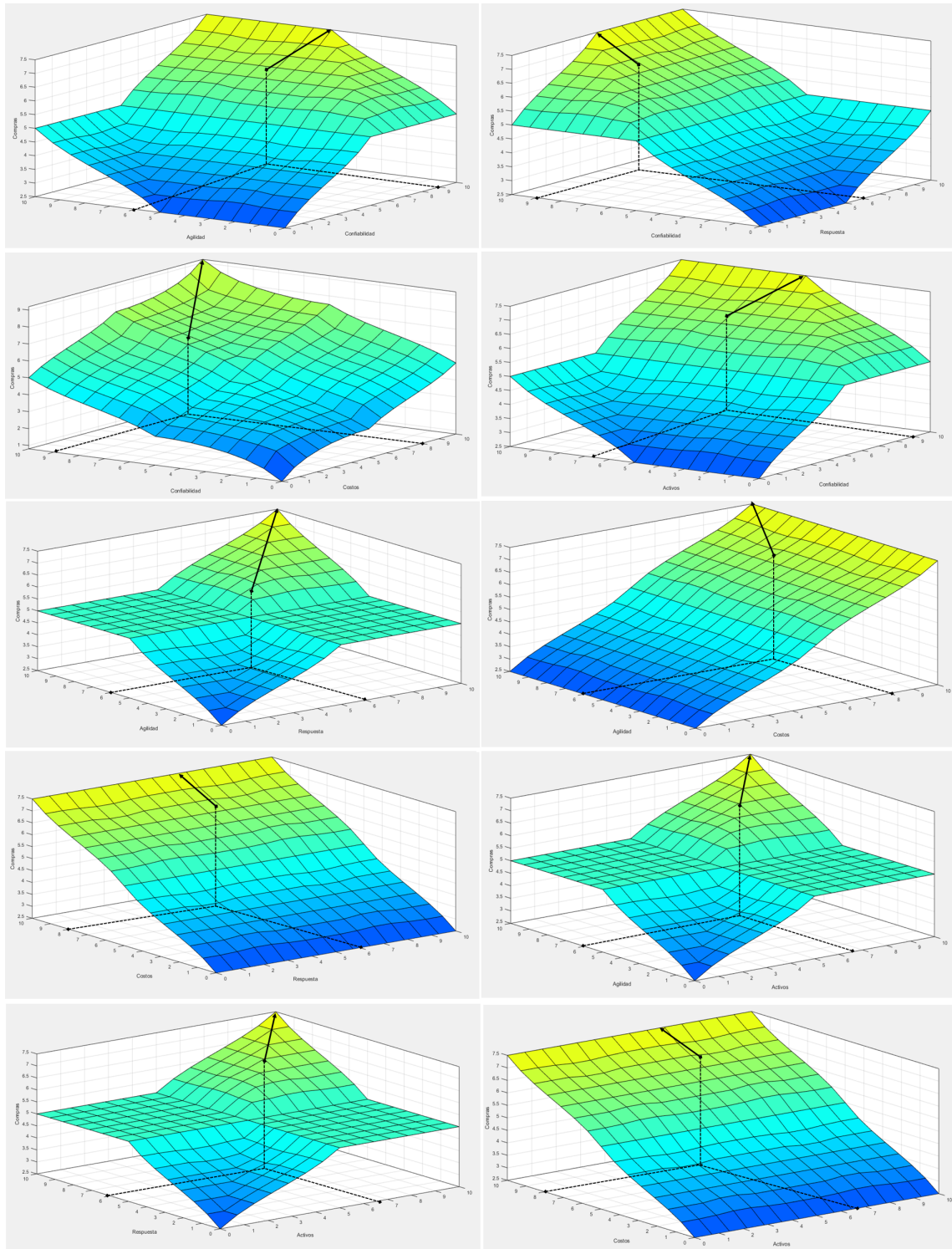


FIGURA 4.13: Superficies de respuesta de FIS 2

4.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y COHERENCIA DEL SISTEMA DIFUSO

Siguiendo la misma metodología propuesta por Osiro *et al.* (2014) y Zanon *et al.* (2020) para realizar el análisis de sensibilidad y coherencia del sistema de inferencia y validar el modelo propuesto se utiliza la técnica de diseño factorial completo de 3^k de Montgomery (1991) que evalúa los efectos de las interacciones de las variables de entrada y salida indicando la importancia relativa a partir de las reglas.

Las variables de entrada o factores se prueban en tres niveles, correspondientes a los tres términos lingüísticos para el antecedente definidos en la Tabla 4.9. Considerando que todas variables de entrada se especificaron en un intervalo de 0 a 10, se fijan en valores nítidos de 0, 5 y 10 para bajo, medio y alto, respectivamente.

En el Apéndice A.7 se relacionan las tablas de los experimentos diseñados y los correspondientes resultados desfuzificados de los dos FIS, en las variables de salida (última columna de cada tabla) se halla el promedio de cada término lingüístico del consecuente (Tabla 4.10) y se utiliza el valor según la regla dada (Tablas 4.13 y A.6).

Los experimentos diseñados se probaron en corridas aleatorias con el mismo número de reglas de cada FIS, considerando todas las posibles combinaciones de los niveles en todos los factores. El resultado de la variable de salida se analiza con Minitab 20.

◦ Resumen prueba FIS 1

La configuración de la prueba del FIS 1 está relacionada en la Tabla 4.14:

TABLA 4.14: Resumen del diseño e información de factores - FIS 1

		Niveles	Valores	Replicas	Total corridas	
Factores	2	Ciclo de caja	3	0; 5; 10	1	9
		Capital circulante	3	0; 5; 10		

La Figura 4.14 muestra el gráfico factorial de efectos de interacción de las variables de entrada para la medición del atributo de gestión de activos. Los términos lingüísticos de los factores se representan en el eje x y la salida del factor probado está representada en el eje y .

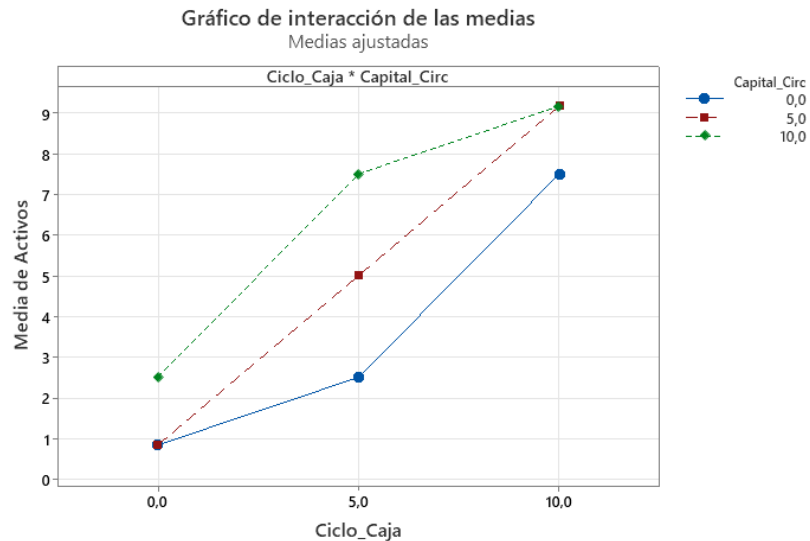


FIGURA 4.14: Gráficos factoriales de interacción FIS 1

El análisis de las gráficas se interpreta en función del comportamiento de las líneas, es decir, si las líneas son paralelas, no hay interacción entre las variables, pero si por el contrario no son paralelas, indica interacción entre ellas. También, muestran inclinaciones (pendientes positivas y negativas); ascendiendo o descendiendo entre las escalas, cuanto mayor sea la inclinación mayor será el efecto en la variable de salida.

Analizando el gráfico de la Figura 4.14, se puede observar que las reglas de decisión no conducen a efectos de interacción significativos entre las variables de entrada, lo que significa que no hay compensación entre ellas. El gráfico también muestra como el valor de gestión de activos aumenta cuando las variables de entrada aumentan en las escalas de 0 a 10, sin embargo, es notorio la relevancia del indicador de ciclo de caja para la variable de salida: cuando capital circulante tiene una calificación de 0 y ciclo de caja aumenta a través de la escala el valor de la salida logra una media de 7.5.

o **Resumen prueba FIS 2**

La configuración de la prueba del FIS 2 está relacionada en la Tabla 4.15 y las gráficas resultantes se muestran en la Figura 4.15

TABLA 4.15: Resumen del diseño e información de factores - FIS 2

		Niveles	Valores	Replicas	Total corridas	
Factores	5	Confiabilidad (RL)	3	0; 5; 10	1	243
		Agilidad (AG)	3	0; 5; 10		
		Capacidad de respuesta (RS)	3	0; 5; 10		
		Costos (CO)	3	0; 5; 10		
		Gestión de activos (AM)	3	0; 5; 10		

Gráfica de interacción para Compras
Medias ajustadas

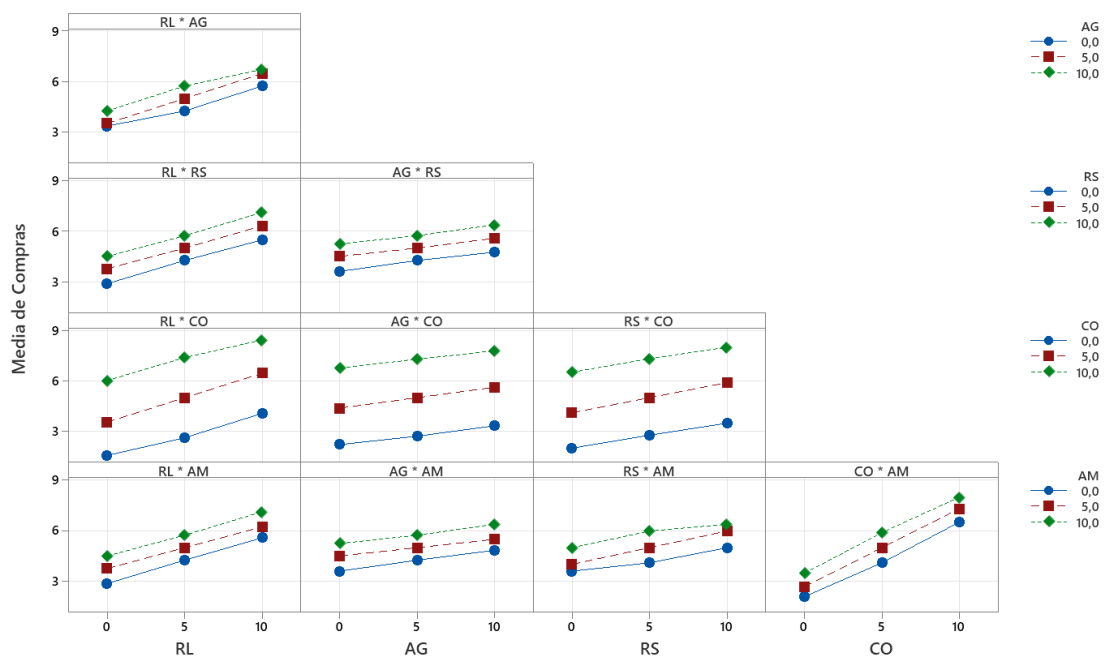


FIGURA 4.15: Gráficos factoriales de interacción FIS 2

En la Figura 4.15 se observa que no hay efectos de interacción entre las variables de entrada del segundo FIS para la evaluación del área de compras. Por lo tanto, también se puede concluir que no existe una relación de compensación entre las variables. Además, los gráficos y la superficie de respuesta muestran que costos y confiabilidad tienen un mayor impacto sobre compras que los

otros atributos, lo que confirma que la base de reglas definida del FIS formada mediante preferencias de expertos lleva una prevalencia de estas dos variables de entrada sobre las demás.

4.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Mediante el desarrollo de la metodología y con los resultados obtenidos se puede concluir que el modelo híbrido implementado puede lograr grandes resultados en la predicción del rendimiento de la cadena de suministro y en la mejora de toma de decisiones empresariales permitiendo la minimización de los errores. Algunos hallazgos relevantes encontrados en esta sección:

- Los indicadores de compras están dirigidos a medir aspectos concernientes a costo, entrega, calidad e inventario. También, incluyen evaluaciones sobre la integración de proveedores, la capacitación del personal, la transparencia y sostenibilidad de compras, entre otros aspectos.
- De la técnica FAHP, se infiere que fue adecuado su uso como método de ayuda para la toma de decisiones, en este caso, para determinar el *ranking* de los atributos según el área de estudio. Debido a que esta técnica puede incluir los juicios de uno a más expertos, al implementar este modelo en una empresa se pueden considerar las preferencias del personal a cargo y de los directivos para priorizar los criterios
- El sistema de inferencia difusa resulto ideal para predecir el valor de compra bajo los parámetros y las reglas definidas. Es importante resaltar que la definición de las reglas es una parte crucial en el sistema.
- La utilización de los resultados del FAHP como datos de entrada para aumentar la solidez de las reglas del sistema de inferencia ayudo significativamente en el resultado, ya que combinar el conocimiento y la experiencia con una base

matemática hace congruente al sistema. Si bien, normalmente definen las reglas por medio de cuestionarios, encuestas u otras técnicas este procedimiento se puede seguir solo cuando la cantidad de regla es menor.

- El análisis de los escenarios de simulación ayuda a los directivos a la toma de decisiones y a identificar los criterios con mayor y menor impacto.
- Los resultados del FAHP y el análisis de escenarios coincidieron en que costo tiene mayor impacto en compras, seguido de confiabilidad y luego los demás atributos.
- Al igual que en este estudio, los gerentes o tomadores de decisiones pueden implementar un análisis de sensibilidad para examinar la estabilidad de sus decisiones.
- El modelo híbrido se complementa de manera ideal y durante el proceso de desarrollo del modelo no se encontraron limitaciones o restricciones que interfirieran en su realización. Por lo tanto, puede ser fácilmente replicado e implementado en un caso de estudio
- El modelo propuesto se puede utilizar para evaluar el impacto de criterios en un área a fin, para seleccionar alternativas y monitorear el desempeño. Además, se puede implementar en cualquier tipo de empresa gracias a la estandarización del modelo SCOR.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Este capítulo contiene lo concerniente a las resoluciones finales de la investigación; reúne las conclusiones del trabajo a partir de los resultados obtenidos, se sugieren una serie de recomendaciones para la mejora de la medición del rendimiento y la toma de decisiones. Adicionalmente, resalta la aportación y contribución de la investigación en la gestión de la cadena de suministro e incluye posibles sugerencias para trabajos futuros que permitan la continuidad del proyecto.

5.1 CONCLUSIONES GENERALES

En esta tesis se propuso un sistema de medición de rendimiento predictivo, cíclico y adaptativo para cualquier giro empresarial, estrategia o etapa de la cadena de suministro que realice control y seguimiento o retroalimentación a los indicadores utilizados comúnmente en las empresas teniendo en cuenta la variabilidad de los procesos.

El uso del modelo híbrido propuesto cumplió con las expectativas planteadas al lograr predicciones en el rendimiento de compras bajo ciertos parámetros y escenarios, identificando el atributo de rendimiento con mayor impacto y brindando una guía sobre directrices de mejora. Por consiguiente, el proyecto de tesis alcanzó su

objetivo general al mejorar la toma de decisiones empresariales mediante el sistema de evaluación.

A lo largo de la investigación se profundizó en conceptos referentes a la medición del rendimiento de la cadena de suministro, sus ventajas, los sistemas de medición tradicionales y sus falencias ubicadas en la estructura, la implementación de las predicciones para anticiparse a sucesos y tomar en cuenta la variabilidad y volatilidad de los procesos, los aspectos medidos con mayor interés en las empresas, las herramientas utilizadas para medir el rendimiento y las técnicas de inteligencia artificial que brindan capacidades inteligentes a las evaluaciones. De esto último, se realizó un análisis comparativo en cuanto a la funcionalidad de las herramientas con el fin de elegir las ideales según los aspectos relevantes de este proyecto.

La metodología se estructuró a partir del modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministro como marco descriptivo estándar de cadenas de suministro simples o complejas permitiendo la realización de *benchmarking* con empresas en temas de índices de rendimiento. Durante este paso, se identificaron los indicadores utilizados en el área de estudio y se asociaron con los de modelo SCOR. Seguido de la aplicación de un proceso analítico jerárquico difuso para categorizar y priorizar criterios con la ayuda de opiniones de personal experto en el área de compras. Por último, se implementó el sistema de inferencia difusa de mamdani con la información obtenida de los pasos anteriores para medir el rendimiento de manera predictiva y simular escenarios que permitan el análisis y mejora de la toma de decisiones.

Como hallazgos relevantes obtenidos mediante la aplicación de la metodología se tiene que los indicadores de compras se centran en medir principalmente temas concernientes a costos, inventarios, calidad y entrega de productos o servicios. Con el resultado del FAHP que incluye las percepciones de los expertos se logró obtener un ordenamiento relevante de atributos de rendimiento que impactan en compras: costos 40 %, confiabilidad 23 %, capacidad de respuesta 14 %, gestión de activos 13 % y agilidad 10 %. Al aplicar esta técnica en un caso de estudio, las opiniones son

tomadas de personal con responsabilidades, experiencia y conocimiento en el área a fin, directivos y/o tomadores de decisiones. El resultado (secuencia) proporciona una visión general para planes de acción encaminados a la priorización de áreas de oportunidad. Finalmente, el comportamiento observado tras la aplicación del sistema de inferencia difusa mediante sus herramientas y gráficas de respuesta que permiten identificar índices de rendimiento de manera predictiva, modificar valores en busca del resultado deseado y analizar escenarios de simulación confirman lo planteado sobre su uso en la gestión de la cadena de suministro al apoyar en el aumento, la integración, mejora y medición de procesos minimizando errores y contribuyendo a la formulación de planes de mejora. El modelo propuesto se alimenta y complementa de manera ideal, puesto que todas las salidas, tanto del FAHP, del FIS y del análisis de sensibilidad se comportan de manera similar.

5.2 RECOMENDACIONES

El trabajo realizado presenta una notable mejora para la medición continua del rendimiento de la cadena de suministro, sin embargo, con la finalidad de tomar en cuenta otros posibles aspectos, factores o circunstancias encontradas a la hora de aplicar el sistema en un caso de estudio se proponen una serie de recomendaciones producto del análisis:

- Para la asociación exitosa de indicadores de las empresas con los del modelo SCOR, se recomienda la familiarización en cuanto a descripciones, métricas, objetivos y formas de cálculo de ambas fuentes.
- En la conversión de cifras de los indicadores, las empresas pueden utilizar los índices de resultado arrojados por su sistema de planificación de recursos empresariales o del sistema de medición que utilicen. En el caso de no contar con un sistema establecido, el modelo puede ser utilizado siempre y cuando sea adaptado a las particularidades y especificaciones de la compañía.

- En cuanto al personal a tomar en cuenta para la obtención de juicios en la aplicación del FAHP, se recomiendan personas a cargo con amplia experiencia y conocimiento del área de interés, a fin de recolectar preferencias consistentes.
- Se recomienda realizar las comparaciones por pares del FAHP con menos de nueve criterios con el propósito de lograr consistencia en los juicios de los expertos. Arreglar e identificar incoherencias en las matrices puede llevar mucho tiempo.
- El sistema de inferencia difusa permite introducir pesos a las reglas, en caso de que existan prioridades en las condiciones SI-ENTONCES de las variables contempladas se recomienda realizar esta distinción.
- Si se poseen demasiadas entradas en el sistema de inferencia difusa y para reducir el número de grandes cantidades de reglas, se recomienda reducir las entradas a no más de dos.

5.3 LIMITACIONES

En busca de garantizar resultados ideales al aplicar el modelo propuesto, se encuentra una limitación que podría interferir o entorpecer el comportamiento del sistema de inferencia difusa relacionada con el desarrollo de reglas; el aumento de las variables de entrada ocasiona un aumento de reglas, lo cual, se vuelve tedioso al crear un modelo complejo con grandes dimensiones y como se ha mencionado durante la investigación la base de reglas es un tema fundamental para el desarrollo del sistema y la precisión de los resultados.

5.4 CONTRIBUCIONES Y TRABAJO FUTURO

5.4.1 CONTRIBUCIONES

La contribución de esta tesis proporciona algunas aportaciones principales a las empresas y los investigadores en cuanto a la medición del rendimiento de la cadena de suministro:

1. Identifica las métricas de los niveles 1, 2 y 3 del modelo SCOR que pueden aplicarse en el área de compras de la cadena de suministro.
2. Por medio del *benchmarking* entre los indicadores comúnmente utilizados por las empresas encontrados en la literatura y su asociación con las métricas del SCOR (modelo estándar), se evalúa la estructura de los sistemas de medición, es decir, se puede determinar si las mediciones realizadas proyectan buenos resultados y también se evalúa la estructura de los sistemas de medición (número de métricas, metas, relación con los objetivos estratégicos, etc.).
3. Suministra un procedimiento de conformación de reglas difusas por medio de la combinación de una base de experiencia y una base matemática con los pesos de criterios obtenidos a través del FAHP.
4. El modelo se beneficia de la combinación de FAHP y FIS con la ayuda del uso de lógica difusa y la comparación por pares para hacer frente a la imprecisión e incertidumbre
5. Proporciona un sistema predictivo de medición de rendimiento cíclico y adaptativo a las empresas y configuraciones, basado en un modelo híbrido compuesto por métricas y atributos del modelo de las operaciones de la cadena de suministro, un proceso analítico jerárquico difuso para el análisis de prioridades y un sistema de inferencia difusa para medir el rendimiento predictivo, identifi-

cando los atributos de rendimiento con mayor impacto, contribuyendo a una buena toma de decisiones estratégicas y a la formulación de planes de acción.

6. Propone el diseño factorial completo como análisis de sensibilidad y coherencia para examinar los efectos de interacciones de las variables de entrada y salida del sistema de inferencia difusa

5.4.2 TRABAJO FUTURO

Esta investigación puede abrir varias líneas de trabajo futuras, algunas de ellas basadas en adaptaciones o modificaciones del modelo propuesto como la aplicación del sistema de evaluación en un caso de estudio específicamente en alguna categoría o estrategia de la cadena de suministro, utilizar los niveles de métricas 2 y 3 del SCOR, analizar el uso de otra técnica de consenso que logre brindar solidez a la base de reglas de sistema de inferencia difusa. Otra opción es incorporar enfoques de inferencia neuro difusos adaptativos en el caso que se manejen grandes cantidades de datos para entrenar el sistema y suprimir la formulación de reglas.

APÉNDICE A

APÉNDICE

A.1 INDICADORES DE COMPRAS EN LA LITERATURA

Indicador	Frecuencia	Chopra y Meindl (2013)	Zahuaga <i>et al.</i> (2014)	Habibi <i>et al.</i> (2019)	Baily <i>et al.</i> (2005)	Farsi <i>et al.</i> (2020)	Darom y Plant (2020)	Sarode y Khodke. (2018)	Abolbashari <i>et al.</i> (2018)	M. Abolbashari (2018)
Rendimiento de los precios	5	✓			✓			✓	✓	✓
Calidad del suministro	5	✓					✓	✓	✓	✓
Tiempo de ciclo de la orden de compra	8	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Fiabilidad del proveedor	4	✓		✓			✓			✓
Costos de compras	7		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tiempo de entrega del proveedor	3		✓	✓			✓			
Tasa de cumplimiento	8	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tasa de defectos	3			✓	✓		✓			
Ahorro de costos	1			✓						
Evitación de costos	1			✓						
Gasto bajo gestión	1			✓						
Adquisición de emergencia	4				✓		✓		✓	✓
Administración y eficiencia de los activos	1					✓				
Retorno de la inversión	2			✓			✓			
Reducción de costos	1						✓			
Satisfacción del cliente interno	1							✓		
Selección y evaluación de proveedores	3							✓	✓	✓
Procesos de compra sostenibles	1								✓	
Exactitud del inventario	2					✓		✓		
Compras electrónicas	1									✓
Desarrollo de enfoques de cartera	1								✓	
Aprendizaje continuo de personal	1									✓

A.2 ATRIBUTOS Y MÉTRICAS SCOR NIVEL 1, 2 Y 3

Atributo	Métricas nivel 1	Métricas nivel 2	Métricas nivel 3
Confiabilidad	RL.1.1 Cumplimiento perfecto de los pedidos	RL.2.1 Porcentaje de pedidos entregados en su totalidad	RL.3.27% de programas modificados dentro del plazo de entrega del proveedor RL.3.18% de pedidos/líneas procesadas completas RL.3.20% Pedidos/líneas recibidos a tiempo según la demanda
		RL.2.2 Cumplimiento de la fecha de entrega al cliente	RL.3.22% Pedidos/líneas recibidos con el embalaje correcto RL.3.23% Pedidos/líneas recibidas con documentos de envío correctos RL.3.19% Pedidos/líneas recibidas sin defectos RL.3.21% Pedidos/líneas recibidos con contenido correcto
		RL.2.3 Exactitud de la documentación	RL.3.24% Pedidos/líneas recibidos sin daños RL.3.17% de proveedores con certificación EMS o ISO 14001 RL.3.25% de producto transferido a tiempo a la demanda requerida
		RL.2.4 Perfecto estado de conservación	RL.3.26% Producto transferido sin errores de transacción RL.3.4% de documentación correcta del material Costo del incumplimiento - Daños y mermas - Gasto en chatarra - Costos de garantía - Variabilidad del rendimiento
Agilidad	A.G.1.1. Adaptabilidad de la cadena de suministro superior	AG.2.1 Adaptabilidad al alza (Fuente)	AG.3.9 Volúmenes de origen adicionales obtenidos en 30 días AG.3.40 Tiempos de ciclo de los pedidos de compra actuales
		AG.2.4 Adaptabilidad del retorno de la inversión (Fuente)	AG.3.41 Volumen actual de devoluciones en origen AG.3.42 Volumen actual de la fuente AG.3.46 Restricciones a la demanda de proveedores
	AG.1.2 La adaptabilidad de la cadena de suministro en la parte inferior	AG.2.6 Adaptabilidad de la parte inferior (Fuente)	
	AG.1.3 Valor total en riesgo (VAR)	AG.2.9 Calificación del riesgo del proveedor/cliente/producto AG.2.11 Valor en riesgo (Fuente)	
Capacidad de respuesta	RS.1.1 Duración del ciclo de ejecución de pedidos	RS.2.1 Tiempo del ciclo de la fuente	RS.3.35 Identificar fuentes de tiempo de ciclo de suministro RS.3.8 Autorizar el tiempo del ciclo de pago del proveedor RS.3.9 Promedio de días por cambio de ingeniería RS.3.10 Promedio de días por cambio de programa RS.3.107 Recibir tiempo de ciclo del producto RS.3.11 Ciclo promedio de liberación de cambios RS.3.122 Ciclo de entrega de productos programados RS.3.125 Seleccionar proveedor y negociar tiempo de ciclo RS.3.113 Tiempo del ciclo de recepción de productos RS.3.139 Tiempo de ciclo del producto de transferencia RS.3.140 Verificar el tiempo del ciclo del producto
Costos	CO.1.1 Costo total de la gestión de la cadena de suministro (TSCMC)	CO.2.2 Costo de la fuente	CO.3.6 Costo de autorizar el pago a proveedores CO.3.7 Costo de recibir el producto CO.3.10 Costo de verificación del producto CO.3.11 Costo de material directo CO.3.14 Costos de gestión de pedidos CO.3.19 Costos de mitigación de riesgos (fuente)
Gestión de activos	AM.1.1 Duración del ciclo de caja	AM.2.2 Días de suministro de inventario	AM.3.16 Días de suministro de inventario - Materia prima AM.3.2% de material que tiene una validez
		AM.2.3 Días de pago pendientes	AM.3.3% de materiales que son reciclables/reutilizables AM.3.8 Promedio del exceso de existencias
	AM.1.2 Rendimiento de los activos fijos de la cadena de suministro	AM.2.5 Activos fijos de la cadena de suministro	AM.3.28 Porcentaje de existencias defectuosas AM.3.37 Porcentaje de exceso de existencias
	AM.1.3 Rendimiento del capital circulante	AM.2.8 Inventario	

Fuente: Supply (2017)

A.3 ESTRUCTURA Y RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

Importancia de atributos de rendimiento en compras

1. ¿Cuál es su puesto actual en la empresa? *

Número de participantes: 15

- CEO
- Gerente de Proyectos
- Consultor
- Residente administrativa
- Jefe de compras e inventarios
- Analista administrativo
- Jefe de Compras
- Residente logística
- Auxiliar de compras
- Auxiliar de compras
- Líder administrativo
- Coordinador de Procurement
- Gerente Comercial
- Auxiliar de compras
- Analista de compras

2. ¿A qué área pertenece? *

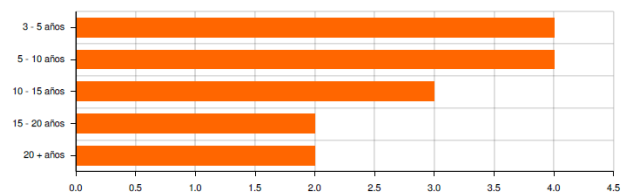
Número de participantes: 15

- Administración
- Cadena de Abastecimiento
- Planeación
- Compras
- Compras
- Compras
- Compras
- Compras
- Compras
- Compras
- Compras
- Administrativa
- Procurement
- Comercial
- Compras
- Abastecimiento

3. ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene? *

Número de participantes: 15

- (0.0%): 0 - 3 años
- 4 (26.7%): 3 - 5 años
- 4 (26.7%): 5 - 10 años
- 3 (20.0%): 10 - 15 años
- 2 (13.3%): 15 - 20 años
- 2 (13.3%): 20 + años
- (0.0%): Otro

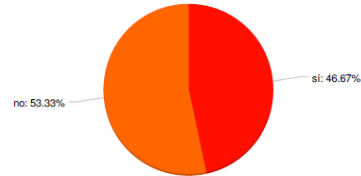


4. ¿Posee conocimiento sobre el Modelo de Referencia de Operaciones de la Cadena de Suministro (SCOR)? *

Número de participantes: 15

7 (46.7%): sí

8 (53.3%): no



5. ¿Qué importancia tiene el atributo "CONFIABILIDAD" comparado con los demás atributos? *

Número de participantes: 15

a la izquierda	Muy									a la derecha	Ø	±		
	Extrema (1)	fuerte (2)	Fuerte (3)	Moderada (4)	Igual (5)	Moderada (6)	Fuerte (7)	fuerte (8)	Extrema (9)					
Confiabilidad	1x 6,67	3x 20,00	1x 6,67	3x 20,00	2x 13,33	3x 20,00	-	-	1x 6,67	1x 6,67	Agilidad	4,47	2,29	
Confiabilidad	1x 6,67	2x 13,33	1x 6,67	4x 26,67	5x 33,33	1x 6,67	-	-	-	1x 6,67	Capacidad de respuesta	4,27	1,91	
Confiabilidad	-	-	2x 13,33	1x 6,67	2x 13,33	-	-	4x 26,67	3x 20,00	2x 13,33	1x 6,67	Costos	5,67	2,19
Confiabilidad	1x 6,67	2x 13,33	1x 6,67	2x 13,33	4x 26,67	4x 26,67	-	-	-	-	1x 6,67	Gestión de activos	4,60	2,03

6. ¿Qué importancia tiene el atributo "AGILIDAD" comparado con los demás atributos? *

Número de participantes: 15

a la izquierda	Muy									a la derecha	Ø	±	1	2		
	Extrema (1)	fuerte (2)	Fuerte (3)	Moderada (4)	Igual (5)	Moderada (6)	Fuerte (7)	fuerte (8)	Extrema (9)							
Agilidad	-	-	-	1x 6,67	2x 13,33	5x 33,33	3x 20,00	3x 20,00	-	-	1x 6,67	Capacidad de respuesta	5,60	1,50		
Agilidad	-	-	-	1x 6,67	1x 6,67	1x 6,67	2x 13,33	7x 46,67	3x 20,00	-	-	Costos	6,47	1,46		
Agilidad	-	-	-	1x 6,67	2x 13,33	5x 33,33	5x 33,33	2x 13,33	-	-	-	Gestión de activos	5,33	1,11		

7. ¿Qué importancia tiene el atributo "CAPACIDAD DE RESPUESTA" comparado con los demás atributos? *

Número de participantes: 15

a la izquierda	Muy									a la derecha	Ø	±		
	Extrema (1)	fuerte (2)	Fuerte (3)	Moderada (4)	Igual (5)	Moderada (6)	Fuerte (7)	fuerte (8)	Extrema (9)					
Capacidad de respuesta	-	-	-	1x 6,67	-	-	1x 6,67	6x 40,00	5x 33,33	2x 13,33	-	Costos	6,33	1,00
Capacidad de respuesta	-	-	1x 6,67	2x 13,33	1x 6,67	5x 33,33	4x 26,67	2x 13,33	-	-	-	Gestión de activos	5,00	1,00

8. ¿Qué importancia tiene el atributo "COSTOS" comparado con "GESTIÓN DE ACTIVOS"? *

Número de participantes: 15

a la izquierda	Muy									a la derecha	Ø	±	1	2	3	4	5		
	Extrema (1)	fuerte (2)	Fuerte (3)	Moderada (4)	Igual (5)	Moderada (6)	Fuerte (7)	fuerte (8)	Extrema (9)										
Costos	1x 6,67	4x 26,67	5x 33,33	2x 13,33	2x 13,33	1x 6,67	-	-	-	-	-	Gestión de activos	3,20	1,37					

A.4 JUICIOS DE EXPERTOS

Juicio de experto 1

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	2	3	4	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4	1	1	1
AG	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1	1	1
RS	2	3	4	1	1	1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1	1	1
CO	4	5	6	4	5	6	2	3	4	1	1	1	4	5	6
AM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1	1	1

Juicio de experto 2

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	2	3	4	2	3	4	1/4	1/3	1/2	2	3	4
AG	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1	1	1/6	1/5	1/4	2	3	4
RS	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	4	5	6
CO	2	3	4	4	5	6	2	3	4	1	1	1	6	7	8
AM	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4	1/8	1/7	1/6	1	1	1

Juicio de experto 3

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	9	9	9	9	9	9	6	7	8	6	7	8
AG	1/9	1/9	1/9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RS	1/9	1/9	1/9	1	1	1	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4
CO	1/8	1/7	1/6	1	1	1	4	5	6	1	1	1	1	1	1
AM	1/8	1/7	1/6	1	1	1	4	5	6	1	1	1	1	1	1

Juicio de experto 4

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	1/4	1/3	1/2	4	5	6	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2
AG	2	3	4	1	1	1	2	3	4	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2
RS	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2
CO	2	3	4	2	3	4	2	3	4	1	1	1	2	3	4
AM	2	3	4	2	3	4	2	3	4	1/4	1/3	1/2	1	1	1

Juicio de experto 5

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/8	1/7	1/6	1	1	1
AG	1	1	1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4	2	3	4
RS	1	1	1	2	3	4	1	1	1	1/6	1/5	1/4	2	3	4
CO	6	7	8	4	5	6	4	5	6	1	1	1	4	5	6
AM	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4	1	1	1

Juicio de experto 6

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	1/4	1/3	1/2	2	3	4	1/8	1/7	1/6	1	1	1
AG	2	3	4	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/8	1/7	1/6	1/4	1/3	1/2
RS	1/4	1/3	1/2	2	3	4	1	1	1	1/8	1/7	1/6	1/4	1/3	1/2
CO	6	7	8	6	7	8	6	7	8	1	1	1	4	5	6
AM	1	1	1	2	3	4	2	3	4	1/6	1/5	1/4	1	1	1

Juicio de experto 7

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1	1	1
AG	1	1	1	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1/8	1/7	1/6	1/4	1/3	1/2
RS	1	1	1	4	5	6	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1	1	1
CO	4	5	6	6	7	8	4	5	6	1	1	1	6	7	8
AM	1	1	1	2	3	4	1	1	1	1/8	1/7	1/6	1	1	1

Juicio de experto 8

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	4	5	6	1	1	1	1/4	1/3	1/2	2	3	4
AG	1/6	1/5	1/4	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4	1	1	1
RS	1	1	1	4	5	6	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1	1	1
CO	2	3	4	4	5	6	4	5	6	1	1	1	6	7	8
AM	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1	1	1/8	1/7	1/6	1	1	1

Juicio de experto 9

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9
AG	9	9	9	1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/6	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4
RS	9	9	9	9	9	9	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2
CO	9	9	9	4	5	6	2	3	4	1	1	1	6	7	8
AM	9	9	9	4	5	6	2	3	4	1/8	1/7	1/6	1	1	1

Juicio de experto 10

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	2	3	4	2	3	4	2	3	4	1/4	1/3	1/2
AG	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4
RS	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4
CO	1/4	1/3	1/2	2	3	4	2	3	4	1	1	1	1	1	1
AM	2	3	4	4	5	6	4	5	6	1	1	1	1	1	1

Juicio de experto 11

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	6	7	8	6	7	8	2	3	4	4	5	6
AG	1/8	1/7	1/6	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/8	1/7	1/6	1/4	1/3	1/2
RS	1/8	1/7	1/6	2	3	4	1	1	1	1/8	1/7	1/6	1	1	1
CO	1/4	1/3	1/2	6	7	8	6	7	8	1	1	1	4	5	6
AM	1/6	1/5	1/4	2	3	4	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1	1	1

Juicio de experto 12

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	6	7	8	6	7	8	6	7	8	6	7	8
AG	1/8	1/7	1/6	1	1	1	4	5	6	4	5	6	4	5	6
RS	1/8	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4	1	1	1	4	5	6	4	5	6
CO	1/8	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4	1	1	1	4	5	6
AM	1/8	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4	1	1	1

Juicio de experto 13

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	6	7	8	2	3	4	4	5	6	9	9	9
AG	1/8	1/7	1/6	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4	1	1	1
RS	1/4	1/3	1/2	4	5	6	1	1	1	1	1	1	6	7	8
CO	1/6	1/5	1/4	4	5	6	1	1	1	1	1	1	9	9	9
AM	1/9	1/9	1/9	1	1	1	1/8	1/7	1/6	1/9	1/9	1/9	1	1	1

Juicio de experto 14

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	1/8	1/7	1/6	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2
AG	6	7	8	1	1	1	2	3	4	2	3	4	1	1	1
RS	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2
CO	2	3	4	1/4	1/3	1/2	4	5	6	1	1	1	1/4	1/3	1/2
AM	2	3	4	1	1	1	2	3	4	2	3	4	1	1	1

Juicio de experto 15

	RL			AG			RS			CO			AM		
RL	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2
AG	2	3	4	1	1	1	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2
RS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1	1	1
CO	4	5	6	4	5	6	2	3	4	1	1	1	2	3	4
AM	2	3	4	2	3	4	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1	1	1

A.5 CONSISTENCIAS JUICIOS DE EXPERTOS

Consistencia juicio experto 1

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	3.00	0.35	0.20	1.00	0.10	0.27	0.06	0.10	0.11	0.13	0.70	5.455
0.35	1.00	1.00	0.20	1.00	0.03	0.09	0.16	0.10	0.11	0.10	0.52	5.263
3.00	1.00	1.00	0.35	1.00	0.29	0.09	0.16	0.18	0.11	0.17	0.94	5.647
5.00	5.00	3.00	1.00	5.00	0.48	0.45	0.47	0.51	0.56	0.49	2.69	5.436
1.00	1.00	1.00	0.20	1.00	0.10	0.09	0.16	0.10	0.11	0.11	0.61	5.415
10.35	11.00	6.35	1.97	9.00						1.00		5.443 λ_{Max}
												0.111 CI
												1.120 RI
												0.099 CR

Consistencia juicio experto 2

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	3.00	3.00	0.35	3.00	0.20	0.29	0.37	0.17	0.16	0.24	1.312	5.545
0.35	1.00	1.00	0.20	3.00	0.07	0.10	0.12	0.10	0.16	0.11	0.583	5.340
0.35	1.00	1.00	0.35	5.00	0.07	0.10	0.12	0.17	0.26	0.14	0.752	5.197
3.00	5.00	3.00	1.00	7.00	0.59	0.48	0.37	0.49	0.37	0.46	2.502	5.448
0.35	0.35	0.21	0.14	1.00	0.07	0.03	0.03	0.07	0.05	0.05	0.269	5.334
5.06	10.35	8.21	2.06	19.00						1.00		5.373 λ_{Max}
												0.093 CI
												1.120 RI
												0.083 CR

Consistencia juicio experto 3

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	9.00	9.00	7.00	7.00	0.66	0.69	0.43	0.69	0.69	0.63	3.467	5.495
0.11	1.00	1.00	1.00	1.00	0.07	0.08	0.05	0.10	0.10	0.08	0.439	5.572
0.11	1.00	1.00	0.20	0.20	0.07	0.08	0.05	0.02	0.02	0.05	0.246	5.168
0.14	1.00	5.00	1.00	1.00	0.10	0.08	0.24	0.10	0.10	0.12	0.651	5.363
0.14	1.00	5.00	1.00	1.00	0.10	0.08	0.24	0.10	0.10	0.12	0.651	5.363
1.51	13.00	21.00	10.20	10.20								5.392 λ_{Max}
												0.098 CI
												1.120 RI
												0.088 CR

Consistencia juicio experto 4

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	0.35	5.00	0.35	0.35	0.10	0.05	0.33	0.15	0.07	0.14	0.768	5.536
3.00	1.00	3.00	0.35	0.35	0.29	0.13	0.20	0.15	0.07	0.17	1.015	6.037
0.20	0.35	1.00	0.35	0.35	0.02	0.05	0.07	0.15	0.07	0.07	0.378	5.420
3.00	3.00	3.00	1.00	3.00	0.29	0.39	0.20	0.41	0.59	0.38	2.244	5.938
3.00	3.00	3.00	0.35	1.00	0.29	0.39	0.20	0.15	0.20	0.25	1.509	6.149
10.20	7.71	15.00	2.42	5.06						1.00	5.816	λ_{Max}
											0.204	CI
											1.120	RI
											0.182	CR

Consistencia juicio experto 5

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	1.00	1.00	0.14	1.00	0.09	0.10	0.13	0.08	0.08	0.10	0.534	5.608
1.00	1.00	0.35	0.20	3.00	0.09	0.10	0.05	0.12	0.23	0.12	0.602	5.184
1.00	3.00	1.00	0.20	3.00	0.09	0.29	0.13	0.12	0.23	0.17	0.945	5.509
7.00	5.00	5.00	1.00	5.00	0.64	0.48	0.65	0.57	0.38	0.54	3.013	5.535
1.00	0.35	0.35	0.20	1.00	0.09	0.03	0.05	0.12	0.08	0.07	0.381	5.232
11.00	10.35	7.71	1.76	13.00						1.00	5.414	λ_{Max}
											0.103	CI
											1.120	RI
											0.092	CR

Consistencia juicio experto 6

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	0.35	3.00	0.14	1.00	0.08	0.02	0.21	0.09	0.13	0.11	0.636	5.975
3.00	1.00	0.35	0.14	0.35	0.24	0.07	0.02	0.09	0.05	0.09	0.579	6.146
0.35	3.00	1.00	0.14	0.35	0.03	0.21	0.07	0.09	0.05	0.09	0.543	6.150
7.00	7.00	7.00	1.00	5.00	0.57	0.49	0.49	0.61	0.65	0.56	3.337	5.956
1.00	3.00	3.00	0.20	1.00	0.08	0.21	0.21	0.12	0.13	0.15	0.919	6.101
12.35	14.35	14.35	1.64	7.71						1.00	6.065	λ_{Max}
											0.266	CI
											1.120	RI
											0.238	CR

Consistencia juicio experto 7

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	1.00	1.00	0.20	1.00	0.11	0.06	0.12	0.12	0.10	0.10	0.548	5.383
1.00	1.00	0.20	0.14	0.35	0.11	0.06	0.02	0.09	0.03	0.06	0.319	5.076
1.00	5.00	1.00	0.20	1.00	0.11	0.29	0.12	0.12	0.10	0.15	0.799	5.369
5.00	7.00	5.00	1.00	7.00	0.56	0.41	0.61	0.59	0.68	0.57	3.088	5.433
1.00	3.00	1.00	0.14	1.00	0.11	0.18	0.12	0.09	0.10	0.12	0.639	5.407
9.00	17.00	8.20	1.70	10.35						1.00	5.334	λ_{Max}
											0.083	CI
											1.120	RI
											0.074	CR

Consistencia juicio experto 8

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	5.00	1.00	0.35	3.00	0.18	0.29	0.12	0.19	0.23	0.20	1.079	5.327
0.20	1.00	0.20	0.20	1.00	0.04	0.06	0.02	0.11	0.08	0.06	0.316	5.187
1.00	5.00	1.00	0.20	1.00	0.18	0.29	0.12	0.11	0.08	0.16	0.845	5.415
3.00	5.00	5.00	1.00	7.00	0.54	0.29	0.61	0.52	0.54	0.50	2.749	5.484
0.35	1.00	1.00	0.14	1.00	0.06	0.06	0.12	0.08	0.08	0.08	0.440	5.545
5.56	17.00	8.20	1.91	13.00						1.00	5.392	λ_{Max}
											0.098	CI
											1.120	RI
											0.087	CR

Consistencia juicio experto 9

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	0.11	0.11	0.11	0.11	0.03	0.01	0.02	0.06	0.01	0.02	0.133	5.442
9.00	1.00	0.11	0.20	0.20	0.24	0.05	0.02	0.11	0.02	0.09	0.470	5.284
9.00	9.00	1.00	0.35	0.35	0.24	0.45	0.14	0.20	0.04	0.21	1.471	6.905
9.00	5.00	3.00	1.00	7.00	0.24	0.25	0.42	0.55	0.81	0.45	3.300	7.280
9.00	5.00	3.00	0.14	1.00	0.24	0.25	0.42	0.08	0.12	0.22	1.589	7.209
37.00	20.11	7.22	1.81	8.67							6.424	λ_{Max}
											0.356	CI
											1.120	RI
											0.318	CR

Consistencia juicio experto 10

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	3.00	3.00	3.00	0.35	0.20	0.23	0.23	0.53	0.13	0.26	1.470	5.599
0.35	1.00	1.00	0.35	0.20	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07	0.07	0.390	5.422
0.35	1.00	1.00	0.35	0.20	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07	0.07	0.390	5.422
0.35	3.00	3.00	1.00	1.00	0.07	0.23	0.23	0.18	0.36	0.21	1.118	5.232
3.00	5.00	5.00	1.00	1.00	0.59	0.38	0.38	0.18	0.36	0.38	2.101	5.531
5.06	13.00	13.00	5.71	2.76						1.00	5.441	λ_{Max}
											0.110	CI
											1.120	RI
											0.098	CR

Consistencia juicio experto 11

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	7.00	7.00	3.00	5.00	0.54	0.33	0.43	0.67	0.40	0.48	2.709	5.703
0.14	1.00	0.35	0.14	0.35	0.08	0.05	0.02	0.03	0.03	0.04	0.215	5.164
0.14	3.00	1.00	0.14	1.00	0.08	0.14	0.06	0.03	0.08	0.08	0.406	5.141
0.35	7.00	7.00	1.00	5.00	0.19	0.33	0.43	0.22	0.40	0.32	1.770	5.600
0.20	3.00	1.00	0.20	1.00	0.11	0.14	0.06	0.05	0.08	0.09	0.454	5.145
1.85	21.00	16.35	4.49	12.35						1.00	5.351	λ_{Max}
											0.088	CI
											1.120	RI
											0.078	CR

Consistencia juicio experto 12

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	7.00	7.00	7.00	7.00	0.63	0.81	0.52	0.38	0.30	0.53	3.811	7.169
0.14	1.00	5.00	5.00	5.00	0.09	0.12	0.37	0.27	0.22	0.21	1.561	7.277
0.14	0.20	1.00	5.00	5.00	0.09	0.02	0.07	0.27	0.22	0.14	0.845	6.195
0.14	0.20	0.20	1.00	5.00	0.09	0.02	0.02	0.05	0.22	0.08	0.414	5.140
0.14	0.20	0.20	0.20	1.00	0.09	0.02	0.02	0.01	0.04	0.04	0.202	5.451
1.58	8.61	13.41	18.20	23.00						1.00	6.246	λ_{Max}
											0.312	CI
											1.120	RI
											0.278	CR

Consistencia juicio experto 13

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	7.00	3.00	5.00	9.00	0.55	0.37	0.56	0.68	0.33	0.50	2.834	5.674
0.14	1.00	0.20	0.20	1.00	0.08	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.242	5.152
0.35	5.00	1.00	1.00	7.00	0.20	0.26	0.19	0.14	0.26	0.21	1.097	5.269
0.20	5.00	1.00	1.00	9.00	0.11	0.26	0.19	0.14	0.33	0.21	1.100	5.324
0.11	1.00	0.14	0.11	1.00	0.06	0.05	0.03	0.02	0.04	0.04	0.194	5.028
1.81	19.00	5.35	7.32	27.00						1.00	5.290	Max
											0.072	CI
											1.120	RI
											0.065	CR

Consistencia juicio experto 14

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	0.14	1.00	0.35	0.35	0.07	0.05	0.08	0.05	0.12	0.07	0.379	5.311
7.00	1.00	3.00	3.00	1.00	0.47	0.35	0.23	0.40	0.33	0.35	1.975	5.574
1.00	0.35	1.00	0.20	0.35	0.07	0.12	0.08	0.03	0.12	0.08	0.425	5.172
3.00	0.35	5.00	1.00	0.35	0.20	0.12	0.38	0.13	0.12	0.19	1.048	5.476
3.00	1.00	3.00	3.00	1.00	0.20	0.35	0.23	0.40	0.33	0.30	1.690	5.614
15.00	2.85	13.00	7.56	3.06						1.00	5.430	Max
											0.107	CI
											1.120	RI
											0.096	CR

Consistencia juicio experto 15

Números no difusos					Números normalizados					x		
1.00	0.35	1.00	0.20	0.35	0.08	0.03	0.14	0.10	0.06	0.08	0.424	5.136
3.00	1.00	1.00	0.20	0.35	0.23	0.10	0.14	0.10	0.06	0.13	0.670	5.328
1.00	1.00	1.00	0.35	1.00	0.08	0.10	0.14	0.17	0.18	0.13	0.704	5.340
5.00	5.00	3.00	1.00	3.00	0.38	0.48	0.43	0.47	0.53	0.46	2.499	5.446
3.00	3.00	1.00	0.35	1.00	0.23	0.29	0.14	0.17	0.18	0.20	1.120	5.568
13.00	10.35	7.00	2.12	5.71						1.00	5.364	Max
											0.091	CI
											1.120	RI
											0.081	CR

A.6 REGLAS DE INFERENCIA PARA FIS 2

En la columna “ENTONCES” las siglas significan: MB: muy bajo, B: bajo, M: medio, A: alto y MA: muy alto

Regla	SI									ENTONCES
	RL	OP	AG	OP	RS	OP	CO	OP	AM	COMPRAS
1	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
2	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	MB
3	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	MB
4	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	MB
5	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	B
6	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	B
7	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	B
8	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	M
10	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
11	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	MB
12	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	B
13	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	B
14	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	B
15	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	M
16	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	M
17	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	M
18	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	A
19	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
20	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	B
21	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	B
22	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	B
23	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	M
24	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	M
25	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	M
26	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	A
27	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	A
28	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
29	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	MB
30	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	MB

31	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	B
32	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	B
33	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	B
34	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	M
35	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	M
36	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	M
37	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
38	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	MB
39	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	B
40	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	B
41	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	B
42	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	M
43	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	M
44	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	M
45	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	A
46	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
47	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	B
48	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	B
49	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	B
50	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	M
51	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	M
52	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	M
53	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	A
54	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	A
55	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
56	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	MB
57	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	B
58	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	B
59	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	B
60	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	M
61	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	M
62	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	M
63	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	A
64	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
65	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	B
66	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	B

67	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	B
68	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	M
69	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	M
70	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	M
71	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	A
72	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	A
73	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	B
74	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	B
75	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	B
76	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	M
77	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	M
78	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	M
79	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	A
80	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	A
81	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	A
82	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
83	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	MB
84	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	B
85	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	B
86	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	B
87	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	M
88	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	M
89	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	M
90	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	A
91	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
92	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	B
93	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	B
94	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	B
95	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	M
96	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	M
97	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	M
98	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	A
99	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	A
100	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	B
101	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	B

102	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	B
103	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	M
104	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	M
105	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	M
106	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	A
107	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	A
108	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	A
109	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	MB
110	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	B
111	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	B
112	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	B
113	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	M
114	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	M
115	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	M
116	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	A
117	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	A
118	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	B
119	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	B
120	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	B
121	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	M
122	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	M
123	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	M
124	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	A
125	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	A
126	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	A
127	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	B
128	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	B
129	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	M
130	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	M
131	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	M
132	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	A
133	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	A
134	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	A
135	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	MA
136	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	B

137	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	B
138	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	B
139	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	M
140	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	M
141	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	M
142	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	A
143	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	A
144	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	A
145	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	B
146	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	B
147	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	M
148	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	M
149	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	M
150	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	A
151	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	A
152	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	A
153	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	MA
154	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	B
155	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	M
156	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	M
157	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	M
158	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	A
159	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	A
160	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	A
161	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	MA
162	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	MA
163	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	B
164	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	B
165	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	B
166	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	M
167	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	M
168	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	M
169	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	A
170	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	A
171	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	A

172	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	B
173	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	B
174	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	M
175	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	M
176	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	M
177	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	A
178	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	A
179	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	A
180	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	MA
181	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	B
182	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	M
183	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	M
184	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	M
185	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	A
186	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	A
187	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	A
188	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	MA
189	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	MA
190	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	B
191	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	B
192	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	M
193	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	M
194	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	M
195	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	A
196	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	A
197	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	A
198	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	MA
199	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	B
200	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	M
201	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	M
202	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	M
203	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	A
204	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	A
205	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	A
206	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	MA

207	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	MA
208	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	M
209	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	M
210	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	M
211	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	A
212	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	A
213	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	A
214	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	MA
215	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	MA
216	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	MA
217	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Bajo	B
218	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Medio	B
219	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	AND	Alto	M
220	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Bajo	M
221	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Medio	M
222	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	AND	Alto	A
223	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Bajo	A
224	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Medio	A
225	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	AND	Alto	MA
226	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Bajo	M
227	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Medio	M
228	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	AND	Alto	M
229	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Bajo	M
230	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Medio	A
231	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	AND	Alto	A
232	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Bajo	A
233	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Medio	MA
234	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	AND	Alto	MA
235	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Bajo	M
236	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Medio	M
237	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	AND	Alto	A
238	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Bajo	A
239	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Medio	A
240	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	AND	Alto	MA
241	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Bajo	MA
242	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Medio	MA
243	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	AND	Alto	MA

A.7 PRUEBAS DE ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA FIS 1 Y FIS 2

Los valores de la columna de salida corresponden al promedio de los términos lingüísticos del consecuente según las reglas definidas en las Tablas 4.13 y A.6

Términos lingüísticos	TFN'S	Promedio
Muy bajo	(0,0,2.5)	0.833
Bajo	(0,2.5,5)	2.5
Medio	(2.5,5,7.5)	5
Alto	(5,7.5,10)	7.5
Muy alto	(7.5,10,10)	9.167

Pruebas de variables de entrada y salida para gestión de activos - FIS 1				
Regla	OrdenCorrida	Ciclo de caja	Capital circulante	Activos
1	1	0	0	0.833
2	2	0	5	0.833
8	3	10	5	9.167
7	4	10	0	7.5
5	5	5	5	5
9	6	10	10	9.167
3	7	0	10	2.5
6	8	5	10	7.5
4	9	5	0	2.5

Pruebas de variables de entrada y salida para compras - FIS 2															
Regla	Corrida	RL	AG	RS	CO	AM	Compras	Regla	Corrida	RL	AG	RS	CO	AM	Compras
16	1	0	0	5	10	0	5	7	41	0	0	0	10	0	2.5
112	2	5	5	0	5	0	2.5	149	42	5	10	5	5	5	5
55	3	0	10	0	0	0	0.833	101	43	5	0	10	0	5	2.5
150	4	5	10	5	5	10	7.5	39	44	0	5	5	0	10	2.5
115	5	5	5	0	10	0	5	25	45	0	0	10	10	0	5
69	6	0	10	5	5	10	5	217	46	10	10	0	0	0	2.5
122	7	5	5	5	5	5	5	6	47	0	0	0	5	10	2.5
71	8	0	10	5	10	5	7.5	179	48	10	0	5	10	5	7.5
32	9	0	5	0	5	5	2.5	129	49	5	5	10	0	10	5
198	10	10	5	0	10	10	9.167	192	50	10	5	0	0	10	5
135	11	5	5	10	10	10	9.167	98	51	5	0	5	10	5	7.5
84	12	5	0	0	0	10	2.5	70	52	0	10	5	10	0	5
40	13	0	5	5	5	0	2.5	106	53	5	0	10	10	0	7.5
232	14	10	10	5	10	0	7.5	26	54	0	0	10	10	5	7.5
197	15	10	5	0	10	5	7.5	60	55	0	10	0	5	10	5
117	16	5	5	0	10	10	7.5	130	56	5	5	10	5	0	5
93	17	5	0	5	0	10	2.5	153	57	5	10	5	10	10	9.167
12	18	0	0	5	0	10	2.5	218	58	10	10	0	0	5	2.5
138	19	5	10	0	0	10	2.5	1	59	0	0	0	0	0	0.833
224	20	10	10	0	10	5	7.5	104	60	5	0	10	5	5	5
155	21	5	10	10	0	5	5	24	61	0	0	10	5	10	5
109	22	5	5	0	0	0	0.833	88	62	5	0	0	10	0	5
165	23	10	0	0	0	10	2.5	152	63	5	10	5	10	5	7.5
169	24	10	0	0	10	0	7.5	226	64	10	10	5	0	0	5
56	25	0	10	0	0	5	0.833	74	65	0	10	10	0	5	2.5
91	26	5	0	5	0	0	0.833	177	66	10	0	5	5	10	7.5
163	27	10	0	0	0	0	2.5	99	67	5	0	5	10	10	7.5
90	28	5	0	0	10	10	7.5	208	68	10	5	10	0	0	5
190	29	10	5	0	0	0	2.5	182	69	10	0	10	0	5	5
20	30	0	0	10	0	5	2.5	145	70	5	10	5	0	0	2.5
139	31	5	10	0	5	0	5	36	71	0	5	0	10	10	5
118	32	5	5	5	0	0	2.5	212	72	10	5	10	5	5	7.5
49	33	0	5	10	5	0	2.5	85	73	5	0	0	5	0	2.5
181	34	10	0	10	0	0	2.5	144	74	5	10	0	10	10	7.5
31	35	0	5	0	5	0	2.5	140	75	5	10	0	5	5	5
51	36	0	5	10	5	10	5	63	76	0	10	0	10	10	7.5
228	37	10	10	5	0	10	5	240	77	10	10	10	5	10	9.167
134	38	5	5	10	10	5	7.5	223	78	10	10	0	10	0	7.5
209	39	10	5	10	0	5	5	125	79	5	5	5	10	5	7.5
35	40	0	5	0	10	5	5	183	80	10	0	10	0	10	5

Regla	Corrida	RL	AG	RS	CO	AM	Compras
120	81	5	5	5	0	10	2.5
66	82	0	10	5	0	10	2.5
124	83	5	5	5	10	0	7.5
166	84	10	0	0	5	0	5
213	85	10	5	10	5	10	7.5
222	86	10	10	0	5	10	7.5
214	87	10	5	10	10	0	9.167
10	88	0	0	5	0	0	0.833
58	89	0	10	0	5	0	2.5
5	90	0	0	0	5	5	2.5
160	91	5	10	10	10	0	7.5
176	92	10	0	5	5	5	5
143	93	5	10	0	10	5	7.5
242	94	10	10	10	10	5	9.167
114	95	5	5	0	5	10	5
110	96	5	5	0	0	5	2.5
200	97	10	5	5	0	5	5
54	98	0	5	10	10	10	7.5
4	99	0	0	0	5	0	0.833
180	100	10	0	5	10	10	9.167
194	101	10	5	0	5	5	5
203	102	10	5	5	5	5	7.5
59	103	0	10	0	5	5	2.5
225	104	10	10	0	10	10	9.167
221	105	10	10	0	5	5	5
14	106	0	0	5	5	5	2.5
142	107	5	10	0	10	0	7.5
57	108	0	10	0	0	10	2.5
8	109	0	0	0	10	5	5
184	110	10	0	10	5	0	5
76	111	0	10	10	5	0	5
92	112	5	0	5	0	5	2.5
227	113	10	10	5	0	5	5
123	114	5	5	5	5	10	5
173	115	10	0	5	0	5	2.5
23	116	0	0	10	5	5	5
178	117	10	0	5	10	0	7.5
128	118	5	5	10	0	5	2.5
185	119	10	0	10	5	5	7.5
77	120	0	10	10	5	5	5
159	121	5	10	10	5	10	7.5

Regla	Corrida	RL	AG	RS	CO	AM	Compras
38	122	0	5	5	0	5	0.833
216	123	10	5	10	10	10	9.167
168	124	10	0	0	5	10	5
219	125	10	10	0	0	10	5
82	126	5	0	0	0	0	0.833
127	127	5	5	10	0	0	2.5
41	128	0	5	5	5	5	2.5
187	129	10	0	10	10	0	7.5
191	130	10	5	0	0	5	2.5
206	131	10	5	5	10	5	9.167
231	132	10	10	5	5	10	7.5
234	133	10	10	5	10	10	9.167
11	134	0	0	5	0	5	0.833
243	135	10	10	10	10	10	9.167
29	136	0	5	0	0	5	0.833
33	137	0	5	0	5	10	2.5
196	138	10	5	0	10	0	7.5
45	139	0	5	5	10	10	7.5
81	140	0	10	10	10	10	7.5
174	141	10	0	5	0	10	5
89	142	5	0	0	10	5	5
133	143	5	5	10	10	0	7.5
111	144	5	5	0	0	10	2.5
83	145	5	0	0	0	5	0.833
22	146	0	0	10	5	0	2.5
28	147	0	5	0	0	0	0.833
211	148	10	5	10	5	0	7.5
50	149	0	5	10	5	5	5
44	150	0	5	5	10	5	5
107	151	5	0	10	10	5	7.5
21	152	0	0	10	0	10	2.5
103	153	5	0	10	5	0	5
156	154	5	10	10	0	10	5
157	155	5	10	10	5	0	5
79	156	0	10	10	10	0	7.5
220	157	10	10	0	5	0	5
204	158	10	5	5	5	10	7.5
53	159	0	5	10	10	5	7.5
239	160	10	10	10	5	5	7.5
116	161	5	5	0	10	5	7.5
30	162	0	5	0	0	10	0.833

Regla	Corrida	RL	AG	RS	CO	AM	Compras
161	163	5	10	10	10	5	9.167
132	164	5	5	10	5	10	7.5
230	165	10	10	5	5	5	7.5
19	166	0	0	10	0	0	0.833
126	167	5	5	5	10	10	7.5
2	168	0	0	0	0	5	0.833
236	169	10	10	10	0	5	5
43	170	0	5	5	10	0	5
96	171	5	0	5	5	10	5
52	172	0	5	10	10	0	5
13	173	0	0	5	5	0	2.5
65	174	0	10	5	0	5	2.5
121	175	5	5	5	5	0	5
75	176	0	10	10	0	10	2.5
73	177	0	10	10	0	0	2.5
34	178	0	5	0	10	0	5
146	179	5	10	5	0	5	2.5
195	180	10	5	0	5	10	7.5
87	181	5	0	0	5	10	5
210	182	10	5	10	0	10	5
237	183	10	10	10	0	10	7.5
80	184	0	10	10	10	5	7.5
102	185	5	0	10	0	10	2.5
18	186	0	0	5	10	10	7.5
9	187	0	0	0	10	10	5
113	188	5	5	0	5	5	5
233	189	10	10	5	10	5	9.167
68	190	0	10	5	5	5	5
235	191	10	10	10	0	0	5
201	192	10	5	5	0	10	5
46	193	0	5	10	0	0	0.833
17	194	0	0	5	10	5	5
205	195	10	5	5	10	0	7.5
188	196	10	0	10	10	5	9.167
162	197	5	10	10	10	10	9.167
64	198	0	10	5	0	0	0.833
186	199	10	0	10	5	10	7.5
229	200	10	10	5	5	0	5
62	201	0	10	0	10	5	5
164	202	10	0	0	0	5	2.5
37	203	0	5	5	0	0	0.833

Regla	Corrida	RL	AG	RS	CO	AM	Compras
199	204	10	5	5	0	0	2.5
3	205	0	0	0	0	10	0.833
147	206	5	10	5	0	10	5
202	207	10	5	5	5	0	5
48	208	0	5	10	0	10	2.5
215	209	10	5	10	10	5	9.167
207	210	10	5	5	10	10	9.167
175	211	10	0	5	5	0	5
131	212	5	5	10	5	5	5
42	213	0	5	5	5	10	5
78	214	0	10	10	5	10	5
27	215	0	0	10	10	10	7.5
189	216	10	0	10	10	10	9.167
170	217	10	0	0	10	5	7.5
171	218	10	0	0	10	10	7.5
137	219	5	10	0	0	5	2.5
119	220	5	5	5	0	5	2.5
47	221	0	5	10	0	5	2.5
148	222	5	10	5	5	0	5
172	223	10	0	5	0	0	2.5
154	224	5	10	10	0	0	2.5
105	225	5	0	10	5	10	5
151	226	5	10	5	10	0	7.5
158	227	5	10	10	5	5	7.5
193	228	10	5	0	5	0	5
241	229	10	10	10	10	0	9.167
97	230	5	0	5	10	0	5
141	231	5	10	0	5	10	5
108	232	5	0	10	10	10	7.5
86	233	5	0	0	5	5	2.5
94	234	5	0	5	5	0	2.5
72	235	0	10	5	10	10	7.5
61	236	0	10	0	10	0	5
100	237	5	0	10	0	0	2.5
238	238	10	10	10	5	0	7.5
15	239	0	0	5	5	10	5
95	240	5	0	5	5	5	5
167	241	10	0	0	5	5	5
136	242	5	10	0	0	0	2.5
67	243	0	10	5	5	0	2.5

BIBLIOGRAFÍA

- ABBASIMEHR, H. y M. J. TAROKH (2017), «A combined approach based on fuzzy AHP and fuzzy inference system to rank reviewers in online communities», *Turkish Journal of Electrical Engineering Computer Sciences*, **25**, págs. 862–876.
- ABOLBASHARI, M. H., E. CHANG, O. K. HUSSAIN y M. SABERI (2018), «Smart Buyer: A Bayesian Network modelling approach for measuring and improving procurement performance in organisations», *Knowledge-Based Systems*, **142**, págs. 127–148.
- ABUKHOUSA, E., J. AL-JAROODI, S. LAZAROVA-MOLNAR y N. MOHAMED (2014), «Simulation and Modeling Efforts to Support Decision Making in Healthcare Supply Chain Management», *The Scientific World Journal*, **2014**, pág. 354 246.
- ADENSO-DÍAZ, B., N. G. ÁLVAREZ y J. A. L. ALBA (2020), «A fuzzy AHP classification of container terminals», *Maritime Economics Logistics*, **22**, págs. 218–238.
- AKKAWUTTIWANICH, P. y P. YENRADEE (2018), «Fuzzy QFD approach for managing SCOR performance indicators», *Computers Industrial Engineering*, **122**, págs. 189–201.
- AL-HARBI, K. M. A.-S. (2001), «Application of the AHP in project management», *International Journal of Project Management*, **19**(1), págs. 19–27.
- AMO, B. F. (2010), *El cuadro de mando integral «Balanced Scorecard»*, ESIC Editorial, Pozuelo de Alarcón (Madrid).

- AYHAN, M. B. y H. S. KILIC (2015), «A two stage approach for supplier selection problem in multi-item/multi-supplier environment with quantity discounts», *Computers Industrial Engineering*, **85**, págs. 1–12.
- AYYAGARI, B. T., M. y A. DEMIRGUC-KUNT (2007), «Small and Medium Enterprises Across the Globe», *Small Business Economics*, **29**, págs. 415—434.
- BAILY, P., D. FARMER, D. JESSOP y D. JONES (2005), *Purchasing Principles and Management*, 9ª edición, Financial Times, Lincoln, Lincolnshire, United Kingdom.
- BALLOU, R. H. (2004), *Business Logistics Management*, Prentice Hall, The United States.
- BEAMON, B. (1998), «Supply chain design and analysis:: Models and methods», *International Journal of Production Economics*, **55**(3), págs. 281–294.
- BEAMON, B. M. (1999), «Measuring supply chain performance», *International Journal of Operations and Production Management*, **19**(3), págs. 275–292.
- BELTON, V. y T. STEWART (2002), *Multiple Criteria Decision Analysis – An Integrated Approach*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- BELTRÁN, J. (2012), *Indicadores de Gestión. Herramientas para lograr la competitividad*, segunda edición, Temas gerenciales · 3R.
- BLACKHURST, J., C. CRAIGHEAD, C. ELKINS y R. HANDFIELD (2005), «An Empirically Derived Agenda of Critical Research Issues for Managing Supply-Chain Disruptions», *International Journal of Production*, **43**(19), págs. 4067–4081.
- BOURNE, M., J. MILLS, M. WILCOX, A. NEELY y K. PLATTS (2000), «Designing, Implementing and Updating Performance Measurement Systems», *International Journal of Operations and Production Management*, **20**(7), págs. 754–771.
- BRANDENBURG, M. (2017), «A hybrid approach to configure eco-efficient supply chains under consideration of performance and risk aspects», *Omega*, **70**, págs. 58–76.

- BREWER, P. y T. SPEH (2000), «Using the balanced scorecard to measure supply chain performance», *Journal of Business Logistics*, **21**(1), págs. 75–93.
- BUKHORI, I. B., K. H. WIDODO y D. ISMOYOWATI (2015), «Evaluation of Poultry Supply Chain Performance in XYZ Slaughtering House Yogyakarta Using SCOR and AHP Method», *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, **3**, págs. 221–225.
- BUTILCA, D. y L. ILIEȘ (2011), «Balanced scorecard versus SCOR in supply chain management – a theoretical approach», *Managerial Challenges of the Contemporary Society*, págs. 39–43.
- BÜYÜKÖZKAN, . G. F., G. (2018), «Digital supply chain: Literature review and a proposed framework for future research», *Computers and Industrial Engineering*, **97**, págs. 157–177.
- CHAND, P., J. J. THAKKAR y K. K. GHOSH (2020), «Analysis of supply chain performance metrics for Indian mining earthmoving equipment manufacturing companies using hybrid MCDM model», *Resources Policy*, **68**, pág. 101 742.
- CHAVAN, M. (2009), «The balanced scorecard: a new challenge», *Journal of Management Development*, **28**(5), págs. 393–406.
- CHOPRA, S. y P. MEINDL (2013), *Supply Chain Management; Strategy planning, and Operation*, Person, New Jersey.
- CHORFI, Z., A. BERRADO y L. BENABBOU (2015), «Selection of Key Performance Indicators for Supply Chain monitoring using MCDA», *2015 10th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA)*, págs. 1–6.
- CHRISTOPHER, M. (1992), *Logistics and supply chain management: strategies for reducing costs and improving services*, Prentice Hall. Financial Times, Edinburgh.
- CINAR, U. y S. CEBI (2020), «A Hybrid Risk Assessment Method for Mining Sector Based on QFD, Fuzzy Inference System, and AHP», *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, **39**(5), págs. 6047–6058.

- CORREA, A. y R. GÓMEZ (2009), «Tecnologías de la información en la cadena de suministro», *Dyna*, **76**(157), págs. 37–48.
- COUNCIL, A. S. C. (2016), «The Supply Chain Operations Reference model (SCOR) framework», recurso libre, disponible en www.logsuper.com/ueditor/php/upload/file/20190530/1559181653829933.pdf.
- DAROM, M. y E. PLANT (2020), «The development of a performance measurement system for indirect procurement: a Delphi study», *Measuring Business Excellence*, URL <https://doi.org/10.1108/MBE-05-2019-0047>.
- DAVID, K. G. y N. SHALLE (2014), «An assessment of the effects of reverse logistics adoption on supply chain performance in the manufacturing sector in kenya: a case of Hewlett-Packard Kenya», *European Journal of Business and Management*, **2**(1), págs. 161–173.
- DELIPINAR, G. E. y B. KOCAOGLU (2016), «Using SCOR Model to Gain Competitive Advantage: A Literature Review», *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **229**, págs. 398–406.
- DESHMUKH, S. y V. SUNNAPWAR (2019), «Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) for Green Supplier Selection in Indian Industries», *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation*, págs. 679–687.
- DIEZ, H., M. PÉREZ, F. PÉREZ y M. MONTES (2012), «Medición del desempeño y éxito en la dirección de proyectos. Perspectiva del Manager público», *Revista EAN*, **73**, págs. 60–79.
- 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.

- DÍAZ, G., M. CORONA y Y. MAYETT (2013), «Los retos de las empresas familiares ante su continuidad: caso Tehuacán», *Revista Internacional Administración y Finanzas*, **6**(1), págs. 1–22.
- ELGAZZAR, S., N. S. TIPI, N. J. HUBBARD y D. Z. LEACH (2010), «An application of fuzzy AHP to SCOR performance measures: a case study of an Egyptian natural bottled water company», *The Chartered Institute of Logistics and Transport UK*, págs. 180–187.
- ELGAZZAR, T. N. H.-N., S.H. y D. LEACH (2012), «Linking supply chain processes' performance to a company's financial strategic objectives», *European Journal of Operational Research*, **223**(1), págs. 276–289.
- ESTAMPE, D., S. LAMOURI, J.-L. PARIS y S. BRAHIM-DJELLOUL (2013), «A framework for analysing supply chain performance evaluation models», *International Journal of Production Economics*, **142**(2), págs. 247–258.
- EVANS, J. y W. LINDSAY (2008), *Administración y control de calidad*, Cengage Learning Editores, S.A. de C.V, México, D.F.
- FANAEI, S. S., O. MOSELHI y S. T. ALKASS (2019), «Performance prediction of construction projects using soft computing methods», *Canadian Journal of Civil Engineering*, **46**(7), págs. 609–620.
- FARSI, M., A. BAILLY, D. BODIN, V. PENELLA, P.-L. PINAULT, E. T. T. NGHIA, J. SIBSON y J. A. ERKOYUNCU (2020), «An Optimisation Framework for Improving Supply Chain Performance: Case study of a bespoke service provider», *Procedia Manufacturing*, **49**, págs. 185–192.
- FRAZELLE, E. (2001), *Supply Chain Strategy: The Logistics of Supply Chain Management*, McGraw-Hill Professional, The United States.
- GANESH, A. H., A. H. SHOBANA y R. RAMESH (2021), «Identification of critical path for the analysis of bituminous road transport network using integrated FAHP – FTOPSIS method», *Materials Today: Proceedings*, **37**, págs. 193–206.

- GANGA, G. M. D. y L. C. R. CARPINETTI (2011), «A fuzzy logic approach to supply chain performance management», *International Journal of Production Economics*, **134**(1), págs. 177–187.
- GARCÍA, R., A. PERDOMO, O. ORTIZ, P. BELTRÁN y K. LÓPEZ (2014), «Characterization of the supply and value chains of Colombian cocoa», *Revista DYNA*, **81**(187), págs. 30–40.
- GARG, C. P. (2016), «A robust hybrid decision model for evaluation and selection of the strategic alliance partner in the airline industry», *Journal of Air Transport Management*, **52**, págs. 55–66.
- GOVINDAN, K., S. K. MANGLA y S. LUTHRA (2017), «Prioritising indicators in improving supply chain performance using fuzzy AHP: insights from the case example of four Indian manufacturing companies», *Production Planning Control*, **28**(6-8), págs. 552–573.
- 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.
- HABIBI, M., S. KERMANSHACHI y B. ROUHANIZADEH (2019), «Identifying and Measuring Engineering, Procurement, and Construction (EPC) Key Performance Indicators and Management Strategies», **4**, pág. 14.
- 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.
- HANDFIELD, R. y E. NICHOLS (2002), *Supply Chain Redesign: Transforming Supply Chains Into Integrated Value Systems.*, FT Press, The United States.
- HEREDIA, J. A. (2001), *Sistema de indicadores para la mejora y el control integrado de la calidad de los procesos*, Castellón de Plana: Universitat Jaume I, España.

- HUGOS, M. (2003), *Essentials of supply chain management*, John Wiley Sons, New Jersey.
- JAGAN, K., A. NEELAKANTESWARA RAO y L. KRISHNANAND (2019), «A review on supply chain performance measurement systems», *Procedia Manufacturing*, **30**, págs. 40–47.
- JAIN, N., A. R. SINGH y R. K. UPADHYAY (2020), «Sustainable supplier selection under attractive criteria through FIS and integrated fuzzy MCDM techniques», *International Journal of Sustainable Engineering*, **13**(6), págs. 441–462.
- JHAWAR, A., S. GARG y S. KHERA (2014), «Analysis of the skilled work force effect on the logistics performance index—case study from India», *Logistics Research*, **7**(117).
- JIANG, X., Y. MU y J. LUO (2020), «A Performance Assessment Framework for Baijiu Sustainable Supply Chain in China», *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Management Science and Engineering Management*, págs. 402–414.
- JOHNSON, P. F., M. R. LEENDERS y A. E. FLYNN (2011), *Purchasing and Supply Management*, 14^a edición, The McGraw-hill.
- JOVČIĆ, S., P. PRUŠA, M. DOBRODOLAC y . ŠVADLENKA (2019), «A Proposal for a Decision-Making Tool in Third-Party Logistics (3PL) Provider Selection Based on Multi-Criteria Analysis and the Fuzzy Approach», *Sustainability*, **11**(15), pág. 4236.
- JURBURG, D. y M. TANCO (2012), «Diagnóstico de las cadenas de suministro de empresas uruguayas», *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, (10), págs. 97–107.
- KAPLAN, R. y D. NORTON (1996), «Using the balanced scorecard as a strategic management system», *Harvard Business Review*, **74**(1), págs. 75–85.

- KAUSHAL, J. y P. BASAK (2018), «A novel approach for determination of power quality monitoring index of an AC microgrid using fuzzy inference system», *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, **42**(4), págs. 429–450.
- KAYHAN, S., B. M. y C. KAHRAMAN (2019), «Determining and Prioritizing Main Factors of Supplier Reliability in Construction Industry», *Journal of Multiple-valued Logic and Soft Computing*, **32**, págs. 111–134.
- KEVAN, T. (2005), «Modeling the future», *Frontline Solutions*, **6**(1), págs. 22–24.
- KHAN, C. A., S.A. y F. DWEIRI (2019), «A knowledge-based system for overall supply chain performance evaluation: a multi-criteria decision making approach», *Supply Chain Management*, **24**(3), págs. 377–396.
- KOÇAOĞLU, G. B., B. y M. TANYAŞ (2011), «A SCOR based approach for measuring a benchmarkable supply chain performance», *Journal of Intelligent Manufacturing*, **24**, págs. 113–132.
- KOZLENKOVA, I., G. HULT, D. LUND, J. MENA y P. KEKEC (2015), «The Role of Marketing Channels in Supply Chain Management», *Journal of Retailing*, **91**(4), págs. 586–609.
- 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.
- LAPIDE, L. (2010), «Predictive Metrics», *The Journal of Business Forecasting*, **29**(2).
- LIAO, F. Y.-K., C.-N. y L.-C. WU (2016), «Integrated FAHP, ARAS-F and MSGP methods for green supplier evaluation and selection», *Technological and Economic Development of Economy*, **22**(5), págs. 651–669.

- LIMA, F. R. y L. C. R. CARPINETTI (2016), «Evaluating supply chain performance based on SCOR® model and fuzzy-TOPSIS», *2016 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, págs. 2075–2082.
- LIMA-JUNIOR, F. y L. 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. 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. 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.
- LIMA-JUNIOR, F. R. y L. C. R. CARPINETTI (2016), «Combining SCOR® model and fuzzy TOPSIS for supplier evaluation and management», *International Journal of Production Economics*, **174**, págs. 128–141.
- LIU, J. S., L. Y. LU, W.-M. LU y B. J. LIN (2013), «A survey of DEA applications», *Omega*, **41**(5), págs. 893–902.
- LIU, Y., C. M. ECKERT y C. EARL (2020), «A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements», *Expert Systems with Applications*, **161**, pág. 113 738.
- LIU, Y. y X. ZHANG (2020), «Evaluating the Undergraduate Course based on a Fuzzy AHP-FIS Model», *International Journal of Modern Education and Computer Science*, **12**, págs. 55–66.
- LOPES, L. J. y S. R. I. PIRES (2020), «Green supply chain management in the automotive industry: A study in Brazil», *Business Strategy and the Environment*, **29**(6), págs. 2755–2769.

- M. ABOLBASHARI, E. C., A. ZAKERI (2018), «Using System Dynamics for Predicting an Organization's Procurement Performance.», *10th International Conference on Intelligent Information Processing (IIP)*, págs. 294–299.
- MAMDANI, E. y S. ASSILIAN (1975), «An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller», *International Journal of Man-Machine Studies*, **7**(1), págs. 1–13.
- MARIMIN, T. M. A. M. P. P. T. B., DJATNA y M. A. DARMAWAN (2020), «Supply chain performance measurement and improvement of palm oil agroindustry: A case study at Riau and Jambi Province», *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **443**, pág. 012056.
- MIRANDA, P. A., F. J. TAPIA-UBEDA, V. HERNANDEZ, H. CARDENAS y M. LOPEZ-CAMPOS (2019), «A Simulation Based Modelling Approach to Jointly Support and Evaluate Spare Parts Supply Chain Network and Maintenance System», *IFAC Papers OnLine*, **52**(13), págs. 2231–2236.
- MORA, L. (2014), *Indicadores de la gestión logística KPI los indicadores claves del desempeño logístico*, Ecoe, Colombia, Medellín.
- NEELY, A., G. M y K. PLATTS (1995), «Performance measurement systems design: a literature review and research agenda», *International Journal of Operations Production Management*, **15**(4), págs. 80–116.
- NĀDĀBAN, D. S., S. y I. DZITAC (2016), «Fuzzy TOPSIS: A General View», *Procedia Computer Science*, **91**, págs. 823–831.
- OMAIR, M., S. NOOR, M. TAYYAB, S. MAQSOOD, W. AHMED, B. SARKAR y M. S. HABIB (2021), «The Selection of the Sustainable Suppliers by the Development of a Decision Support Framework Based on Analytical Hierarchical Process and Fuzzy Inference System», *International Journal of Fuzzy Systems*, URL <https://doi.org/10.1007/s40815-021-01073-2>.

- OSIRO, L., F. R. LIMA-JUNIOR y L. C. R. CARPINETTI (2014), «A fuzzy logic approach to supplier evaluation for development», *International Journal of Production Economics*, **153**, págs. 95–112.
- OTTO, A. y H. KOTZAB (2003), «Does supply chain management really pay? Six perspectives to measure the performance of managing a supply chain», *European Journal of Operational Research*, **144**(2), págs. 306–320.
- PEDRYCZ, W. y F. GOMIDE (2007), *Fuzzy systems engineering: toward human centric computing*, John Wiley Sons.
- POLUHA, R. G. (2007), *Application of the SCOR Model in Supply Chain Management*, New York: Cambria Press.
- PONJUAN DANTE, G. (1998), *Gestión de información en las organizaciones principios, conceptos y aplicaciones*, Cecapi, Santiago de Chile.
- POURJAVAD, E. y A. SHAHIN (2018), «The application of Mamdani fuzzy inference system in evaluating green supply chain management performance», *International Journal of Fuzzy Systems*, **20**(3), págs. 901–912.
- PRASETYANINGSIH, E., C. R. MUHAMAD y S. AMOLINA (2020), «Assessing of supply chain performance by adopting Supply Chain Operation Reference (SCOR) model», *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **830**, pág. 032 083.
- PTAK, C. y E. SCHRAGENHEIM (2003), *ERP: Tools, Techniques, and Applications for Integrating the Supply Chain*, CRC Press, Boca raton, Florida.
- 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.
- RASOLOFO-DISTLER, F. y F. DISTLER (2018), «Using the Balanced Scorecard to Manage Service Supply Chain Uncertainty: Case Studies in French Real Estate Services», *Knowledge and Process Management*, **25**, págs. 129–142.

- SAATY, R. (1987), «The analytic hierarchy process—what it is and how it is used», *Mathematical Modelling*, **9**(3), págs. 161–176.
- SALAZAR, F., C. J. y J. MARTÍNEZ (2012), «Metodología basada en el Modelo de Referencia para Cadenas de Suministro para Analizar el Proceso de producción de Biodiesel a partir de Higuierilla», *Información Tecnológica*, **23**(1), págs. 47–56.
- SALLEH, T. N., M. N. M. y K. HUSSAIN (2017), «Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: Overview, Strengths, Limitations, and Solutions», *Lecture Notes in Computer Science*, págs. 527–535.
- SANTOS, J., E. NEGAS y L. CAVIQUE (2013), «Introduction to Data Envelopment Analysis», *Efficiency Measures in the Agricultural Sector: With Applications*, págs. 37–50.
- SARODE, D. y M. KHODKE. (2018), «Performance measurement of supply chain management: A decision framework for evaluating and selecting supplier performance in a supply chain», *The International Journal of Applied Management and Technology*, **1**(1).
- SELLITTO, M. A., G. MEDEIROS PEREIRA, M. BORCHARDT, R. INÁCIO 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.
- SHOJAIEMEHR, B. y M. RAFSANJANI (2018), «A supplier offer modification approach based on fuzzy systems for automated negotiation in e-commerce», *Information Systems Frontiers*, **20**, págs. 143–160.
- SINGH, S., E. OLUGU, S. MUSA y A. B. MAHAT (2018), «Fuzzy-based sustainability evaluation method for manufacturing SMEs using balanced scorecard framework», *Journal of Intelligent Manufacturing*, **29**, págs. 1–18.

- SIPAHI, S. y M. TIMOR (2010), «The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications», *Management Decision*, **48**(5), págs. 775–808.
- STEFANOVIC, N. (2015), «Collaborative Predictive Business Intelligence Model for Spare Parts Inventory Replenishment», *Computer Science and Information Systems*, **12**(3), págs. 911–930.
- SUN, C.-C. (2010), «A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods», *Expert Systems with Applications*, **37**(12), págs. 7745–7754.
- SUPPLY, C., CHAIN (2017), «Supply Chain Operations Reference Model», (versión 12.0), recurso libre, disponible en: <http://www.apics.org/docs/default-source/scor-training/scor-v12-0-framework-introduction.pdf?sfvrsn=2>.
- SUPRIYA, M. (2020), «Ranking Internet Service Providers using Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method», *2020 2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, págs. 102–107.
- T. SINGH, S. M. y D. SARKAR (2016), «E-commerce website quality assessment based on usability», *2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, págs. 101–105.
- TAJBAKHSI, A. y E. HASSINI (2015), «A data envelopment analysis approach to evaluate sustainability in supply chain networks», *Journal of Cleaner Production*, **105**, págs. 74–85.
- TAVANA, M., A. FALLAHPUR, D. D. CAPRIO y F. J. SANTOS-ARTEAGA (2016a), «A hybrid intelligent fuzzy predictive model with simulation for supplier evaluation and selection», *Expert Systems with Applications*, **61**, págs. 129–144.
- TAVANA, M., M. A. KAVIANI, D. D. CAPRIO y B. RAHPEYMA (2016b), «A two-stage data envelopment analysis model for measuring performance in three-level supply chains», *Measurement*, **78**, págs. 322–333.

- TAVANA, M., G. KHOSROJERDI, H. MINA y A. RAHMAN (2019), «A Hybrid Mathematical Programming Model for Optimal Project Portfolio Selection using Fuzzy Inference System and Analytic Hierarchy Process», *Evaluation and Program Planning*, **77**, pág. 101-703.
- TAVANA, M., F. J. SANTOS ARTEAGA, S. MOHAMMADI y M. ALIMOHAMMADI (2017), «A fuzzy multi-criteria spatial decision support system for solar farm location planning», *Energy Strategy Reviews*, **18**, págs. 93–105.
- TAYLOR, T. y A. GUERRERO (2012), «Logística de la producción y comercialización de radiofármacos», *Nucleus*, **52**, págs. 31–34.
- 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.
- UNAHABHOKHA, C., K. PLATTS y K. HUA TAN (2007), «Predictive performance measurement system: A fuzzy expert system approach», *Benchmarking: An International Journal*, **14**(1), págs. 77–91.
- UYGUN, 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.
- VAIDYA, O. y S. KUMAR (2006), «Analytic hierarchy process: An overview of applications», *European Journal of Operational Research*, **169**(1), págs. 1–29.
- VAN LAARHOVEN, P. y W. PEDRYCZ (1983), «A fuzzy extension of Saaty's priority theory», *Fuzzy Sets and Systems*, **11**(1), págs. 229–241.
- VON ALTROCK, C. (1997), *Fuzzy logic and neurofuzzy applications in business and finance*, Prentice hall PTR., Upper Saddle River.
- WIBOWO, M. A. y M. N. SHOLEH (2016), «The Analysis of Supply Chain Performance Measurement at Construction Project», *Procedia Engineering*, **125**, págs. 25–31.

- WISNER, J. D. y K. C. TAN (2000), «Supply Chain Management and Its Impact on Purchasing», *Journal of Supply Chain Management*, **36**(3), págs. 33–42.
- Y. LÓPEZ, D. L. y A. TALAVERA (2017), «Selection of ERP based on analytical hierarchical process and fuzzy inference systems», *2017 IEEE XXIV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, págs. 1–4.
- YANG, M., F. I. KHAN y R. SADIQ (2011), «Prioritization of environmental issues in offshore oil and gas operations: A hybrid approach using fuzzy inference system and fuzzy analytic hierarchy process», *Process Safety and Environmental Protection*, **89**(1), págs. 22–34.
- YU, M.-M., L.-H. CHEN y B. HSIAO (2016), «Dynamic performance assessment of bus transit with the multi-activity network structure», *Omega*, **60**, págs. 15–25.
- ZADEH, L. A. (1965), «Fuzzy sets», *Information and Control*, **8**(3), págs. 338–353.
- ZADEH, L. A. (1988), «Fuzzy logic», *Computer*, **21**(4), págs. 83–93.
- ZANON, L., R. MUNHOZ ARANTES, L. DEL ROSSO CALACHE y L. RIBEIRO CARPINETTI (2020), «A decision making model based on fuzzy inference to predict the impact of SCOR® indicators on customer perceived value», *International Journal of Production Economics*, **233**, pág. 107520.
- ZHU, J. (2020), «DEA under big data: data enabled analytics and network data envelopment analysis», *Annals of Operations Research*, URL <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03668-8>.
- ZIMMERMANN, H. J. (2010), «Fuzzy set theory», *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, **2**(3), págs. 317–332.
- ZULUAGA, M., M. GÓMEZ y H. FERNÁNDEZ (2014), «Indicadores logísticos en la cadena de suministro como apoyo al modelo scor», *Clío América*, **8**(15), págs. 90–110.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Loraine Sanchez Jimenez

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:

CONTROL Y SEGUIMIENTO DE INDICADORES DE DESEMPEÑO DE
LA CADENA DE SUMINISTRO

Nació el 16 de julio de 1992 en Cartagena de indias, Colombia. Hija de Wilmer Sánchez Álvarez y Marelvi Jiménez Barcha. Ingeniera industrial egresada de la Fundación universitaria Tecnológico Comfenalco. Con experiencia profesional principalmente en áreas de gestión de proyectos y aseguramiento de la calidad.