

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA
EVALUACIÓN DE PROVEEDORES EN LA
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

POR

BENEDIKT STEFAN SCHUIERER

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

AGOSTO, 2019

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



**DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA
EVALUACIÓN DE PROVEEDORES EN LA
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

POR

BENEDIKT STEFAN SCHUIERER

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

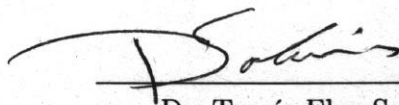
SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MÉXICO

AGOSTO, 2019

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

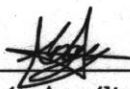
Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Desarrollo de un modelo para la evaluación de proveedores en la industria automotriz», realizada por el alumno Benedikt Stefan Schuierer, con número de matrícula 1937482, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis



Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

Asesor



Dra. María Angélica Salazar Aguilar

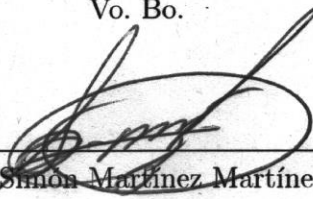
Revisora



Mtra. Lilia del Carmen Barrón Tobías

Revisora

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado



*A las personas que siempre me han apoyado en todas mis decisiones;
a mis guías de la vida, que me enseñaron a creer en mis sueños:
mis padres Maria y Michael.*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XIII
Resumen	XIV
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Objetivo	2
1.2.1. Objetivos generales	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Hipótesis	3
1.4. Justificación	3
1.5. Metodología	4
1.6. Caso de estudio	5
1.6.1. La empresa	5
1.6.2. Descripción del proceso	6
1.7. Estructura de tesis	7

2. Marco teórico	9
2.1. La toma de decisiones en la cadena de suministro	9
2.1.1. El proceso de toma de decisiones	9
2.1.2. La cadena de suministro	11
2.2. La evaluación y selección de proveedores como proceso de toma de decisiones	15
2.2.1. El papel de la evaluación y selección de proveedores	15
2.2.2. Criterios de evaluación	17
2.3. Técnicas para la evaluación de proveedores	20
2.3.1. Revisión de los métodos usados en la literatura	20
2.3.2. Proceso analítico jerárquico	28
2.3.3. Redes neuronales artificiales	32
2.4. Aplicación en la industria	38
2.5. Conclusión	41
3. Metodología	42
3.1. Selección del método	43
3.1.1. FAHP	43
3.1.2. ANN	47
3.2. Diseño de la herramienta	49
3.3. Aplicación y verificación de la herramienta	50

3.4. Análisis de resultados	50
4. Aplicación de la metodología	51
4.1. FAHP	51
4.1.1. Definición de criterios	51
4.1.2. Cuestionario	54
4.1.3. Cálculos y resultados del AHP	55
4.1.4. Valores de los criterios	61
4.1.5. Priorización de proveedores	63
4.2. ANN	64
5. Análisis de los resultados	69
5.1. FAHP	69
5.2. ANN	73
5.2.1. Hallazgos	73
5.2.2. Recomendaciones para la aplicación de ANN al VSP	75
6. Conclusión	77
6.1. Conclusiones generales	77
6.2. Recomendaciones	79
6.3. Contribuciones y trabajo futuro	81
6.3.1. Contribuciones	81

6.3.2. Trabajo futuro	82
A. Apéndice	83
A.1. Estructura y resultados del Cuestionario	83
A.2. Priorización de proveedores	88

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Estructura de la metodología	4
2.1. Clasificación de modelos de evaluación	21
2.2. Estructura general del árbol jerárquico	29
2.3. Un número difuso triangular	31
2.4. Ciclo de aprendizaje automatizado	33
2.5. Arquitectura de una red de propagación hacia atrás	34
2.6. Modelo de una estructura neuronal	36
2.7. Árbol jerárquico	39
3.1. Representación visual de la metodología propuesta	42
3.2. Intersección entre \tilde{M}_1 y \tilde{M}_2	46
4.1. Árbol jerárquico con objetivo, criterios y subcriterios	53
4.2. Ejemplo de una pregunta del cuestionario	54
4.3. Estructura general de la red neuronal	65
5.1. Árbol jerárquico con los valores de los criterios	70

5.2. Priorización de proveedores	71
5.3. Proveedores priorizados por categoría	72
5.4. Variación porcentual de los resultados de <i>Scoring</i> y FAHP	73
5.5. Errores porcentuales por número de neuronas ocultas	74

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Evolución del concepto de la gestión de la CS	12
2.2. Criterios de evaluación	18
2.3. Criterios verdes con mayor mención en la literatura	19
2.4. Comparación de escalas AHP-FAHP	30
4.1. Juicio del sexto experto en números triangulares	55
4.2. Juicio del experto para los subcriterios del criterio <i>Disposición</i>	56
4.3. Juicio del experto para los subcriterios de <i>Comunicación</i>	56
4.4. Juicio del experto para los subcriterios de <i>Calidad DFÜ</i>	56
4.5. Juicio del experto para los subcriterios de <i>Logística Operativa</i>	56
4.6. Juicio del primer experto en números triangulares	57
4.7. Juicio del segundo experto en números triangulares	58
4.8. Juicio del tercer experto en números triangulares	58
4.9. Juicio del cuarto experto en números triangulares	59
4.10. Juicio del quinto experto en números triangulares	59
4.11. Juicio del sexto experto en números triangulares	60

4.12. Media geométrica de las cinco matrices de comparación	60
4.13. Los resultados de la media geométrica en números reales	61
4.14. Los resultados de la media geométrica en números reales	61
4.15. Los valores de los criterios del primer nivel	62
4.16. Los valores de los subcriterios de <i>Disposición</i>	62
4.17. Los valores de los subcriterios de <i>Comunicación</i>	62
4.18. Los valores de los subcriterios de <i>Calidad DFÜ</i>	62
4.19. Los valores de los subcriterios de <i>Logística Operativa</i>	63
4.20. Resultados del escenario de experimentación 1	67
4.21. Resultados del escenario de experimentación 2	67
4.22. Resultados de la experimentación con valores exactos	68
5.1. Comparación de los valores del FAHP y el <i>Scoring</i>	70

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de tesis representa el apoyo de muchas personas a las cuales quiero extenderles mi sincero agradecimiento.

Al Dr. Tomás Eloy Salais Fierro, mi tutor de tesis, por su apoyo y por tener la suficiente paciencia para el logro de dicha meta.

A los revisores de esta tesis, Dra. María Angélica Salazar Aguilar y Mtra. Lilia del Carmen Barrón Tobías, que aseguraron con sus observaciones el cumplimiento de este trabajo con los estándares de calidad.

Al núcleo académico de la Maestría en Logística y Cadena de Suministro de la Universidad Autónoma de Nuevo León por haber compartido sus conocimientos y guiarme a lo largo de este camino.

Al Ing. Alejandro Meza Ramírez y la Ing. Paola Parra Herrera por guiarme con mi tema de tesis y proporcionar los datos para el caso de estudio.

A mi familia, particularmente mis padres, que, aunque geográficamente se encontraban muy lejos, siempre me apoyaron y motivaron a cumplir mis sueños.

También agradezco a los que hicieron posible este trabajo a través de su apoyo financiero durante el curso de la Maestría y la elaboración de esta tesis. Primeramente, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, así como a la Universidad Autónoma de Nuevo León y a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, por poder formar parte de esta institución y su apoyo económico.

RESUMEN

Benedikt Stefan Schuierer.

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: DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA EVALUACIÓN DE PROVEEDORES EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

Número de páginas: 110.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: En la actualidad, la evaluación y selección de proveedores representa uno de los procesos que más impacto tiene en la cadena de suministro. Consecuentemente resulta necesario contar con sistemas de toma de decisiones eficientes y basados en métodos científicos. Por este motivo se propone una herramienta basada en el proceso analítico jerárquico y lógica difusa para mejorar el proceso de evaluación de proveedores logísticos en una empresa de la industria automotriz. Adicionalmente, se explora el uso de redes neuronales para el problema de selección de proveedores, siendo una de las técnicas más recientes para la solución de este problema.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Se desarrolló una herramienta basada en el proceso analítico jerárquico con lógica difusa para la evaluación de proveedores que

permite la selección de socios que a largo plazo aportan mayor valor. Además, se exploró el uso de las redes neuronales, como una de las técnicas más recientes para la solución de este problema, destacando que es un método que, considerando algunas características, es capaz de aportar una mejora notable para este proceso en términos de agilidad y amigabilidad para el usuario.

Firma del asesor:



Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Ante la creciente globalización y especialización de las empresas manufactureras durante las últimas décadas, se ha comprobado que el aprovisionamiento es una función principal para el éxito empresarial. Tanto la evaluación como la selección de proveedores desempeñan un papel importante con un impacto notable en el área de aprovisionamiento y en toda la cadena de suministro (Omurca 2012), la cual se define como un sistema de actores enfocados en la obtención, transformación y distribución de productos y servicios bajo la finalidad de crear valor añadido y minimizar el costo global a lo largo del sistema (Monczka, Trent y Handfield 1998). Dado que el aprovisionamiento se repite en cada eslabón de la cadena y el volumen de compras aumenta cada vez más rápido, los proveedores son socios indispensables para cualquier empresa.

La selección de proveedores representa una tarea compleja, puesto que es propia a las necesidades de cada empresa y depende de una multitud de factores, como calidad, costo, servicio, tiempo de reabastecimiento (*lead time*) o impacto medioambiental (Omurca 2012). Su cuidadosa selección, evaluación y desarrollo es crucial para procesos eficientes, puesto que el suministro de materia prima dañada, en can-

tidades erróneas o demasiado tarde, afecta directamente la capacidad de la empresa de realizar procesos de transformación o distribución. Por el contrario, la selección adecuada puede resultar en menores costos de compra y un incremento en la competitividad. Una vez seleccionados los proveedores se requiere de un seguimiento continuo para asegurar un desempeño constantemente adecuado.

En la literatura existen varios modelos, desde programación matemática, métodos estadísticos hasta el uso de inteligencia artificial, que buscan resolver la problemática de encontrar y evaluar los mejores proveedores (Omurca 2012). Como parte de esta tesis, se busca determinar las problemáticas que se presentan en la evaluación de proveedores y revisar métodos utilizados en la actualidad para obtener una solución óptima.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 OBJETIVOS GENERALES

Desarrollar una herramienta de toma de decisiones para evaluar y priorizar proveedores logísticos mediante criterios de decisión con la finalidad de seleccionar aquellos que más se adecuen a las necesidades de la empresa de estudio.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Priorizar y seleccionar los proveedores más adecuados para las necesidades de la empresa de estudio mediante el proceso de jerarquía analítico con lógica difusa.
- Explorar el uso de redes neuronales artificiales para el problema de evaluación y selección de proveedores.

- Determinar medidas adecuadas y basadas en tecnologías de información para la agilización del proceso.

1.3 HIPÓTESIS

Al implementar una herramienta basada en la metodología del proceso analítico jerárquico con lógica difusa e investigando el uso de redes neuronales en este ámbito, se puede realizar una selección de socios, que a largo plazo aportan mayor valor a la empresa, reflejándose a mediano y largo plazo en una mejora de desempeño y un mayor número de proveedores clasificados como tipo A.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En tiempos de creciente competencia, el eficiente aprovisionamiento representa un factor clave para la rentabilidad de una empresa. Mientras que generalmente en las empresas manufactureras el volumen de compra refleja entre 40-60 % de las ganancias de una empresa, esta cifra asciende hasta un 80 % (Zubar y Parthiban, 2014) en la industria automotriz. Por consiguiente, esta industria en particular depende en gran medida de eficientes procesos de aprovisionamiento para mantener la competitividad. Entre ellos destaca el proceso de evaluación y selección de proveedores, ya que su correcta realización forma la base para la una colaboración exitosa. Estudios han demostrado que incluso programas simples de evaluación de proveedores tienden a mejorar sustancialmente el desempeño (Group, 2006).

Sin embargo, la situación competitiva en la industria automotriz obliga a las empresas a implementar procesos cada vez más eficientes y reducir costos. Es por eso, que la selección de proveedores no está excluida de la necesidad de contar con métodos más elaborados para poder colaborar con los socios más adecuados. Por

este motivo, tanto empresas como investigadores se tienen que dedicar a la constante búsqueda de las herramientas más útiles y aplicarlas a casos prácticos.

1.5 METODOLOGÍA

La metodología que se sigue para llevar a cabo este proyecto se estructura, conforme a las normas del Honorable Consejo Universitario de la Universidad Autónoma Universidad Autónoma de Nuevo León (1995), de la siguiente forma:

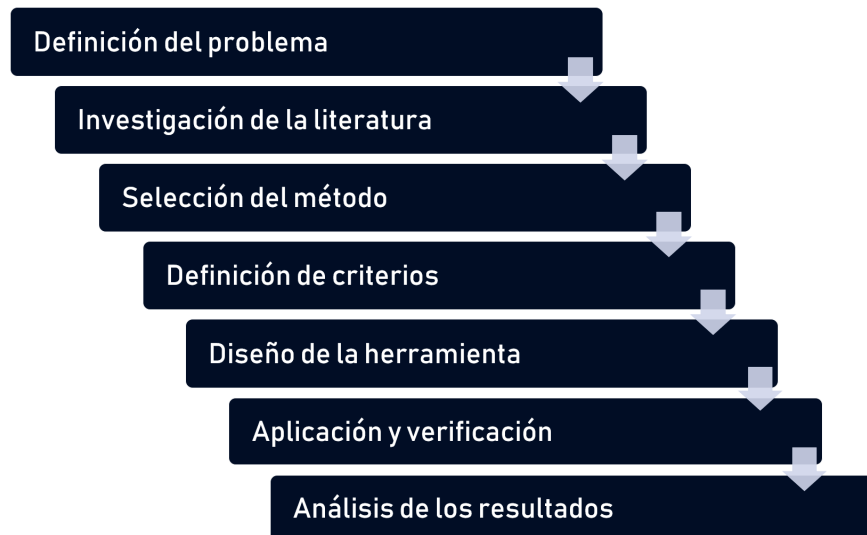


Figura 1.1: Estructura de la metodología

Definición del problema: Se detecta el área de mejora y define el alcance del proyecto.

Investigación de la literatura: Como fundamento para el desarrollo del proyecto, se investiga acerca de los trabajos realizados previamente en este área, comparando diferentes criterios y métodos de solución con la finalidad de elegir al más adecuado para la empresa de estudio.

Selección y diseño de la herramienta: De acuerdo a lo estudiado en el paso anterior, se selecciona y diseña la metodología conforme a las características del problema y el caso del estudio.

Experimentación y análisis: Se aplica la herramienta al caso de estudio y analiza los resultados obtenidos con el propósito de derivar recomendaciones y conclusiones.

1.6 CASO DE ESTUDIO

Como parte de este trabajo, se desarrolla un caso de estudio en una importante empresa del sector automotriz, la cual busca reorganizar su proceso de evaluación de proveedores con la finalidad de mejorar su desempeño logístico.

1.6.1 LA EMPRESA

La compañía de estudio forma parte de la industria automotriz, la cual se puede definir como un «conjunto de compañías y organizaciones relacionadas en las áreas de diseño, desarrollo, manufactura, marketing, y ventas de automóviles» (Britannica, 2018). Es uno de los sectores más importantes, dado que revolucionó nuestra forma de transporte, cuenta con un alto volumen de ventas, emplea millones de personas a nivel mundial e impulsa la investigación y es motor de desarrollo de nuevas tecnologías. Con el paso de los años, se han constituido cada vez más empresas, por lo que el mercado de automóviles se ha convertido en uno de los más competitivo. Ya no resulta rentable producir autos de un solo color o el mismo equipamiento para todos los clientes. Clientes cada vez más exigentes requieren a los fabricantes de equipos originales (OEMs) a ofrecer productos innovadores a un costo razonable. Es por eso, que muchas empresas se ven obligadas a reducir sus costos. Como se mencionó en la descripción del problema, una de las áreas con

mayor potencial es el aprovisionamiento. Esto resulta particularmente relevante en la industria automotriz. Mientras generalmente en empresas manufactureras el volumen de compra refleja un 40-60 % de las ganancias de una empresa, esta cifra asciende hasta 80 % en la industria automotriz. Es por ello, que particularmente esta industria depende en gran medida de eficientes procesos de aprovisionamiento para mantener la competitividad.

La empresa de estudio se desempeña como una de las líderes de la industria automotriz a nivel mundial. El grupo opera un amplio porfolio de marcas, abarcando cualquier segmento de vehículos motorizados. Para este caso, el enfoque está en la marca principal del grupo. A nivel nacional, la marca cuenta con una historia de varias décadas, por lo que se ha convertido en uno de los empleadores más importantes en el centro del país.

1.6.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El departamento de logística de la empresa experimenta la falta de una metodología eficiente y armonizada para la evaluación de proveedores logísticos. Hasta la fecha, la gerencia de esta área maneja una hoja de cálculo estandarizada para la evaluación, la cual se divulga a los departamentos de Pre-Serie, Disposición, Planeación Logística, Exportación CKD y Refacciones. La hoja contiene cinco criterios, a los cuales se asignó una ponderación según la opinión de la gerencia. Este porcentaje se multiplica con la puntuación adquirida para obtener el resultado final. La puntuación o nota deriva de una escala de 1 a 6, donde 1 representa el desempeño óptimo y 6 el peor desempeño. No se otorga puntuaciones a los subcriterios, únicamente a los criterios generales. Además, se observó que los departamentos utilizan métodos propios o desatienden la evaluación. Una vez finalizada la evaluación por parte de los departamentos, el respectivo responsable envía el documento a la gerencia del departamento de *Supply Chain Management*, el cual consolida manualmente la información en una sola hoja de cálculo. De ahí, se sube manualmente la puntuación

obtenida a una base de datos, a la cual tanto la empresa como los proveedores pueden consultar la evaluación de su desempeño. Un análisis del proceso actual mostró los puntos de mejora, los cuales se pueden agrupar en tres áreas. El primero es la falta de coherencia y de objetividad del modelo de evaluación, además de un continuo desacuerdo entre los departamentos sobre la importancia de los criterios. La ponderación y escala carecen de un gran nivel de subjetividad, lo cual es intolerable para un proceso de esta magnitud, resultando en problemas de consolidación y la falta de objetividad de los resultados. Segundo, se observó que una gran parte del proceso se realiza manualmente. Una corporación del siglo 21 de esta magnitud debe de contar con operaciones automatizadas basadas en tecnologías de información, no solo en el área de producción sino también en la administración. El trabajo manual que se realiza tanto en la consolidación de los datos como en la exportación de los resultados a la base de datos resultan en una pérdida de tiempo y un mal aprovechamiento de recursos. Como tercera área de mejora se puede mencionar la falta de gestión del cambio, puesto que la negligencia de la evaluación y la falta de sensibilidad de la importancia de este proceso impactan negativamente en la calidad de los resultados obtenidos.

1.7 ESTRUCTURA DE TESIS

La presente tesis consiste en seis partes principales. En el primer capítulo, se da una introducción al tema de la toma de decisiones en el área de aprovisionamiento, destacando su importancia para la cadena de suministro, además de detallar el caso de estudio. En el marco teórico, se realiza una revisión de la literatura relacionada, haciendo énfasis en el proceso de selección de proveedores, los criterios, los principales métodos de solución y sus aplicaciones prácticas. El capítulo tres, la metodología, da a conocer la descripción y el funcionamiento de la herramienta seleccionada. En el capítulo de aplicación de la metodología se procede con la experimentación, empleando la herramienta al caso de estudio, previo al análisis y la interpretación de

los resultados en el capítulo cinco. Por último, se derivan conclusiones de la investigación realizada, se destaca la aportación del proyecto y se realizan recomendaciones a trabajos futuros.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 LA TOMA DE DECISIONES EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Con la finalidad de resolver la problemática descrita de una forma científica se comienza con un análisis detallado de la literatura relacionada (Universidad Autónoma de Nuevo León, 1995). La primera sección hace énfasis en la teoría de la toma de decisiones y su aplicación en el ámbito de la cadena de suministro.

2.1.1 EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES

En nuestro mundo, cada día se toman miles de millones de decisiones. Pero no sólo los humanos, sino incluso los animales llegan a enfrentarse a situaciones que requieren de la toma de decisiones, la cual se puede definir como una actividad de solución de problemas, cuya finalidad es una solución óptima o por lo menos satisfactoria (Kahneman y Tversky, 2000). Mientras los animales generalmente actúan conforme sus instintos, los humanos, siendo una especie inteligente, poseen de una mayor capacidad de análisis. En el momento de tomar una decisión no sólo pueden

simular el resultado directo esperado del mismo, sino también pronosticar futuras implicaciones que conlleva esta decisión. Un primate, por ejemplo, en búsqueda de comida se encuentra unas semillas de calabaza y se enfrenta a una situación que requiere una toma de decisión. Dejándose llevar por sus instintos, es muy probable que se las coma para satisfacer su necesidad inmediata. Por otro lado, un humano podría enfrentarse a la misma decisión, pero decidir de forma diferente. En lugar de comérselos, el humano podría llegar a tomar la decisión de sembrarlas. Aunque esto no satisfará su necesidad actual, permitirá asegurar que tenga comida en el futuro, y mucho más de lo que tendría si se las hubiera comido inmediatamente.

Este pequeño ejemplo muestra que los humanos tienen una gran capacidad de análisis, que les permite tomar decisiones considerando una serie de factores y posibles escenarios. Sin embargo, cada vez es más frecuentemente que nos enfrentemos a problemas con mayor complejidad que resultan difíciles de resolver. Adicionalmente, Santos y Rosati (2015) mencionan que, aunque los humanos se consideran una especie inteligente, sus decisiones tienden a desviarse de las soluciones óptimas que los modelos de decisiones racionales predicen. Varios expertos señalan que constantemente atendemos demasiado a información irrelevante (Santos y Rosati, 2015; Kahneman, 2011), caemos presa de variables contextuales y situacionales (Santos y Rosati, 2015; Danziger *et al.*, 2011) e incluso llegamos a racionalizar nuestras malas decisiones (Santos y Rosati, 2015; Harmon-Jones y Mills, 1999). Esto indica que al final de cuentas, hasta cierto grado, todos somos esclavos de nuestras emociones.

Esta problemática resulta particularmente delicada en el entorno empresarial, donde la toma de una decisiones muchas veces conlleva una ganancia o pérdida de miles o incluso millones de pesos (McKinsey, 2009). Es por eso, que tanto empresas como universidades se han ocupado en la investigación de maneras que permitan la toma de decisiones más eficientes.

2.1.2 LA CADENA DE SUMINISTRO

En un mundo que parece cada vez más pequeño debido a la creciente globalización, las empresas hoy en día se ven enfrentadas a un notable aumento en la competencia. Por lo tanto, resulta necesario mantener un enfoque en la constante reducción de costos, el aumento de calidad y la minimización de tiempos de entrega (Zubar y Parthiban, 2014). Ante este reto, las empresas empezaron a formar alianzas entre ellos con la finalidad de compartir conocimientos y aprovechar las economías de escala. En el contexto de estas tendencias existe un término omnipresente: cadena de suministro. Kozlenkova *et al.* (2016) señalan que la cadena de suministro puede definirse como un sistema de organizaciones, personas, actividades, información y recursos involucrados en el movimiento de productos o servicios desde los proveedores hacia el cliente final. Debido a que esta área ha crecido y cambiado constantemente a lo largo de los años (Atwater, 2017), se dedica este capítulo al estudio de su definición y su historia.

Robinson (2015) señala que el concepto de la gestión de la cadena de suministro cuenta con una historia de más de 100 años, teniendo sus orígenes en la logística de principios del siglo 20. Esta, a su vez, ha sido aplicada por humanos desde la edad de Bronce (Tepić *et al.*, 2011). Sus orígenes militares continúan reflejándose en la actualidad, pues la Real Academia Española (2018) define el término *logístico* como “parte de la organización militar que atiende al movimiento y mantenimiento de las tropas en campaña”. Sin embargo, con el transcurso de los años se ha ampliado, o más bien, generalizado su significado. En la era de la industrialización la logística ya se consideraba de una forma muy parecida a la actual. Hoy en día, se refiere a la logística como una parte fundamental de la cadena de suministro, encargándose del flujo de bienes entre el punto de origen y el punto de consumo con la finalidad de satisfacer las necesidades de los clientes (Akkucuk, 2015).

No fue hasta el año 1905, hasta que por primera vez se mencionó el término cadena de suministro en la literatura: en un artículo del periódico *The Independent*,

refiriéndose, en consonancia con lo anteriormente descrito, a una situación militar. Pensando la gestión de la cadena de suministro desde una perspectiva de la ingeniería industrial, se puede considerar a Frederick Taylor como uno de sus pioneros. Fue en el año 1911, cuando publicó su libro *Principles of Scientific Management*, en el cual estudió la mejora de procesos de carga manual (Taylor, 1911). Durante la segunda guerra mundial se empezó a reconocer el valor de la investigación de operaciones para organizar la logística en operaciones militares. En aquel tiempo, la ingeniería industrial y la investigación de operaciones habían sido tratados como entidades independientes, hasta que se empezaron a crear estructuras integrales bajo el término *Supply Chain Engineering* (Robinson, 2015).

Aunque la logística resultaba como tema de interés de la industria durante todo el siglo, el concepto de la cadena de suministro, como lo conocemos hoy, surgió en un primer momento en los años 1980. Jain *et al.* (2010) identificaron seis etapas claves de su evolución desde 1980 hasta 2010, las cuales se pueden observar en la tabla 2.1, indicando los respectivos cambios y desarrollos.

Etapas	Enfoque
Creación	Primer mención del termino SCM en la industria (1980)
Integración	Desarrollo y uso de TIs en la cadena de suministro (1960-90)
Globalización	Búsqueda de socios internacionales con el objetivo de aumentar la ventaja competitiva, crear valor y reducir costos
Especialización I	Enfoque en competencias claves, abandono de la integración vertical y externalización de procesos no claves
Especialización II	SCM como servicio: creación de empresas 3PL ofreciendo servicios mucho más allá del mero transporte y la logística
SCM 2.0	Uso del internet en la cadena de suministro para aumentar creatividad, intercambio de información y colaboración

Tabla 2.1: Evolución del concepto de la gestión de la CS Jain *et al.* (2010)

La revisión de la historia de la cadena de suministro comprueba que su concepto ha vivido un constante cambio en las últimas décadas. Consiguientemente, se realiza la revisión y el análisis de las diferentes definiciones que existen en la literatura.

Es importante señalar que existe una diferencia notable entre logística y cadena de suministro. Mientras la logística se encarga de la planificación del flujo de productos e información, el concepto de la cadena de suministro es más amplio, ya que considera la interdependencia entre áreas y busca una integración de las mismas (Christopher, 2016). Debido a su relativamente corta historia, no resulta sorprendente que tanto en la academia como en la práctica haya surgido un debate sobre la adecuada definición de la gestión de la cadena de suministro (SCM). Como se mencionó anteriormente, el término fue usado en primera ocasión en 1982 por una empresa consultora, señalando que atacar los conflictos entre las diferentes áreas de una empresa de una forma independiente ya no resulta efectivo, por lo cual se propuso un nuevo concepto: la gestión de la cadena de suministro (Keith y Webber, 1982).

Unos años después de haber expresado la necesidad de esta nueva perspectiva ante el cambiante entorno competitivo, Novack y Simco (1991) señalaron que la gestión de la cadena de suministro “abarca el flujo desde los proveedores, pasando por manufactureros y distribuidores hasta el cliente final”. En el mismo año, Scott y Westbrook (1991) añaden a esta definición el aspecto de la interdependencia entre los diferentes elementos de la cadena y Towill *et al.* (1992) que adicionalmente existe un flujo inverso de información. Cavinato (1992) especifica que la cadena de suministro es el conjunto de empresas que agregan valor a lo largo del flujo del producto. Ganesan y Harrison (1995) hacen énfasis en que la cadena de suministro es una red de instalaciones y alternativas de distribución que realizan actividades de adquisición, transformación y distribución de productos. Es hasta el año 1998 que Christopher (1998) destaca que la interacción en la cadena de suministro puede ser tanto siguiendo la dirección del flujo como también en contra. Mentzer *et al.* (2001) agrega que el objetivo de SCM es mejorar el desempeño a largo plazo, tanto para la empresa como

para toda la cadena de suministro. Una de las organizaciones más importantes en esta área (Council of Logistics Management, 2003) propuso una definición muy amplia, la cual se enfoca en la integración de la gestión de demanda y suministro dentro y entre empresas. Un estudio realizado por Gibson *et al.* (2005) indica que para la gran mayoría de ejecutivos, SCM es considerado como una combinación de estrategia y actividad. Stock y Boyer (2009) entienden bajo este término la gestión de una red de relaciones en una empresa y entre organizaciones interdependientes. Gartner (2013) menciona que los elementos de la cadena forman una comunidad de socios comerciales bajo la premisa común de satisfacer a los clientes finales. El *Council of Supply Chain Management Professionals (2018)* resume que la gestión de la cadena consiste de cualquier actividad relacionada al aprovisionamiento, la transformación y logística. Además hace énfasis en la coordinación y colaboración con socios de la cadena, los cuales pueden ser proveedores, intermediarios, empresas 3PL y clientes. Considerando esta definición como una de las más completas y recientes, se decide utilizarla como referencia para fines de trabajo.

“Supply chain management encompasses the planning and management of all activities involved in sourcing and procurement, conversion, and all logistics management activities. Importantly, it also includes coordination and collaboration with channel partners, which can be suppliers, intermediaries, third party service providers, and customers. In essence, supply chain management integrates supply and demand management within and across companies”.

Council of Supply Chain Management Professionals (2018)

Se ha comprobado que existe una gran variedad de definiciones de la cadena de suministro y su gestión. Cabe destacar que las definiciones más recientes destacan, además de sustentabilidad y un creciente enfoque medioambiental, particularmente las relaciones entre las diferentes empresas que forman parte de la cadena. Es por

eso, que en la próxima sección se analizará una forma de gestionar las relaciones con proveedores de una forma exitosa y sustentable.

2.2 LA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES COMO PROCESO DE TOMA DE DECISIONES

Con base en la información elaborada en la sección anterior, se procede con el análisis de un área de aplicación concreta del concepto de la toma de decisiones en la cadena de suministro: la evaluación y selección de proveedores. Primero, se evalúa la relevancia para el desempeño global de la cadena, luego se identifican los criterios con mayor aplicación y posteriormente se presenta una visión global de las herramientas estudiadas en la literatura.

2.2.1 EL PAPEL DE LA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES

Conforme a la definición elegida para este trabajo, la gestión de la cadena de suministro se empeña en la coordinación y colaboración con socios comerciales, los cuales pueden ser proveedores, intermediarios, empresas 3PL y clientes (Council of Supply Chain Management Professionals, 2018). Puesto que ésta le otorga una notable importancia a la relación con los socios, cabe mencionar que los departamentos de ventas y compras son los que se encuentran en contacto directo con los elementos precedentes y subsiguientes. Ciertamente, aunque el área de ventas tiene su importancia, este trabajo se enfoca en el área de aprovisionamiento, dado que es el punto de entrada de materia prima y componentes a la empresa, que tiene efectos notables afectando a todos los demás procesos. Van Weele (2009) define aprovisionamiento como el conjunto de actividades necesarias para mover el producto desde el proveedor hasta su destino final, abarcando compras, transportación, inspección,

control de calidad y aseguramiento. Además menciona, que las empresas tienden a gastar más de la mitad de las ventas en componentes y servicio adquiridos. Otras fuentes indican que dependiendo de la industria, esta cifra puede ascender hasta 70 % o incluso 80 % (Weber *et al.*, 1991; Zubar y Parthiban, 2014). Adicionalmente, Ghodyspour y O'Brien (2001) comprobaron en su trabajo que la selección de los proveedores correctos reduce el costo de compra y mejora la competitividad corporativa de manera significativa. Es por eso, que resulta indispensable desarrollar relaciones eficientes y constructivas con proveedores, permitiendo el éxito empresarial a corto y largo plazo.

El fundamento para una colaboración eficiente es la medición del desempeño de los socios de la empresa. Para esto, se requiere de métodos para la evaluación de proveedores, y así seleccionar posteriormente el más adecuado para las necesidades de la empresa. Monczka *et al.* (2016) subrayan que este proceso se considera como uno de los más importantes que realizan las organizaciones. La Group (2006) comprueba la importancia de tener un programa de gestión del desempeño de los proveedores en uno de sus estudios, especificando que de empresas que utilizan algún programa generalmente, lograron una mejora de 23 % en el precio, 23 % en entrega a tiempo, 21 % en calidad y 21 % en servicio al cliente. Pero no solo la empresa en sí gana, sino también el proveedor, puesto que tienden a tener un mayor desempeño cuando se está midiendo. En otras palabras, el desempeño de proveedores se mejora con solo “poner atención”, sabiendo que el cliente los está observando. De esta forma, incluso métricas simples pueden tener un impacto positivo. Sin embargo, dada la extrema complejidad que se tiene en entornos empresariales de la actualidad, se han comprobado mucho más exitosas las herramientas de medición y evaluación más formales y basadas en un sistema (Group, 2006).

2.2.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Como se mencionó antes, buenas relaciones comerciales son la clave para una eficiente colaboración en la cadena de suministro. Antes de poder seleccionar los proveedores, con los cuales se pretende reforzar los esfuerzos de crear una buena relación con la finalidad de crear valor, se debe desarrollar una serie de criterios de evaluación (Monczka *et al.*, 2016).

En los primeros tiempos de la selección de proveedores, se consideraron importantes únicamente tres factores: precio, calidad y tiempo de entrega (Zubar y Parthiban, 2014). En aquel tiempo, académicos ya reconocían la relevancia de este tema, como muestra el trabajo de Dickson (1966), en el cual menciona 23 criterios fundamentales que se deben considerar en este proceso. Desde entonces, los investigadores recomendaban la consideración de un mayor número de criterios, los cuales hoy en día siguen teniendo relevancia. En uno de los artículos más citados acerca de este tema, Weber *et al.* (1991) revisa 74 artículos publicados desde el año 1966 y hace referencia al estudio de Dickson (1966) como fundamento y agrega una revisión de los criterios analizados desde entonces hasta 1990, cuyo resultado puede ser observado en la tabla 2.2. Cabe destacar que, aunque el año de elaboración de su trabajo es 1991, hoy en día siguen teniendo validez,

Posición	Criterio	Puntuación	Importancia
1	Calidad	3.508	Extrema
2	Entrega	3.417	Extrema
3	Historial de Desempeño	2.998	Considerable
4	Garantías	2.849	Considerable
5	Infraestructura productiva y capacidad	2.775	Considerable
6	Precio	2.758	Considerable
7	Habilidades técnicas	2.545	Considerable
...
20	Ubicación geográfica	1.872	Mediana
21	Volumen de negocios pasados	1.597	Mediana
22	Capacitaciones	1.537	Mediana
23	Acuerdos recíprocos	0.610	Baja

Tabla 2.2: Criterios de evaluación (Dickson, 1966; Weber *et al.*, 1991)

Continuando el trabajo de Dickson (1966), Weber *et al.* (1991) comprueban que la gran mayoría de los resultados obtenidos siguen siendo válidos. Esto lo realiza mediante una revisión de la literatura, concluyendo que la calidad es el criterio más importante, seguido por la entrega a tiempo. A diferencia de Dickson, el trabajo de Weber posiciona el precio en tercer lugar. Interesantemente, la ubicación geográfica, que Dickson considera poco importante, se encuentra en el cuarto lugar del artículo de Weber. Esto indica que calidad, entrega y precio siguen siendo los criterios de mayor importancia. Sin embargo, no resultan ser suficiente para evaluar de una forma completa.

A los criterios mencionados en los dos trabajos, se han sumado aspectos que consideran la aumentada conciencia ambiental y el enfoque en sostenibilidad que está experimentando nuestra sociedad en la actualidad. Consecuentemente, ha surgido una nueva perspectiva de la cadena de suministro. A diferencia del concepto tradicional de cadena de suministro con un marcado enfoque económico, una cadena

de suministro verde adicionalmente toma en cuenta factores ecológicos con la misión de trabajar en la reducción de estos impactos a lo largo del tiempo (Nielsen *et al.*, 2014). Es por eso, que en la actualidad se deben considerar también los llamados “criterios verdes”. Las empresas utilizan este tipo de factores principalmente para hacer frente a dos necesidades, una para evitar penalizaciones económicas por parte de gobiernos e incluso por motivación propia, manejando una filosofía empresarial enfocada en la preservación del medio ambiente. Govinda *et al.* (2015) llevaron a cabo una revisión de la literatura acerca del tema, analizando 33 artículos publicados en revistas científicas de 1996 a 2011. De la misma manera, Nielsen *et al.* (2014) realizaron un estudio parecido, analizando 57 artículos. Los cinco criterios verdes con mayor mención en la literatura analizados se encuentran resumidos en la tabla 2.3, destacando la importancia de los sistemas de gestión ambiental como criterio para la evaluación del desempeño medioambiental de los proveedores.

Pos.	Criterio	Govinda (2015)		Nielsen (2014)	
		Nº Art.	% Art.	Nº Art.	% Art.
1	Sistemas de gestión ambiental	11	33.33	20	35.08
2	Imagen verde	4	12.12	8	14.04
3	Habilidades medioambientales	3	9.09	6	10.53
4	Diseño para el medio ambiente	3	9.09	5	8.77
5	Inversión en mejoras medioam.	3	9.09	5	8.77

Tabla 2.3: Criterios verdes con mayor mención en la literatura

Resulta importante destacar que en ambos trabajos se resalta la relevancia de criterios tradicionales. Contrastando a publicaciones con mayor antigüedad, como los de Dickson (1966) y Weber *et al.* (1991), Nielsen *et al.* (2014) y Govinda *et al.* (2015) argumentan que el uso de los mismos ya no resulta satisfactorio para evaluar proveedores bajo estándares del siglo 21. Para concluir se puede resumir que los criterios clásicos, como calidad, precio y entrega siguen siendo los principales, sin embargo, se recomienda incluir algunos criterios verdes para cumplir con las nuevas

necesidades descritas. Finalmente, cabe mencionar que últimamente los criterios se definen dependiendo del nivel de relación proveedor-cliente y la respectiva integración, el posicionamiento de la empresa en el mercado, la situación competitiva y las estrategias corporativas (Zubar y Parthiban, 2014). Es por eso que, en el transcurso del desarrollo de este trabajo, se definirán criterios de evaluación específicos para las necesidades de la empresa que se analizará más adelante en el caso de estudio.

2.3 TÉCNICAS PARA LA EVALUACIÓN DE PROVEEDORES

2.3.1 REVISIÓN DE LOS MÉTODOS USADOS EN LA LITERATURA

Como indica la literatura estudiada en las secciones anteriores, se puede definir la evaluación y selección de proveedores como una situación que requiere de la toma de decisiones. Más específicamente, se presenta un problema de toma de decisiones multicriterio (Ho *et al.*, 2010; Ghorabae *et al.*, 2016). Este tipo de problemas ya había sido estudiado en ocasiones durante los últimos siglos. Una de las mayores aportaciones la agregó Bernoulli (1738) publicando un trabajo en el cual resuelve la paradoja de San Petersburgo, aportando una serie de ideas importantes para el tratamiento de decisiones en riesgo. Así mismo, indicó que el proceso de decisión depende de los valores, circunstancias y preferencias del decisor (Aumann, 1977). Sin embargo, no fue hasta los años 90 del siglo pasado que empezaron a trascender los métodos de la toma de decisión multicriterio, extendiéndose también al ámbito público y empresarial. Este tipo de técnicas se caracterizan por el hecho de que existe más de un criterio en conflicto. Se busca resolver problemas complejos, dividiéndolos en problemas más simples o más pequeños. Utilizando una serie de atributos cuantitativos o cualitativos se busca presentar una visión conjunta del problema para finalmente seleccionar la mejor de las alternativas (Pohekar y Ramachandra, 2004).

Una visión global de los métodos existentes proporciona el trabajo de Pal *et al.* (2013), como se muestra en la figura 2.1.

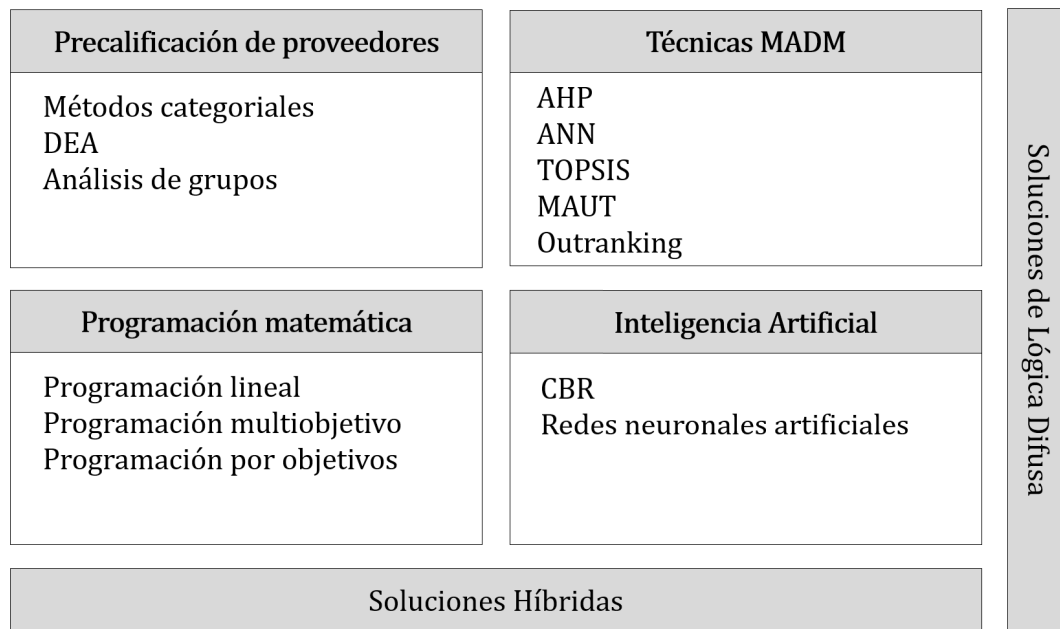


Figura 2.1: Clasificación de modelos de evaluación según Pal *et al.* (2013)

Como se puede observar, Pal *et al.* (2013) clasifica los métodos en cuatro categorías: precalificación, métodos de toma de decisiones multicriterio (MADM), programación matemática e inteligencia artificial. A continuación se analizará cada categoría con sus respectivos métodos. Además se proporcionará una breve evaluación con sus respectivos beneficios e inconvenientes para cada categoría. Posteriormente se discutirá la aplicación del concepto de la lógica difusa y soluciones híbridas en la evaluación y selección de proveedores.

2.3.1.1 MODELOS DE PRECALIFICACIÓN

Pal *et al.* (2013) menciona que la precalificación se refiere esencialmente al proceso de reducir la multitud de proveedores a un conjunto más pequeño. Empresas como Shell utilizan esta técnica como primer paso en la selección de proveedores,

exigiendo a cualquier empresa interesada en convertirse en proveedor de la compañía petrolera, completar su proceso de precalificación (Achilles Limited, 2018). Previo a licitaciones, negociación de contratos y la firma del contrato, prospectos proveedores son requeridos para brindar información acerca de criterios de riesgos, salud y seguridad, ética y cumplimiento, así como derechos laborales. De esta forma, Shell busca obtener una valiosa perspectiva sobre la capacidad de un proveedor para manejar estos temas y la utiliza en etapas más avanzadas del proceso de selección para respaldar las decisiones de compra. Este proceso se basa en la primer técnica que se revisa: los métodos categoriales. Estos modelos cualitativos se basan en datos históricos y la experiencia del comprador. Éste evalúa los proveedores y les otorga una calificación final.

El análisis envolvente de datos (DEA) es un sistema de clasificación que distingue entre proveedores eficientes e ineficientes, utilizando programación lineal como herramienta principal (Diaz-Balteiro *et al.*, 2016). Se considera que un proveedor tiene una eficiencia relativa del 100% cuando produce una serie de factores y otro proveedor no. De esta manera se logra distinguir entre alternativas eficientes y no eficientes. La literatura indica múltiples casos de aplicación, tanto para un solo producto (Weber, 1996) como para evaluar el desempeño general de proveedores de una empresa (Lio *et al.*, 2000). Publicaciones más recientes proponen la combinación de DEA con otras herramientas, como Costo total de propiedad (TCO) y el proceso analítico jerárquico (AHP) (Ramanathan, 2007), Despliegue de la función calidad (QFD) y AHP (Ertugrul y Dursun, 2014) o AHP y el análisis de grupos (CA) (Park y Lee, 2017).

Resulta interesante el último trabajo mencionado, puesto que el análisis de grupos también cabe dentro de esta categoría. Es un método estadístico que hace uso de un algoritmo de clasificación para agrupar una serie de objetos en categorías de proveedores según características intrínsecas o similitudes (Jain, 2010). Con la finalidad de reducir un gran número de proveedores, este método puede ser de gran uso, como muestra el trabajo de Hinkle *et al.* (1969), los cuales son considerados como

los primeros en mencionarlo (Pal *et al.*, 2013). La presencia de CA en la literatura sigue en la actualidad, ya que es un método altamente preciso (Jung *et al.*, 2014), que puede estimar el número deseado de categorías (M. *et al.*, 2015), además es estable y fácil de implementar (Kou G., 2014).

Para resumir, se puede decir que las técnicas de precalificación resultan muy eficientes para reducir la multitud de posibles proveedores a un número manejable. Sin embargo, De Boer *et al.* (2001) argumentan que por sus características no puede ser considerado como un modelo de priorización, sino más bien como un proceso de orden que facilita la selección.

2.3.1.2 MODELOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO

Las técnicas de decisión multicriterio resultan muy útiles para la selección de proveedores, dado que incluyen el análisis de múltiples criterios. Probablemente el método más estudiado es el proceso analítico jerárquico (AHP), el cual ayuda a priorizar alternativas bajo múltiples criterios y permite al tomador de decisiones solucionar problemas complejos (Saaty, 2008), facilitando una escala para la comparación por partes. AHP, el proceso desarrollado por Thomas Saaty (1980) permite considerar tanto criterios cuantitativos como cualitativos. Consecuentemente, ha sido ampliamente aplicado, como por ejemplo por Muralidharan *et al.* (2001), quienes ilustraron el uso de AHP como un modelo de toma de decisiones que ayuda a gerentes a entender la relevancia de decisiones medioambientales. Pi y Low (2006) propusieron un sistema para la selección de proveedores utilizando una solución híbrida de AHP y la función de Taguchi. Con la finalidad de manejar la incertidumbre, Kilincchi y Onal (2011) combinaron AHP con el concepto de la lógica difusa (FAHP) y Martínez (2018) proporcionó una herramienta para agilizar y facilitar el procesamiento de la información en FAHP.

Otro método es el proceso de red analítica (ANP), el cual usualmente se basa

en AHP. En comparación a este, ANP permite una visión más amplia, dado que considera retroalimentación y relaciones entre atributos de decisión. Consiste en dos partes, donde la primera es una jerarquía de control y la segunda es una red de influencia entre los elementos (Saaty, 1996). Varios autores comprueban la eficiencia de ANP para el problema de selección de proveedores, como indican: Choy *et al.* (2004), Bhattacharya *et al.* (2010), Taghizadeh y Ershadi (2013) y Bhattacharya *et al.* (2014), entre otros.

Por otro lado, los modelos de costo total consisten básicamente en un resumen de la cuantificación de todos los costos asociados con la selección de proveedores, lo que permite tener un costo más real que únicamente el precio del producto. En la práctica existen varios casos de aplicación. En la literatura destaca el trabajo de Degraeve (2000), el cual revisa una serie de áreas de uso y propone un concepto TCO como base para comparar modelos de selección de proveedores. De acuerdo a Ellram (1993), el aumentado enfoque en calidad y racionalidad destacan la relevancia de TCO. Más recientemente, Kanagaraj *et al.* (2014) proporcionan una herramienta de programación lineal con base en TCO para seleccionar el mejor proveedor.

TOPSIS es otra técnica utilizada para la solución de este problema, en el cual se define un coeficiente de cercanía a un resultado esperado. Se hace uso de valores lingüísticos para otorgar valores a los factores. Se basa en el concepto de que la alternativa óptima debe tener la distancia más corta a una solución óptima (PIS) y la mayor distancia a una solución negativa, como definieron sus creadores Hwang y Yoon (1981). En el siglo actual, este método fue aplicado en combinación con la lógica difusa bajo el nombre FTOPSIS con la finalidad de manejar mejor la incertidumbre (Chen *et al.*, 2006). Recientemente, Mohammed *et al.* (2018) utilizaron una solución híbrida de AHP y FTOPSIS para evaluar el desempeño de proveedores verdes.

Otro modelo interesante es la teoría de utilidad de atributos múltiples (MAUT), que permite a tomadores de decisiones formular estrategias de adquisición viables. Sin embargo, se utiliza principalmente en la selección de proveedores a nivel inter-

nacional, bajo un entorno más complicado y de alto riesgo (Chan y Kumar, 2007). Segura y Maroto (2017) realizaron una comparación de dos métodos de selección y resumieron que aplicando MAUT se pueden obtener resultados eficientes en la toma de decisiones, particularmente en la selección de proveedores.

Por último, los métodos de *Outranking*, una herramienta para resolver problemas de múltiples criterios, se usan principalmente en situaciones donde existe un gran nivel de incertidumbre. Aunque hasta la fecha se han realizado algunos trabajos, no existe mucha literatura en el área de compras (Pal *et al.*, 2013). Wang *et al.* (2014) comprobaron la eficiencia de la metodología para la toma de decisiones e indicaron la necesidad de trabajo a futuro para establecer esta metodología como mejor práctica también en el área de aprovisionamiento.

2.3.1.3 MODELOS MATEMÁTICOS

Analizando la categoría de programación matemática, cabe destacar que estos muchas veces consideran meramente criterios cuantitativos, para los cuales permite la obtención de soluciones óptimas. Entre ellos se encuentran, por ejemplo, los modelos de programación lineal, un método con amplio uso en el aprovisionamiento de un único proveedor. La solución más simple se obtiene asignando valores a cada criterio y posteriormente se calcula el resultado para cada proveedor, como menciona Ghodsypour y O'Brien (1998). Además destaca que este método depende a grandes rasgos de juicios humanos, por lo que propone una solución híbrida con AHP. En un trabajo más reciente, Hassanzadeh *et al.* (2011) propone un modelo de selección de proveedores basado en programación lineal y un análisis FODA basado en lógica difusa.

Puesto que en la programación lineal solo se considera un objetivo a optimizar, no se asegura una solución óptima cuando existe una serie de objetivos a considerar. Por lo tanto, surgió la idea de aplicar modelos de múltiples objetivos, los cuales

buscan optimizar dos o más criterios simultáneamente. Weber y Ellram (1993) exploran la aplicación de estos modelos en la práctica, demostrando los beneficios de programación matemática de múltiples criterios en una empresa enfocada en la manufactura JIT (justo a tiempo). Siguiendo la tendencia de los últimos años, Kannan *et al.* (2013) propone una solución híbrida, combinando AHP y MAUT con programación multiobjetivo, cuyo éxito se comprobó en un caso de estudio en la industria automotriz.

Por último, están los modelos de programación de objetivos (GP), una rama de la programación multiobjetivo. Este método, el cual fue introducido por Charnes y Cooper (1961), tiene como objetivo minimizar desviaciones no deseadas entre el logro de objetivos y sus niveles de aspiración. Con el paso del tiempo, varios autores han trabajado en el continuo desarrollo de este modelo, proporcionando una serie de métodos, como GP lexicógrafo, GP ponderado o MINMAX GP (Romero, 2001). Múltiples trabajos han mostrado que la aplicación de este modelo se le otorga a la persona responsable la flexibilidad de fijar objetivos y obtener soluciones muy cercanas a estos, aún más usando soluciones híbridas, como lo propusieron Lio y Kao (2010).

2.3.1.4 MODELOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los métodos de inteligencia artificial recientemente han sido el foco de atención de muchas empresas grandes. Estos modelos basados en computadoras están entrenados por el decisor usando datos históricos y experiencia, y se han comprobado exitosos en la solución de problemas complejos e incertidumbre.

Un concepto importante es el razonamiento basado en casos (CBR), el cual es el proceso de solucionar nuevos problemas basándose en las soluciones de problemas anteriores. En contraste a otros sistemas de gestión de conocimientos, es capaz de describir sus actividades en el contexto del caso del cual fue derivado, otorgándole al

operador información más valiosa Choy y Lee (2002). CBR es considerado como un modelo de inteligencia artificial, pero se diferencia en algunos aspectos de soluciones tradicionales, siendo un método que utiliza conocimiento específico de experiencia previa y tiene la habilidad de aprendizaje continuo. Aunque Pal *et al.* (2013) menciona que como tecnología bastante reciente, muy pocos sistemas han sido desarrollados para la toma de decisiones en el área de aprovisionamiento, existen algunas publicaciones relacionadas al tema. Como unos de los primeros, Cook (1997) sugirió su uso como una herramienta para la toma de decisiones de compra. Atacando el problema de incertidumbre, Faez *et al.* (2009) propusieron un modelo de CBR con lógica difusa y programación matemática. Zhao y Yu (2011) aplicaron CBS de forma exitosa en la industria petrolera.

Inspirándose en el cerebro humano, una red neuronal artificial (ANN) es un sistema de procesamiento de información que tiene ciertas características en común con redes neuronales biológicas. Siendo un campo muy importante dentro de la Inteligencia Artificial, trata de crear modelos artificiales que solucionen problemas difíciles de resolver mediante técnicas algorítmicas convencionales. Recientemente se observa un aumentado interés en su aplicación para el problema de selección de proveedores. Con su origen en el trabajo de McCulloch y Pitts (1943), las redes neuronales han sido desarrolladas como generalizaciones de modelos matemáticos de cognición humana, basándose en algunas de sus suposiciones. Un red neuronal se caracteriza por neuronas, un método para entrenar las neuronas y su función de activación (Yegnanarayana, 2004). Cada neurona está conectada con otras mediante vínculos directos de comunicación y posee un peso respectivo. ANN es conocido por su habilidad de aprendizaje (Zhang y Friedrich, 2003) y su uso práctico en la industria; particularmente para situaciones dinámicas (Kumar y Roy, 2010). En el área de aprovisionamiento, Lee y Ou-Yang (2009) desarrollaron una solución basada en ANN para pronosticar los precios que ofrecerán los proveedores durante las negociaciones. Las publicaciones relacionadas a la selección son limitadas y presentan potencial para futuro trabajo. Li (2009) proporciona un método para la solución de

este problema, basándose en un algoritmo de ANN. Asthana y Gupta (2015) combinan este método con un algoritmo genético y Shabanpour *et al.* (2016) proponen una solución híbrida de DEA y ANN para pronosticar el desempeño futuro de proveedores verdes. Tang *et al.* (2013) sugiere una combinación de AHP y ANN, al cual Kumar (2015) le agrega el uso de la lógica difusa, indicando alta precisión en la toma de decisiones en grupos.

2.3.1.5 OTROS MÉTODOS DE SOLUCIÓN

Cabe mencionar que los métodos presentados en esta sección no pretenden ser una lista exhaustiva de todos los modelos, sino representar una visión global de los modelos con mayor aplicación. Como se ha encontrado, la investigación reciente ya no contempla únicamente un solo modelo, sino busca aumentar la confiabilidad de los modelos mediante el uso de la lógica difusa o las soluciones híbridas. Se observó en varios casos la aplicación del concepto de la lógica difusa. En este método, se utilizan valores lingüísticos para las evaluaciones y factores. Debido a que juicios humanos pueden ser imprecisos, se realiza la evaluación con variables lingüísticas. Otra tendencia que se pudo observar es la mayor relevancia de la investigación de métodos combinados debido a la creciente complejidad de las decisiones. En la literatura se describe una multitud de combinaciones posibles con sus respectivos beneficios e inconvenientes. En la siguiente sección se presenta la exitosa aplicación de una solución híbrida, la cual puede servir como referencia para este trabajo.

2.3.2 PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

Como se ha mencionado anteriormente, el proceso analítico jerárquico fue desarrollado por Saaty (1980) y se ha convertido en una herramienta para múltiples problemas de toma de decisiones. Con el paso de los años, diversos investigadores han aplicado esta técnica e incluso experimentado con mejoras de la misma. Una de las

más exitosas ha sido la combinación de lógica difusa. El beneficio de esto es que toma en cuenta la incertidumbre que conllevan juicios humanos en la comparación por pares en AHP. Se hace uso de variables lingüísticas representadas por números triangulares (Kilincchi y Onal, 2011). De esta manera es posible obtener mejores resultados que con el método tradicional.

El fundamento de la metodología AHP es el árbol jerárquico, el cual consiste en cuatro niveles. Como se puede observar en la figura 2.2, el objetivo general se encuentra en la parte superior, representando la decisión para la cual se busca una respuesta. En el segundo nivel están los criterios de evaluación y, en caso de que aplique, los respectivos subcriterios en el siguiente. Por último, se mencionan las alternativas de solución a elegir.

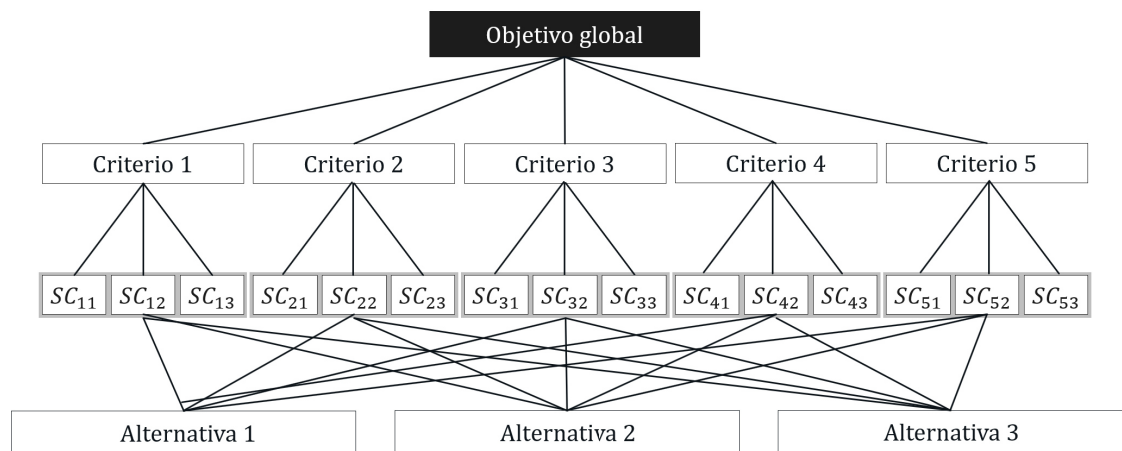


Figura 2.2: Estructura general del árbol jerárquico según Saaty (2008)

Uno o varios expertos realizan comparaciones por pares, utilizando, en el modelo tradicional, una escala de 9 valores. Sin embargo, varios autores, entre ellos Kilincchi y Onal (2011) han mencionado que el uso de esta escala no resulta suficientemente adecuado para representar la incertidumbre que conllevan los juicios humanos. Por lo tanto, se observa en varios trabajos la aplicación del concepto de la lógica difusa. La respectiva escala puede ser observada en la tabla 2.4.

Escala de Saaty	Definición	Escala difuso triangular
1	Igual Importancia	(1,1,1)
3	Baja Importancia	(2,3,4)
5	Moderada importancia	(4,5,6)
7	Fuerte importancia	(6,7,8)
9	Importancia absoluta	(9,9,9)
2		(1,2,3)
4	Valores intermedios entre	(3,4,5)
6	dos escalas adyacentes	(5,6,7)
8		(7,8,9)

Tabla 2.4: Comparación de escalas AHP-FAHP (Kilincei y Onal, 2011)

De acuerdo a los números difusos correspondientes de estos términos lingüísticos, si un experto determina que criterio 1 tiene baja importancia sobre criterio 2, se tomará la escala triangular de $(2,3,4)$.

2.3.2.1 LÓGICA DIFUSA

La teoría de la lógica difusa cuenta con una gran variedad de áreas de aplicación. Presentada en 1965 por Zadeh (1965) y aplicada más ampliamente en los años 70s, ha permitido desde entonces la consideración de la ambigüedad del razonamiento humano. En la figura 2.3 se puede observar un número difuso, representado por \tilde{M} , indicando la tilde \sim que es un conjunto difuso.

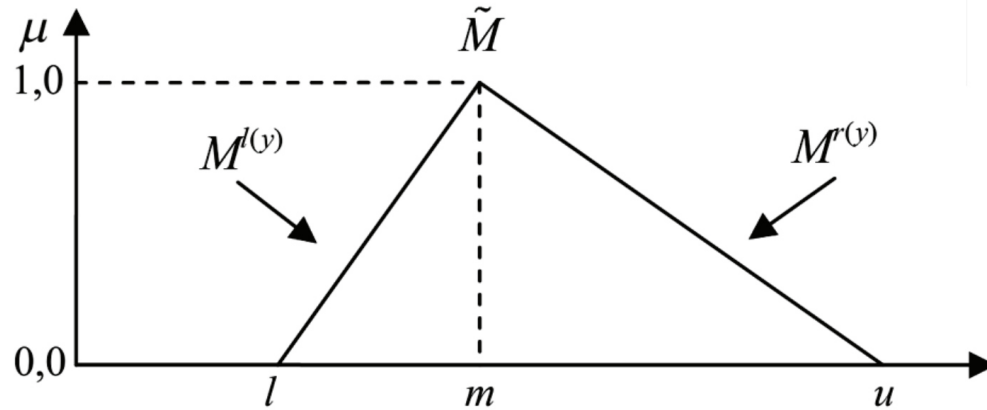


Figura 2.3: Un número difuso triangular; según Kilincci y Onal (2011)

Como se ha observado en la escala anterior, un número difuso triangular (TFN) es representado por (l, m, u) . Los parámetros l , m y u , respectivamente denotan el valor más pequeño posible, el valor más prometedor y el mayor valor posible que describe un evento difuso (Kahraman *et al.*, 2004). Por convención, cuando $l=m=u$, no se tiene un número difuso (Chan y Kumar, 2007). Cada TFN cuenta con representaciones lineales en su lado izquierdo y derecho, por lo que su función de membresía puede ser definida de la siguiente forma:

$$\mu(x|\tilde{M}) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < l \\ (x - l)/(m - l) & \text{si } l \leq x \leq m, \\ (u - x)/(u - m) & \text{si } m \leq x \leq u, \\ 0 & \text{si } x > u, \end{cases} \quad (2.1)$$

Cabe destacar que un número difuso siempre puede ser dado por su representación de cada grado de membresía, donde $l(y)$ y $r(y)$ denotan el lado izquierdo y el lado derecho de un número difuso respectivamente.

$$\begin{aligned}\tilde{M} &= (M^{l(y)}, M^{r(y)}) \\ &= (l + (m - l)y, u + (m - u)y, y \in [0, 1])\end{aligned}\tag{2.2}$$

2.3.3 REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Como se ha subrayado anteriormente, las redes neuronales son unos de los algoritmos con mayor aplicación en el área de aprendizaje automatizado (*ML; inglés: machine learning*). Dicho concepto recientemente está teniendo un efecto dramático sobre la manera en la que las empresas operan (Hurwitz y Kirsch, 2018). En lugar de diseñar herramientas de acuerdo con un estado actual, el uso de ML le otorga a la empresa la agilidad y flexibilidad que exigen los entornos competitivos cambiantes del siglo 21. Es por esto, que el aprendizaje automático es un conjunto de tecnologías que pueden ayudar a las organizaciones a transformar su comprensión de datos, debido a que su planteamiento tecnológico es dramáticamente diferente a las maneras tradicionales de procesar datos. En lugar de partir con la lógica de negocio y a continuación con la aplicación de datos, ML es capaz de diseñar la lógica. Uno de los mayores beneficios de ML es que se reducen las suposiciones y por lo tanto permite la toma de decisiones de una forma más objetiva (Allgurin, 2018).

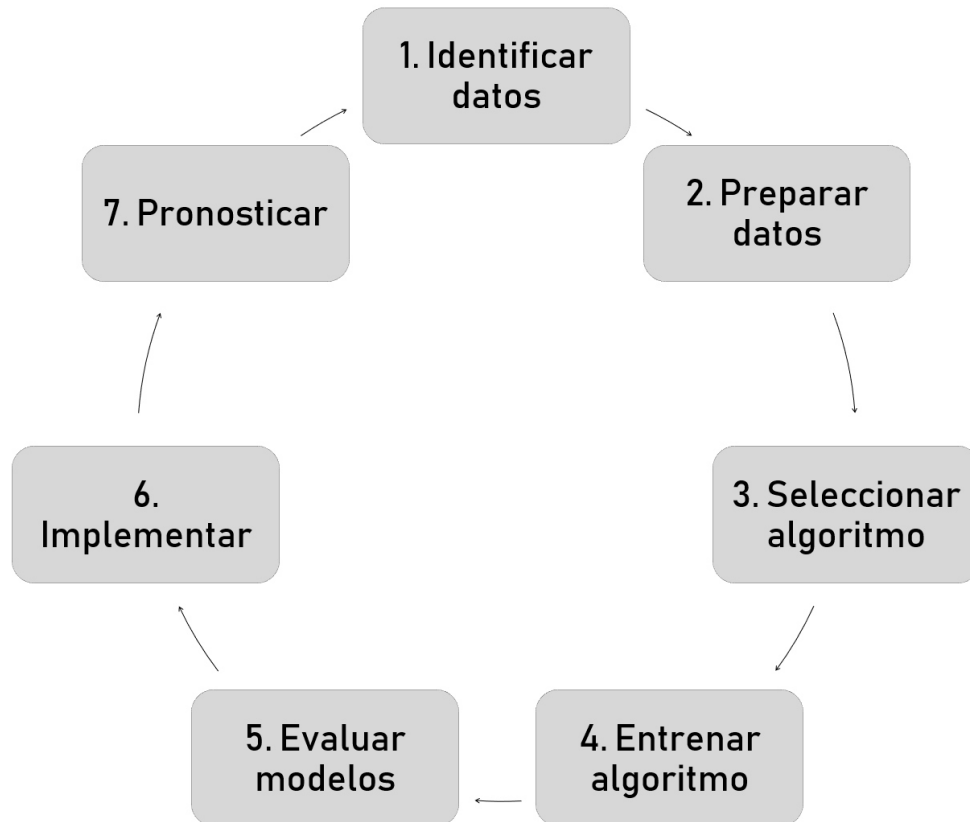


Figura 2.4: Ciclo de aprendizaje automatizado según Hurwitz y Kirsch (2018)

Como se mencionó en la sección anterior, las redes neuronales, como parte de ML, recientemente han sido el foco de atención de muchos investigadores y la industria. Basándose en el funcionamiento del cerebro humano, una red neuronal es un sistema de procesamiento de información, cuyo componente principal es su estructura, consistiendo en un gran número de elementos interconectados de procesamiento: las neuronas (Piqueras, 2017). Mediante ellas se busca trabajar en conjunto para resolver un problema específico. Para lograr esto, las redes neuronales aprenden, como humanos, con ejemplos. La figura 2.5 muestra la arquitectura básica de una red neuronal.

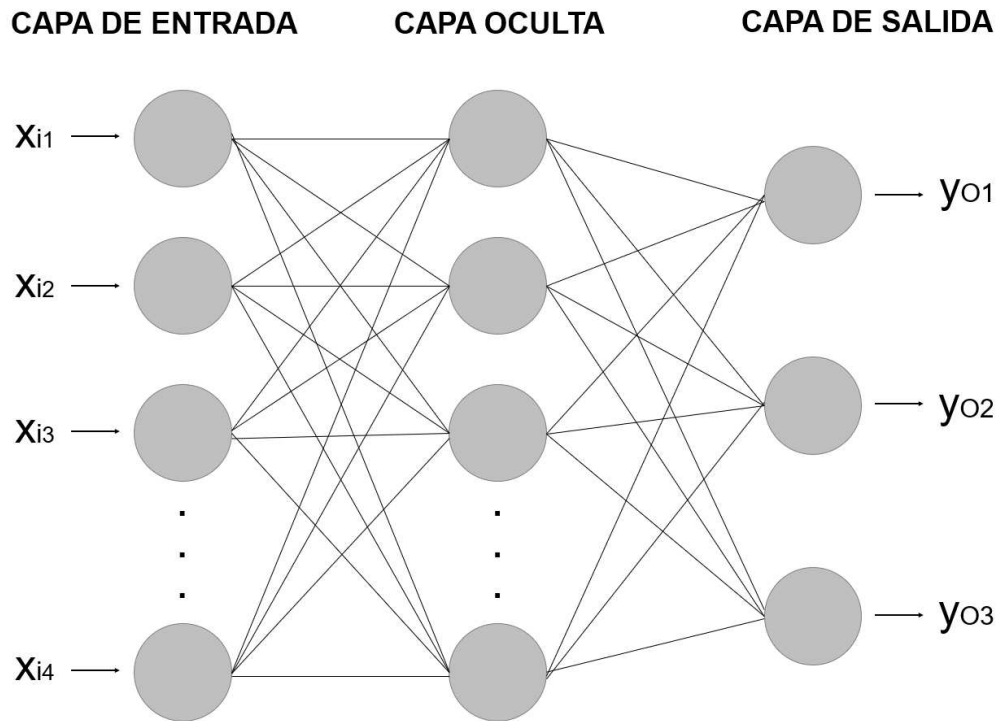


Figura 2.5: Arquitectura general de una red neuronal multicapa (Šimunovic *et al.*, 2009)

Como se puede observar, la red consiste en tres capas. Comúnmente, se diferencia entre dos tipos principales de capas, siendo estos «Mono-capa» y «Multi-capas» (Kriesel, 2005). Además, cuenta con un número variable de nodos (neuronas). Generalmente, todos los nodos de una capa tienen las mismas propiedades, como, por ejemplo, la función de activación. Se suele diferenciar entre tres tipos de capas y los respectivos nodos: de entrada, ocultos y de salida (Kriesel, 2005).

- **Nodos de entrada:** Reciben información externa a la ANN. No se realiza ninguna computación en esta etapa.
- **Nodos ocultos:** Cuentan con dos características importantes. La primera es que solo reciben *input* de otros nodos. Por otro lado, su salida es únicamente hacia otros nodos. No están directamente conectados con los datos de entrada

y salida.

- **Nodos de salida:** Responsables para la computación y la transformación de información desde la red hacia la salida.

Cabe mencionar que el número de nodos depende del tipo de problema a resolver. Mientras las neuronas de entrada y salida se determinan de acuerdo con los datos disponibles, el número de nodos ocultos es variable. Algunos autores argumentan que se recomienda usar un procedimiento de *ensayo y error* (Abbasi, 2015), mientras otros investigadores alegan que deben ser establecidos según la capa de entrada y salida (Buscema, 2018).

Otro factor importante en la selección de una red adecuada para un problema es la forma de aprendizaje. Entre ellos destacan (Kriesel, 2005):

- **Aprendizaje supervisado:** Se cuenta con datos suficientes para asignar una serie de datos de entrada a una serie de datos de salida. Esto se realiza generalmente para problemas de clasificación, en el cual la red trata de generalizar la relación entre los datos.
- **Aprendizaje no supervisado:** Se busca aprender la estructura inherente de una serie de datos, muchas veces sin saber la respuesta previamente. Es decir, no se tiene instrucciones claras para la realización, por lo que comúnmente es usado para el análisis de grupos o aprendizaje de representaciones.
- **Aprendizaje por refuerzo:** Para este tipo de ML, el agente intenta encontrar la manera óptima de lograr un objetivo específico o mejorar el desempeño de una tarea. Con el paso del tiempo, el agente recibe un cierto tipo de recompensa para una acción que lo lleva más cerca del objetivo.

Por último, resulta necesario definir el flujo de señal de la red. Existen básicamente dos tipos de flujos (Hurwitz y Kirsch, 2018):

- **Alimentación hacia adelante:** La señal pasa de la entrada hacia la salida de la red, pasándola siempre a la siguiente capa.
- **Alimentación hacia atrás:** Se caracteriza por tener una arquitectura en niveles y conexiones estrictamente hacia adelante. El error global se propaga hacia atrás, pasando por toda la red hasta la capa de entrada.

A continuación, se presenta el procedimiento y el funcionamiento de una red neuronal de aprendizaje supervisada con propagación hacia atrás. Durante su camino hacia atrás, se ajustan todas las conexiones ponderadas de acuerdo con los valores de salida deseados de la red. Un incremento o una reducción de los valores reales de los pesos $w_{ij}^{[s]}$ afecta la disminución del error global.

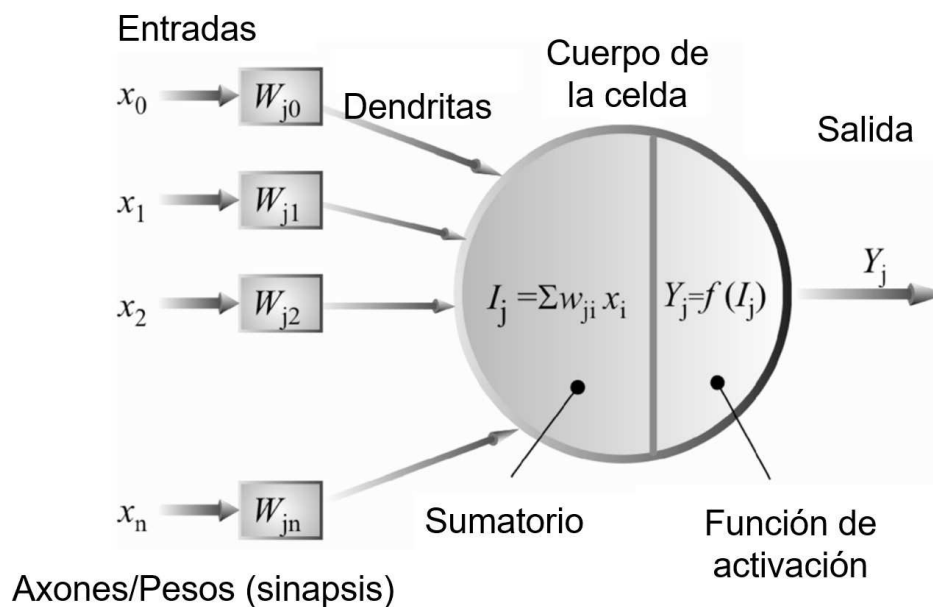


Figura 2.6: Modelo de una estructura neuronal (Šimunovic *et al.*, 2009)

Aplicando las reglas de descenso por gradiente, el aumento en las conexiones ponderadas $w_{ij}^{[s]}$ de la red pueden ser expresados como:

$$\Delta w_{ij}^{[s]} = -\alpha \cdot \left(\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^{[s]}} \right), \quad (2.3)$$

donde α es el coeficiente de aprendizaje.

Las derivaciones pueden ser calculadas de la siguiente manera:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^{[s]}} = \left(\frac{\partial E}{\partial I_j^{[s]}} \right) \cdot \left(\frac{\partial I_j^{[s]}}{\partial w_{ji}^{[s]}} \right) = -e_j^{[s]} \cdot x_i^{[s-1]} \quad (2.4)$$

El valor del incremento de las conexiones ponderadas $\Delta w_{ij}^{[s]}$ es por lo tanto:

$$\Delta w_{ji}^{[s]} = \alpha \cdot e_j^{[s]} \cdot x_i^{[s-1]}, \quad (2.5)$$

siendo α el coeficiente de aprendizaje y x_j^s el estado de salida de la j -ésima neurona en la s -ésima capa. El parámetro $e_j^{[s]}$ que representa el error y propaga hacia atrás a través de todas las capas de la red es definido por:

$$e_j^{[s]} = \frac{-\partial E}{\partial I_j^{[s]}} \quad (2.6)$$

Se recomienda mantener bajo el coeficiente de aprendizaje con la finalidad de evitar la divergencia, aunque cabe mencionar que esto podría reducir en un aprendizaje muy lento. Sin embargo, esto puede ser resuelto incluyendo un término de *momentum* en la expresión:

$$\Delta w_{ji}^{[s]} = \alpha \cdot e_j^{[s]} \cdot x_i^{[s-1]} + \textit{momentum} \cdot \Delta w_{ji}^{[s]} \quad (2.7)$$

Los pesos de la red pueden ser actualizados para cada vector de aprendizaje por separado o de forma acumulativa, lo que acelera notablemente la velocidad de aprendizaje.

Consecuentemente, la meta de un proceso de aprendizaje en una red neuronal es lograr el nivel de error más bajo entre las salidas obtenidas, a través del entrenamiento de la red, y los resultados reales (deseados). Esto se lleva a cabo ajustando los pesos de las neuronas y aceptando la función objetivo, la cual se define como minimización del error cuadrático medio. Un vector de forma general para la entrada a una red neuronal se refleja de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} X_i &= \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}\} \rightarrow \\ Y_o &= \{y_{o1}, y_{o2}, y_{o3}, \dots, y_{on}\} \end{aligned} \quad (2.8)$$

donde el vector $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}\}$ representa las variables de entrada y $Y_o = \{y_{o1}, y_{o2}, y_{o3}, \dots, y_{on}\}$ las variables de salida.

2.4 APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA

En la sección anterior, se estudiaron los diferentes métodos que existen para la selección de proveedores y en esta se mencionan algunas aplicaciones en la práctica. Primero se analizará un caso de aplicación del modelo AHP con lógica difusa y posteriormente el caso de una solución híbrida de AHP y ANN.

Kilincci y Onal (2011) proponen un método AHP con lógica difusa para la solución del problema de selección de proveedores (VSP), destacando que es una comparación de proveedores utilizando una serie común de criterios para identificar proveedores con el máximo potencial para satisfacer las necesidades de la empresa a un costo razonable. Destacan que seleccionar los proveedores correctos reduce significativamente el costo de aprovisionamiento y mejora la competitividad corporativa, lo que hace el VSP uno de los problemas de toma de decisiones más importantes. En su trabajo, Kilincci busca aplicar el método mencionado para seleccionar el mejor

proveedor para una empresa manufacturera de lavadoras. Para esto, realiza primero una revisión de la literatura, de la cual deriva tres atributos principales y 14 subcriterios en colaboración con un experto del área de planeación de la producción. En este consideraron criterios relacionados a proveedores, desempeño del producto y del servicio con sus respectivos subcriterios.

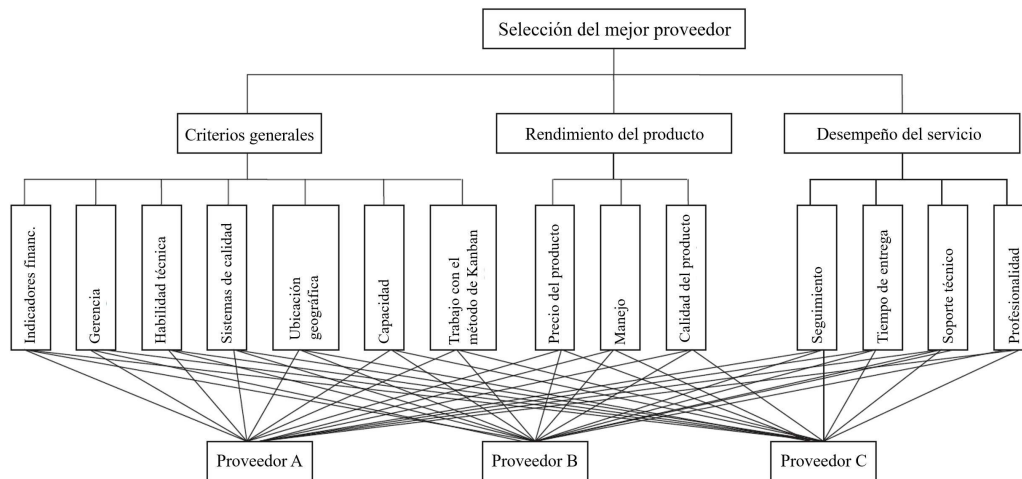


Figura 2.7: Traducción propia del árbol jerárquico de Kilincci y Onal (2011)

A través de una encuesta se realizaron comparaciones de los criterios principales y los subcriterios. Siguiendo la metodología de FAHP, se calcularon los pesos de los criterios principales, los subcriterios y las alternativas. Finalmente, se pudo seleccionar el mejor proveedor de acuerdo con su calificación global. Para este trabajo, se utilizó el programa Excel creando macros, lo que según los autores proporciona una serie de beneficios, como menor tiempo de ejecución, más precisión y representación de futuros cambios sin la necesidad de realizar el cálculo de nuevo.

Cabe mencionar que el trabajo considera meramente una única pieza de una lavadora, por lo que representa potencial para futuras investigaciones que consideren una serie de componentes. Los autores recomiendan complementar los resultados obtenidos con otras herramientas. Por una parte, puede ser de utilidad como base

para calcular el EOQ, y por otra parte mencionan que los macros creados pueden ser utilizados en un software ERP.

Como se puede observar en esta revisión de la literatura, AHP y particularmente FAHP, es uno de los métodos más estudiados y suele proporcionar buenos resultados. Sin embargo, algunos autores mencionan que AHP carece de la objetividad necesaria para tomar importantes decisiones de una forma fundamentada. Por lo tanto, surgieron una serie de soluciones híbridas en el siglo 21. Una de las propuestas más innovadoras es la combinación de AHP con Inteligencia Artificial. Kumar (2015) proporciona esto en su trabajo publicado en el *Journal of Computational Science*, combinando FAHP con redes neuronales artificiales. En una primera instancia, se llevaron a cabo los pasos del FAHP, similarmente al caso de éxito anterior, para priorizar de criterios de evaluación. Posteriormente, se aplicó una ANN para seleccionar a los proveedores. Cabe mencionar que las redes neuronales artificiales generalmente habían sido consideradas como poco adecuadas para problemas con menos de 100 puntos de datos. No obstante, la integración con AHP reduce drásticamente este requerimiento de información y amplía los beneficios de herramientas inteligentes y predictivas para la toma de decisiones. Durante todo el periodo de pruebas y también de validación, se obtuvieron bajos porcentajes de errores, indicando la idoneidad de la herramienta.

Con solo 4.8% de error a lo largo de los cinco periodos de prueba, los autores comprobaron la validez de este modelo para el problema de la selección de proveedores. Esto fue posible porque se estableció la ponderación de los vínculos de la red neuronal a un único punto de decisión, el cual representa el nodo de salida del NN. Los pesos fueron calculados mediante FAHP y aunque se contaba con un número muy bajo de puntos de información, se logró obtener una precisión alta, indicando nuevamente la viabilidad de este modelo en aplicaciones prácticas. Además, se comprobó, que el uso de soluciones híbridas, en contraste con modelos aislados, resulta altamente útil para la toma de decisiones en grupos.

2.5 CONCLUSIÓN

La revisión de la literatura ha demostrado que, ante la creciente globalización y especialización de empresas manufactureras en las últimas décadas, se ha comprobado que el aprovisionamiento es una función principal para el éxito empresarial. Tanto la evaluación como la selección de proveedores desempeñan un papel importante con un impacto notable en toda la cadena de suministro. Se menciona que la cadena de suministro se empeña en la coordinación y colaboración con socios comerciales, los cuales pueden ser proveedores, intermediarios, empresas 3PL y clientes, otorgándole una notable importancia a la relación con los socios. Puesto que el aprovisionamiento se repite en cada eslabón de la cadena de suministro y el volumen de compras aumenta cada vez más rápido, los proveedores son socios indispensables para cualquier empresa. Se destacó que la selección de los mismos representa una tarea compleja, puesto que es propia a las necesidades de cada empresa y depende de una multitud de factores. Además, este proceso se considera como uno de los más importantes que realizan las organizaciones. Por lo tanto, su cuidadosa selección, evaluación y desarrollo es crucial para procesos eficientes, dado que el suministro de materia prima dañada, en cantidades erróneas o en el momento incorrecto afecta directamente la capacidad de la empresa de realizar procesos de transformación o distribución. Por el contrario, la selección adecuada puede resultar en menores costos de compra y aumenta la competitividad.

Debido a la creciente complejidad que se tiene hoy en día en entornos empresariales, se han comprobado exitosos los sistemas de medición y evaluación científicas y basados en tecnologías de información. Como se mostró, existe una gran variedad de herramientas para la selección de proveedores, como modelos de precalificación, técnicas MADM, programación matemática e inteligencia artificial. Puesto que se han estudiado de forma extensa las primeros tres categorías, se concluye que se recomiendan trabajos futuros acerca del uso de inteligencia artificial para la selección de proveedores.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Como se ha observado en el capítulo anterior, la evaluación y selección de proveedores es uno de los problemas con mayor relevancia en el área de aprovisionamiento. Con la finalidad de proponer una solución a esta problemática y aplicarla en un caso de estudio en la industria automotriz, previamente se debe establecer la metodología, la cual se puede observar en la siguiente gráfica:

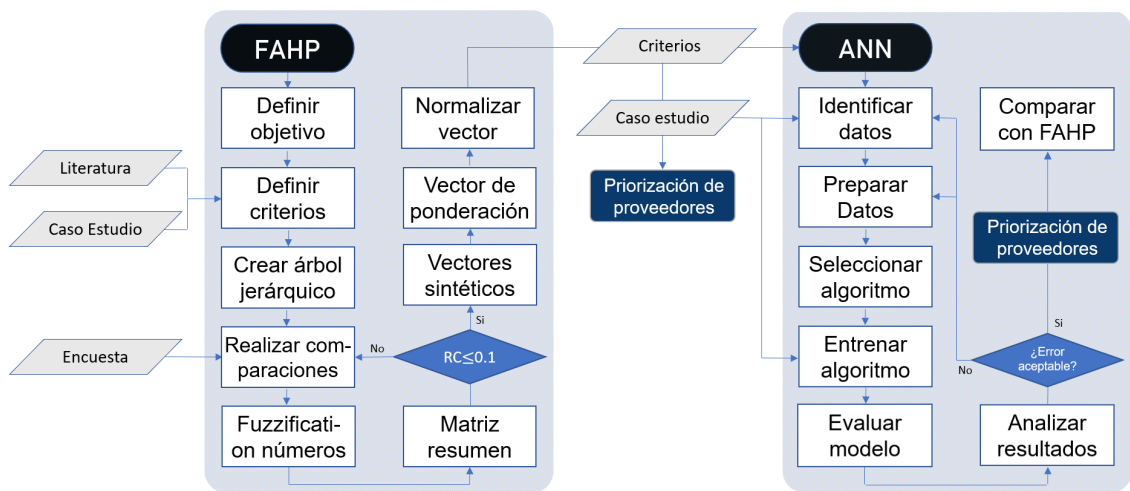


Figura 3.1: Representación visual de la metodología propuesta

3.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO

La revisión de la literatura ha demostrado que existe una gran variedad de modelos para la solución del VSP. Algunos de ellos ya han sido estudiados extensivamente y se han comprobado muy útiles en este ámbito, mientras que otras técnicas más recientes parecen prometedoras, pero carecen de aplicaciones en la práctica. Es por eso que tomando en cuenta el análisis realizado, se seleccionó una técnica robusta y ampliamente estudiada con la capacidad de ofrecer una buena solución. Por otra parte, también se tomaron en cuenta métodos más recientes y su posible aplicación en este proyecto con la finalidad de incrementar el aporte científico del mismo. Para esto, se recurrió a la revisión de la literatura, la cual sirvió como fundamento para la selección.

Para cumplir con estos supuestos, destaca el modelo del proceso analítico jerárquico como modelo con amplia aplicación para este problema. Existe un gran número de casos documentados que comprueban su eficiencia y utilidad en este ámbito. Considerando la alta complejidad y relevancia que conlleva la selección de proveedores, se propuso llevar a cabo una comparación de esta metodología con otra. Como indica el capítulo anterior, una de las técnicas más recientes para este tipo de problemas son las redes neuronales artificiales. Aunque existe un número limitado de trabajos relacionado a este tema, queda pendiente su aplicación en un caso de estudio en la industria automotriz para comprobar su utilidad para el presente problema. A continuación, se describen los requisitos, el funcionamiento y el procedimiento para la aplicación de estas técnicas a este proyecto.

3.1.1 FAHP

Como se ha mencionado anteriormente, el primer paso del AHP es definir el objetivo o la pregunta que se busca resolver. Para el presente proyecto, esto sería la

selección del mejor proveedor, es decir, aquel que mejor se adapte a las necesidades y mayor valor aporte a largo plazo. La selección de criterios se realiza en la misma forma que en el método tradicional. Para esto, se tomaron en cuenta los criterios identificados en el capítulo anterior como *benchmark*. De igual modo, se deben considerar las necesidades de la empresa del caso de estudio, la cual maneja criterios de evaluación específicas a sus operaciones. Por consiguiente, se presentaron los criterios identificados al responsable del área de Cadena de Suministro, el cual tomó la decisión final sobre la selección de la serie de criterios a utilizar en el caso de estudio.

Con los criterios definidos, se pudo continuar con la creación del árbol jerárquico, colocando el objetivo en el primer nivel, seguido por los criterios, en tercer nivel los subcriterios y por último las diferentes alternativas. De acuerdo con la investigación de literatura, se hizo uso de valores lingüísticos y la lógica difusa para las comparaciones por pares, permitiendo tomar en cuenta la incertidumbre que conllevan juicios humanos en este proceso. De ahí que se aplicaron variables lingüísticas representadas por números triangulares (Kilinci y Onal, 2011). De esta manera fue posible obtener resultados más cercanos a la realidad que con el método tradicional.

Para el uso de este método en el proyecto, se presenta a continuación el procedimiento general que se siguió para el desarrollo del FAHP. Primero se definió $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ como conjunto de objetos y $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ como conjunto de objetivos. De acuerdo al método de Chang (1992), se tomó cada objeto y se realizó un análisis de extensión para cada objetivo. Por lo tanto, los valores de análisis de extensión de m pueden ser obtenidos como:

$$M^1_{g_i}, M^2_{g_i}, \dots, M^m_{g_i}, \quad i = (1, 2, \dots, n) \quad (3.1)$$

siendo todos los $M^j_{g_i} (j = 1, 2, \dots, m)$ números difusos triangulares.

Los pasos del análisis de extensiones de Chang son los siguientes:

Paso 1: Se define el valor del objeto i -ésimo del análisis extendido como:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (3.2)$$

Para obtener $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ se realiza la operación de adición difusa de m valores del análisis extendido para una matriz particular, de tal manera que:

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3.3)$$

Para obtener $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$ se realiza la operación de adición difusa de los valores $M_{g_i}^j (j = 1, 2, \dots, m)$ de modo que:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^m l_i, \sum_{i=1}^m m_i, \sum_{i=1}^m u_i \right) \quad (3.4)$$

Posteriormente a esto, se calcula el vector inverso de la ecuación:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (3.5)$$

Paso 2: Definir el grado de posibilidades de que

$M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ sea definido como:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\text{mín}(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (3.6)$$

y puede ser expresado equivalentemente de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} V(M_2 \geq M_1) \\ = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \end{aligned}$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{sí } m_2 \geq m_1, \\ 0 & \text{sí } l_1 \geq u_2, \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{sí no} \end{cases}$$

Donde d es la ordenada del punto de intersección más alto D entre μ_{M_1} y μ_{M_2} , como se puede observar en la figura 3.2. Con la finalidad de comparar M_1 y M_2 , se requieren tanto los valores de $V(M_1 \geq M_2)$ como de $V(M_2 \geq M_1)$.

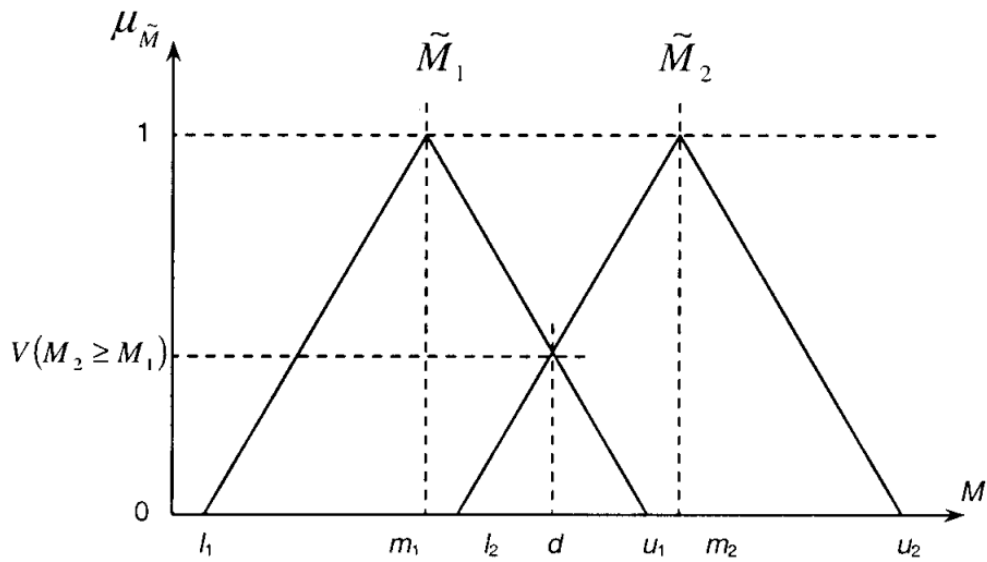


Figura 3.2: Intersección entre \tilde{M}_1 y \tilde{M}_2 (Büközkan *et al.*, 2004)

Paso 3: Definir el grado de posibilidad de que un número difuso convexo sea mayor que k números convexos:

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ y } (M \geq M_2) \text{ y } \dots \text{ y } (M \geq M_k)] \\ &= \text{mín } V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k \end{aligned} \quad (3.7)$$

Suponiendo que

$$d'(A_i) = V(S_1 \geq S_k) \quad (3.8)$$

Para $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$. el peso del vector es dado por:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (3.9)$$

donde $A_1 (i = 1, 2, \dots, n)$ son n elementos.

Paso 4: A través de la normalización, los vectores normalizados son:

$$W' = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (3.10)$$

siendo W un número no difuso.

Una vez encontrados los pesos mediante el procedimiento descrito, se multiplicó cada peso con los respectivos criterios y se calculó el resultado para cada alternativa, siendo la más prometedora la alternativa con mayor puntuación.

3.1.2 ANN

Con base en la información obtenida mediante el AHP, se propuso el desarrollo de una red neuronal artificial para la clasificación de los proveedores, comparando posteriormente los resultados obtenidos con aquellos del proceso analítico jerárquico para comprobar su utilidad para el problema de evaluación y selección de proveedores.

Para el desarrollo de la red neuronal, se tomó como base el trabajo de Šimunovic *et al.* (2009), en el cual se aplicó el concepto de redes neuronales a una clasificación de inventario. Su investigación es de relevancia, a pesar de que el presente trabajo se enfocó en los proveedores, puesto que se tuvo como objetivo una clasificación en las categorías A , B y C , de acuerdo a su respectivo desempeño.

Dado que esta investigación pertenece a los problemas de valores continuos de entrada y salida, las redes que se propusieron para realizar la experimentación fueron de propagación hacia atrás y una red prealimentada (*feed-forward*). Ya que se tiene un problema de asignación (*fitting*), se buscó asignar una serie de valores numéricos de entrada a una serie de valores numéricos de salida. Para esto, se tomaron datos históricos de la empresa del caso de estudio, usando como datos de entrada el resultado de la evaluación del desempeño de los proveedores. Como datos de salida se tomaron, de acuerdo al trabajo de Šimunovic *et al.* (2009) y el caso de estudio, la categoría del proveedor, es decir: A,B o C. En vista de que se puede trabajar únicamente con datos numéricos, resultó necesario convertir las letras en números, donde A se puede representar con 1, B con 2 y C con 3.

Contando con los datos necesarios, se continuó con la preparación para su uso en Matlab, donde se importaron únicamente valores numéricos en forma de matrices al sistema. Es decir, si se manejan cinco criterios para evaluar 100 proveedores, se tiene que crear una matriz de 5x100 para la entrada. Para la salida, se debería hacer una matriz de 1x100, representando la categoría asignada para cada uno de los proveedores.

Una vez importados los datos históricos, se procedió con la selección del algoritmo adecuado. Existen diferentes opciones, siendo uno de los más usados para este tipo de problema el algoritmo de Levenberg-Marquardt. De la misma forma, se tuvo que determinar el número de neuronas. Mientras que el número de neuronas de entrada y salida se definen de acuerdo con los datos, resulta un poco más complejo determinar las neuronas ocultas. Para esto, se recomienda realizar varias pruebas, variando este número. Seifollahi y Golbazi (2013) recomiendan el uso de 13 neuronas ocultas, indicando que de esta manera se obtuvieron buenos resultados. Heaton (2008) propuso una serie de reglas para la definición de la cantidad de nodos ocultos, estableciendo que el número de neuronas ocultas debería:

- ser entre el número de las neuronas de entrada y salida

- ser 2/3 de la capa de entrada, más el tamaño de la capa de salida
- ser máximo dos veces del tamaño de la capa de entrada

Posteriormente, se pasó a la etapa de entrenamiento y validación. Para esto, generalmente 70 % datos son usados para el entrenamiento, 15 % para la validación y 15 % para las pruebas. Igual que las neuronas, pueden ser ajustados hasta encontrar una solución satisfactoria, considerando aquella que cumpla un con error cuadrático medio menor al 10 %. Una vez creada la red, se puede evaluar el desempeño de la misma. El objetivo principal de la red es facilitar la rápida convergencia y una reducción del error global, dado por:

$$E = 0.5 \cdot \sum (d_k - x_k)^2 \quad (3.11)$$

En este tipo de red, el error global se propaga hacia atrás, pasando por toda la red hasta la capa de entrada. Durante su camino hacia atrás, se ajustan todas las conexiones ponderadas de acuerdo con los valores de salida deseados de la red. Un incremento o una reducción de los valores reales de los pesos $w_{ij}^{[s]}$ afecta la disminución del error global.

Una vez terminado todos los pasos descritos anteriormente, se procedió con la comparación de la red neuronal con la herramienta de AHP para verificar su desempeño y comprobar que se aproxima a sus resultados y si resulta útil para este tipo de problemas.

3.2 DISEÑO DE LA HERRAMIENTA

Con la finalidad de poner en práctica el método planteado, se establecieron las herramientas a usar para la realización del proyecto. Para esto, se propuso hacer uso de servicios de *onlinesurvey.com*, *Microsoft Excel* y *MatLab*. En caso de que la

gerencia apruebe el proyecto, la forma más eficiente será integrar la herramienta de evaluación desarrollada en la base de datos que maneja la empresa actualmente. Cabe mencionar que este paso no formó parte del alcance de la presente investigación.

3.3 APLICACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA HERRAMIENTA

Una vez desarrollada la herramienta, se llevó a cabo la aplicación de esta. Para esto, se creó una encuesta y se pidió a los expertos emitir sus juicios en el caso de estudio. También serán ellos, que darán su visto bueno acerca de una posible implementación de la herramienta o si resultará necesario hacer algunas adecuaciones.

3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección, se buscó analizar los resultados obtenidos. Para esto se siguieron cuatro puntos fundamentales:

- 1 Interpretación y explicación de resultados
- 2 Comprobar la hipótesis
- 3 Justificación de la solución
- 4 Evaluación crítica de la investigación

Los resultados obtenidos fueron analizados y comparados con los del método de evaluación actual. Posteriormente a este proyecto, se procurará usar la herramienta desarrollada en la empresa de estudio, donde se podrá verificar su confiabilidad y utilidad a largo plazo.

CAPÍTULO 4

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Tras un análisis de la información del caso de estudio y la literatura revisada, se ha detectado una serie de posibles mejoras, las cuales se realizaron mediante la aplicación de la metodología propuesta. Como se mencionó en el capítulo anterior, la empresa actualmente maneja una metodología *scoring*, la cual es conocida como la más sencilla y basada en el parecer de los empleados. El proceso de la evaluación logística de proveedores se concentra en el departamento de Cadena de Suministro, en el cual se aplicó la metodología descrita, la cual se divide en dos partes principales: el proceso analítico jerárquico con lógica difusa (FAHP) y la red neuronal artificial (ANN).

4.1 FAHP

4.1.1 DEFINICIÓN DE CRITERIOS

Como se había descrito anteriormente, el primero paso del AHP fue determinar el objetivo. Para el presente problema, se buscó seleccionar al proveedor que más se adecue a las necesidades de las empresas, aportando mayor valor a largo plazo. Posteriormente, se tuvieron que definir los criterios a usar para la evaluación. La

revisión de la literatura menciona una gran variedad de criterios usados para este tipo de problema. Entre ellos los clásicos, como precio o calidad, y otros que han surgido recientemente, como los criterios verdes. Sin embargo, en este trabajo se buscó adecuar los criterios al caso de estudio, en el cual se evalúa específicamente el desempeño logístico. Habiendo realizado la revisión de la literatura y analizando los criterios utilizados actualmente en la empresa, se tomó la decisión de usar los siguientes criterios:

- **Disposición:** desempeño y comportamiento del proveedor en cuanto a entregas.
 - **Cumplimiento entregas (cant./plaz.):** cumplimiento del proveedor con entregas en cuanto a cantidades y plazos acordados.
 - **Flexibilidad de entregas:** disposición del proveedor a aceptar plazos flexibles y cambios en el procesos de entrega.
- **Comunicación:** eficiencia de la comunicación entre empresa y proveedor.
 - **Tiempo de reacción:** tiempo que transcurre hasta que el proveedor contesta.
 - **Verificación del cumplimiento PDE:** cumplimiento con las metas establecidas en el pacto de estabilidad económica.
 - **Turnos disponibles:** turnos que trabaja el proveedor por semana.
 - **Prov. servicios logísticos:** servicios brindados por parte del proveedor, como capacitaciones o mantenimiento.
 - **LE-DFÜ:** uso de sistemas de EDI para asegurar una comunicación eficiente.
- **Calidad DFÜ:** calidad de documentos relacionados al proceso de transporte y entrega.

- **Documentos de envío:** calidad y exhaustividad de los documentos de envío necesarios para acompañar la mercancía.
 - **Albaranes:** existencia y veracidad del albarán, el documento mercantil que acredita la entrega de un pedido.
- **Operaciones logísticas:** cumplimiento con las expectativas de la empresa acerca de la logística operativa.
- **Documentos de envío:** existencia de los documentos de envío necesarios y correctos para acompañar la mercancía.
 - **Control de dispositivos vacíos:** desempeño en el proceso de manejo y devolución de dispositivos vacíos.
 - **Identificación de dispositivos:** correcta identificación y etiquetado de dispositivos.
- **Innovación:** disponibilidad del proveedor y trabajo en equipo para el desarrollo de nuevos conceptos logísticos.

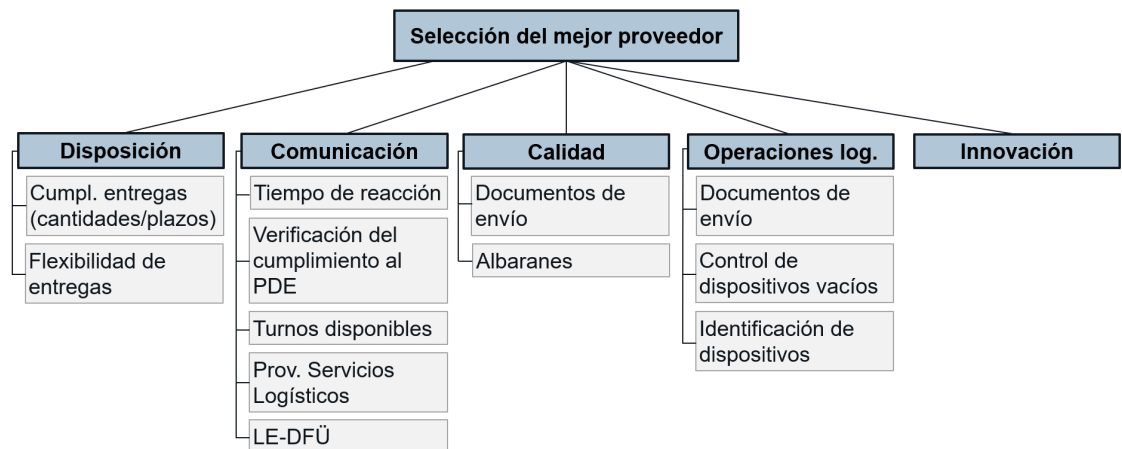


Figura 4.1: Árbol jerárquico con objetivo, criterios y subcriterios

De acuerdo al objetivo establecido y los criterios definidos, el árbol jerárquico se presenta en la figura 4.1. Cabe mencionar que las alternativas, que generalmente forman parte de esta estructura, no fueron consideradas en esta ocasión, ya que la representación visual de aproximadamente 200 proveedores no resultó oportuna.

4.1.2 CUESTIONARIO

Con la finalidad de obtener los datos de entrada, se llevó a cabo una encuesta. Esta se realizó usando la plataforma en línea *onlineencuesta*, ya que, en comparación con otras herramientas, ofrece una mayor flexibilidad en cuanto al diseño de cuestionario y fue considerada la más adecuada para el tipo de encuesta a realizar. De acuerdo con la metodología establecida se realizan una serie de comparaciones. Primero, se comparan los criterios del primer nivel entre ellos. De esta forma, disposición se compara contra todos los demás, luego comunicación, calidad, etc. La figura 4.2 muestra un ejemplo de una pregunta del cuestionario, en este caso del criterio disposición.

¿Qué importancia tiene el criterio DISPOSICIÓN comparado con los demás criterios? *

	Extrema	Muy fuerte	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	Muy fuerte	Extrema	
Disposición	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Comunicación
Disposición	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Calidad DFÜ
Disposición	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Control de Logística Operativa
Disposición	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Disposición de Innovación

Figura 4.2: Ejemplo de una pregunta del cuestionario

Este cuestionario fue enviado a expertos, es decir aquellas personas que se encuentran trabajando en la empresa de estudio con mínimo 5 años de experiencia en

el área de logística y cadena de suministro de la empresa y que participan activamente en el proceso de evaluación de proveedores.

En total, contestaron seis personas, lo que representa un número satisfactorio para este trabajo. Información detallada referente al cuestionario se encuentra disponible en el apéndice A.1. Posteriormente, se realizaron los cálculos como fueron definidos en la metodología, los cuales se encuentran descritos en la siguiente sección.

4.1.3 CÁLCULOS Y RESULTADOS DEL AHP

Una vez obtenidos los resultados del cuestionario, se utilizó la escala propuesta en el capítulo de metodología para convertir los valores lingüísticos de la encuesta en números triangulares. Ya que en este trabajo se tiene una estructura con criterios y subcriterios, se compararon primero los criterios entre ellos y posteriormente los subcriterios de cada criterio. En lo siguiente, se puede observar el resultado de la encuesta expresado en valores triangulares, tomando como el ejemplo el experto seis.

Criterios (Experto 6)															
	C1			C2			C3			C4			C5		
C1	1	1	1	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
C2	1/4	1/5	1/6	1	1	1	2	3	4	1	1	1	1	1	1
C3	1/4	1/5	1/6	1/2	1/3	1/4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C4	1/4	1/5	1/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4
C5	1/4	1/5	1/6	1	1	1	1	1	1	1/2	1/3	1/4	1	1	1

Tabla 4.1: Juicio del sexto experto en números triangulares

Para el segundo nivel, los subcriterios, los resultados son los siguientes:

Subcriterio C1 (Exp. 6)						
	S12			S22		
S12	1	1	1	2	3	4
S22	1/2	1/3	1/4	1	1	1

Tabla 4.2: Juicio del experto para los subcriterios del criterio *Disposición*

Subcriterios C2 (Exp. 6)															
	S21			S22			S23			S24			S25		
S21	1	1	1	1	1	1	4	5	6	4	5	6	4	5	6
S22	1	1	1	1	1	1	4	5	6	4	5	6	4	5	6
S23	1/4	1/5	1/6	1/4	1/5	1/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S24	1/4	1/5	1/6	1/4	1/5	1/6	1	1	1	1	1	1	2	3	3
S25	1/4	1/5	1/6	1/4	1/5	1/6	1	1	1	1/2	1/3	1/3	1	1	1

Tabla 4.3: Juicio del experto para los subcriterios de *Comunicación*

Subcriterios C3 (Exp. 6)						
	S31			S32		
S31	1	1	1	1	1	1
S32	1	1	1	1	1	1

Tabla 4.4: Juicio del experto para los subcriterios de *Calidad DFÜ*

Subcriterios C4 (Exp. 6)									
	S31			S32			S33		
S31	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S32	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S33	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4.5: Juicio del experto para los subcriterios de *Logística Operativa*

Respectivamente, se llevó a cabo la representación de los valores lingüísticos del cuestionario en tablas con valores difusos triangulares. Por razones de claridad, no

se incluyeron todos los subcriterios en esta sección. Adicionalmente, se comprobó la consistencia de los juicios de cada experto con la finalidad de determinar cuáles pueden ser usados para los siguientes cálculos. Los resultados para los criterios pueden ser observadas en las siguientes tablas:

Criterios Experto 1															
	C1			C2			C3			C4			C5		
C1	1	1	1	1/2	1/3	1/4	1/2	1/3	1/4	1/2	1/3	1/4	1/2	1/3	1/4
C2	2	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C3	2	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C4	2	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C5	2	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4.6: Juicio del primer experto en números triangulares

Para comprobar la consistencia de los juicios, primero se debe convertir los valores en números no difusos (Kwong, 2013). En este caso, se hizo uso del método propuesto por Chang (2011) para obtener los valores y realizar la prueba de consistencia de Saaty (2008). De acuerdo con este trabajo, la razón de consistencia se obtiene dividiendo el índice de consistencia entre el índice aleatorio. Para este se debe conocer:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.1)$$

Para los juicios del experto uno, se calculó:

$$CR = \frac{0.0151}{1.1120} = 0.0135 \quad (4.2)$$

Como el resultado obtenido para esta matriz fue menor a 0.1, se puede considerarla como consistente. Respectivamente, se calculó también la razón de consistencia

para las demás matrices.

Criterios Experto 2															
	C1			C2			C3			C4			C5		
C1	1	1	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
C2	1/9	1/9	1/9	1	1	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9
C3	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1	1	1	9	9	9	9	9	9
C4	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1	1	1	1	1	1	9	9	9
C5	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1	1	1

Tabla 4.7: Juicio del segundo experto en números triangulares

Comprobando la consistencia para la matriz del juicio del segundo experto, se obtuvo:

$$CR = \frac{0.7712}{1.1120} = 0.6886 \quad (4.3)$$

Como la razón de consistencia fue mayor a 0.1, esta matriz resultó no consistente y por lo tanto no fue considerada para los siguientes pasos del FAHP, es decir no influyó en la obtención de los valores de los criterios.

Criterios Experto 3															
	C1			C2			C3			C4			C5		
C1	1	1	1	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
C2	1/2	1/3	1/4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C3	1/2	1/3	1/4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C4	1/2	1/3	1/4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C5	1/2	1/3	1/4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4.8: Juicio del tercer experto en números triangulares

La consistencia que se obtuvo para la matriz del tercer experto es de 0.0135 y

por lo tanto es considerada como consistente.

Criterios Experto 4															
	C1			C2			C3			C4			C5		
C1	1	1	1	2	3	4	4	5	6	9	9	9	9	9	9
C2	1/2	1/3	1/4	1	1	1	2	3	4	4	5	6	4	5	6
C3	1/4	1/5	1/6	1/2	1/3	1/4	1	1	1	2	3	4	2	3	4
C4	1/9	1/9	1/9	1/4	1/5	1/6	1/2	1/3	1/4	1	1	1	2	3	4
C5	1/9	1/9	1/9	1/4	1/5	1/6	1/2	1/3	1/4	1/2	1/3	1/4	1	1	1

Tabla 4.9: Juicio del cuarto experto en números triangulares

Para el cuarto experto se calculó una razón de consistencia de 0.0456, lo que indica que es consistente.

Criterios Experto 5															
	C1			C2			C3			C4			C5		
C1	1	1	1	2	3	4	4	5	6	4	5	6	9	9	9
C2	1/2	1/3	1/4	1	1	1	4	5	6	4	5	6	6	7	8
C3	1/4	1/5	1/6	1/4	1/5	1/6	1	1	1	1	1	1	2	3	4
C4	1/4	1/5	1/6	1/4	1/5	1/6	1	1	1	1	1	1	2	3	4
C5	1/9	1/9	1/9	1/6	1/7	1/8	1/2	1/3	1/4	1/2	1/3	1/4	1	1	1

Tabla 4.10: Juicio del quinto experto en números triangulares

La consistencia que se obtuvo para la matriz del quinto experto es de 0.0375 y por lo tanto es considerada como consistente.

Criterios Experto 6															
	C1			C2			C3			C4			C5		
C1	1	1	1	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
C2	1/4	1/5	1/6	1	1	1	2	3	4	1	1	1	1	1	1
C3	1/4	1/5	1/6	1/2	1/3	1/4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C4	1/4	1/5	1/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4
C5	1/4	1/5	1/6	1	1	1	1	1	1	1/2	1/3	1/4	1	1	1

Tabla 4.11: Juicio del sexto experto en números triangulares

Para la matriz del último experto se obtuvo una consistencia de 0.0545, por lo que puede ser utilizada para los siguientes pasos del cálculo.

Una vez establecidas las matrices que entran en el cálculo, se comenzó a juntar los resultados. Saaty (2008) recomienda el uso de la media geométrica para resumir los juicios en un proceso de toma de decisiones en grupos, ya que, entre otras ventajas, evita la influencia de valores extremos. Aplicando la media geométrica a los criterios del primer nivel, se obtuvieron los siguientes resultados:

Media geométrica															
	C1			C2			C3			C4			C5		
C1	1.00	1.00	1.00	1.74	2.14	2.49	2.30	2.63	2.93	2.70	2.95	3.18	3.18	3.32	3.45
C2	0.57	0.47	0.40	1.00	1.00	1.00	1.74	2.14	2.49	1.74	1.90	2.05	1.89	2.04	2.17
C3	0.44	0.38	0.34	0.57	0.47	0.40	1.00	1.00	1.00	1.15	1.25	1.32	1.32	1.55	1.74
C4	0.37	0.34	0.31	0.57	0.53	0.49	0.87	0.80	0.76	1.00	1.00	1.00	1.52	1.93	2.30
C5	0.31	0.30	0.29	0.53	0.49	0.46	0.76	0.64	0.57	0.66	0.52	0.44	1.00	1.00	1.00

Tabla 4.12: Media geométrica de las cinco matrices de comparación

Siguiendo el método de Chang (2011) se convirtieron los valores difusos triangulares en números reales, los cuales pueden ser observados en la tabla 4.13.

Media geométrica					
	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1.93	2.46	2.46	3.25
C2	0.53	1	1.93	1.93	1.96
C3	0.41	0.53	1	1	1.43
C4	0.36	0.55	0.84	0.84	1.72
C5	0.31	0.51	0.71	0.71	1

Tabla 4.13: Los resultados de la media geométrica en números reales

Por último, se estableció la matriz normalizada. Siguiendo el procedimiento clásico de Saaty (2008), se obtuvo el siguiente resultado:

Matriz normalizada					
	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0.38	0.43	0.35	0.35	0.35
C2	0.2	0.22	0.28	0.28	0.21
C3	0.16	0.12	0.14	0.14	0.15
C4	0.14	0.12	0.12	0.12	0.18
C5	0.12	0.11	0.1	0.1	0.11

Tabla 4.14: Los resultados de la media geométrica en números reales

4.1.4 VALORES DE LOS CRITERIOS

Habiendo realizado los cálculos del FAHP, se pudieron obtener los valores de los criterios. De la misma forma que se llevó a cabo la obtención de los valores del primer nivel en la subsección anterior, se hizo el cálculo para los subcriterios. Las matrices normalizadas y los respectivos valores de los criterios son los siguientes:

Matriz normalizada							
	C1	C2	C3	C4	C5	Suma	Valor
C1	0.38	0.43	0.35	0.35	0.35	1.87	37.34 %
C2	0.2	0.22	0.28	0.28	0.21	1.19	27.81 %
C3	0.16	0.12	0.14	0.14	0.15	0.72	14.31 %
C4	0.14	0.12	0.12	0.12	0.18	0.68	13.69 %
C5	0.12	0.11	0.1	0.1	0.11	0.54	10.85 %

Tabla 4.15: Los valores de los criterios del primer nivel

Matriz normalizada Subcriterios C1				
	S11	S12	Sum.	Valor
S11	0.75	0.75	1.5	74.97 %
S12	0.25	0.25	0.5	25.03 %

Tabla 4.16: Los valores de los subcriterios de *Disposición*

Matriz normalizada Subcriterios C2							
	S21	S22	S23	S24	S25	Sum.	Valor
S21	0.35	0.33	0.39	0.4	0.31	1.77	35.50 %
S22	0.24	0.23	0.2	0.19	0.28	1.14	22.81 %
S23	0.13	0.17	0.15	0.15	0.14	0.74	14.76 %
S24	0.13	0.18	0.15	0.15	0.15	0.77	15.35 %
S25	0.13	0.09	0.12	0.11	0.12	0.58	11.58 %

Tabla 4.17: Los valores de los subcriterios de *Comunicación*

Matriz normalizada Subcriterios C3				
	S31	S32	Sum.	Valor
S31	0.55	0.55	1.1	54.93 %
S32	0.45	0.45	0.9	45.07 %

Tabla 4.18: Los valores de los subcriterios de *Calidad DFÜ*

Matriz normalizada Subcriterios C4					
	S41	S42	S43	Sum.	Valor
S41	0.22	0.27	0.17	0.66	21.99 %
S42	0.41	0.5	0.57	1.48	49.38 %
S43	0.36	0.23	0.27	0.86	28.64 %

Tabla 4.19: Los valores de los subcriterios de *Logística Operativa*

Como el criterio de Innovación no cuenta con subcriterios, no se realizaron los cálculos en este caso. Contando con todos los valores de los respectivos criterios, se procedió con la priorización de los proveedores.

4.1.5 PRIORIZACIÓN DE PROVEEDORES

Puesto que la empresa cuenta con un elevado número de proveedores, no fue posible incluirlos directamente en el árbol jerárquico y el cálculo del AHP. La empresa realiza periódicamente, cada tres meses, una evaluación del desempeño de sus socios. Para esto, se hace uso de una escala de 1 a 6, donde 1 representa el mejor desempeño y 6 el peor. Esto, debido a que en el país de origen de la empresa es la forma en la que se otorgan calificaciones en escuelas y universidades. Sin embargo, a nivel internacional, esto podría causar confusión, ya que en la mayoría de los países las personas no están familiarizados con esta escala, por lo que se recomienda usar la Escala de Likert para futuras evaluaciones (Joshi, 2015).

En esta ocasión, se utilizaron datos históricos del año 2018 para realizar la priorización de los proveedores. Para esto, se multiplicó el valor de cada criterio con el desempeño obtenido.

4.2 ANN

Como se mencionó en la metodología, además del desarrollo del FAHP, se busca explorar la factibilidad de las ANN para el problema de evaluación y selección de proveedores. Como primer paso, se tuvieron que definir los datos de entrada y salida. En este caso, se usaron los datos del AHP para la alimentación de la red.

- **Datos de entrada:** desempeño de proveedores para los cinco criterios, ponderado con valores del FAHP
- **Datos de salida:** categoría del proveedor, es decir A , B o C

Cabe mencionar que las categorías fueron establecidas subjetivamente por un experto de la empresa. Resultaría interesante analizar esta parte más a detalle y considerar una reorganización, sin embargo, no forma parte del alcance de este proyecto, por lo que fue incluido en las recomendaciones para trabajo futuro.

Dado el problema del caso de estudio, se recomienda el uso de una red prealimentada, ya que sus conexiones no forman un ciclo, sino la información se mueve únicamente hacia una sola dirección: adelante. La estructura general de la red propuesta se puede observar en la figura 4.3 con los datos de entrada y salida definidos anteriormente.

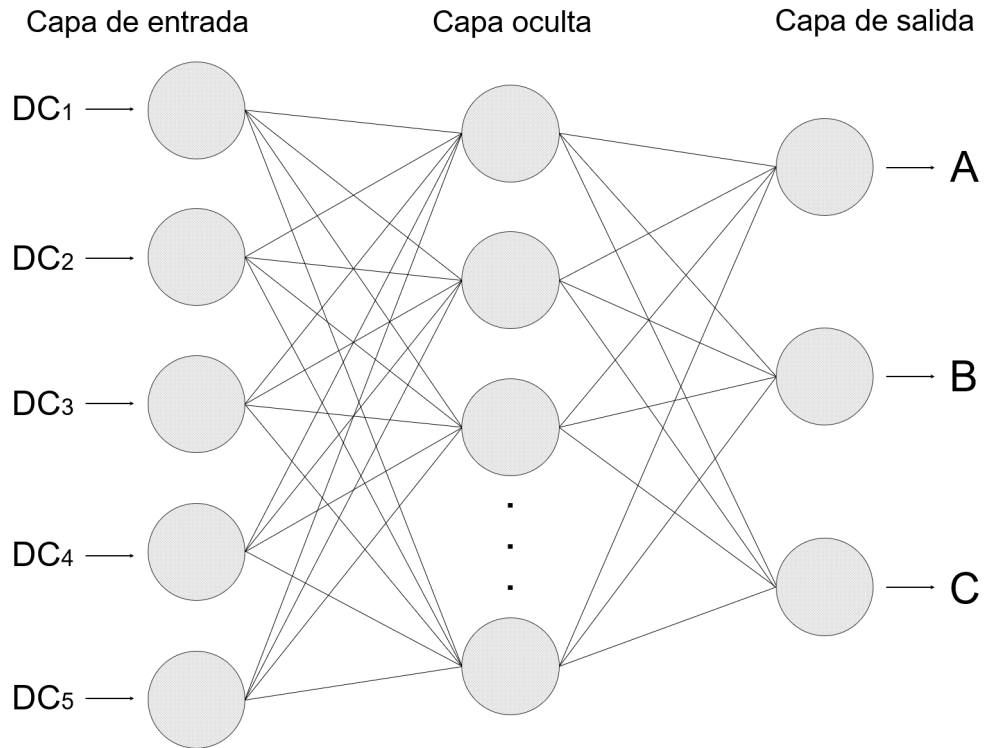


Figura 4.3: Estructura general de la red neuronal

De esta forma se observan cinco nodos de entrada y tres nodos de salida. Como se concluyó en la investigación de literatura, para la determinación de los nodos ocultos se debe usar el método de prueba y error. Aunque no existen reglas exactas, se han encontrado varios trabajos de investigadores que proponen aproximaciones y sugerencias para este tema. Siguiendo las recomendaciones de Heaton (2008), se obtuvo:

$$N_e > N_o > N_s = 5 > N_o > 3 \rightarrow N_o = 4 \quad (4.4)$$

$$N_o = \frac{2}{3} \times N_e + N_s = \frac{2}{3} \times 5 + 3 = 3.\overline{66} \approx 4 \quad (4.5)$$

$$N_o < 2 \times N_e = N_o < 10 \quad (4.6)$$

siendo N_e los nodos de entrada, N_o los nodos ocultos y N_s los nodos de salida.

Tomando en cuenta esto y recomendaciones de otros investigadores, se realizó la experimentación con 4, 6, 8, 10, 12 y 14 neuronas ocultas.

Para el presente problema, se buscó asignar una serie de datos de entrada a una serie de datos de salida. Por consiguiente, se creó la red mediante el aprendizaje supervisado, tratando de generalizar la relación entre los datos. Con respecto al flujo de señal de la red, se hizo uso de la alimentación hacia atrás, la forma estándar y más utilizada para el entrenamiento de redes neuronales. Entre sus beneficios destacan que es rápida, relativamente sencilla de programar, su flexibilidad y su buen funcionamiento para la gran mayoría de los problemas (Nielsen *et al.*, 2014).

La experimentación se llevó a cabo mediante el software Matlab R2015a. Primero, se experimentó con la herramienta *Fitting toolbox* de la *Deep Learning Toolbox* con redes neuronales entrenadas por el algoritmo de Levenberg-Marquardt de propagación hacia atrás de cinco nodos de entrada, neuronas sigmoideas ocultas y un nodo lineal de salida. Para todos los nodos, se usaron 70 % de los datos para el entrenamiento, 15 % para la validación y 15 % para las pruebas. Los resultados pueden ser observados en la tabla 4.20.

Exp.	Serie de datos	Matr. Entrada	Matr. Salida	Neur. Oc.	Iterac.	MSE Val.	MSE Tes.	Verific Data	%E
FN1	2018 T3	5x211	1x211	4	15	1.40E-02	3.03E-02	2018 T4	3.94 %
FN2	2018 T3	5x211	1x211	4	23	1.90E-04	1.12E-03	2018 T4	0.78 %
FN3	2018 T3	5x211	1x211	6	32	2.17E-11	1.03E+00	2018 T4	2.35 %
FN4	2018 T3	5x211	1x211	8	20	3.28E-04	6.25E-02	n/a	n/a
FN5	2018 T3	5x211	1x211	10	16	6.81E-03	5.96E-03	2018 T4	1.96 %
FN6	2018 T3	5x211	1x211	12	19	2.86E-02	1.75E-02	2018 T4	1.57 %
FN8	2018 T3	5x211	1x211	14	12	6.13E-03	9.17E-03	2018 T4	0.78 %
FN9	2018 T1-T3	5x807	1x807	4	12	1.90E-12	1.18E-12	2018 T4	0.39 %
FN10	2017 T2-2018 T3	5x1667	1x1667	4	29	1.03E-05	2.05E-07	2018 T4	0.39 %
FN11	2018 T1-T3	5x807	1x807	6	89	3.74E-10	5.93E-04	2018 T4	1.18 %
FN12	2018 T1-T3	5x807	1x807	8	28	1.42E-10	1.41E-09	2018 T4	0.39 %
FN13	2018 T1-T3	5x807	1x807	10	21	7.76E-04	9.32E-04	2018 T4	0.39 %
FN14	2018 T1-T3	5x807	1x807	12	16	2.22E-03	6.98E-03	2018 T4	1.57 %
FN15	2018 T1-T3	5x807	1x807	14	19	9.08E-03	1.73E-03	2018 T4	2.75 %

Tabla 4.20: Resultados del escenario de experimentación 1

Se continuó la experimentación con la herramienta *Pattern recognition* con redes neuronales entrenadas mediante el algoritmo de Levenberg-Marquardt de propagación hacia atrás de cinco nodos de entrada, neuronas sigmoideas ocultas y un nodo lineal de salida. Para todos los nodos, se usaron 70 % de los datos para el entrenamiento, 15 % para la validación y 15 % para las pruebas. Los resultados pueden ser observados en la tabla 4.21.

Exp.	Serie de datos	Matr. Entrada	Matr. Salida	Neur. Oc.	Iterac.	CE	%E Val.	%E Prue.	2018 T4 %E
PN1	2018 T3	5x211	3x211	4	28	13.73592	0.00 %	2018 T4	1.18 %
PN2	2018 T3	5x211	3x211	6	20	4.06836	3.13 %	2018 T4	1.57 %
PN3	2018 T3	5x211	3x211	8	14	3.62503	0.00 %	2018 T4	7.06 %
PN4	2018 T3	5x211	3x211	10	23	2.44452	3.13 %	n/a	1.57 %
PN5	2018 T3	5x211	3x211	12	20	3.88316	3.13 %	2018 T4	2.75 %
PN6	2018 T3	5x211	3x211	14	16	3.65619	6.25 %	2018 T4	6.67 %
PN7	2018 T1-T3	5x807	3x807	4	73	12.65918	0 %	2018 T4	1.57 %
PN8	2018 T1-T3	5x807	3x807	4	33	4.99257	1.65 %	2018 T4	2.35 %
PN9	2018 T1-T3	5x807	3x807	6	29	5.50294	0 %	2018 T4	1.96 %
PN10	2018 T1-T3	5x807	3x807	8	43	5.64139	0 %	2018 T4	2.75 %
PN11	2018 T1-T3	5x807	3x807	10	27	5.87802	0 %	2018 T4	1.18 %
PN12	2018 T1-T3	5x807	3x807	12	26	5.85848	0 %	2018 T4	1.57 %
PN13	2018 T1-T3	5x807	3x807	14	25	5.42885	0 %	2018 T4	3.92 %

Tabla 4.21: Resultados del escenario de experimentación 2

Por último, se buscó observar el comportamiento de las redes para la determinación del resultado exacto de los proveedores. Haciendo uso de redes neuronales entrenadas con el algoritmo del gradiente conjugado escalado de propagación hacia atrás de cinco nodos de entrada, neuronas sigmoideas ocultas y tres neuronas *softmax* de salida. Para todos los nodos, se usaron 70 % de los datos para el entrenamiento, 15 % para la validación y 15 % para las pruebas. Los resultados pueden ser observados en la siguiente tabla:

Exp.	Serie de datos	Matr. Entrada	Matr. Salida	Neur. Oc.	Iterac.	ECM Val.	ECM Prue.	ECM 2018 T4	%E 2018 T4
FN1	2018 T3	5x211	1x211	4	1000	5.80E-09	1.39E-09	7.58E-10	0 %
FN2	2018 T3	5x211	1x211	6	217	3.02E-08	6.83E-08	8.89E-08	0 %
FN3	2018 T3	5x211	1x211	8	1000	2.37E-08	2.37E-08	3.88E-10	0 %
FN4	2018 T3	5x211	1x211	10	262	2.14E-08	4.47E-10	8.34E-09	0 %
FN5	2018 T3	5x211	1x211	12	1000	2.79E-10	6.57E-10	6.41E-10	0 %
FN6	2018 T3	5x211	1x211	14	1000	6.11E-10	1.80E-10	6.41E-10	0 %

Tabla 4.22: Resultados de la experimentación con valores exactos

Cabe destacar que los resultados mencionados son los que arrojaron el menor error respectivamente para cada número de nodos, por lo que no representan la totalidad de los experimentos realizados. En términos generales, se entrenó una red aproximadamente diez veces o más hasta llegar a un error satisfactorio. En el siguiente capítulo se hace énfasis en el análisis de los resultados y la selección de la red más adecuada.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Mediante la aplicación de la metodología se han obtenido una serie de resultados, los cuales se analizan en este capítulo con la finalidad de responder a las preguntas de investigación planteadas anteriormente. Adicionalmente, se evalúan las herramientas propuestas y se formula una serie de recomendaciones para el uso de redes neuronales artificiales para el problema de la selección de proveedores.

5.1 FAHP

En el capítulo anterior se calcularon los valores de los criterios mediante el método del proceso analítico jerárquico con lógica difusa. De acuerdo con el árbol jerárquico establecido anteriormente, los valores de los criterios y subcriterios obtenidos son visualizados de la siguiente forma:

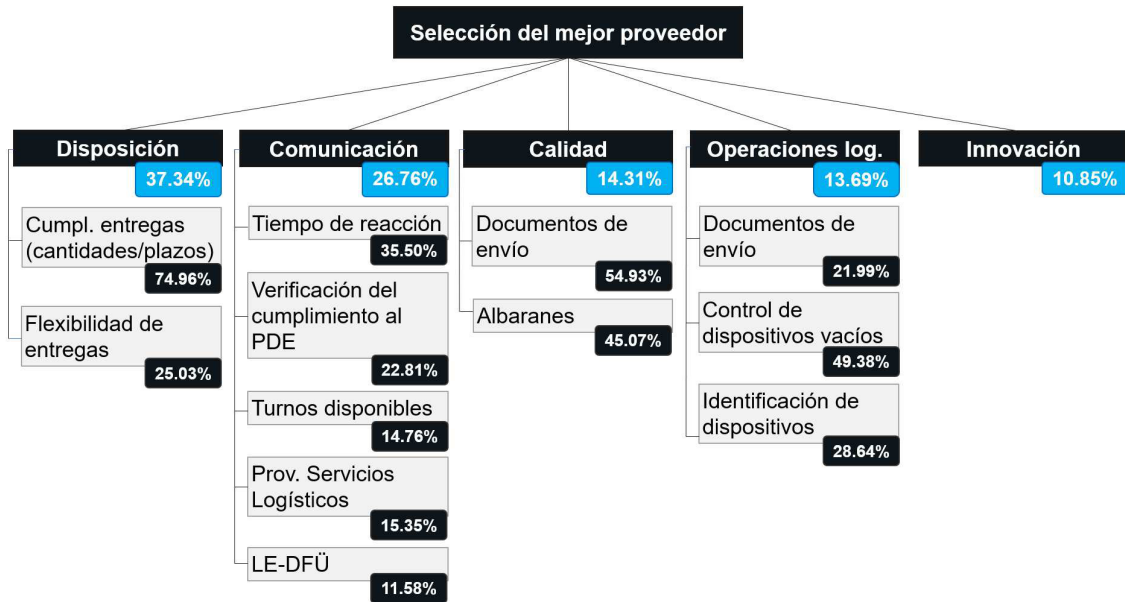


Figura 5.1: Árbol jerárquico con los valores de los criterios

Comparando estos valores con los que maneja la empresa de estudio, se puede observar en la tabla 5.1 que la mayor diferencia reside en el criterio de disposición, el cual varió 12.66 % en comparación con el valor de la empresa. Esta pérdida resultó favorable para los demás criterios, sobre todo Calidad y Comunicación, cuya importancia aumentó 8.81 % y 4.31 %, respectivamente.

	Valor empresa	Valor FAHP	Variación
Disposición	50 %	37.34 %	-12.66
Calidad DFÜ	15 %	23.81 %	+8.81
Comunicación	10 %	14.31 %	+4.31
Logística operativa	15 %	13.69 %	+1.31
Innovación	10 %	10.85 %	+0.85

Tabla 5.1: Comparación de los valores del FAHP y el *Scoring*

Los resultados que se obtuvieron pueden ser interpretados como favorables.

Aunque resultaron unas diferencias, se aproximan a los valores establecidos por la empresa. Por eso se puede suponer que son válidos y sirve como ajuste para los criterios.

Habiendo establecido los valores de los criterios se pudo continuar con la evaluación y selección de los proveedores. Siendo los datos más recientes con las que se contaba del último trimestre de 2018, se usaron estos para la evaluación y priorización. Por cuestiones de espacio, la tabla de priorización fue incluida en el apéndice A.2. En la figura 5.2 se visualizó la evaluación de los proveedores, indicando la calificación final de cada proveedor.

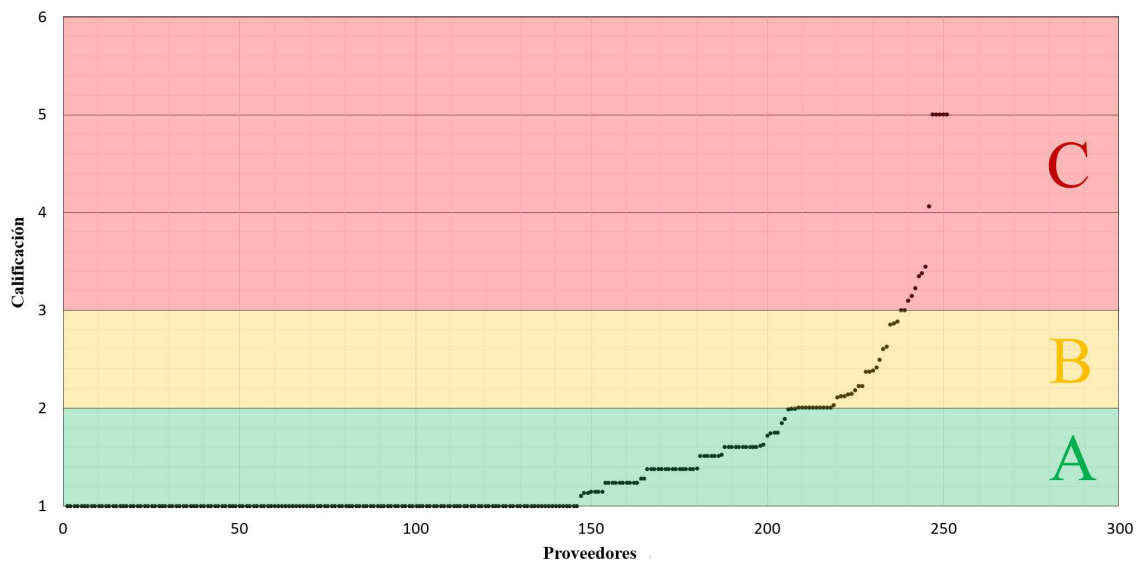


Figura 5.2: Priorización de proveedores

La figura 5.3 destaca que el 82.87% fue calificado como proveedor tipo A, 11.55% en la categoría B y 5.58% como proveedores C.

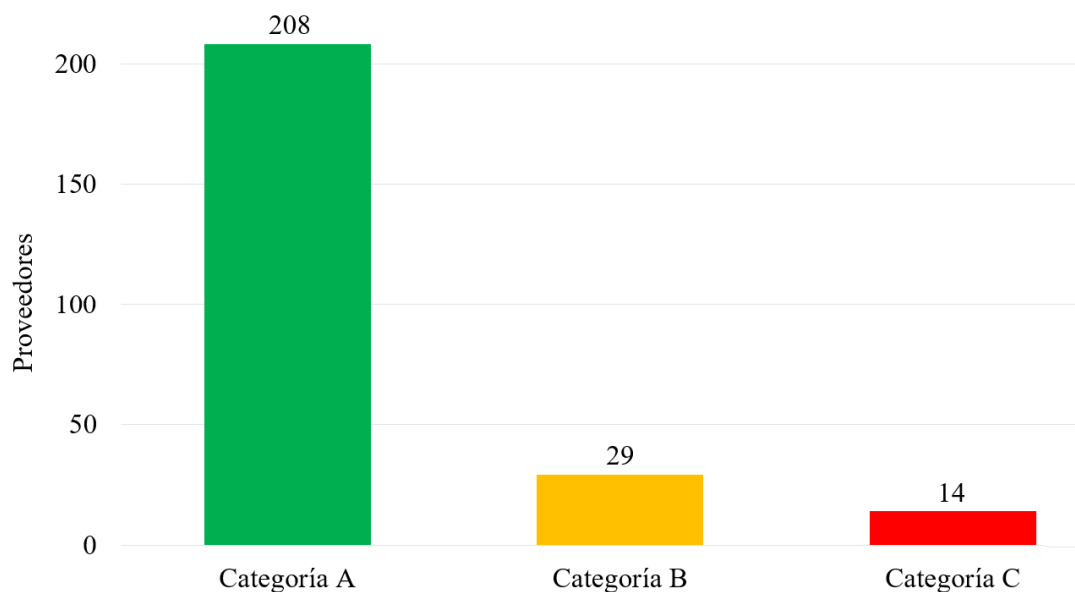


Figura 5.3: Proveedores priorizados por categoría

Comparando los resultados obtenidos con los datos de la empresa, cabe destacar que a la gran mayoría de los proveedores se lo otorgó la misma o una calificación muy similar. Esto se debe principalmente al hecho que muchos proveedores obtuvieron la misma calificación para todos los criterios, por lo que un cambio en el valor del criterio no se refleja. Por otro lado, para 87 socios se obtuvo una diferencia más grande. Para situaciones, en las cuales los valores del FAHP superaron los de la empresa se observó una variación entre 2% a 8%. Para el caso contrario, siendo la calificación del FAHP más baja, se tiene una variación de -20% a -1% con 48 proveedores, indicando que el primer criterio tenía un efecto muy notable en la evaluación.

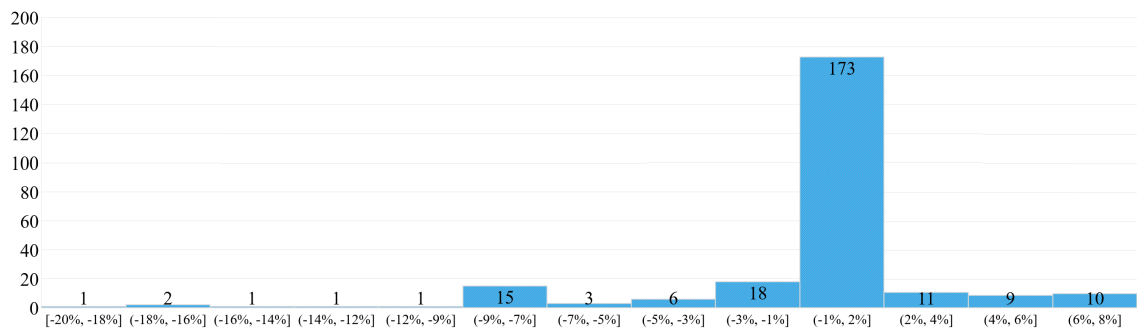


Figura 5.4: Variación porcentual de los resultados de *Scoring* y FAHP

Con la finalidad de facilitar el proceso de evaluación y selección de proveedores, se programó una base de datos mediante el software *Microsoft Access*. De esta forma, la empresa puede definir planes de acción para colaborar con los socios comerciales para mejorar o mantener su respectivo desempeño. Además, se formuló una serie de recomendaciones para mejorar este proceso, las cuales se definen en el capítulo de conclusión

5.2 ANN

5.2.1 HALLAZGOS

Tomando en cuenta los hallazgos del capítulo anterior, destacan las redes con cuatro neuronas ocultas, ya que para todos los escenarios se arrojaron errores muy bajos. Para confirmar los errores obtenidos en el proceso de validación y pruebas de la red, se aplicaron las redes con mejor rendimiento a una serie de datos diferente, que no fue utilizada para la creación y el entrenamiento de la red. En la figura 5.5 se puede observar el porcentaje de error obtenido para cada red.

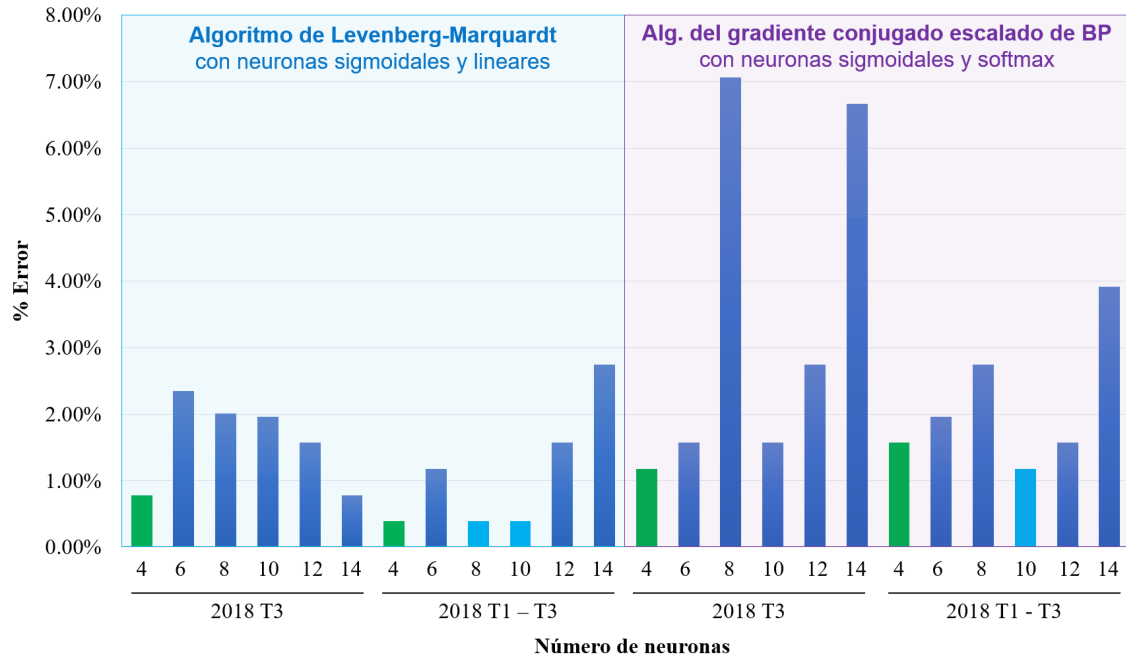


Figura 5.5: Errores porcentuales por número de neuronas ocultas

Como se observa, la gráfica está dividida en dos partes principales: entrenamiento con el algoritmo de Levenberg-Marquardt y el algoritmo del gradiente conjugado escalado. Para ambos se entrenó la red primero con datos del tercer periodo de 2018 con diferentes números de neuronas. Incrementando la cantidad de datos para el entrenamiento, se logró disminuir tanto el error cuadrático medio como el error porcentual para los dos algoritmos. De las redes entrenadas con el algoritmo de Levenberg-Marquardt con datos del tercer trimestre de 2018, la mejor solución fue obtenida con cuatro neuronas ocultas. Con una mayor serie de datos, de tres periodos, los mejores desempeños tuvieron las redes con 4,8 y 10 nodos. Por otro lado, con el algoritmo del gradiente conjugado escalado se alcanzaron resultados similares, teniendo el menor error porcentual la red con cuatro neuronas. Con más datos, la red de 10 neuronas obtuvo el menor error, con la red de 4 nodos en segundo lugar.

El error más bajo de todas las redes fue logrado con el algoritmo de Levenberg-

Marquardt con neuronas sigmoidales ocultas y neuronas lineales de salida. Tanto con 4, 8 como 10 nodos se alcanzó un error porcentual de 0.39%, lo que representa un proveedor clasificado incorrectamente, comparándolo con 254 clasificados de forma correcta. Debido a que la red con cuatro neuronas obtuvo errores muy bajos en todas las fases, es considerada como la adecuada para este y posiblemente problemas similares. Resulta importante mencionar que con el paso del tiempo debe ser entrenado con nuevos datos a fin de mejorar su desempeño hasta llegar a un error mínimo.

5.2.2 RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE ANN AL VSP

Cabe destacar que la red neuronal artificial desarrollada puede ser considerada como un método válido para la solución de este problema, pues determina con alta precisión la categoría de los proveedores en este caso de estudio. De la misma forma, se desarrolló una red que señala sin error la calificación exacta de cada proveedor. Por consiguiente, se cumplió el objetivo específico de este trabajo de explorar la utilidad de ANN para el problema de evaluación y selección de proveedores.

Sin embargo, considerando los criterios de eficiencia y agilidad, es necesario cuestionar si la ANN es capaz de lograr una ventaja notable en comparación con la herramienta del FAHP. Cabe mencionar que en el presente caso de estudio se conoció desde el principio la manera en la que evalúa los proveedores, es decir la función para llegar desde los datos de entrada x hasta los datos de salida y . Dadas las características del caso de estudio, esto fue necesario para determinar la efectividad de la ANN. No obstante, las redes neuronales suelen ser más útiles para situaciones, en las cuales se desconoce la relación entre datos de entrada y salida. Por este motivo, se define un conjunto de escenarios de toma de decisiones en la evaluación y selección de proveedores, para los cuáles el uso de redes neuronales artificiales puede aportar un considerable valor añadido.

- **Clasificación de proveedores:** uno o varios expertos clasifican los proveedores en categorías (ineficiente/eficiente, A/B/C, 1/2/3, etc.) de acuerdo con su desempeño. Una red neuronal puede aproximar la relación entre los valores y ayudará a clasificar otros socios de la compañía o incluso las de otra empresa.
- **Comparación de alternativas:** comparación por pares de importantes proveedores de una industria, la cual puede ser reproducida por otras empresas del mismo sector.
- **Agrupamiento/ *Clustering*:** después de determinar el desempeño de los proveedores, se puede aplicar una ANN de aprendizaje no supervisado para agrupar proveedores con características similares en diferentes categorías. Posteriormente, se puede usar aprendizaje supervisado para clasificar a otros proveedores en estas categorías, ya sea dentro de la misma organización o en otra empresa.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIÓN

Este capítulo contiene lo referente a las resoluciones finales que surgieron de la investigación. Además de destacar las conclusiones de este trabajo, se indica una serie de recomendaciones para la mejora del proceso de evaluación y selección de proveedores en la empresa de estudio. Por último, se mencionan las contribuciones del trabajo, su impacto en la cadena de suministro y sugerencias para trabajos futuros.

6.1 CONCLUSIONES GENERALES

En esta tesis se atacó un problema omnipresente en cada organización: la evaluación y selección de proveedores. En primer lugar, se analizó la situación actual en la empresa con la finalidad de identificar áreas de mejora. A partir de esto, se comenzó con una extensa investigación de la literatura acerca de tema. Se analizaron la toma de decisiones, los conceptos de la logística y cadena de suministro a lo largo del tiempo y la selección de proveedores como uno de los procesos clave en el área de aprovisionamiento. Analizando a detalle los diferentes métodos para esta problemática, se realizó una comparación de ellos para determinar el más adecuado para la empresa de estudio.

Se propuso una herramienta basada en el proceso analítico jerárquico con lógica difusa. Para esto, se determinaron los criterios de evaluación de proveedores logísticos, se realizó una encuesta a expertos de la empresa para posteriormente determinar los valores de los criterios. Por último, se obtuvieron las calificaciones finales mediante la multiplicación con el respectivo desempeño de los socios. De esta manera, la empresa de estudio cuenta con una herramienta científicamente fundada para el problema de la evaluación de proveedores que toma en cuenta juicios de expertos del área.

El trabajo realizado soluciona un problema que se presenta frecuentemente en grandes organizaciones: llegar a un consenso en la toma de decisiones. Se logró considerar todas las opiniones de un grupo de expertos, siendo la clave para resolver un problema con elevada importancia, como es la evaluación de proveedores. De esta forma se alcanzó una mejora en el proceso mediante esta tesis, permitiendo la evaluación y posteriormente la selección de los proveedores que más valor aportan a largo plazo.

Además, se exploró el uso de redes neuronales artificiales para la problemática descrita. El objetivo que se siguió fue mapear el desempeño ponderado por los criterios del FAHP de cada proveedor con su respectiva categoría. Para esto, se experimentó con una serie de arquitecturas hasta llegar a un desempeño satisfactorio, considerando el error cuadrático medio y el error porcentual. La mejor red fue capaz de clasificar nuevas series de datos con una precisión mayor al 99%. Es por eso que se consideraron útiles las redes neuronales para el problema de la selección de proveedores, siempre y cuando se consideran algunas recomendaciones.

Finalmente, se determinaron medidas adecuadas y basadas en tecnologías de información para la agilización del proceso. En primer lugar, se desarrolló una herramienta basada en el proceso del FAHP mediante un software de bases de datos, la cual ayudará a facilitar el proceso de evaluación del desempeño y será más amigable para el usuario. Adicionalmente, se definieron algunas sugerencias respecto a temas

que no forman parte del alcance de este proyecto, pero que ayudarán a aumentar aún más la eficiencia de este proceso.

6.2 RECOMENDACIONES

El trabajo realizado representa una notable mejora del proceso de evaluación y lo fundamenta científicamente. Con la finalidad de lograr una eficiencia aún más alta, se formuló una serie de recomendaciones, las cuales son el resultado del análisis del estado actual del proceso.

- **Establecer parámetros cuantitativos:** para aumentar la objetividad en el proceso, se recomienda establecer rangos cuantitativos para evaluar el desempeño de los proveedores. Entre los criterios que podrían ser cuantificados fácilmente se encuentran: cumplimiento de entrega (tiempo/cantidad), turnos disponibles, tiempo de reacción, etc.
- **Reorganización de la escala de evaluación:** La forma actual de evaluación proviene de la matriz en Alemania, donde se califica de acuerdo a las notas del sistema educativo: 1 representa el mejor desempeño, mientras un 6 es considerado como no satisfactorio. Debido a que la planta en México lleva menos de dos años evaluando de esta forma y que esta escala podría resultar poco lógico para nuevos empleados, se recomienda usar otro tipo de escala. La investigación indica que el uso de una variación de la escala de Likert (1932) de cinco niveles se ha comprobado muy útil para este tipo de procesos.
- **Reestructuración de los criterios:** Se recomienda considerar en la evaluación otros datos, como la criticidad del proveedor y el volumen de ventas para determinar la importancia del proveedor. Adicionalmente, se debería evaluar la posibilidad de juntar algunos criterios con la finalidad de simplificar el proceso de evaluación, por ejemplo, los subcriterios de documentos de envío, el cual se repite en dos criterios.

- **Calificación compositiva:** Con la finalidad de armonizar los criterios cuantitativos y cualitativos se recomienda el uso de una escala de calificación compositiva, es decir, los números son traducidos a valores entre 0 a 1. Para esto, se resta el valor mínimo obtenido para un criterio a cada uno de los valores de x y se divide por la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de este criterio. De esta forma, el respectivo desempeño siempre es comparado con el del mejor proveedor, creado una situación de *benchmark* como motivación para la mejora continua del desempeño.
- **Reorganizar categorías:** Con el uso de otra escala, también se debe pensar en la reorganización de las categorías. Primeramente, no se recomienda el uso de A, B y C, ya que ellos generalmente indican la criticidad y la importancia del proveedor. Por otro lado, el desempeño podría ser medido mediante el uso de dos categorías «eficiente» o «ineficiente» o «desempeño alto», «desempeño medio» o «desempeño bajo», o incluso mediante números «1», «2» o «3». Para la determinación de los miembros de cada categoría puede ser de ayuda una red neuronal o la división recomendada por Groupe Meloche Inc. (2011), siendo proveedores de la primera categoría los que lograron más de un 90% de los puntos disponibles, de segunda más del 70% y de tercera todos los demás. Además, se podría desarrollar una evaluación de dos dimensiones mediante una categoría que evalúe el desempeño (numérico) y otra que evalúe la criticidad y el volumen de compra (letra).
- **Considerar medidas de gestión del cambio:** Cabe mencionar que algunos evaluadores no le otorgan la importancia necesaria a este proceso, lo que resulta en una evaluación incorrecta o incompleta. Tomando en cuenta que el factor humano es uno de los puntos más importantes en la implementación de nuevas herramientas, se deberían considerar medidas de gestión del cambio para comunicar la relevancia de este proceso y asegurar su correcta realización.
- **Armonizar sistemas de información:** La herramienta que se desarrolló se realizó de acuerdo a las necesidades específicas del departamento. Para lograr

una mayor eficiencia, se recomienda usar una sola base de datos para todos los departamentos involucrados en el proceso de evaluación. En sí, la base de datos creada podría ser exportada a un portal en el intranet, al cual todos los evaluadores tienen acceso.

6.3 CONTRIBUCIONES Y TRABAJO FUTURO

6.3.1 CONTRIBUCIONES

La contribución de esta tesis se centra en la aplicación de dos métodos de toma de decisiones científicamente fundamentadas para la evaluación y selección de proveedores mediante un caso práctico en la industria automotriz. La herramienta, basada en tecnologías de información adecuadas y en combinación con las recomendaciones formuladas, ayudará a mejorar la eficiencia del proceso, permitiendo la selección de los proveedores que mayor valor aportan a la empresa. De esta forma se espera a mediano y largo plazo una mejora relacionada al cumplimiento de entregas, calidad, tiempo de entrega, servicio logístico brindado, etc.

Por otra parte, la herramienta proporcionada representa un aporte para la agilización del proceso, beneficiando a la empresa en términos de menor tiempo dedicado a la evaluación y mayor amigabilidad para el usuario. Se espera una mayor aceptación por parte de los empleados y, consecuentemente, una evaluación más acertada y cercana a la realidad.

Por último, cabe destacar la investigación realizada con respecto al uso de redes neuronales artificiales para el problema de evaluación y selección de proveedores. Además de comprobar la utilidad para esta problemática, se definió una serie de recomendaciones. Tomándolas en cuentas, las ANN pueden aportar un valor añadido al VSP, agilizando y facilitando el proceso. En este aspecto, también se comprueba la

eficiencia del método de Heaton (2008) para determinar el número de nodos ocultos. Aunque no representa una regla válida universalmente para todos los problemas, puede ser considerado como un buen punto de partida para situaciones similares.

6.3.2 TRABAJO FUTURO

En este proyecto se ha aplicado exitosamente el proceso analítico jerárquico con lógica difusa al problema de evaluación y selección de proveedores, comparándolo con redes neuronales artificiales para determinar su utilidad para este problema. Con la finalidad de confirmar su uso, se recomienda el estudio de otros casos prácticos, tomando en cuenta las recomendaciones que se formularon en este trabajo.

Enfocándose en la empresa, se le aconseja monitorear la evolución del desempeño de proveedores para determinar cómo varía el desempeño logístico de los mismos. Además, se recomienda tomar en cuenta las sugerencias que se indicaron en este proyecto para seguir mejorando el proceso de evaluación de proveedores.

APÉNDICE A

APÉNDICE

A.1 ESTRUCTURA Y RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

Evaluación de proveedores logísticos

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

Número de participantes: 6

- Especialista
- Especialista
- Desarrollo de proveedores
- Esp. Desarrollo de Proveedores
- Gerente Supply Chain Management
- ESPECIALISTA DESARROLLO PROVEEDORES

2. ¿A qué área pertenece?

Número de participantes: 6

- Desarrollo de la Cadena de Suministro
- Desarrollo Cadena de suministro
- Supply Chain Management
- Planeación Logística
- Logística, Tráfico y Transporte
- PLANEACION Y OPERACION LOGISTICA

3. ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene?

Número de participantes: 6

- (0.0%): 0-3 años

1 (16.7%): 3-5 años

2 (33.3%): 5-10 años

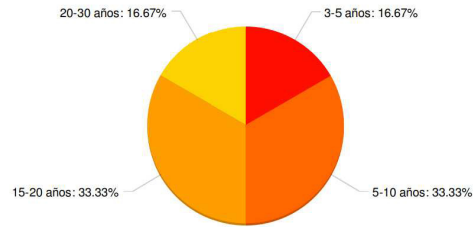
- (0.0%): 10-15 años

2 (33.3%): 15-20 años

1 (16.7%): 20-30 años

- (0.0%): 30+ años

- (0.0%): Otro



4. ¿Qué importancia tiene el criterio DISPOSICIÓN comparado con los demás criterios? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy										a la derecha	Ø	±
	Extrema	fuerte	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	fuerte	Extrema				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)				
Disposición	1x 16,67	1x 16,67	2x 33,33	1x 16,67	- -	1x 16,67	- -	- -	- -	- -	Comunicación	3,17	1,72
Disposición	1x 16,67	1x 16,67	1x 16,67	2x 33,33	- -	1x 16,67	- -	- -	- -	- -	Calidad DFÚ	3,33	1,75
Disposición	1x 16,67	1x 16,67	1x 16,67	2x 33,33	- -	1x 16,67	- -	- -	- -	- -	Control de Logística Ope...	3,33	1,75
Disposición	1x 16,67	1x 16,67	1x 16,67	2x 33,33	- -	1x 16,67	- -	- -	- -	- -	Disposición de Innovación	3,33	1,75

5. ¿Qué importancia tiene el criterio COMUNICACIÓN comparado con los demás criterios? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy										a la derecha	Ø	±
	Extrema	fuerte	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	fuerte	Extrema				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)				
Comunicación	1x 16,67	1x 16,67	1x 16,67	1x 16,67	2x 33,33	- -	- -	- -	- -	- -	Calidad DFÚ	3,33	1,63
Comunicación	1x 16,67	1x 16,67	1x 16,67	- -	3x 50,00	- -	- -	- -	- -	- -	Control de Logística Ope...	3,50	1,76
Comunicación	1x 16,67	1x 16,67	1x 16,67	- -	3x 50,00	- -	- -	- -	- -	- -	Disposición de Innovación	3,50	1,76

6. ¿Qué importancia tiene el criterio CALIDAD DFÜ comparado con los demás criterios? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy										a la derecha	Σ	±				
	Extrema	fuerte	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	fuerte	Extrema								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)								
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%			
Calidad DFÜ	1x	16,67	-	-	-	-	1x	16,67	4x	66,67	-	-	-	-	-	-	Control de Logística Ope... 4,17 1,60
Calidad DFÜ	1x	16,67	-	-	-	-	1x	16,67	4x	66,67	-	-	-	-	-	-	Disposición de Innovación 4,17 1,60

7. ¿Qué importancia tiene el criterio CONTROL DE LOGÍSTICA OPERATIVA comparado con los demás criterios? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy										a la derecha	Σ	±				
	Extrema	fuerte	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	fuerte	Extrema								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)								
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%			
Control de Logística Ope...	1x	16,67	1x	16,67	1x	16,67	1x	16,67	2x	33,33	-	-	-	-	-	-	Disposición de Innovación 3,33 1,63

9. Con respecto al criterio DISPOSICIÓN:

¿Qué importancia tiene el subcriterio CUMPLIMIENTO ENTREGAS (CANTIDADES Y PLAZOS) comparado con FLEXIBILIDAD DE ENTREGAS? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy										a la derecha	Σ	±				
	Extrema	fuerte	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	fuerte	Extrema								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)								
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%			
Cumplimiento en entreg...	1x	16,67	1x	16,67	1x	16,67	1x	16,67	2x	33,33	-	-	-	-	-	-	Flexibilidad de entregas 3,33 1,63

10. Con respecto al criterio COMUNICACIÓN:

¿Qué importancia tiene el subcriterio TIEMPO DE REACCIÓN comparado con los demás criterios? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy										a la derecha	Σ	±				
	Extrema (1)	fuerte (2)	Fuerte (3)	Moderada (4)	Igual (5)	Moderada (6)	Fuerte (7)	fuerte (8)	Extrema (9)								
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%					
Tiempo de reacción	1x 16,67		1x 16,67		-		-		4x 66,67		-		-	-	Verificación del cumplim...	3,83	1,83
Tiempo de reacción	1x 16,67		1x 16,67		2x 33,33		-		2x 33,33		-		-	-	Turnos disponibles	3,17	1,60
Tiempo de reacción	1x 16,67		1x 16,67		2x 33,33		-		2x 33,33		-		-	-	Prov. Servicios Logísticos	3,17	1,60
Tiempo de reacción	1x 16,67		1x 16,67		2x 33,33		-		2x 33,33		-		-	-	LE-DFÚ	3,17	1,60

11. ¿Qué importancia tiene el subcriterio VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO AL PDE comparado con los demás criterios? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy										a la derecha	Σ	±				
	Extrema (1)	fuerte (2)	Fuerte (3)	Moderada (4)	Igual (5)	Moderada (6)	Fuerte (7)	fuerte (8)	Extrema (9)								
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%					
Verificación del cumplim...	1x 16,67		-		2x 33,33		-		2x 33,33		-		1x 16,67	-	Turnos disponibles	4,00	2,10
Verificación del cumplim...	1x 16,67		-		2x 33,33		-		2x 33,33		-		1x 16,67	-	Prov. Servicios Logísticos	4,17	2,40
Verificación del cumplim...	1x 16,67		-		3x 50,00		-		2x 33,33		-		-	-	LE-DFÚ	3,33	1,51

12. ¿Qué importancia tiene el subcriterio TURNOS DISPONIBLES comparado con los demás criterios? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy										a la derecha	Σ	±				
	Extrema (1)	fuerte (2)	Fuerte (3)	Moderada (4)	Igual (5)	Moderada (6)	Fuerte (7)	fuerte (8)	Extrema (9)								
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%					
Verificación del cumplim...	1x 16,67		-		-		-		5x 83,33		-		-	-	Prov. Servicios Logísticos	4,33	1,63
Verificación del cumplim...	1x 16,67		-		-		1x 16,67		4x 66,67		-		-	-	LE-DFÚ	4,17	1,60

13. ¿Qué importancia tiene el subcriterio PROV. SERVICIOS LOGÍSTICOS comparado con los demás criterios? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy fuerte					Muy fuerte					Extrema a la derecha	∅	±						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)										
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%							
Verificación del cumplim...	1x	16,67	-	-	1x	16,67	1x	16,67	2x	33,33	1x	16,67	-	-	-	-	LE-DFÚ	4,00	1,79

14. Con respecto al criterio CALIDAD DFÜ:

¿Qué importancia tiene el subcriterio DOCUMENTOS DE ENVÍO comparado con ALBARANES? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy fuerte					Muy fuerte					Extrema a la derecha	∅	±						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)										
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%							
Documentos de envío	1x	16,67	1x	16,67	-	-	-	-	3x	50,00	1x	16,67	-	-	-	-	Albaranes	4,00	2,00

15. Con respecto al criterio CONTROL DE LOGÍSTICA OPERATIVA

¿Qué importancia tiene el subcriterio DOCUMENTOS DE ENVÍO comparado con los demás criterios? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy fuerte					Muy fuerte					Extrema a la derecha	∅	±						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)										
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%							
Documentos de envío	1x	16,67	-	-	-	-	3x	50,00	1x	16,67	-	-	-	-	1x	16,67	Control de dispositivos v...	5,17	2,56
Documentos de envío	1x	16,67	-	-	-	-	3x	50,00	1x	16,67	1x	16,67	-	-	-	-	Identificación de disposi...	4,83	2,04

16. ¿Qué importancia tiene el subcriterio CONTROL DE DISPOSITIVOS VACÍOS comparado con IDENTIFICACIÓN DE DISPOSITIVOS? *

Número de participantes: 6

a la izquierda	Muy fuerte					Muy fuerte					Extrema a la derecha	∅	±						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)										
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%							
Control de dispositivos v...	2x	33,33	-	-	1x	16,67	-	-	3x	50,00	-	-	-	-	-	-	Identificación de disposi...	3,33	1,97

A.2 PRIORIZACIÓN DE PROVEEDORES

Posición	Proveedor	Resultado Empresa	Proveedor	Resultado FAHP
1	6001018858	1	6001018858	1
2	6001017729	1	6001017729	1
3	6001003941	1	6001003941	1
4	6001019444	1	6001019444	1
5	6001011286	1	6001011286	1
6	6001000372	1	6001000372	1
7	6001009448	1	6001009448	1
8	6001013597	1	6001013597	1
9	6001012730	1	6001012730	1
10	6001001679	1	6001001679	1
11	6001011164	1	6001011164	1
12	6001004810	1	6001004810	1
13	6002014211	1	6002014211	1
14	6001020810	1	6001020810	1
15	6001014401	1	6001014401	1
16	6001001989	1	6001001989	1
17	6002010966	1	6002010966	1
18	6001000805	1	6001000805	1
19	6001017528	1	6001017528	1
20	6001019660	1	6001019660	1
21	6001009179	1	6001009179	1
22	6001020325	1	6001020325	1
23	6001001665	1	6001001665	1
24	6001017146	1	6001017146	1
25	6001013505	1	6001013505	1
26	6001020456	1	6001020456	1

27	6001021216	1	6001021216	1
28	6001020817	1	6001020817	1
29	6001017639	1	6001017639	1
30	6001021138	1	6001021138	1
31	6001016080	1	6001016080	1
32	6001019738	1	6001019738	1
33	6001018423	1	6001018423	1
34	6001021044	1	6001021044	1
35	6001010933	1	6001010933	1
36	6001011121	1	6001011121	1
37	6001000907	1	6001000907	1
38	6001021223	1	6001021223	1
39	6001003169	1	6001003169	1
40	6001020179	1	6001020179	1
41	6001003319	1	6001003319	1
42	6001020038	1	6001020038	1
43	6001020421	1	6001020421	1
44	6001014580	1	6001014580	1
45	6001008170	1	6001008170	1
46	6001018535	1	6001018535	1
47	6001000447	1	6001000447	1
48	6001000134	1	6001000134	1
49	6001018933	1	6001018933	1
50	6001010721	1	6001010721	1
51	6001016829	1	6001016829	1
52	6001019766	1	6001019766	1
53	6001018656	1	6001018656	1
54	6001018393	1	6001018393	1

55	6002012872	1	6002012872	1
56	6001018048	1	6001018048	1
57	6001006688	1	6001006688	1
58	6001007589	1	6001007589	1
59	6001014590	1	6001014590	1
60	6001018353	1	6001018353	1
61	6001018351	1	6001018351	1
62	6001019477	1	6001019477	1
63	6001018354	1	6001018354	1
64	6001016472	1	6001016472	1
65	6001018078	1	6001018078	1
66	6001010420	1	6001010420	1
67	6001019039	1	6001019039	1
68	6001018721	1	6001018721	1
69	6001014085	1	6001014085	1
70	6001019845	1	6001019845	1
71	6001021173	1	6001021173	1
72	6001021576	1	6001021576	1
73	6001021231	1	6001021231	1
74	6001011957	1	6001011957	1
75	6001002470	1	6001002470	1
76	6001010089	1	6001010089	1
77	6001016878	1	6001016878	1
78	6001021484	1	6001021484	1
79	6001019135	1	6001019135	1
80	6001020894	1	6001020894	1
81	6001018241	1	6001018241	1
82	6002012290	1	6002012290	1

83	6001021846	1	6001021846	1
84	6001019085	1	6001019085	1
85	6001016816	1	6001016816	1
86	6001005304	1	6001005304	1
87	6001020702	1	6001020702	1
88	6001011087	1	6001011087	1
89	6001011599	1	6001011599	1
90	6001014374	1	6001014374	1
91	6001010824	1	6001010824	1
92	6001020792	1	6001020792	1
93	6001018998	1	6001018998	1
94	6001018888	1	6001018888	1
95	6001007965	1	6001007965	1
96	6001020775	1	6001020775	1
97	6001021895	1	6001021895	1
98	6001009191	1	6001009191	1
99	6001014645	1	6001014645	1
100	6001016868	1	6001016868	1
101	6001012519	1	6001012519	1
102	6001020889	1	6001020889	1
103	6001014514	1	6001014514	1
104	6001020873	1	6001020873	1
105	6001016933	1	6001016933	1
106	6001019815	1	6001019815	1
107	6001018936	1	6001018936	1
108	6001000575	1	6001000575	1
109	6001020331	1	6001020331	1
110	6001018098	1	6001018098	1

111	6001021413	1	6001021413	1
112	6001014286	1	6001014286	1
113	6001020181	1	6001020181	1
114	6001019292	1	6001019292	1
115	6001003781	1	6001003781	1
116	6001008776	1	6001008776	1
117	6001021754	1	6001021754	1
118	6001001020	1	6001001020	1
119	6001009753	1	6001009753	1
120	6001020003	1	6001020003	1
121	6001022105	1	6001022105	1
122	6001022104	1	6001022104	1
123	6001019249	1	6001019249	1
124	6001020919	1	6001020919	1
125	6001005832	1	6001005832	1
126	6001021776	1	6001021776	1
127	6001010851	1	6001010851	1
128	6001019166	1	6001019166	1
129	6001004909	1	6001004909	1
130	6001001650	1	6001001650	1
131	6001014406	1	6001014406	1
132	6001013748	1	6001013748	1
133	6001013750	1	6001013750	1
134	6001014519	1	6001014519	1
135	6001021145	1	6001021145	1
136	6001018525	1	6001018525	1
137	6001020364	1	6001020364	1
138	6001020365	1	6001020365	1

139	6001018575	1	6001018575	1
140	6001005153	1	6001005153	1
141	6001021010	1	6001021010	1
142	6001013359	1	6001013359	1
143	6001019224	1	6001019224	1
144	6001017454	1	6001017454	1
145	6001013841	1	6001013841	1
146	6001021766	1	6001021766	1
147	6001003438	1.1	6001021604	1.10854355
148	6001021604	1.1	6001021240	1.13687011
149	6002017726	1.1	6001014626	1.13687011
150	6001011195	1.1	6001003438	1.14307596
151	6001018007	1.1	6002017726	1.14307596
152	6001019659	1.15	6001011195	1.14307596
153	6001007448	1.15	6001018007	1.14307596
154	6001014905	1.15	6001019659	1.2380913
155	6001019017	1.15	6001007448	1.2380913
156	6001021240	1.15	6001014905	1.2380913
157	6001010020	1.15	6001019017	1.2380913
158	6001014626	1.15	6001010020	1.2380913
159	6001013770	1.15	6001013770	1.2380913
160	6001020358	1.15	6001020358	1.2380913
161	6001006447	1.15	6001006447	1.2380913
162	6001010539	1.25	6001010539	1.24541366
163	6001014198	1.25	6001014198	1.24541366
164	6001014303	1.25	6001014303	1.27994607
165	6001020843	1.25	6001020843	1.27994607
166	6001021499	1.3	6001013980	1.37341908

167	6001019902	1.3	6001005871	1.37341908
168	6001021512	1.3	6001020339	1.37341908
169	6001010104	1.3	6001021109	1.37341908
170	6001021050	1.35	6001011933	1.37341908
171	6001020648	1.4	6001014528	1.37341908
172	6001013980	1.5	6001019737	1.37341908
173	6001005871	1.5	6001012054	1.37341908
174	6001020339	1.5	6001020153	1.37341908
175	6001021109	1.5	6001021056	1.37341908
176	6001011933	1.5	6001021499	1.3749614
177	6001014528	1.5	6001019902	1.3749614
178	6001019737	1.5	6001021512	1.3749614
179	6001012054	1.5	6001010104	1.3749614
180	6001020153	1.5	6001021050	1.38848962
181	6001003354	1.5	6001001165	1.51028919
182	6001021056	1.5	6001021535	1.51028919
183	6001004152	1.6	6001013981	1.51028919
184	6001019749	1.6	6001004152	1.51649505
185	6001006321	1.6	6001019749	1.51649505
186	6001001165	1.65	6001006321	1.51649505
187	6001019414	1.65	6001020648	1.51803737
188	6001021335	1.65	6001019414	1.61151038
189	6001002266	1.65	6001021335	1.61151038
190	6001017659	1.65	6001002266	1.61151038
191	6001019633	1.65	6001017659	1.61151038
192	6001017441	1.65	6001019633	1.61151038
193	6001021535	1.65	6001017441	1.61151038
194	6001020966	1.65	6001020966	1.61151038

195	6001013981	1.65	6001018202	1.61151038
196	6001018202	1.65	6001018478	1.61151038
197	6001018478	1.65	6001018846	1.61151038
198	6001018846	1.65	6001012864	1.61883274
199	6001007940	1.75	6001003354	1.62658092
200	6002012220	1.75	6001007940	1.72005393
201	6001012864	1.75	6001021232	1.74683817
202	6001018979	1.75	6002012220	1.75458634
203	6001021416	1.8	6001018979	1.75458634
204	6001017999	1.9	6001021416	1.84960168
205	6001014407	1.9	6001009351	1.89145645
206	6001009351	1.9	6001021175	1.98492947
207	6001012974	2	6001017999	1.99267764
208	6001002367	2	6001014407	1.99267764
209	6001016850	2	6001012974	2
210	6001005679	2	6001002367	2
211	6001005777	2	6001016850	2
212	6001018329	2	6001005679	2
213	6001020561	2	6001005777	2
214	6001020833	2	6001018329	2
215	6001021100	2	6001020561	2
216	6001021232	2	6001020833	2
217	6001018641	2	6001021100	2
218	6001019272	2.05	6001018641	2
219	6001005945	2.1	6001019272	2.02832655
220	6001021614	2.1	6001011380	2.10854355
221	6001011380	2.1	6001008184	2.12025725
222	6001017200	2.15	6001000683	2.12025725

223	6001021175	2.15	6001017200	2.13687011
224	6001020823	2.25	6001005945	2.14307596
225	6001012502	2.3	6001021614	2.17760837
226	6001005616	2.3	6001012502	2.22302077
227	6001014325	2.3	6001005616	2.22302077
228	6001017844	2.4	6001017844	2.36609673
229	6001004306	2.4	6001004306	2.36609673
230	6001018025	2.5	6001020823	2.38116726
231	6001008184	2.5	6001014325	2.40949382
232	6001000683	2.5	6001005890	2.49367634
233	6001014500	2.8	6001018395	2.60376221
234	6001017505	2.85	6001018025	2.62658092
235	6001018395	2.9	6001014500	2.84960168
236	6001018081	3	6001017505	2.86312989
237	6001001662	3	6001021930	2.88259177
238	6001005890	3	6001018081	3
239	6001021930	3	6001001662	3
240	6001021370	3.05	6001021370	3.09501534
241	6001020237	3.1	6001020237	3.14307596
242	6001011834	3.3	6001011834	3.22302077
243	6001016990	3.5	6001014565	3.34327802
244	6001011420	3.6	6001016990	3.37341908
245	6001014565	3.8	6001011420	3.44604153
246	6001020957	4.25	6001020957	4.05755191
247	6001020006	5	6001020006	5
248	6001018352	5	6001018352	5
249	6001020949	5	6001020949	5
250	6001012846	5	6001012846	5

251	6001020359	5	6001020359	5
------------	------------	---	------------	---

BIBLIOGRAFÍA

- ABBASI, A. S. M. M. Y. E.-D. Z., H. (2015), «Comparison of Trial and Error and Genetic Algorithm in Neural Network Development for Estimating Farinograph Properties of Wheat-flour Dough», *Nutrition and Food Sciences Research*, págs. 29–38.
- ACHILLES LIMITED (2018), «SUPPLIER QUALIFICATION SYSTEM (SQS) - Providing global visibility of Shell suppliers», URL https://www.shell.com/business-customers/shell-for-suppliers/qualify-as-a-supplier-to-shell/_jcr_content/par/textimage_1243601949.stream/1447247715709/57dc82b8dd6ca544a447fccfc5015086a988f1df1bd6446d90194d30cc990587/supplier-qualification-system.pdf.
- AKKUCUK, U. (2015), *Handbook of Research on Waste Management Techniques for Sustainability*, Hershy: IGI Global.
- ALLGURIN, A. (2018), «Exploring Machine Learning for Supplier Selection: A case study at Bufab Sweden AB», .
- ASTHANA, N. y M. GUPTA (2015), «Supplier selection using artificial neural network and genetic algorithm», *Int. J. Indian Culture and Business Management*, 11(4).
- ATWATER, B. (2017), «APICS Dictionary and the Evolution of Supply Chain», URL <http://www.apics.org/sites/apics-blog/>

- think-supply-chain-landing-page/thinking-supply-chain/2017/10/02/apics-dictionary-and-the-evolution-of-supply-chain.
- AUMANN, R. (1977), «The St. Petersburg paradox: A discussion of some recent comments», *Journal of Economic Theory*.
- BERNOULLI, D. (1738), «Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk», *Commentaries of the Imperial Academy of Science of Saint Petersburg*.
- BHATTACHARYA, A., J. GERAGHTY y P. YOUNG (2010), «Supplier Selection Paradigm: An Integrated Hierarchical QFD Methodology Under Multiple-criteria Environment», *Applied Soft Computing*, **10**(4), págs. 1013–1027.
- BHATTACHARYA, A., P. MOHAPATRA, V. KUMAR, P. DEY, M. BRADY, M. TIWARI y S. NUDURUPAT (2014), «Green Supply Chain Performance Measurement using Fuzzy ANP-based Balanced Scorecard: A Collaborative Decision-making Approach», *Production Planning & Control: The Management of Operations*, **25**(8), págs. 698–714.
- BÜKÖZKAN, G., T. ERTAY, C. KAHRAMAN y D. RUAN (2004), «Determining the importance weights for the design requirements in the house of quality using the fuzzy analytic network approach», *International Journal of Intelligent Systems*, págs. 443–461.
- BRITANNICA, E. (2018), «Automotive Industry», URL <https://www.britannica.com/technology/automotive-industry>.
- BUSCEMA, M. G. L. W. N. F. y A.-Z. M., P (2018), *Artificial neural networks*, Springer.
- CAVINATO (1992), «A Total Cost/Value Model for Supply Chain Competitiveness», *Journal of Business Logistics*.
- CHAN, F. y N. KUMAR (2007), «Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach pp. 417-431, 2007», *Omega*, **35**, págs. 417–431.

- CHANG, D. (1992), *Analysis and Synthetic Decision, Optimization Techniques and Applications*, tomo 1, Singapore: World Scientific.
- CHANG, H., K. Y YANG (2011), «A study of cosmetic bundle by utilizing a fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) to determine preference of product attributers toward customer value.», *African Journal of Business Management*, págs. 8728–8739.
- CHARNES, A. y W. COOPER (1961), *Management model and industrial application of linear programming*, New York: Wiley.
- CHEN, C., C. LIN y S. HUANG (2006), «A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management», *Int. J. Prod. Econ*, **102**, págs. 289–301.
- CHOY, K. y W. LEE (2002), «Development of a case based intelligent customer–supplier relationship management system», *Expert Systems with Applications*.
- CHOY, K., W. LEE y V. LO (2004), «An Enterprise Collaborative Management SYSTEM – A Case Study of Supplier Relationship Management», *Journal of Enterprise Information Management*, **17**(3), págs. 191–207.
- CHRISTOPHER, M. (1998), *Logistics & Supply Chain Management: Strategies for Reducing Costs and Improving Services*, London: Pitman Publishing.
- CHRISTOPHER, M. (2016), *Logistics & Supply Chain Management*, quinta edición, FT Press.
- COOK, R. (1997), «Case-based reasoning systems in purchasing: applications and development», *International Journal of Purchasing and Materials Management Winter*, págs. 32–39.
- COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT (2003), «CLM Develops Supply Chain Management Definition», *Logistics Comment*.

- COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (2018), «CSCMP Supply Chain Management Definitions», URL https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921.
- DANZIGER, S., J. LEVAV y L. AVNAIM-PESSOA (2011), «Extraneous factors in judicial decisions», *Proc Natl Acad Sci USA*.
- DE BOER, L., E. LABRO y P. MORLACCHI (2001), «A review of methods supporting supplier selection», *European Journal of Purchasing & Supply Management*, **7**, pág. 78–89.
- DEGRAEVE, L. E. Y. R. F., Z. (2000), «An evaluation of vendor selection models from a total cost of ownership perspective», *Eur J Oper Res*, **125**(1), págs. 34–58.
- DIAZ-BALTEIRO, L., J. GONZÁLEZ-PACHÓN y C. ROMERO (2016), «Measuring Systems Sustainability With Multi-Criteria Methods: A Critical Review», *European Journal of Operational Research*.
- DICKSON, G. (1966), «An analysis of vendor selection system and decisions», *Journal of Purchasing*.
- ELLRAM, L. (1993), «Total cost of ownership: elements and implementation.», *J Supply Chain Manag*, **29**(4), págs. 2–11.
- ERTUGRUL, E. y M. DURSUN (2014), «An integrated supplier selection methodology incorporating QFD and DEA with imprecise data», *Expert Systems with Applications*.
- FAEZ, F., S. GHODSYPOUR y C. O'BRIEN (2009), «Vendor selection and order allocation using an integrated fuzzy case-based reasoning and mathematical programming model», *International Journal of Production Economics*, **121**(2), págs. 398–408.

- GANESHAN, R. y T. HARRISON (1995), «An Introduction to Supply Chain Management», *Department of Management Sciences and Information Systems*.
- GARTNER (2013), «IT Glossary», URL <http://www.gartner.com/it-glossary/supply-chain-management-scm/>.
- GHODSYPOUR, S. y C. O'BRIEN (1998), «A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming», *Int. J. Production Economics*, págs. 56–57.
- GHODYSPOUR, S. y O'BRIEN (2001), «total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint», *International Journal of Production Economics*.
- GHORABAEI, M., E. ZAVADSKAS, M. AMIRI y A. ESMAEILI (2016), «Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets», *Journal of Cleaner Production*.
- GIBSON, B., J. MENTZER y R. COOK (2005), «SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: THE PURSUIT OF A CONSENSUS DEFINITION», *Journal of Business Logistics*.
- GOVINDA, K., S. RAJENDRAN, J. SARKIS. y P. MURUGESAN (2015), «Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review», *Journal of Cleaner Production*.
- GROUP, A. (2006), «Global Supply Chain Benchmark Report», .
- GROUPE MELOCHE INC. (2011), «Supplier performance rating system», URL https://www.melocheinc.com/documents/mesure_performance_en.pdf.
- HARMON-JONES, E. y J. MILLS (1999), *Cognitive Dissonance: Progress on a Pivotal Theory in Social Psychology*, Washington, DC: Am Psychol Assoc.

- HASSANZADEH, S., J. RAZMI y G. ZHANG (2011), «Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming», *Expert Systems with Applications*, **38**(1), págs. 334–342.
- HEATON, J. (2008), *Introduction to Neural Networks for Java*, segunda edición, Heaton Research.
- HINKLE, C., P. ROBINSON y P. GREEN (1969), «Vendor evaluation using cluster analysis», *Journal of Purchasing*, **5**(3), págs. 49–58.
- HO, W., X. XU y P. DEY (2010), «Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review», *European Journal of Operational Research*.
- HURWITZ, J. y D. KIRSCH (2018), *Machine Learning For Dummies*, Hoboken: John Wiley & Sons.
- HWANG, C. y K. YOON (1981), *Multiple attribute decision making: methods and applications*, New York: Springer-Verlag.
- ŠIMUNOVIC, K., G. ŠIMUNOVIC y ŠARIC (2009), «Application of Artificial Neural Networks to Multiple Criteria Inventory Classification», *Strojarstvo*, **51**(4), págs. 313–321.
- JAIN, A. (2010), «Data clustering: 50 years beyond K-means», *Pattern Recognition Letters*, **31**(8), págs. 651–666.
- JAIN, J., G. DANGAYACH, G. AGARWAL y S. BANERJEE (2010), «Supply Chain Management: Literature Review and Some Issues», *Journal of Studies on Manufacturing*.
- JOSHI, D., A. Y KUMAR (2015), «Likert Scale: Explored and Explained.», *Current Journal of Applied Science and Technology*, págs. 396–403.

- JUNG, Y., M. KANG y J. HEO (2014), «Clustering performance comparison using K-means and expectation maximization algorithms», *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, **28**(1), págs. 44–48.
- KAHNEMAN, D. (2011), *Thinking, Fast and Slow*, New York: Farrar, Straus & Giroux.
- KAHNEMAN, D. y A. TVERSKY (2000), *Choices, values, and frames*, New York : Russell sage Foundation ; Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- KAHRAMAN, C., U. CEBECI y D. RUAN (2004), «Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey», *Int. Journal of Production Economics*, **87**, págs. 171–184.
- KANAGARAJ, G., S. PONNAMBALAM y N. JAWAHAR (2014), «Reliability-based total cost of ownership approach for supplier selection using cuckoo-inspired hybrid algorithm», *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **84**, págs. 801–816.
- KANNAN, D., R. KHODAVERDI, L. OLFAT, A. JAFARIAN y A. DIABAT (2013), «Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multiobjective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain», *Journal of Cleaner Production*, **47**, págs. 355–367.
- KEITH, O. y M. WEBBER (1982), «Supply-Chain Management: Logistics Catches Up with Strategy», .
- KILINCCHI, O. y S. ONAL (2011), «Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company», *Expert Systems with Applications*, **38**, págs. 9656–9664.
- KILINCCI, O. y A. ONAL (2011), «Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company», *Expert Systems with Applications*, **38**, pág. 9656–9664.

- KOU G., G., PENG Y. Y WANG (2014), «Evaluation of clustering algorithms for financial risk analysis using MCDM methods», **275**(10), págs. 1–12.
- KOZLENKOVA, I., T. HULT, D. LUND y P. KEKEC (2016), «The Role of Marketing Channels in Supply Chain Management», *Journal of Retailing*.
- KRIESEL, D. (2005), *A Brief Introduction to Neural Networks*.
- KUMAR, A. (2015), «A hybrid group decision support system for supplier selection using analytic hierarchy process, fuzzy set theory and neural network», *Journal of Computational Science*, **6**, págs. 23–33.
- KUMAR, J. y N. ROY (2010), «A hybrid method for vendor selection using neural network», *International Journal of Computer Applications*, **11**(12), págs. 35–40.
- KWONG, C. (2013), «Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with extent analysis approach.», *IEE transactions*, págs. 619–626.
- LEE, C. y C. OU-YANG (2009), «A neural networks approach for forecasting the supplier's bid prices in supplier selection negotiation process», *Expert Systems with Applications*, **36**(2), págs. 2961–2970.
- LI, Q. (2009), «An ANN pruning algorithm based approach to vendor selection», *Kybernetes*, **38**(3/4), págs. 314–320.
- LIKERT, R. (1932), «A technique for the measurement of attitudes», *Archives of Psychology*, **22**(140), págs. 5–55.
- LIO, C. y H. KAO (2010), «Supplier selection model using Taguchi loss function, analytical hierarchy process and multi-choice goal programming», *Computers & Industrial Engineering*, **58**(4), págs. 571–577.
- LIO, J., F. DING y V. LALL (2000), «sing data envelopment analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement», *Supply Chain Management: An International Journal*, **5**(3), págs. 143–150.

- M., N., O. BIN IBRAHIM, N. ITHNIN y N. SARMIN (2015), «A multicriteria collaborative filtering recommender system for the tourism domain using Expectation Maximization (EM) and PCA–ANFIS», *Electronic Commerce Research and Applications*, **14**(6), págs. 542–562.
- MARTÍNEZ, L. (2018), «Elección de un canal de distribución en el extranjero para una PyME de comercio electrónico», .
- MCCULLOCH, W. y W. PITTS (1943), «A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, **5**(4), págs. 115–133.
- MCKINSEY (2009), «How companies make good decisions: McKinsey Global Survey Results», URL <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/how-companies-make-good-decisions-mckinsey-global-survey-results>.
- MENTZER, J., V. DEWITT, K. KEEBLER, S. MIN, N. NIX y C. SMITH (2001), «Defining Supply Chain Management», *Journal of Business Logistics*.
- MOHAMMED, A., I. HARRIS, A. SOROKA, N. MOHAMED y T. RAMJAUN (2018), «Evaluating Green and Resilient Supplier Performance: AHP-Fuzzy Topsis Decision-Making Approach», *Proceedings of the 7th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems (ICORES 2018)*.
- MONCZKA, R., R. HANDFIELD, L. GIUNIPERO y J. PATTERSON (2016), *Purchasing and Supply Chain Management, 6th Edition*.
- MURALIDHARAN, C., N. ANANTHARAMAN y S. DESHMUKH (2001), «Vendor rating in purchasing scenario: A confidence interval approach», *International Journal of Operations & Production Management*, **21**(10), pág. 305–1325.
- NIELSEN, I., N. BANAEIAN, P. GOLINSTKA, H. MOBILI y M. OMIT (2014), *Green Supplier Selection Criteria: From a Literature Review to a Flexible Framework for Determination of Suitable Criteria*.

- NOVACK, R. y S. SIMCO (1991), «The industrial procurement: process: a supply chain perspective», *Journal of Business Logistics*.
- PAL, O., A. GUPTA y R. GARG (2013), «Supplier Selection Criteria and Methods in Supply Chains: A Review», *International Journal of Economics and Management Engineering*.
- PARK, S. y J. LEE (2017), «Supplier selection and stepwise benchmarking: a new hybrid model using DEA and AHP based on cluster analysis», *Journal of the Operational Research Society*.
- PI, W. y C. LOW (2006), «Supplier evaluation and selection via Taguchi loss functions and an AHP», *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **27**(5-6), págs. 625–630.
- PIQUERAS, V. (2017), «¿Qué es y para qué sirve una red neuronal artificial?», URL <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/07/que-es-y-para-que-sirve-una-red-neuronal-artificial/>.
- POHEKAR, S. y M. RAMACHANDRA (2004), «Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- RAMANATHAN, R. (2007), «Supplier selection problem: integrating DEA with the approaches of total cost of ownership and AHP», *Supply Chain Management: An International Journal*, **12**(4), págs. pp.258–261.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (2018), «Definición logístico», URL <http://dle.rae.es/srv/fetch?id=NZJWmIV>.
- ROBINSON, A. (2015), «The Evolution and History of Supply Chain Management», URL <https://cerasis.com/2015/01/23/history-of-supply-chain-management/>.
- ROMERO, C. (2001), «Extended lexicographic goal programming: A unifying approach.», *Omega*, **29**, págs. 63–71.

- SAATY, T. (1980), *The analytic hierarchy process*, New York: McGraw-Hill.
- SAATY, T. (1996), *Decision Making with Dependence and Feedback the Analytic Network Process*, Pittsburgh: RWS.
- SAATY, T. (2008), «Decision making with the analytic hierarchy process», *International Journal of Service Sciences*, **1**(1).
- SANTOS, L. y A. ROSATI (2015), «The Evolutionary Roots of Human Decision Making», *Annual review of psychology*.
- SCOTT, C. y R. WESTBROOK (1991), «New Strategic Tools for Supply Chain Management», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- SEGURA, M. y C. MAROTO (2017), «A multiple criteria supplier segmentation using outranking and value function methods.», *Expert Systems with Applications*, **69**, págs. 87–100.
- SEIFOLLAHI, A. T., S. y P. GOLBAZI (2013), «Artificial Neural Network and Analytical Hierarchy Process Integration: A tool to estimate the success of knowledge management implementation», *Signal Processing, Computing and Control*.
- SHABANPOUR, H., S. YOUSEFI y R. SAEN (2016), «Forecasting efficiency of green suppliers by dynamic data envelopment analysis and artificial neural networks», *Journal of Cleaner Production*, **1**(10).
- STOCK, J. y S. BOYER (2009), «Developing a consensus definition of supply chain management: A qualitative study», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- TAGHIZADEH, H. y M. ERSADI (2013), «Selection in Supply Chain with Combined QFD and ANP Approaches (Case study)», *Research Journal of Recent Sciences*, **2**(6), págs. 66–76.

- TANG, S., N. HAKIM, W. KHAKSAR, M. ARIFFIN, S. SULAIMAN y P. PAH (2013), «A Hybrid Method using Analytic Hierarchical Process and Artificial Neural Network for Supplier Selection», *International Journal of Innovation, Management and Technology*, **4**(1).
- TAYLOR, F. (1911), *The Principles of Scientific Management*, New York and London: Harper & Brothers.
- TEPIĆ, J., I. TANACKOV y G. STOJIC (2011), «Ancient Logistics - Historial timeline and etymology», *Technical Gazette*.
- TOWILL, D., N. NAIM y J. WIKNER (1992), «Industrial Dynamics Simulation Models in the Design of Supply Chains», *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*.
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN, H. C. U. (1995), *Manual de estilo para presentación de tesis de posgrado (UANL)*, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- VAN WEELE, A. (2009), *Purchasing and Supply Chain Management: Analysis, Strategy, Planning and Practice*.
- WANG, J., J. WANG, CHEN, H. ZHANG y X. CHEN (2014), «An outranking approach for multi-criteria decision-making with hesitant fuzzy linguistic term sets», *Information Sciences*, **280**, págs. 338–351.
- WEBER, C. (1996), «A data envelopment analysis approach to measing vendor performance», *Supply Chain Management*, **1**(1), págs. 28–30.
- WEBER, C., J. CURRENT y W. BENTON (1991), «Vendor selection criteria and methods», *European Journal of Operational Research*.
- WEBER, C. y L. ELLRAM (1993), «Supplier Selection Using Multi-objective Programming: A Decision Support System Approach», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **23**(2), págs. 3–14.

-
- YEGNANARAYANA, B. (2004), *Artificial Neural Networks*, Prentice-Hall of India Pvt.Ltd.
- ZADEH, L. (1965), «Fuzzy Sets», *Information and control*, págs. 338–353.
- ZHANG, Z. y K. FRIEDRICH (2003), «Artificial neural network applied to polymer composites: a review», *Computer Science Technology*, págs. 2029–2044.
- ZHAO, K. y X. YU (2011), «A case based reasoning approach on supplier selection in petroleum enterprises», *Expert Systems with Applications*, **38**(6), págs. 6839–6847.
- ZUBAR, A. y P. PARTHIBAN (2014), «Analysis of supplier selection methods through conceptual module and empirical study», *International Journal of Logistics Systems and Management*.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Benedikt Stefan Schuierer

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:

DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA EVALUACIÓN DE
PROVEEDORES EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

El 23 de enero de 1994, Benedikt Stefan Schuierer nace como segundo hijo de Maria Silvia y Michael Wilibald Schuierer en la ciudad de Schwandorf en el noroeste del estado de Baviera en Alemania. Después de haber concluido la preparatoria, ingresó al programa de Estudios Empresariales Europeos de la Universidad de Ciencias Aplicadas Aachen (Alemania) con una estancia académica en Jaén, España. Además, es egresado de la Licenciatura en Gestión de la Cadena de Suministro y Compras de la Escuela de Negocios Rennes (Francia). Cuenta con experiencia en la industria automotriz en las áreas de diseño de la cadena de suministro, planeación de la producción, tecnologías de información y gestión del cambio.