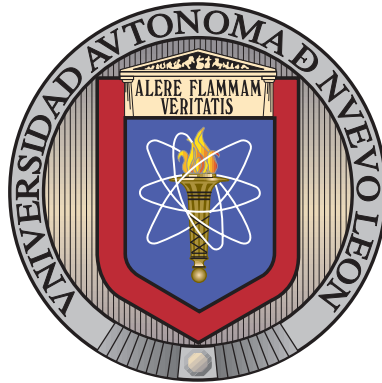


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES
MEDIANTE UNA HERRAMIENTA CUANTITATIVA
PARA UNA EMPRESA QUE ABASTECE EL SECTOR
AUTOMOTRIZ

POR

ING. INAIVIS LÁZARA IBAÑEZ DELGADO

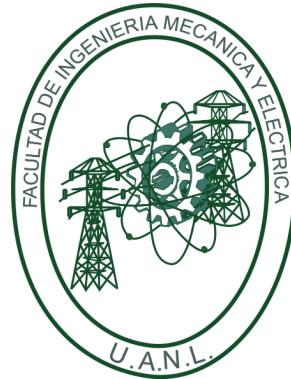
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

ENERO 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES
MEDIANTE UNA HERRAMIENTA CUANTITATIVA
PARA UNA EMPRESA QUE ABASTECE EL SECTOR
AUTOMOTRIZ

POR

ING.INAIVIS LÁZARA IBAÑEZ DELGADO

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

ENERO 2021



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

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Análisis y selección de proveedores mediante un herramienta cuantitativa para una empresa que abastece el sector automotriz », realizada por el alumno Inavis Lázara Ibañez Delgado, con número de matrícula 1988547, sea aceptada para su defensa como requisito para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro .

El Comité de Tesis

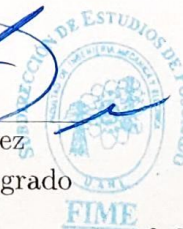
Dr. Tomás Eloy Salais Fierro
Asesor

Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez
Revisor

Dr. Romeo Sánchez Nigenda
Revisor

Vo. Bo.

Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado



102

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, enero 2021



A mi padre, que desde el cielo me protege.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XII
Resumen	XIII
1. Introducción	1
1.1. Justificación de la investigación	4
1.2. Situación problemática	7
1.3. Objetivo General de la Investigación	7
1.4. Hipótesis	8
1.5. Metodología	8
1.6. Estructura de la tesis	9
1.7. Conclusiones del capítulo	9
2. Antecedentes	11
2.1. Selección de proveedores	12
2.2. Importancia de la selección de proveedores en la cadena de suministro	14
2.3. Criterios de selección	15

2.4. Métodos cuantitativos utilizados para la selección de proveedores . . .	19
2.4.1. Métodos matemáticos	20
2.4.2. Métodos de inteligencia artificial	23
2.4.3. Métodos estadísticos	29
2.5. Métodos cuantitativos utilizados para la selección de proveedores en el sector automotriz	30
2.6. Conclusiones del capítulo	33
3. Metodología	35
3.1. Determinación de los indicadores críticos	36
3.2. Selección de los indicadores a evaluar	38
3.3. Evaluación de los proveedores mediante un método integrado	40
3.3.1. Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)	41
3.3.2. Redes Neuronales Artificiales (RNA)	44
3.4. Selección final de un proveedor	50
3.5. Conclusiones del capítulo	50
4. Aplicación de la Metodología	51
4.1. Identificación de indicadores críticos	52
4.1.1. Elaboración del Método Delphi	52
4.2. Selección de los indicadores a evaluar	57

4.3. Evaluación de los proveedores mediante un método cuantitativo integrado	59
4.3.1. Aplicación de AHP	59
4.3.2. Aplicación de las Redes Neuronales Artificiales	65
4.4. Selección final del proveedor	74
4.5. Conclusiones del capítulo	74
5. Conclusiones	76
5.1. Conclusiones generales	76
5.2. Recomendaciones	79
5.3. Contribuciones y trabajo futuro	80
5.3.1. Contribuciones	80
5.3.2. Trabajo futuro	81
A. Apéndices	82
A.1. Tabla de Chi cuadrado	82

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Cadena de Suministro	1
1.2. Situación de las cadenas de suministro actuales.	2
1.3. Actividades de los proveedores dentro de la industria automotriz.	5
1.4. Principales problemas en las cadenas de suministro asociados a la inadecuada selección de proveedores.	6
2.1. Estructura general del árbol jerárquico del AHP	21
2.2. Tipos de aprendizaje de una red neuronal artificial	25
3.1. Metodología propuesta para selección de proveedores	36
3.2. Metodología propuesta para selección de proveedores	42
3.3. Metodología propuesta para selección de proveedores	45
3.4. Funciones de activación más utilizadas	46
3.5. Red Backpropagation completamente interconectada.	48
4.1. Estructura del AHP	60
4.2. Información de entrada para el entrenamiento de la red	71

4.3. Topología de la red neuronal	71
4.4. Resultados del valor de la Regresión	72
4.5. Salida de la red neuronal	73
A.1. Tabla de Distribución Chi cuadrado	82

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Relación entre la gestión de adquisiciones, la gestión de cadena de suministro y la selección de proveedores	14
2.2. Algunos métodos cuantitativos que se utilizan para la selección de proveedores	30
2.3. Relación de algunos problemas derivados de la inadecuada selección de proveedores en el sector automotriz, algunos autores y los métodos utilizados.	31
3.1. Escala de Saaty	43
3.2. Valores máximos de CR	44
4.1. Método Delphi	55
4.2. Continuación del Método Delphi	56
4.3. Criterios o indicadores críticos	57
4.4. Coeficiente de Concordancia de Kendall	58
4.5. Nomenclatura de los criterios	61
4.6. Matriz de comparación pareada	61
4.7. Matriz de comparación pareada para Sistema de Gestión de la Calidad.	62

4.8. Matriz de comparación pareada para Precio de venta.	62
4.9. Matriz de comparación pareada para Tiempo de entrega.	63
4.10. Matriz de comparación pareada para Calidad de los suministros.	63
4.11. Matriz de comparación pareada para Capacidad tecnológica.	64
4.12. Datos de entrada.	67
4.13. Datos de salida.	68
4.14. Funciones de entrenamiento.	70

AGRADECIMIENTOS

A mi padre que ya no lo tengo conmigo físicamente pero se que está iluminándome en cualquier lugar donde esté.

A mi abuela Dulce María Oviedo por tanta dedicación y amor.

A mi madre Irene Delgado Oviedo pues mas allá de que me dio la vida he tenido su apoyo siempre.

A mi tía Ileana Díaz Oviedo por ser mi ejemplo a seguir , por ayudarme en todo lo que he necesitado y darme tanto amor.

A mi tío Fernando Cabrera por ayudarme siempre.

A mi novio Odlan Soler por su apooyo incondicional.

Al Dr. Tomás Eloy Salais Fierro, mi tutor de tesis, por su dedicación y apoyo para lograr la meta. Además a los revisores de esta tesis, la Dra. Jania Saucedo Martínez y el Dr. Romeo Sánchez Nigenda, que aseguraron con sus observaciones el cumplimiento de este trabajo con los estándares de calidad.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León y su Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por permitirme utilizar sus instalaciones para mi desarrollo profesional. Al núcleo académico de la Maestría en Logística y Cadena de Suministro por haber compartido sus conocimientos y guiarme a lo largo de este camino, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por apoyarme económicamente para poder afrontar mis estudios.

RESUMEN

Ing. Inaivis Lázara Ibañez Delgado.

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: ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES MEDIANTE UNA HERRAMIENTA CUANTITATIVA PARA UNA EMPRESA QUE ABASTECE EL SECTOR AUTOMOTRIZ.

Número de páginas: 88.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: La selección de proveedores en la actualidad representa uno de los procesos que más impacto tiene en la cadena de suministro. Por tal motivo, este trabajo tiene como objetivo seleccionar proveedores que cumplan con las necesidades de una empresa dentro de la industria automotriz, mediante una herramienta de toma de decisiones, basada en la utilización del proceso de jerarquía analítica y las redes neuronales artificiales, con la finalidad de mejorar el proceso de aprovisionamiento en la misma.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: El trabajo realizado soluciona un problema que se presenta frecuentemente en las organizaciones: llegar a un consenso en la toma de decisiones. Se diseñó una metodología que se apoya en el desarrollo de una

herramienta cuantitativa basada en el proceso de jerarquía analítica y el uso de las redes neuronales artificiales para la evaluación y selección de proveedores, logrando considerar todas las opiniones de un grupo de expertos dentro de la empresa. Esta herramienta ayudará a mejorar la eficiencia del proceso de aprovisionamiento, permitiendo la selección de los proveedores que mayor valor aportan a la empresa, además de agilización y facilidad del proceso de compras.

Firma del asesor: _____



Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro es un nexo de procesos en los que participan un conjunto de entidades desde los proveedores primarios hasta el cliente final, donde se interrelacionan flujos de materiales, información y efectivo, con el objetivo de satisfacer las demandas de los clientes de manera eficiente, eficaz y competitiva, considerando la adecuada preservación y mejoramiento del medio ambiente (Padillos Báez, 2013). Un esquema representativo de la cadena de suministro tradicional se muestra en la Figura 1.1.

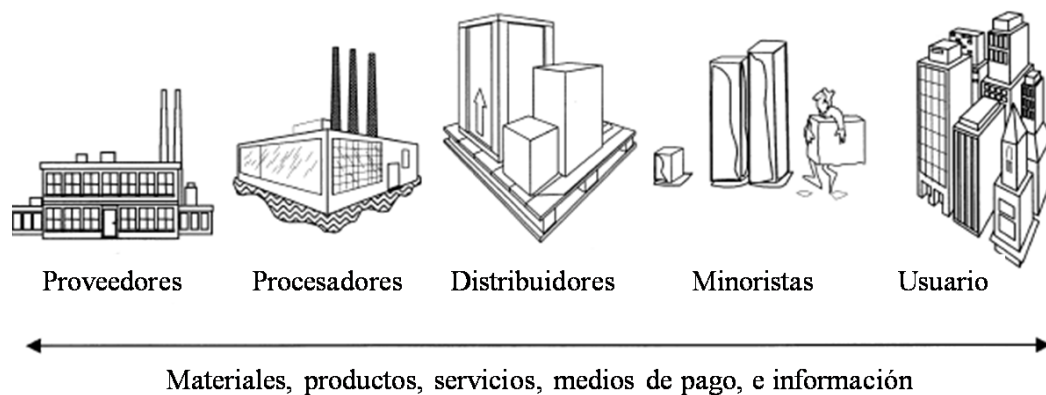


Figura 1.1: Cadena de Suministro

Fuente: (Acevedo Suarez, 2013)

Como se puede apreciar en el esquema y en la definición antes mencionada, hay cinco elementos fundamentales dentro de la cadena de suministro tradicional

que va desde la necesidad del cliente hasta el proveedor primario que nos brindan los productos o las materias primas. Por otra parte también podemos señalar que una cadena de suministro consta de todas las partes involucradas, directa o indirectamente, en el cumplimiento de una solicitud del cliente (Chahare, 2014).

Actualmente la mayoría de las cadenas de suministro actúan con un carácter de manufactura donde cada uno de estos cinco elementos principales funcionan de forma aislada ya que todos gestionan vender al máximo al cliente inmediato en la cadena (Figura 1.2).

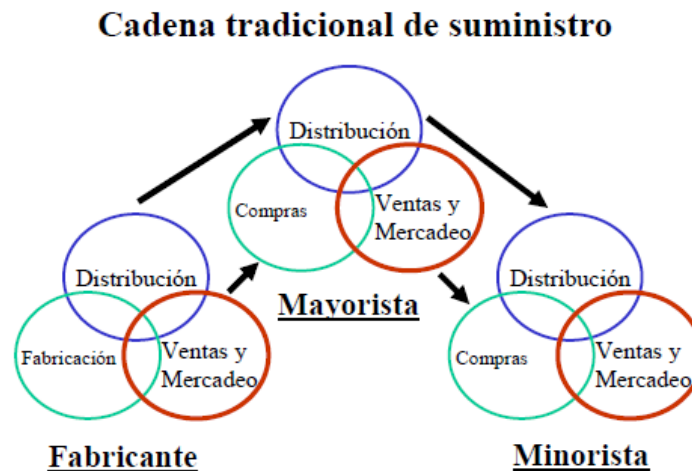


Figura 1.2: Situación de las cadenas de suministro actuales.

Fuente: (Acevedo Suarez, 2013)

Sin embargo, en la actualidad, las empresas de éxito internacional se abastecen en el lugar del mundo que les ofrezca mejores ventajas comparativas, fabrican sus productos en países en los cuales puedan lograr bajos costos de operación y venden en múltiples mercados en busca de maximizar sus ingresos (Mcgraw-hill, 2008).

Para una empresa que desee acceder a las ventajas que le pueda ofrecer el fenómeno de la globalización económica, el desarrollo de estrategias competitivas basadas en la agregación de valor y la reducción simultánea de costos son objetivos ineludibles. La adopción de prácticas de gestión colaborativas, la gestión integrada

de la tríada abastecimiento-fabricación-distribución y la integración efectiva en redes de comercialización internacionales, son exigencias que conllevan, necesariamente, la adopción de enfoques administrativos orientados al estudio e incorporación de actividades y estrategias relacionadas con la gestión logística y la gestión de cadenas de abastecimiento (Pyke y Johnson, 2003). Por tal motivo, tanto los proveedores como los clientes deben verse como socios de las cadenas de las empresas y no como entes aislados.

En la mayoría de las industrias manufactureras de clase mundial, el costo por materias primas y las piezas componentes de sus productos constituye la mayor de las inversiones realizadas, pues en algunas ocasiones llegan a representar hasta el 70 % de costo del mismo. Por ello, el departamento de compras tiene una gran importancia en la reducción de costos totales de producción; una de las funciones que realizan frecuentemente es la selección de proveedores para todos los tipos de productos que ofrezca la empresa (Brien, 2014).

El proveedor es aquella persona física o jurídica, que provee o suministra profesionalmente de un determinado bien o servicio a otros individuos o sociedades, para desarrollar la actividad empresarial (Brien, 2014). El contar con buenos proveedores no sólo significa contar con insumos de calidad y, por tanto, poder ofrecer productos de calidad, sino también la posibilidad de tener bajos costos, o la seguridad de contar siempre con los mismos productos cada vez que se requieran. Según las características y las funciones que realizan existen diferentes clases de proveedores:

- **Proveedores de productos o materias primas:** Proporcionan artículos y/o materias primas que tiene un valor monetario y satisfacen una necesidad tangible del mercado.
- **Proveedores de servicios:** Proporcionan servicios que complementan las actividades de las empresas, ayudan con el control de todo el servicio y la cercanía con el cliente. Permiten mayor oferta y flexibilidad como el transporte y el almacenamiento.

- **Proveedores de recursos:** Satisfacen las necesidades de fuentes de carácter económico de una empresa, como crédito, financiamiento, capital etc.

La fiabilidad, la calidad y el buen desempeño de una empresa dependen en gran parte del desempeño de su base de proveedores. La selección de proveedores debe tener como criterio principal la capacidad del proveedor para mejorar y trabajar bajo políticas de colaboración, sin prescindir de las características valoradas tradicionalmente como la calidad, el servicio, el precio y los planes de pago. Así mismo, en algunos casos, puede resultar bastante difícil, debido a la naturaleza y a la diversidad de los productos y servicios que se adquieren y de las variaciones cualitativas y cuantitativas en el comportamiento de la demanda (Castro *et al.*, 2009).

En la actualidad se considera de vital importancia y de una de las buenas prácticas de gestión empresarial, la necesidad de fortalecer las relaciones Proveedor-Cliente, a partir de verdaderas alianzas estratégicas. Por lo tanto, la selección de proveedores es un proceso crítico en la gestión de la Cadena de Suministro y a la competitividad de las empresas. Sin embargo para establecer relaciones de colaboración a largo plazo es necesario evaluar y seleccionar a los mejores proveedores en función del nivel de desempeño integral que estos ofrezcan en torno a múltiple criterios.

1.1 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Particularmente la Industria de Automotriz en México es una de las más importantes dentro del sector industrial del país. Según datos de INEGI 2019, en el año 2018, esta industria contribuyó con el 3.5% del PIB nacional, más del 20.2% del PIB manufacturero y representó más del 22% de las exportaciones totales. En el sector automotriz, los proveedores juegan un papel fundamental dentro del proceso desde la adquisición de las materias primas y hasta en el diseño y la innovación de los productos, como se muestra en la Figura 1.3.

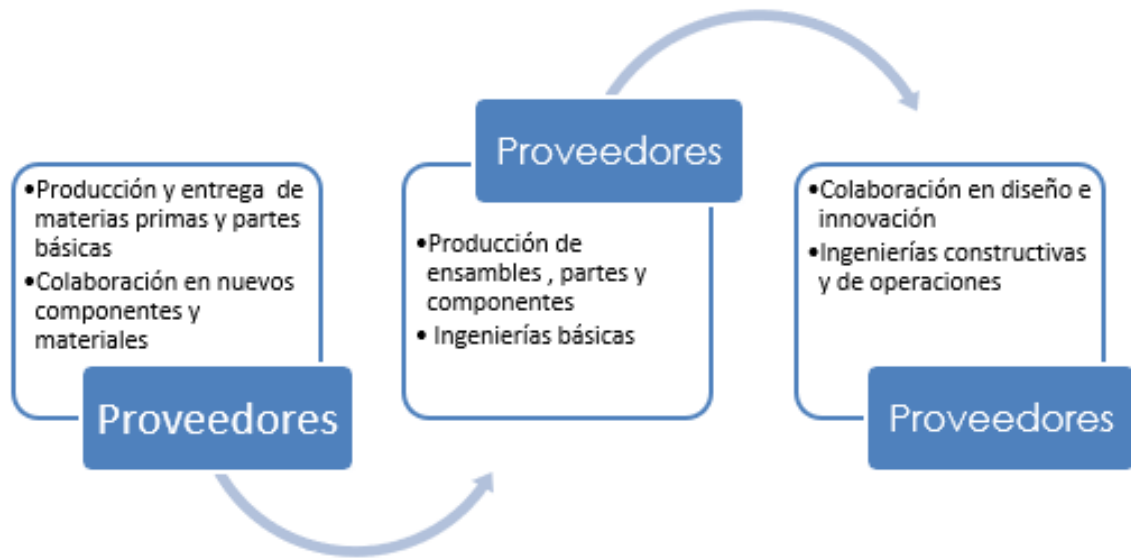


Figura 1.3: Actividades de los proveedores dentro de la industria automotriz.

Debido a los hechos de que la industria automotriz se ha considerado intensiva tanto en capital como en tecnología, todo el negocio es, de hecho, preciso y una complicada tarea. En términos generales, un automóvil está compuesto de 15,000 componentes aproximadamente; por lo tanto, la adquisición se convierte en un tema extremadamente importante para la producción (Wei y Chen, 2008).

Por otra parte, es necesario conocer qué problemas puede enfrentar las cadenas de suministros si el proveedor seleccionado para el abastecimiento no cumple con las especificaciones indicadas por el cliente, principalmente en el sector automotriz. El suministro profesional de materiales y servicios puede ser un facilitador en una situación de competencia agresiva y en un entorno de negocios variable. Como la mayoría de las compañías dependen de los proveedores en gran medida, una mala toma de decisiones puede tener serias consecuencias (Lammi, 2011).

Un proveedor que tenga un inadecuado desempeño puede debilitar la estabilidad financiera y operativa de una empresa a la que le suministra o brinda un servicio. Algunos de los problemas que se presentaron en las cadenas de suministros por no seleccionar al proveedor o socio adecuado principalmente en el sector automotriz son los siguientes (Galankashi *et al.*, 2018) (Melgar González, 2016) (Barreneche, 2015):

- Problemas financieros para la empresa que contrata.
- Deficiencias en el funcionamiento del sistema logístico.
- Deficiencias en el aprovisionamiento de materias primas e insumos para la producción.
- Entrega tardía de los productos o servicios contratados.
- Deficiencias en el funcionamiento del sistema logístico.
- Entrega de productos defectuosos y/o incompletos o servicios inadecuados.
- No seguimiento de las reclamaciones de los clientes.

Según los artículos que se han analizado sobre los problemas frecuentes en el sector automotriz, podemos decir que en un 43% los mismos son asociados a problemas de aprovisionamiento (Figura 1.4), por tanto, nuestro estudio se centrará en dicha problemática.

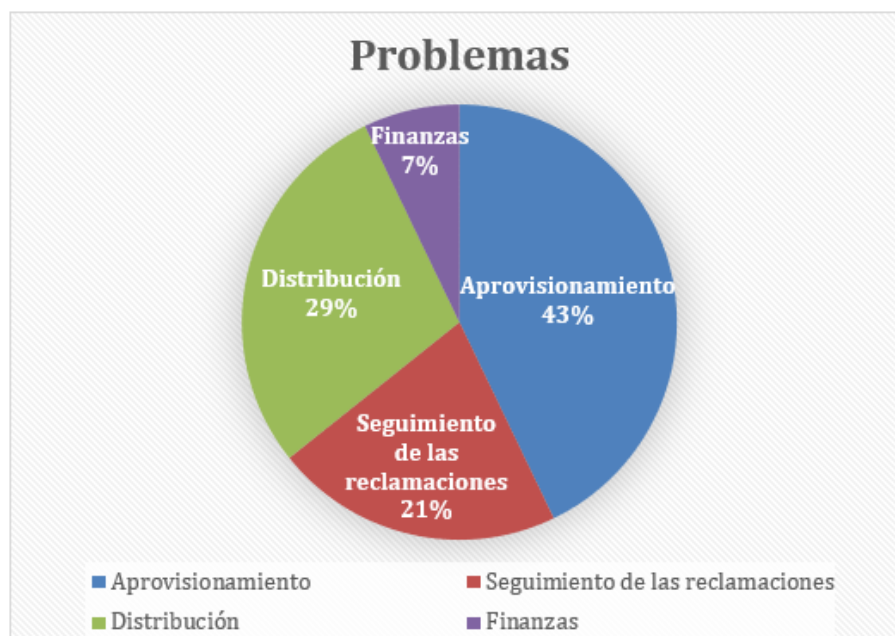


Figura 1.4: Principales problemas en las cadenas de suministro asociados a la inadecuada selección de proveedores.

1.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA

La selección de proveedores es una tarea esencial dentro de la función de compra. El proceso de aprovisionamiento también viene bajo esta función de compra. Incorpora todas las actividades relacionadas con el proceso desde la determinación de la necesidad de garantizar una entrega adecuada (Zubar y Parthiban, 2014). Por otra parte, la gestión de abastecimiento constituye un proceso de suma importancia para la competitividad productiva de las empresas. La logística y la cadena de suministro deben soportar la sostenibilidad y las ventajas competitivas integrales bajo modelos de colaboración en todos los niveles de la organización (Ting y Cho, 2008).

La deficiencia en el aprovisionamiento es un factor que incide negativamente en el proceso productivo haciendo aumentar su variabilidad e incrementando los riesgos de obtener un producto fuera de especificaciones (Pavòn, 2006). Una inadecuada selección de proveedores pudiera influir negativamente en la cadena de aprovisionamiento además trayendo consigo un aumento de los costos, entregas tardías de los productos, entregas incompletas y alargamiento de los ciclos (Zubar y Parthiban, 2014). De igual manera no contar con adecuado un proceso de selección de proveedores y una estrategia de suministro puede incidir determinantemente en las empresas en el aspecto de explotar su poder adquisitivo con proveedores importantes como para reducir sus riesgos a un mínimo aceptable.

1.3 OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

Seleccionar proveedores de una manera objetiva mediante el desarrollo de una metodología de toma de decisiones con la finalidad de mejorar el desempeño del proceso de aprovisionamiento de una empresa del sector automotriz.

1.4 HIPÓTESIS

Con la implementación de una metodología basada en la utilización del Proceso de Jerarquía Analítica y las Redes Neuronales Artificiales se puede realizar una selección adecuada de proveedores que cumpla con las necesidades de la empresa.

1.5 METODOLOGÍA

La propuesta consiste en cuatro etapas.

1. Determinación de los objetivos de la empresa caso de estudio y de los indicadores críticos: En esta etapa se realizará un rastreo de los principales indicadores a evaluar para la selección de proveedores dentro del sector automotriz y que tengan correspondencia con el objetivo principal de la investigación. Para este análisis se utilizará el Método Delphi, que es una herramienta que pretende la estructuración de un proceso de comunicación con expertos, para la identificación y la convergencia de factores de cambio claves para la construcción cualitativa de escenarios probables, posibles y deseables.
2. Determinación de los atributos a evaluar: La segunda etapa en el proceso de selección de proveedores será la identificación de los atributos a evaluar. Para este aspecto de la metodología se utilizará el Coeficiente de Concordancia de Kendall (W). Este coeficiente mide e indica el grado de asociación de las evaluaciones ordinales realizadas por múltiples evaluadores al evaluar en este caso criterios.
3. Evaluación de los proveedores mediante una herramienta o método cuantitativo: Luego de obtener los criterios a evaluar se procede a aplicar un método cuantitativo para la selección del proveedor. En este caso se utilizará un método integrado por el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y Redes Neuronales

Artificiales (RNA).

4. Selección final de un proveedor: Luego de analizar los resultados de la aplicación del método , en esta etapa, el grupo de decisión que ha realizado el proceso de selección, debe elegir a dicho proveedor siempre y cuando en este se observe el apego con los objetivos y planes estratégicos que tiene la empresa.

1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Esta tesis está segmentada en 5 capítulos. El primero es la introducción en el cual se exponen la justificación de la investigación así como el objetivo principal y la hipótesis a demostrar. Seguidamente se analizará los antecedentes de la investigación donde se expondrá entre otras cosas, la importancia de la selección adecuada de proveedores dentro de la cadena de suministro, cuáles son los criterios de selección de proveedores más frecuentes y que métodos cuantitativos se han utilizado para determinar a los proveedores adecuados. El tercer capítulo corresponde a la metodología en el cual se expondrá cada paso de la metodología propuesta, para que en el siguiente capítulo 4 exponer los resultados de la implementación de dicha metodología en el caso de estudio. Por último en el capítulo 5 se analizarán los resultados y las conclusiones del trabajo.

1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

- Este trabajo está orientado a determinar una metodología que permita seleccionar adecuadamente a los proveedores y de esta manera mejorar el desempeño de la cadena de aprovisionamiento dentro del sector automotriz. Se ha seleccionado este sector para la investigación ya que la industria automotriz representa un importante eslabón en la economía mexicana.

-
- Por otra parte en el proceso de aprovisionamiento se concentra, según la revisión de la literatura consultada, un 43% de los problemas asociados a una inadecuada selección de proveedores dentro de las cadenas de suministro. De ahí la importancia de enfocarse en dicha problemática ya que un mal funcionamiento del proceso de aprovisionamiento puede afectar negativamente en la cadena de suministro y por consiguiente en los sistemas logísticos de las empresas que intervienen en esta.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

En este capítulo se expondrá una recopilación de los principales antecedentes relacionados con procesos de selección de proveedores y los diferentes aspectos dentro de los mismos.

Dentro de este marco de la gestión de proveedores, se encuentra en la literatura especializada un número importante de contribuciones que, básicamente, se orientan al desarrollo de tres temas fundamentales: (1) la gestión de proveedores como parte de la gestión de cadenas de abastecimiento, (2) la selección de proveedores como decisión estratégica y pilar fundamental del enfoque competitivo empresarial y (3) las técnicas y métodos de apoyo a la decisión de seleccionar proveedores (Castro *et al.*, 2009).

La gestión de un sistema eficiente de proveedores como eslabón de la cadena de abastecimiento se considera como una de las herramientas a nivel logístico de mayor impacto y complejidad en las operaciones de abastecimiento en las empresas. La gestión de proveedores es un elemento vital en la administración moderna de las organizaciones, sobre todo si se considera que la calidad de las entradas condicionan la calidad de las salidas, lo que constituye en un potencial a la hora de mejorar el sistema de adquisiciones asociadas a cadenas de abastecimiento eficientes (Gil, 2018). Por tal motivo es imprescindible que las empresas cuenten con un proceso de selección

de proveedores que analice diferentes aspectos que den como resultado la selección del mejor socio.

2.1 SELECCIÓN DE PROVEEDORES

Durante décadas, investigadores y profesionales han prestado mucha atención a la selección de proveedores y a los métodos para poder seleccionarlos adecuadamente. La selección de proveedores es un problema multicriterio, en la cual incluye factores cuantitativos y cualitativos. Para seleccionar al mejor proveedor es necesario hacer una compensación entre estos factores tangibles e intangibles en los cuales puede haber conflicto. No es fácil tomar la decisión sobre cuál es el mejor proveedor y por ello se han desarrollado metodologías que ayuden en este proceso.

En el caso de Vírseda (2011), nos plantea un proceso de selección de proveedores que comprende de 4 pasos fundamentales : Evaluar las necesidades y definir los objetivos; Reunir un grupo de proveedores; Entrevista con los proveedores; Seleccionar y aplicar un método.

En el primer paso que es evaluar las necesidades de la compañía y los requisitos correspondientes para contactar con los proveedores adecuados, el autor plantea que se debe crear una lista con los criterios de selección que se tienen en cuenta para evaluar a los proveedores. El segundo paso de reunir a un grupo de proveedores, debe realizarse a través de una “solicitud de información” (RFI) para conocer más sobre estas compañías. Una vez recibidas todas las propuestas de los proveedores, la empresa hace una evaluación técnica y comercial. Luego, el autor propone seleccionar un método para evaluar a los proveedores en igualdad de condiciones. Finalmente, un proveedor es seleccionado y las condiciones de entrega y de servicio son negociadas (Vírseda, 2011).

Por otra parte Lammi (2011) destaca que el proceso de selección de proveedores puede comprender varias etapas como las siguientes:

- Reconocer la necesidad de la selección de proveedor.
- Identificar los requerimientos clave depende los objetivos del negocio.
- Determinar las fuentes de suministro de abastecimiento.
- Limitar proveedores en grupo de selección .
- Determinar el método de evaluación y selección del proveedor.
- Seleccionar proveedor y reaccionar acuerdo.

Podemos mencionar además el proceso de selección de proveedores que define De Boer(2001) donde propone 4 etapas, las cuales son a)Definición del problema b)Determinación de los atributos a evaluar c)Evaluación de los proveedores mediante una técnica y, d) Selección final del proveedor.

En cuanto a la definición del problema el autor plantea que es necesario entender el problema en si a través de ciertas preguntas como :¿Cuál es el ciclo de vida del producto o componente? ¿Por qué existe la necesidad de seleccionar un nuevo proveedor? ¿Cuáles han sido los problemas que se han tenido con los proveedores anteriores? Para determinar los atributos a evaluar el autor refiere que pueden clasificar en atributos cuantitativos (que se pueden medir por medio de una escala previamente establecida), o atributos cualitativos (no pueden ser expresados por una unidad o escala de medición y es por ello que se requiere de evaluación y experiencia de personas que conozcan el problema). Estos atributos o criterios se deben seleccionar según las necesidades que tenga la empresa. Una vez definidos los criterios, el siguiente paso consiste en escoger a los proveedores mediante la aplicación de una determinado método que debe ser consecuente con el análisis del contexto, las realidades de la cadena de aprovisionamiento y los criterios seleccionados.

2.2 IMPORTANCIA DE LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Para entender la importancia de la selección de proveedores dentro de la cadena de suministro es necesario ver la relación que existen entre ellas y la gestión de adquisiciones.

La Gestión de Adquisiciones o Procurement Management (término en idioma inglés) trata sobre las relaciones entre organizaciones y otras empresas que ofrecen materiales, bienes, servicios, conocimientos y capacidades. Es responsable de la adquisición de materias primas, repuestos, servicios de mantenimiento. Significa todas las actividades requeridas para obtener el producto del proveedor y llevarlo al lugar donde realmente se utiliza (Duica *et al.*, 2018). Para comprender mejor la conexión entre la gestión de adquisiciones, la gestión de la Cadena de Suministro y la selección de proveedores se presenta la Tabla 2.1.

Gestión de adquisiciones				
Investigación de mercado (Sourcing)	Gestión de la cadena de Suministros			
Actividades pre-contratos	Compras Selección de proveedores Negociaciones	Procesamiento de órdenes Almacenamiento Transporte	Comprobar facturas y pagos	Actividades post-contratos

Tabla 2.1: Relación entre la gestión de adquisiciones, la gestión de cadena de suministro y la selección de proveedores

Como podemos observar, la selección de proveedores es una actividad importante dentro de la función comercial a lo largo de la cadena de suministro, de la cual depende el éxito del proceso de adquisición. Estas relaciones creadas con los proveedores debe mantenerse y debe basarse en la confianza, el compromiso y la realización

de buenas práctica, conocimiento, experiencia , capacidades y habilidades. Además una adecuada selección de proveedores también le permite a la cadena de suministro poder adaptarse a los constantes cambios del mercado ya que la flexibilidad en los socios debe ser otros de los criterios a considerar.

2.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN

La selección de proveedores constituye una decisión estratégica con alto impacto en el desempeño de la organización, en este sentido, se considera necesario seleccionar el proveedor adecuado, a favor del desarrollo estratégico, dado el compromiso en las relaciones de cooperación y la integración de los procesos de negocios (Castorena, 2017). El secreto es identificar quiénes son y averiguar cómo participar con ellos de una manera que permita que esto suceda. No todos los proveedores son iguales; a pesar de las aspiraciones que muchos tienen para tener una relación más cercana con sus clientes, solo un número pequeño realmente lo justifica en términos del valor potencial que una relación puede aportar. Los recursos se dirigen solo al trabajo con aquellos proveedores con los que podemos obtener un valor significativo y valioso(Brien, 2014).

Existen múltiples criterios para poder seleccionar los proveedores adecuados para el proceso logístico de las empresas. Los mismos van desde presentar precios atractivos de los productos, materias primas o servicios que proveen, hasta brindar una respuesta rápida ante algún inconveniente.

En un ambiente de decisión complejo como el que rodea la gestión de una cadena de abastecimiento, las decisiones basadas sólo en los costos y el precio propuesto por el proveedor resultan un tanto peligrosas si no se sustentan en un análisis integral del contexto económico, en las restricciones existentes y en las prácticas comerciales dominantes. Por tal motivo la complejidad de un proceso de abastecimiento debe tomar en consideración un conjunto de variables relacionadas con el

transporte, las fluctuaciones del mercado, los costos, las exigencias de calidad, los procesos de negociación y los procedimientos de inspección (Castro *et al.*, 2009).

Un punto importante que se debe señalar es que frecuentemente algunos criterios se encuentran en conflicto entre ellos, ya que el aumento de una característica puede significar la disminución de otra. Por lo tanto las técnicas usadas para evaluar a los proveedores generalmente son técnicas enfocadas a encontrar un nivel de satisfacción y no con un nivel de optimización ya que lo que se persigue es cumplir varios objetivos de manera simultánea (Gil, 2018)

Cada uno de estos aspectos se debe seleccionar según las necesidades del negocio, es decir son inherentes a cada producto suministrado y son de gran importancia dentro del modelo de selección, pero existen algunos elementos claves que se mostrarán a continuación (Castro *et al.*, 2009):

- **Sistema de gestión de calidad:** El proveedor deberá demostrar su habilidad para establecer, documentar e implementar un sistema de gestión de calidad efectivo.
- **Capacidad administrativa:** Lo necesario es que los proveedores cuenten con madurez administrativa que les permita entablar una relación de cooperación y de sociedad basada en el mantenimiento de niveles óptimos de calidad, costos y servicios.
- **Desempeño comercial:** La organización requiere un proveedor que sea rentable para la compañía, en términos de descuentos y plazos de pago. Esta flexibilidad propia de cada proveedor demuestra su estabilidad comercial y brinda un respaldo de confianza en términos económicos.
- **Estabilidad financiera:** Se debe requerir que los proveedores tengan una posición financiera estable y sólida, lo cual es un buen indicador en el momento de hacer negociaciones a largo plazo; también ayuda para que los estándares de desempeño puedan ser mantenidos y que los productos continúen disponibles.

- **Tratamiento de quejas y reclamaciones:** El proveedor debe desarrollar estrategias efectivas para resolver quejas e inquietudes, investigar sus causas y, por ende, mejorar el servicio prestado a la empresa de manera continua.
- **Posicionamiento geográfico, centros de distribución y soporte técnico:** La organización debe contar con proveedores eficientes, independientemente de su procedencia, pero teniendo en cuenta que el posicionamiento geográfico puede influir en los tiempos de entrega, costo en fletes-seguros y documentación legal.
- **Procesamiento de la información en el manejo de pedidos en línea:** Todos los proveedores deben contar con un sistema de manejo de la información confiable que permita observar el estado de cumplimiento de los pedidos de compra, remisiones y sistema de inventario. Se busca seleccionar proveedores que se encuentren fuertemente relacionados con la investigación y el desarrollo de sus productos y servicios.
- **Capacidad instalada de producción:** El estudio de la capacidad es fundamental para la gestión empresarial, ya que permite analizar el grado de uso de cada uno de los recursos en la organización y así tener oportunidad de optimizarlos.
- **Especificaciones técnicas del producto:** El proveedor deberá asegurar que el producto proporcionado cumpla con todas las especificaciones de materiales incluidas en el plano del producto u orden de compra. Se requieren certificaciones de materiales que contengan los resultados medidos durante la producción.
- **Precio de venta:** Se busca que los proveedores tengan un comportamiento estable en relación con la fluctuación del precio de los productos ofrecidos. Así mismo, que los precios manejados por el proveedor sean competitivos según el mercado.
- **Desempeño logístico:** Todo proveedor deberá asegurar que las actividades de desarrollo logístico se planean y se llevan a cabo durante las etapas del

ciclo de vida del producto, de este modo garantizará la satisfacción de las especificaciones de la compañía respecto al cumplimiento de los pedidos y los tiempos de entrega.

- **Cumplimiento de órdenes de compra:** Los proveedores deberán garantizar el cumplimiento de las órdenes de compra en relación con las especificaciones técnicas y con la cantidad solicitada.
- **Tiempos de entrega:** Los proveedores potenciales deberán verificar si su capacidad logística les permite cumplir las exigencias de la compañía referentes al producto suministrado. Servicio al cliente. Se tendrá presente el soporte comercial, técnico y logístico que el proveedor pueda suministrar .

Las características de las materias primas juegan un papel esencial en el cumplimiento de las las necesidades de los interesados . Por lo que, evaluar a los proveedores de las materias primas y seleccionar a los mejores sería de gran importancia. Mola-mohamadi *et al.* (2013) realiza la siguiente clasificación en grupo de criterios para la selección de proveedores.

- **Criterios comerciales:** Calidad de los productos y servicios, tiempo de entrega, compromiso con mejora continua, intercambio de información, desarrollo de productos, flexibilidad para cambiar volumen de productos, lanzamiento de nuevos productos, utilizando nuevas tecnologías, garantía y seguro, y localización geográfica. Criterios económicos: precio inicial, estabilidad financiera, y solidez crediticia.
- **Criterios sociales:** Discriminación en el empleo (edad, religión, género y otros factores similares), trabajo infantil, arreglos de trabajo flexibles, ambiente de trabajo satisfactorio, salud y seguridad del personal y clientes, cliente, privacidad y bienes culturales.
- **Criterios ambientales:** Sistemas de gestión para prevenir y control de la

contaminación (como emisiones, efluentes, y residuos), consumo de recursos (energía, agua, minerales), reciclaje y derechos de los animales.

Por otra parte la selección de proveedores debe tener como criterio principal la capacidad del proveedor para mejorar y trabajar bajo políticas de colaboración , sin prescindir de las características valoradas tradicionalmente anteriormente . Así mismo, implica una decisión que, en algunos casos, puede resultar bastante difícil, debido a la naturaleza y a la diversidad de los productos y servicios que se adquieren.

2.4 MÉTODOS CUANTITATIVOS UTILIZADOS PARA LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES

Una vez identificados los criterios, el siguiente paso consiste en escoger a los proveedores mediante la aplicación de un determinado método. El método de selección debe ser consecuente con el análisis del contexto, las realidades de la cadena de abastecimiento y los criterios seleccionados. Según el método seleccionado se puede incrementar la eficiencia de la decisión de compra a partir de habilitar un procesamiento mas rápido y automatizado de los datos , eliminar criterios y alternativas redundantes en los procesos de decisión y también facilitar la comunicación más eficiente logrado justificar los resultados de los procesos de decisión(Gil, 2018).

Es recurrente entonces conocer algunas de las herramientas o métodos que han sido utilizados en este aspecto. Las técnicas utilizadas para la selección de proveedores en general se pueden clasificar o agrupar en Métodos Matemáticos, método estadísticos, métodos de inteligencia artificial y métodos integrados que es la combinación de 2 o más métodos de las clasificaciones anteriores.

2.4.1 MÉTODOS MATEMÁTICOS

Dentro de los métodos matemáticos, el Proceso de jerarquía analítica o el AHP (Analytic Hierarchy Process por sus siglas en ingles) es uno de los métodos más ampliamente discutidos en la selección de proveedores, a menudo también en combinación con otras técnicas bien conocidas, como la Teoría de conjuntos difusos (FST). El AHP ayuda a priorizar alternativas bajo múltiples criterios y permite al tomador de decisiones solucionar problemas complejos considerando varios criterios, facilitando una escala para la comparación por pares (Saaty, 2008). También se puede definir como método de toma de decisiones para priorizar alternativas cuando se deben utilizar múltiples criterios (Duica *et al.*, 2018) y las organiza en matrices de comparación pareada. La mayor ventaja de este análisis jerarquizado recae en su habilidad de estructurar un problema complejo y multiproblemas (Gil, 2018).

El fundamento de la metodología AHP es el árbol jerárquico, el cual consiste en tres o cuatro niveles según sea el caso. Como se puede observar en la Figura 2.1 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 nivel. Por último, se mencionan las alternativas de solución a elegir.

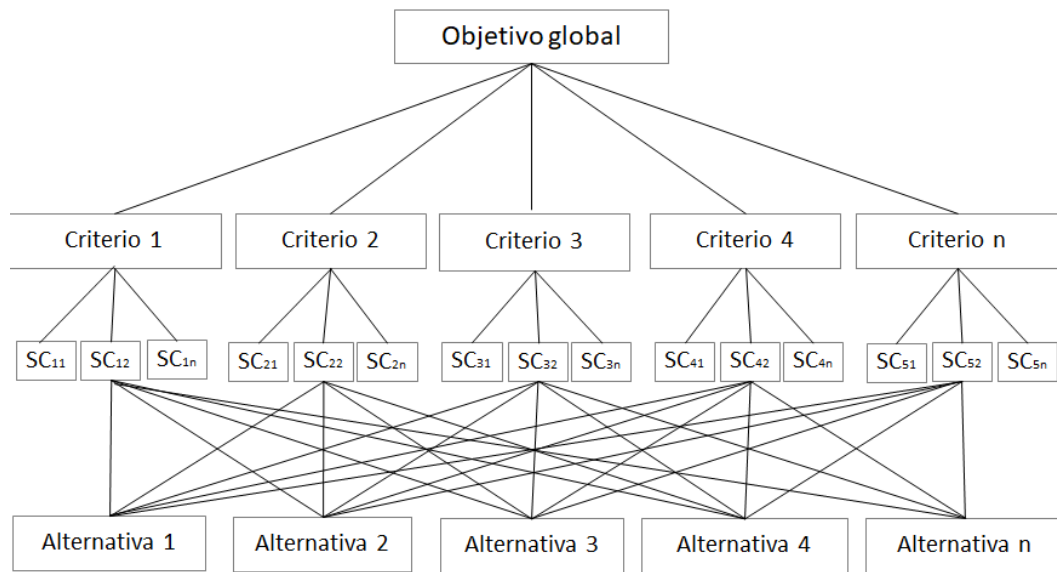


Figura 2.1: Estructura general del árbol jerárquico del AHP

Consecuentemente este método ha sido aplicado como por ejemplo por Ting y Cho (2008), quienes ilustraron el uso del AHP como un modelo de toma de decisiones que ayuda a gerentes a seleccionar la mejor alternativa de transporte. Por otra parte Herrera Umaña y Osorio Gómez (2009), propusieron un sistema para la selección de proveedores utilizando una solución híbrida o integrada de AHP con el concepto de lógica difusa para seleccionar proveedores de materias primas y asignarle cantidades o pedido a suministrar.

La Programación lineal también ha sido utilizado en este campo. Es una metodología ampliamente utilizada con base en modelos matemáticos y en ocasiones complejos sistemas de ecuaciones. Se creó para dar un sentido práctico y de optimización de recursos en la búsqueda de obtener una mejor y más concreta solución, tal como sucede en la asignación y distribución de recursos cuando estos son limitados. En otras palabras, la programación lineal es un método de optimización en el sentido de llegar invariablemente a lo más adecuado. Pretende resolver problemas y determinar la mejor combinación de actividades para optimizar recursos y que se emplee sólo lo necesario, esta técnica está diseñada para apoyar a directivos en la planificación y toma de decisiones (Hernandez-Ramirez *et al.*, 2017). Talluri (2005)

explora la aplicación de estos modelos en la práctica, demostrando los beneficios de programación matemática de múltiples criterios en una empresa enfocada en la manufactura. Por otra parte Nazari-Shirkouhi *et al.* (2013) propone una solución híbrida, combinando la programación y la teoría de conjunto difusos, cuyo éxito se comprobó en un caso de estudio en la industria automotriz.

El Análisis envolvente de datos (Data Envelopment) es otro de los métodos matemáticos utilizados para la selección de proveedores, es una técnica de programación lineal matemática que calcula la eficiencia relativa de múltiples unidades de toma de decisiones, basándose en múltiples entradas y múltiples salidas, sin necesidad de conocer ninguna relación funcional entre las mismas. DEA se basa en el concepto de eficiencia de una alternativa de decisión. Las alternativas se evalúan en términos de la relación coste- beneficio (Gil, 2018). Garfamy (2006) utiliza esta técnica basándose en el costo total de propiedad para la selección de proveedores.

La simulación también es otro de los métodos matemáticos utilizados para la selección de proveedores, lo que en menor medida. La simulación es una herramienta mediante la cual tanto nuevos procesos como los ya existentes pueden proyectarse, evaluarse y contemplarse sin correr el riesgo, asociado a experiencias llevadas a cabo en un sistema real. En otras palabras, permite a las organizaciones estudiar sus procesos desde una perspectiva sistemática procurando una mejor comprensión de la causa y efecto entre ellos además de permitir una mejor predicción de ciertas situaciones (Fullana Belda y Urquia Grande, 2009). Los modelos de simulación se pueden clasificar en Estáticos, Dinámicos, Determinísticos, Estocásticos, Discretos, Continuos, Físicos, Analógicos o Simbólicos (Salmasnia *et al.*, 2018). Para los profesionales de la optimización de la cadena de suministro, un obstáculo importante es la incertidumbre y la dinámica que ocurren a lo largo de cadena de suministro, por lo tanto, la simulación por computadora, debido a su capacidad para manejar la variabilidad, es una herramienta muy popular para estos sistemas. En el caso de Ding *et al.*(2005) utilizaron la simulación para predecir el efecto que tendría en la empresa caso de estudio la selección de determinados proveedores, desde un punto

de vista económico, de esta manera la empresa puede tomar decisiones de compra en base a esos resultados económicos .

Por último, se pueden mencionar también 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. Varios autores han trabajado en el continuo desarrollo de este modelo, proporcionando una serie de métodos híbridos (Pandey *et al.*, 2017). Múltiples trabajos han mostrado que la aplicación de este modelo le otorga a la persona responsable, la flexibilidad de fijar objetivos y obtener soluciones muy cercanas a estos. (Rashid *et al.*, 2019).

2.4.2 MÉTODOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial (IA) es una de las ramas de las ciencias de la computación que más interés ha despertado en la actualidad, debido a su enorme campo de aplicación. La búsqueda de mecanismos que nos ayuden a comprender la inteligencia y realizar modelos y simulaciones de estos, es algo que ha motivado a muchos científicos a elegir esta área de investigación.

Dentro de los métodos de IA utilizados en la literatura para la selección de proveedores se encuentran las Redes Neuronales Artificiales. Estas no son más que un modelo artificial y simplificado del cerebro humano, que es el ejemplo más perfecto del que disponemos para un sistema que es capaz de adquirir conocimiento a través de la experiencia. Una red neuronal es un nuevo sistema para el tratamiento de la información, cuya unidad básica de procesamiento está inspirada en la célula fundamental del sistema nervioso humano: la neurona (De La Hoz y Polo, 2017).

En la literatura se presentan dos clasificaciones de los distintos tipos de redes neuronales en función de sus características más notables:

Clasificación según su topología o estructura de la red, de la siguiente forma:

- **Red monocapa:** Es la red neuronal más simple, está compuesta por una capa de neuronas que proyectan las entradas a una capa de neuronas de salida donde se realizan los diferentes cálculos. Ejemplos de redes de este tipo son la red HOPFIELD y la red BRAIN-STATE-IN-A-BOX.
- **Red multicapa:** La red neuronal multicapa es una generalización de la red neuronal monocapa, la diferencia reside en que esta dispone de un conjunto de capas intermedias (capas ocultas) entre la capa de entrada y la de salida. Dado que este tipo de redes disponen de varias capas, las conexiones entre neuronas pueden ser del tipo feedforward (conexión hacia adelante) o del tipo feedback (conexión hacia atrás).
- **Red convolucional:** La principal diferencia de la red neuronal convolucional con el perceptrón multicapa viene en que cada neurona no se une con todas y cada una de las capas siguientes, sino que solo con un subgrupo de ellas.
- **Red neuronal recurrente:** Las redes neuronales recurrentes no tienen una estructura de capas, sino que permiten conexiones arbitrarias entre las neuronas, incluso pudiendo crear ciclos, con esto se consigue crear la temporalidad, permitiendo que la red tenga memoria.
- **Redes de base radial:** Calculan la salida de la función en relación a la distancia a un punto denominado centro. La salida es una combinación lineal de las funciones de activación radiales utilizadas por las neuronas individuales.

Según el su algoritmo de aprendizaje o como la red aprende los patrones, se clasifican en Aprendizaje Supervisado y No supervisado (Figura 2.1):

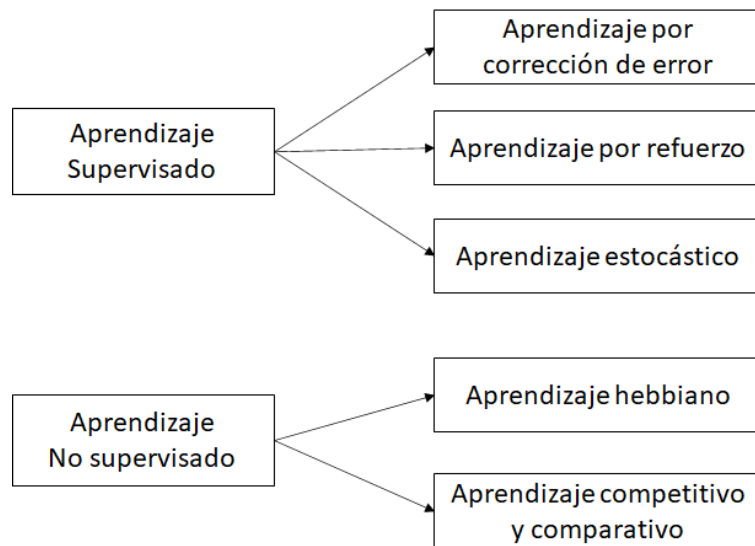


Figura 2.2: Tipos de aprendizaje de una red neuronal artificial

Aprendizaje supervisado. En este tipo de aprendizaje se realiza un entrenamiento de la red neuronal que estará supervisado y controlado por el diseñador de esta, para determinar que la respuesta de la red sea una específica dependiendo de la entrada. En caso de que la respuesta entregada sea diferente a la indicada, se modifican los pesos de las conexiones para aproximar la respuesta a la salida debida.

A su vez el aprendizaje supervisado se puede subdividir en:

- **Aprendizaje por corrección de error:** Durante el entrenamiento, se presenta a la red neuronal artificial, las entradas y salidas deseadas. La finalidad de este aprendizaje por corrección de error es que haya una diferencia mínima entre la salida obtenida y la deseada. Ejemplos de algoritmos son Perceptrón, Delta o Mínimo error cuadrado (LMS Error: Least Mean Squared) y Backpropagation o Programación hacia atrás (LMS multicapa).
- **Aprendizaje por refuerzo:** Se considera un aprendizaje más lento que el aprendizaje por corrección de errores, en este caso no se dispone de un conjunto completo de los datos exactos de salida sino que se le indica solamente si el

dato es aceptable o no, con esto el algoritmo ajusta los pesos basándose en un mecanismo de probabilidades.

- **Aprendizaje Estocástico:** Realiza cambios aleatorios sobre los pesos calculando la predicción, va mejorando o empeorando con cada uno de los cambios, quedándose evidentemente con los cambios que mejoren los resultados.

Aprendizaje no-supervisado: Este tipo de aprendizaje no requiere de una supervisión y no hay un proceso de comparación de salidas externas. La red neuronal descubre con los datos de entrada las características, regularidades, correlaciones y categorías, y lo hace de una forma autónoma, o sea no se requiere influencia externa para ajustar los pesos. En este aprendizaje no se requieren de unas salidas deseadas y debidas. Por lo tanto, no se realizan comparaciones entre las salidas reales y las salidas. El algoritmo de entrenamiento modifica los pesos de la red, de tal manera que se produzcan vectores de salida consistentes.

A su vez el aprendizaje no supervisado se puede subdividir en:

- **Aprendizaje hebbiano:** Permite medir la familiaridad o extraer las características de los datos de entrada.
- **Aprendizaje competitivo y comparativo:** Permite realizar clasificaciones de los datos de entrada. Consiste en ir añadiendo elementos a una clase, si este nuevo elemento se determina que es de esta clase, se matiza los pesos, en caso contrario se puede crear una nueva clase con el elemento asociando a una serie de pesos propios.

Las neuronas se encuentran compuestas entonces por varias capas, de manera que las neuronas de una capa están conectadas con las neuronas de la capa siguiente, a las que pueden enviar información. Cada neurona de la red es una unidad de procesamiento de información, que recibe información a través de las conexiones con las neuronas de la capa anterior (Requena *et al.*, 2017) .

- **Capa de Entrada:** Es quien recibe información del exterior.
- **Capas ocultas:** La cuáles están encargadas de realizar el trabajo de la red.
- **Capa de Salida:** Proporciona el resultado del trabajo de la red al exterior y envía información hacia otras neuronas.

Para entrenar la red es necesario determinar el tipo de red a utilizar, los datos de entrada así como los datos de salidas (en el caso de una red supervisada), la función de entrenamiento, la función de rendimiento, la función de propagación, el número de capas así como el número de neuronas en cada capa.

Varios autores han empleado las redes neuronales artificiales con el objetivo de seleccionar proveedores. En el área de aprovisionamiento, Asthana y Gupta (2015) desarrollaron una solución basada en redes neuronales artificiales para pronosticar los precios que ofrecerán los proveedores durante las negociaciones y de esta manera seleccionar el proveedor más adecuado, combinando este método con un algoritmo genético. Ghorbani *et al.* (2012) proponen una solución híbrida de DEA, FST y redes neuronales artificiales para pronosticar el desempeño futuro de proveedores verdes.

Otro método que se ha utilizado en la literatura para la selección de proveedores es el Proceso de red analítica o ANP (Analytic Network Process por sus siglas en inglés) que es una generalización del AHP y puede usarse para tratar problemas de decisión más sofisticados que el AHP. El ANP proporciona un marco general para manejar decisiones, sin tomar supuestos sobre la independencia de los elementos de nivel superior de los elementos de nivel inferior y sobre la independencia de elementos dentro de un nivel. Por lo tanto, ANP está representado por una red sin la necesidad de especificar niveles como en una jerarquía (Duica *et al.*, 2018). Los autores (Du y Sun, 2020) desarrollan un modelo integral para la selección de medios utilizando el ANP, incorporan específicamente publicidad en medios web / Internet en su lista de alternativas de medios, utilizando muchos de los mismos atributos de medios estándar que se han empleado típicamente para comparar medios más tradicionales.

El resultado es un modelo que puede ser utilizado por planificadores de medios expertos y / o novatos con la misma eficacia.

En la literatura podemos encontrar además un método llamado Lógica Difusa o Teoría de Conjunto Difusos (FUZZY), que permite representar el conocimiento común, que es mayoritariamente del tipo lingüístico cualitativo y no necesariamente cuantitativo, en un lenguaje matemático (Gil, 2018). Este método debe utilizarse para tratar datos no exactos e información imprecisa, obtenida de situaciones complejas que no se pueden describir razonablemente en expresiones cuantitativas convencionales (Chen *et al.*, 2006).

Otro método es el Razonamiento basado en casos (Case Based Reasoning, CBR), este es un sistema de software administrativo por una base de datos que recopila información relevante de procesos de decisión y evaluación de situaciones o casos sucedidos con anterioridad. De esta forma el responsable de la toma de decisiones se puede apoyar en información útil y en experiencias de situaciones conocidas. El CBR permite desempeñar una exitosa gestión de aprovisionamiento, ya que tiene la ventaja que al tomar en cuenta los avances alcanzados en procesos anteriores, no da espacio para que se vuelvan a cometer los mismos errores, sobre todo porque reutiliza la información relevante en evaluaciones que han hecho los proveedores con anterioridad (Gil, 2018) . Muy pocos sistemas han sido desarrollados para la toma de decisiones en el área de aprovisionamiento, existen algunas publicaciones relacionadas al tema. Gil (2018) sugirió su uso como una herramienta para la toma de decisiones de compra, se discutió un sistema inteligente de gestión de relaciones cliente-proveedor (ISRMS) que utiliza la técnica de CBR para seleccionar proveedores potenciales.

2.4.3 MÉTODOS ESTADÍSTICOS

En este aspecto debemos señalar el Análisis de conglomerados (Cluster analysis), el cual es una tecnología muy importante . Su objetivo principal es dividir una gran cantidad de datos no procesados en varios grupos de acuerdo con las reglas de evaluación para que los gerentes puedan usar los grupos divididos para la toma de decisiones. El propósito del análisis de conglomerados es diferenciar los datos agrupados, a través de calcular similitudes entre datos o seguir otras reglas de evaluación, para que los datos diferenciados puedan formar varios grupos que se caracterizan por alta similitud de datos en un mismo grupo y alta diferencia de datos dentro del grupo . El análisis de clúster de proveedores es un procedimiento importante en la construcción de un sistema de cadena de suministro ya que la selección del grupo de proveedores óptimo podría cumplir con la gestión del proveedor, fortalecer la capacidad operativa y reducir los riesgos comerciales (Che y Wang, 2010).

Como se había mencionado anteriormente, estos son algunos de los métodos que se ha utilizado para la selección de proveedores. También se ha empleado la integración de varios los métodos analizados anteriormente para este fin. Un resumen de los mismos hace referencia en la Tabla 2.2. Se considera que no existe una sola técnica que sea mejor o superior a otra, cada una de ellas presenta sus ventajas y sus desventajas, ya que pueden ser utilizadas de acuerdo a la situación propia de cada empresa. En cuanto a la selección de proveedores, se debe seleccionar el método de acuerdo lo que ofrezca cada uno, los objetivos de la entidad y los criterios que se van a manejar.

Clasificación	Métodos	Autores
Matemáticos	AHP (Analytic Hierarchy Process)	Chan et al.,(2014)
	LP (Linear Programming)	Talluri et al., (2005)
	GP (Goal Programming)	Pendey et al., (2017)
	DEA (Data Envolpment Analysis)	Garfamy (2006)
Estadísticos	Simulación	Ding et al.,(2005)
	Análisis de conglomerados	Che y Wang (2010)
	Redes neuronales Artificiales	Asthana y Gupta (2015)
Inteligencia artificial	CBR (Case Based Reasoning)	Choy et al., (2002)
	ES (Expert System)	Chen et al., (2006)
	FST (Fuzzy set Theory)	Sarkar (2006)
	ANP (Analytic Network Process)	Dy y Sun (2020)
Integrados	AHP, DEA	Ramanathan (2007)
	AHP, GP	Kull et al., (2008)
	AHP FUZZY	Chan et al., (2004)
	Redes Neuronales , AHP, DEA	Ha et al., (2008)

Tabla 2.2: Algunos métodos cuantitativos que se utilizan para la selección de proveedores

2.5 MÉTODOS CUANTITATIVOS UTILIZADOS PARA LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ

Dentro de la literatura analizada que abordan el tema del análisis y selección de proveedores en el sector automotriz, el método más utilizados es el AHP , sin embargo también se ha utilizado por autores e investigadores recientemente otros métodos como ANP, programación lineal y métodos integrados. Aunque en los próximos años es de esperar la utilización de muchas más herramienta para las investigaciones dentro de una industria tan exigente y competitiva como lo es la

industria automotriz.

Anteriormente se había mencionado algunos problemas que se han presentado dentro de las organizaciones del sector debido a la inadecuada selección de proveedores. Como son los problemas financieros, deficiencias en el funcionamiento del sistema logístico, deficiencias en el aprovisionamiento de materias primas e insumos para la producción, entrega de productos defectuosos y/o incompletos o servicios inadecuados y pérdida de clientes al no dar seguimiento a las reclamaciones, entre otros que se pudieran presentar.

En la Tabla 2.3 se presentan dichos problemas, así como autores que han abordado dichas problemática y qué métodos han utilizado para la solución de los mismos.

Problemas	Autores	Métodos
Financieros	Rahiminezhad Galankashi.R et al ,(2016)	AHP, FUZZY
Deficiencias en el funcionamiento del sistema logístico	Secundo G et al, (2017)	AHP, FUZZY
	Osorio. J (2011)	AHP
	Melgar González. A (2016)	AHP
Deficiencias en el aprovisionamiento de materias primas e insumos	Villalba .R (2015)	AHP
	Selcuk. P (2016)	AHP, LP
Entrega tardía de los productos o servicios contratados	Lin (2009)	ANP
Entrega de productos defectuosos y / o incompletos o servicios inadecuados	Yadav .V y Sharma. M (2015)	AHP
Pérdida de clientes al no dar seguimiento a las reclamaciones	Ho et al, (2010)	AHP

Tabla 2.3: Relación de algunos problemas derivados de la inadecuada selección de proveedores en el sector automotriz, algunos autores y los métodos utilizados.

En el caso específico de Villalba. R (2015), en su investigación, el problema a tratar era el mal funcionamiento de la cadena de aprovisionamiento, similar a la problemática de este trabajo. En este estudio el autor utiliza como método el AHP, el cual para aplicarlo sólo precisó los juicios de valor de expertos, stakeholders y/o decisores. En primer lugar, la empresa define los criterios de evaluación tanto para los productos como sus proveedores, agrupados en dos categorías, los que dependen del mercado y que se utilizan para el cálculo del índice de criticidad, y los que se refieren a operaciones que afectan internamente a la empresa y que sirven para obtener el índice de estrategia, tanto de productos como proveedores. La empresa utiliza el método AHP para el cálculo de los pesos que reflejan la importancia que el personal del departamento de compras atribuye a cada uno de los criterios considerados en la evaluación. A continuación, la empresa establece una función de valor que refleja el comportamiento que cada producto o proveedor, según el caso, presentada para cada criterio. Entonces, los resultados obtenidos por los productos y proveedores en cada uno de los criterios, según la función de valor establecida, se ponderan por el peso de los criterios, obteniendo así los indicadores de criticidad y estrategia. Una vez se tienen estos indicadores, se representan en un gráfico que pone de manifiesto qué proveedores son muy críticos y estratégicos para la empresa y con los que deben asociarse; cuáles son muy estratégicos y poco críticos con los que conviene establecer contratos a largo plazo; cuáles son poco estratégicos y poco críticos para los que interesa seguir políticas de precios, y por último cuáles se deben analizar cuidadosamente, ya que no son estratégicos para la empresa pero que tienen un alto índice de criticidad.

Por otra parte Melgar González (2016) realizó su investigación con el objetivo de seleccionar a los proveedores adecuados para poder suprimir las deficiencias existentes en el sistema logístico de Renault, una empresa automovilística muy reconocida a nivel mundial. Este trabajo expone además la evolución tanto de las relaciones cliente- proveedor como de las prácticas de aprovisionamiento en la industria automovilística, centrándose en las prácticas que utiliza Renault para valorar

la calidad de sus proveedores y evaluarlos según ésta. En este caso la herramienta utilizada también fue el AHP, por el cual después de implementar su metodología y por consiguiente determinar los proveedores adecuados, se obtuvo resultados satisfactorios para la empresa. Por ejemplo, se superó el porcentaje de reducción del ranking marcado por la compañía en el período anteriores (se consiguió un 15.5% de reducción, superando así el objetivo del 14%).

Además podemos destacar la investigación de Rahiminezhad Galankashi et al 2016 , donde se desarrolló un método integrado de AHP-FUZZY para seleccionar proveedores en la industria automotriz. Se utilizó el AHP para determinar criterios de selección y seleccionar un grupo de proveedores ya que este método es muy útil para el manejo de muchos criterios . Posteriormente se realizó una evaluación difusa de las alternativas para por último determinar prioridades y seleccionar al mejor proveedor que corresponde a la mayor prioridad. El modelo híbrido propuesto y evaluado combina el procedimiento para derivar los pesos de criterios típicos del enfoque AHP con desempeños extraídos de un enfoque difuso. De esta manera, la complejidad computacional de la aplicación AHP-FUZZY se reduce y se facilita la aplicación práctica. Esta investigación también contribuye a ofrecer una visión novedosa de los fabricantes de automóviles para seleccionar a sus proveedores en función de las medidas exactas, ya que se han realizado muy pocos estudios antes.

2.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

- La selección de proveedores es un problema multicriterio, en el cual incluye factores cuantitativos y cualitativos. Es una actividad importante dentro de la función comercial a lo largo de la cadena de suministro, de la cual depende el éxito del proceso de adquisición. Además, una adecuada selección de proveedores también le permite a la cadena de suministro poder adaptarse a los constantes cambios del mercado.

- Son varios los criterios a tener en cuenta para seleccionar a un proveedor, cada uno de estos va a depender de las necesidades y los objetivos que persiga la empresa. Dentro de los más utilizados están la calidad, el precio de venta, el tiempo de entrega, la capacidad instalada de producción y el desempeño logístico.
- En la literatura podemos encontrar varios métodos cuantitativos que se utilizan en la selección de proveedores. Se pueden clasificar en métodos matemáticos, estadísticos, de inteligencia artificial e integrados. Podemos decir que para este tipo de problema el método que hemos encontrado que más se usa en la literatura es el AHP ya que a través del mismo se pueden manejar gran cantidad de criterios como es el caso del problema de seleccionar a proveedores.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La gestión de aprovisionamiento, para considerarla una verdadera fuente de ventaja competitiva dentro de la cadena de suministro, exige procesos logísticos más eficientes. Su estrategia debe ir alineada con la estrategia empresarial y con los objetivos generales de competitividad; por lo tanto las metas de aprovisionamiento se deben fijar en función de una serie de criterios, como costo, calidad, tiempo de entrega, servicio, entre otros. En muchas ocasiones estos criterios hacen que la selección de proveedores sea compleja, debido a que los criterios la mayoría de los casos son de carácter eminente subjetivo. Como es tan importante la selección de proveedores en la gestión empresarial, es primordial buscar la manera de intentar eliminar la subjetividad en el proceso de la selección de proveedores empleando herramientas concretas. Para lograr esto, es importante contar con proceso o metodología bien definida que nos permita seleccionar el mejor proveedor.

La metodología propuesta en este trabajo para selección de proveedores se basará en la utilizada por De Boer (2001), mencionado anteriormente en el capítulo de antecedentes. La metodología propuesta para esta investigación se compone de 4 pasos fundamentales que se muestran en la Figura 3.1, que comprende desde la determinación de los criterios para evaluar y seleccionar proveedores, la evaluación de los mismos a través de los criterios anteriormente determinados, para por último seleccionar al mejor proveedor que se sea el adecuado según las necesidades de la

empresa caso de estudio.

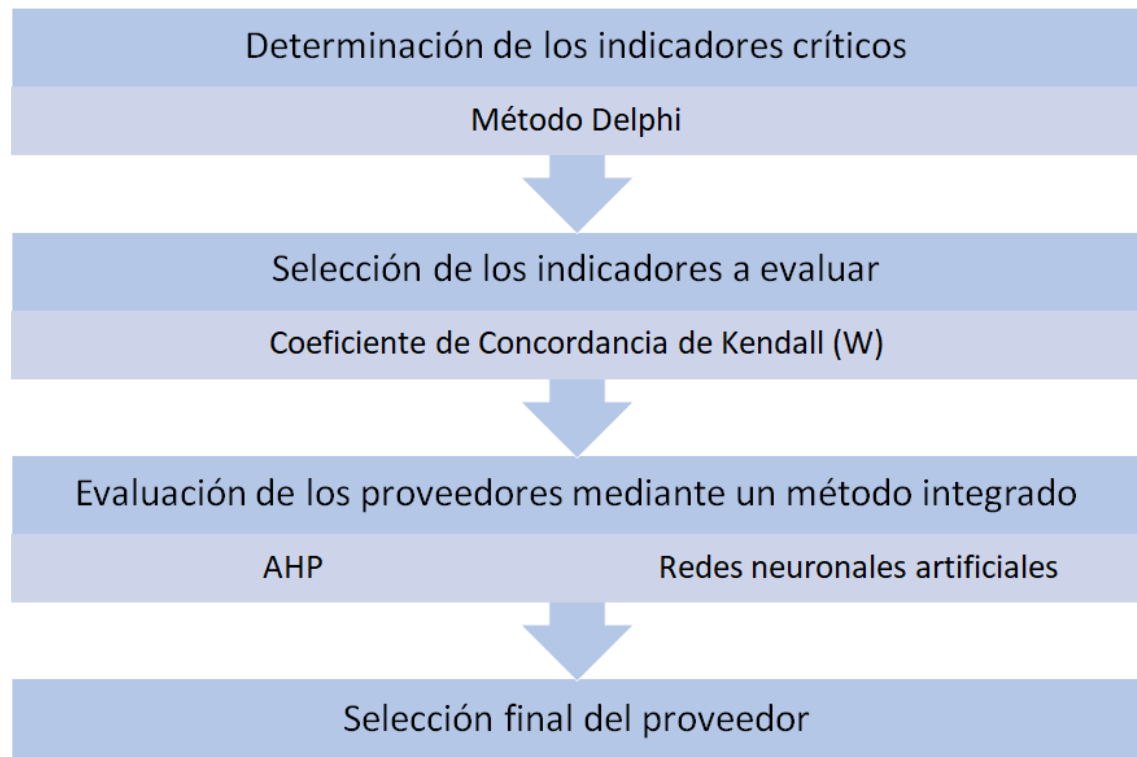


Figura 3.1: Metodología propuesta para selección de proveedores

En las próximas secciones de este capítulo se analizarán cada una de las etapas de la metodología.

3.1 DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES CRÍTICOS

En esta etapa se determina cuáles son los principales problemas presentes en la empresa en cuanto al proceso de aprovisionamiento. Se debe realizar un rastreo de todos aquellos proveedores que puedan o presenten influencia en el mercado que se encuentra ubicada la empresa, y para esto los responsables del departamentos de compras y la dirección general de la empresa realizaron una serie de preguntas y sus respectivos análisis que condujeron a tener una mayor claridad del problema, como son las siguientes : ¿Qué tipo de productos se desean adquirir? ¿Cuál es la importancia de este producto con respecto a la complejidad del mercado? ¿Cuántos de los

proveedores previamente identificados tienen influencia en el área geográfica en que se desarrolla? ¿Cuáles son los objetivos estratégicos de la empresa? ¿Cuáles son los principales problemas que ha presentado la empresa en cuanto al aprovisionamiento de materias primas y productos respecto a los proveedores anteriores? ¿Cuáles han sido las principales quejas de los clientes? ¿Cuáles son los principales criterios, atributos o indicadores para seleccionar a los proveedores?

Para este análisis se utilizará el Método Delphi, que es una herramienta que pretende la estructuración de un proceso de comunicación con expertos, para la identificación y la convergencia de factores de cambio claves para la construcción de escenarios probables, posibles y deseables. En otras palabras, tiene como objetivo obtener el más confiable consenso de opiniones de un grupo de expertos en cuanto a un tema específico. (Giraldo, 2013). Entre los métodos cualitativos empleados en el método científico destaca el Método Delphi como uno de los más utilizados en la investigación científica en situaciones problemáticas. (García-Ruiz y Lena-Acebo, 2018).

La aplicación del método se establecerá en las siguientes etapas:

1. Determinar el objetivo principal de la investigación: Este objetivo se debe determinar a partir de la problemática existente dentro de la empresa. En otras palabras, debe responder a la solución de dicha problemática.
2. Diseño del cuestionario por parte del grupo coordinador (Dirección general de la empresa, representantes del Departamento de Compras, expertos en selección de proveedores) : Este cuestionario se debe realizar en función del objetivo de la investigación.
3. Selección del grupo de expertos: Para la selección de este grupo de expertos, se puede considerar algunos investigadores que sus trabajos expuestos en la literatura, tengan relación con el objetivo de la investigación. También se puede considerar como expertos a personas que estén involucradas en el proceso de aprovisionamiento dentro de las empresas.

4. Obtención de las respuestas del grupo de expertos
5. Interpretación de las respuestas y evaluación de acciones.

La información de salida de la aplicación de este método serán aquellos criterios más importante para la selección de proveedores según lo expuesto por los expertos en sus investigaciones.

Una vez obtenida la información sobre los objetivos y necesidades generales de la empresa, así como los criterios más relevantes derivados de la aplicación de Método Delphi, se procederá a determinar si esos criterios seleccionados se puede utilizar para poder evaluar y seleccionar finalmente al proveedor adecuado.

3.2 SELECCIÓN DE LOS INDICADORES A EVALUAR

La segunda etapa en el proceso de selección de proveedores será la identificación de los atributos a evaluar. Posteriormente de la obtención de los resultados de la aplicación del Método Delphi ,se debe corroborar si los criterios o indicadores resultantes se pueden utilizar para la evaluación de los proveedores y si existe consenso entre los expertos en cuanto a dichos criterios.

Existe una herramienta estadística muy útil para ese tipo de problemas donde se necesita seleccionar o determinar atributos o indicadores a partir de un juicio proporcionado por ciertos expertos. Esta herramienta es el Coeficiente de Concordancia de Kendall (W).

Este coeficiente mide el grado de concordancia entre un grupo de elementos (m) y un grupo de características (n). En otras palabras, indica el grado de asociación de las evaluaciones ordinales realizadas por múltiples evaluadores al evaluar las muestras. El coeficiente de Kendall comúnmente se utiliza en el análisis de concordancia de atributos. Los valores del coeficiente de Kendall pueden variar de 0 a 1. Mientras mayor sea el valor del coeficiente de Kendall, más fuerte será la asociación(Abdi,

2008). Por ejemplo, para un grupo de n objetos evaluados por m jueces, la W provee información sobre el grado de acuerdo entre m rangos otorgados por los jueces. Si la evaluación de cada juez a los n objetos es similar, entonces la W es igual a 1, en cambio si hay un total desacuerdo, entonces el $W = 0$. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que un $W=0$ puede indicar que los atributos a evaluar son ambiguos o están pobremente definidos, consecuentemente, no se puede discriminar y por tanto hay desconcordancia (Badii *et al.*, 2014). La ecuación 3.1 refleja como calcular dicho coeficiente:

$$W = 12 \sum D^2 / m^2 n (n^2 - 1) \quad (3.1)$$

Donde:

W = Estadística de Kendall

m = Rango de evaluadores

n = Número de objetos

$D = \sum R - (\sum R/n)$

$\sum R$ = Suma de rangos

Este estadístico sigue una Distribución Chi cuadrado con grados de libertad $n-1$ (Figura A.1). Para el desarrollo de esta prueba se utilizan 2 hipótesis:

- Hipótesis nula o H_0 : No hay concordancia entre los expertos. $W = 0$ $p > \alpha$
- Hipótesis alternativa o H_1 : Hay concordancia entre los expertos. $W > 0$ $p < \alpha$

El valor p proporciona la probabilidad de obtener su muestra, en una distribución Chi cuadrado, con su coeficiente particular de correlación de Kendall. Si el valor p es menor o igual a un nivel predeterminado de significancia (α), se rechaza la hipótesis nula y da crédito a la hipótesis alternativa. Si hay concordancia entre

los expertos entonces se pueden utilizar dichos criterios para evaluar y seleccionar proveedores.

3.3 EVALUACIÓN DE LOS PROVEEDORES MEDIANTE UN MÉTODO INTEGRADO

Una vez definidos los criterios de selección, el siguiente paso consiste en seleccionar a los proveedores mediante la aplicación de un determinado método. El método de selección debe ser consecuente con el análisis del contexto, las realidades de la cadena de abastecimiento y los criterios seleccionados.

La aplicación de las técnicas mencionadas en los apartados anteriores, son, cómo ya se ha comentado, procedimientos complejos, para los que es necesario contar con software específico y para las que muchas veces se requiere un nivel muy elevado de conocimientos matemáticos. La mayoría de las veces las pequeñas o medianas empresas, no tienen a su alcance este software especializado ni cuentan con profesionales con la formación adecuada para su aplicación, lo cual pudiera obligar a las mismas a subcontratar este proceso y, por lo tanto, implicaría tener que dejar en manos de terceras personas el modelado y solución de la selección de proveedores. Esa acción podría traer como consecuencia que la persona contratada para ese servicio no entendiese completamente el problema o necesidad de la empresa, y generase un modelo inadecuado, con su respectiva solución errónea. Para solucionar el tema de la selección de proveedores, lo que se pretende más bien es aplicar técnicas que sean fáciles de ejecutar y modelos sencillos que permitan integrar a la vez los atributos objetivos y subjetivos propios del problema, que sean posibles de desarrollar desde la misma empresa sin requerir de software especializado y que representen su propia realidad.

Con este propósito, en esta investigación se propone aplicar el Proceso de Jerarquía Analítica o AHP ya que este método tiene la ventaja de poder estructurar un

problema complejo y multiproblemas. En el segundo escenario se aplicarán las Redes Neuronales Artificiales, ya que este tipo de herramientas se utilizan para problemas complejos y como modelo predictivo, y además brinda robustez y confiabilidad a las soluciones, tan necesario para la competitividad y exigencias que demandan el sector automotriz.

3.3.1 PROCESO DE JERARQUÍA ANALÍTICA (AHP)

Primeramente se desarrollará el Proceso de Jerarquía Analítica . AHP ayuda a tomar decisiones de una manera más racional y comprensibles. Se debe determinar el objetivo principal o lo que se quiere lograr con la aplicación de este método, en este caso será seleccionar la alternativa que mejor cumpla con los criterios seleccionados. Las entradas pueden ser medidas reales, pero también opiniones subjetivas, pero en este caso utilizaremos los criterios obtenidos de la aplicación de los pasos anteriores de la metodología. Otro aspecto son las alternativas de comparación, que para esta investigación se utilizarán 5 proveedores previamente definidos por la empresa. Como resultado, se calcularán las prioridades o ponderaciones y una relación de consistencia (Osorio Gómez y Orejuela Cabrera, 2008). La metodología AHP se representa de mejor manera en la figura 3.2.

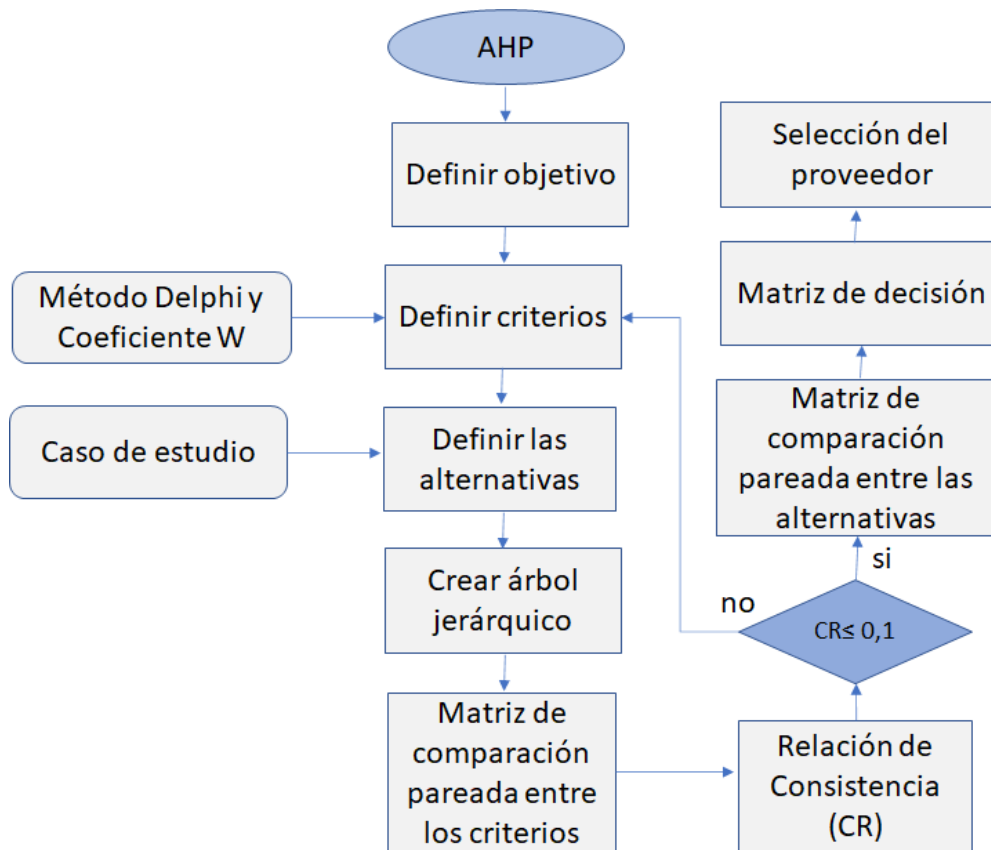


Figura 3.2: Metodología propuesta para selección de proveedores

En cuanto al árbol jerárquico el nivel superior de la jerarquía es el objetivo principal del problema de decisión. El nivel inmediato inferior corresponde a los criterios. El último nivel inferior está formado por las alternativas a evaluar en términos de criterios. AHP utiliza comparación por pares para asignar pesos a los elementos de cada nivel, midiendo su importancia relativa con la Escala de Saaty del 1 al 9 (Tabla 4.5), y finalmente calcula los pesos globales para evaluación en el nivel inferior. La comparación por pares da una matriz cuadrada A cuyos elementos están dados por $A_{ij} = w_i / w_j$, expresando el dominio de i con respecto a j , expresado en la escala de Saaty.

Intensidad de importancia a_{ij}	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	Moderadamente más importante	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro
5	Fuertemente más importante	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro
7	Mucho más fuerte la importancia	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio
9	Importancia extrema	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro

Tabla 3.1: Escala de Saaty

La comparación de las diferentes alternativas respecto al criterio del nivel inferior de la estructura jerárquica, como la comparación de los diferentes criterios de un mismo nivel jerárquico dan lugar a una matriz cuadrada denominada matriz de decisión. Esta matriz cumple con las propiedades de reciprocidad (si $a_{ij}=x$, entonces $a_{ji}=1/x$), homogeneidad (si i y j son igualmente importantes, $a_{ij}=a_{ji}=1$, y además, $a_{ii}= 1$ para todo i), y consistencia (la matriz no debe contener contradicciones en la valoración realizada).

Es necesario para identificar el grado de inconsistencia que puede considerarse tolerable. La consistencia se obtiene mediante el Índice de Consistencia. En términos matemáticos, la verificación de consistencia se expresa a través del cálculo:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.2)$$

Donde λ_{max} es el máximo autovalor y n es la dimensión de la matriz de decisión. Un índice de consistencia igual a cero significa que la consistencia es completa. Una vez obtenido CI, se obtiene la proporción de consistencia (CR) siendo aceptado

siempre que no supere los valores que se muestra en la Tabla 3.2 . Si en una matriz se supera el CR máximo, hay que revisar las ponderaciones.

$$CR : \frac{CI}{RI} \quad (3.3)$$

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

Tabla 3.2: Valores máximos de CR

Donde RI es el índice aleatorio, que indica la consistencia de una matriz aleatoria.

$$RI = 1.98 * (n - 2)/n \quad (3.4)$$

Una vez verificada la consistencia y obtenidas la matrices de comparación pareada de los criterios y de las alternativas con respecto a cada uno de los criterios, se procede a multiplicar las matrices para obtener la matriz de decisión. Esta matriz nos va a dar el resultado del proveedor a seleccionar, siendo este el que tenga la mayor ponderación.

Con el objetivo de darle más robustez y confiabilidad a nuestra decisión se utilizarán además las redes neuronales artificiales.

3.3.2 REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)

En el segundo escenario se aplicarán las redes neuronales artificiales, ya que este tipo de herramientas se utilizan para problemas complejos y como modelo predictivo, y además brinda robustez y confiabilidad a las soluciones.

En este caso de estudio en particular otro elemento importante por lo que se utilizará esta herramienta de las redes neuronales es que nuestra investigación se desarrolla en la industria automotriz y esta industria actualmente es muy exigente en cuanto entrega, calidad, desempeño logístico, aprovisionamiento etc, por lo que se considera la aplicación de este método que es relativamente novedoso, práctico y confiable.

La metodología a seguir para el desarrollo de las redes neuronales en nuestro caso de estudio se representa en la Figura 3.3.

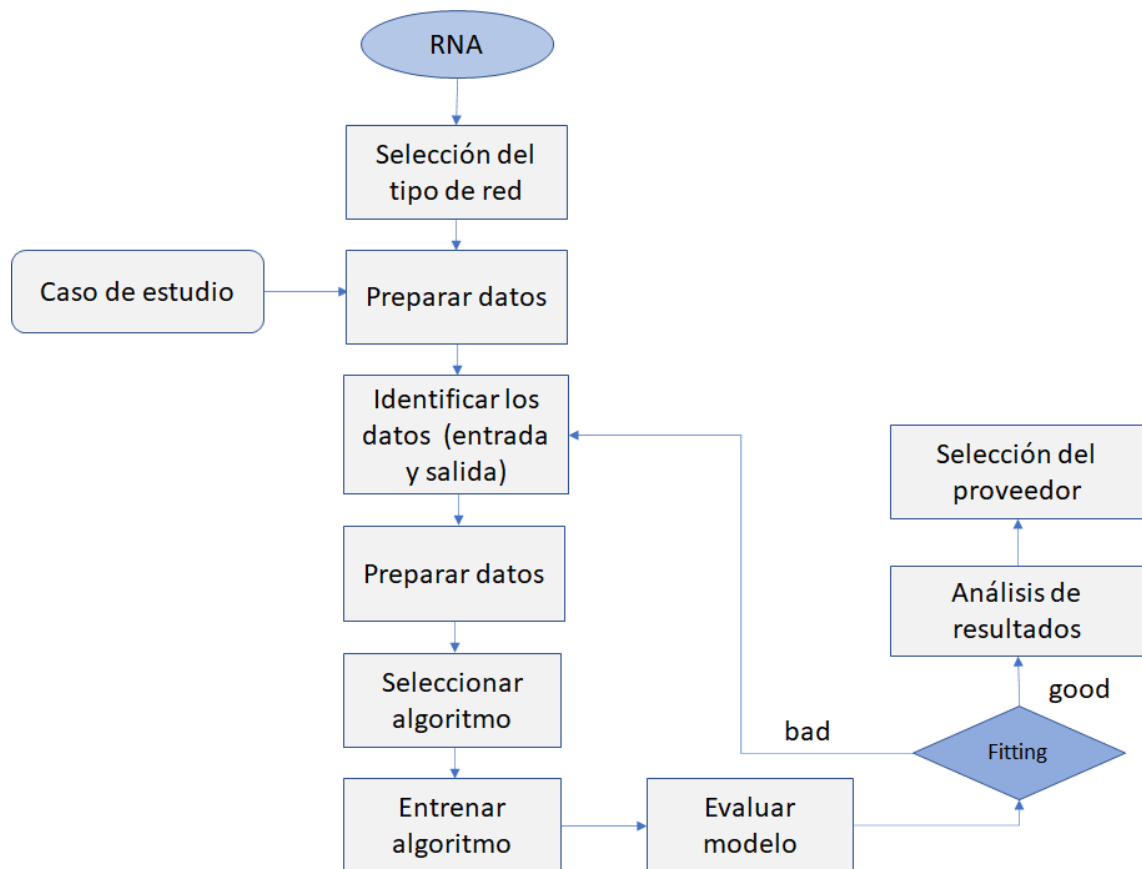


Figura 3.3: Metodología propuesta para selección de proveedores

La neurona artificial fue diseñada para emular las características del funcionamiento básico de la neurona biológica. En esencia, se aplica un conjunto de entradas a la neurona, cada una de las cuales representa una salida de otra neurona. Cada entrada se multiplica por su peso o ponderación correspondiente análogo al grado

de conexión de la sinapsis. Todas las entradas ponderadas se suman y se determina el nivel de excitación o activación de la neurona. Una representación vectorial del funcionamiento básico de una neurona artificial se indica según la siguiente expresión de la ecuación (Andrade, 2013).

$$NET = X * W \quad (3.5)$$

Siendo NET la salida, X el vector de entrada y W el vector de pesos. La señal de salida NET suele ser procesada por una función de activación F para producir la señal de salida de la neurona OUT. La función F puede ser una función lineal, o una función umbral o una función no lineal que simula con mayor exactitud las características de transferencia no lineales. Dentro de las funciones más utilizadas está la función Sigmoide (Figura 3.4), la cual utilizaremos para el entrenamiento de nuestra red ya que este tipo de función se recomienda utilizar cuando se requiere una salida de información analógica (Requena *et al.*, 2017).

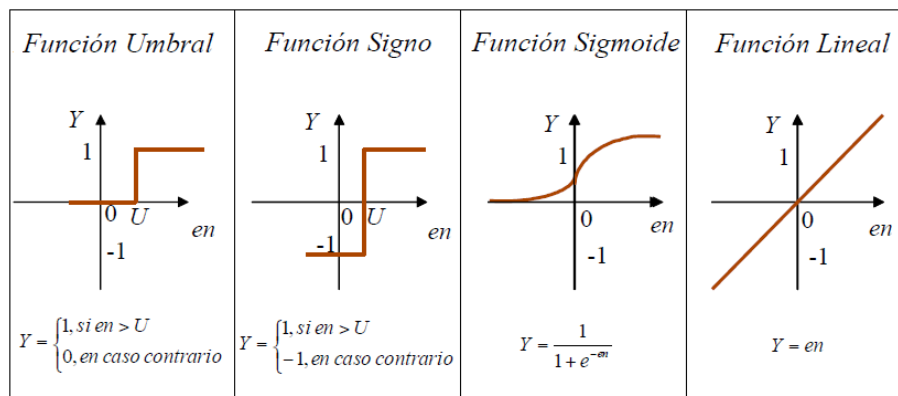


Figura 3.4: Funciones de activación más utilizadas

Existen cuatro aspectos que caracterizan una red neuronal: su topología, tipo de asociación entre la información de entrada y de salida, el mecanismo de aprendizaje, la forma de representación de estas informaciones.

Particularmente en nuestro caso de estudio, los datos de entrada van a corresponder a la evaluación de 5 proveedores para cada uno de los 5 criterios en específi-

camente 8 escenarios diferentes que son los escenarios representativos de nuestro problema (40 proveedores), con una escala del 1-5 de la forma siguiente, por parte del grupo coordinador de la empresa donde se efectuará la investigación :

- 1: Nada satisfecho con el desempeño del proveedor
- 2: Poco satisfecho con el desempeño del proveedor
- 3: Neutral
- 4: Muy satisfecho con el desempeño del proveedor
- 5: Totalmente satisfecho con el desempeño del proveedor

Los datos de salida corresponderán al resultado de la aplicación del AHP para las 5 alternativas con respecto a los 5 criterios, en los mismos escenarios.

Por otra parte se utilizará una red multicapa Feedforward backpropagation ya que como se había dicho anteriormente para ese tipo de problemas de clasificación donde se tiene información de entrada y de salida, este es el tipo de red que más se recomienda usar en la literatura. La unidad procesadora básica de la red Backpropagation se caracteriza por realizar una suma ponderada de las entradas, presentar una salida y tener un valor asociado que se utilizará en el proceso de ajuste de los pesos. El peso asociado a la conexión desde la unidad i a la unidad j se representa por w_{ji} , y es modificado durante el proceso de aprendizaje. Normalmente, la Backpropagation utiliza tres o más capas de unidades procesadoras (Olabe, 2010). La Figura 3.5 muestra la topología backpropagation típica de tres capas. .

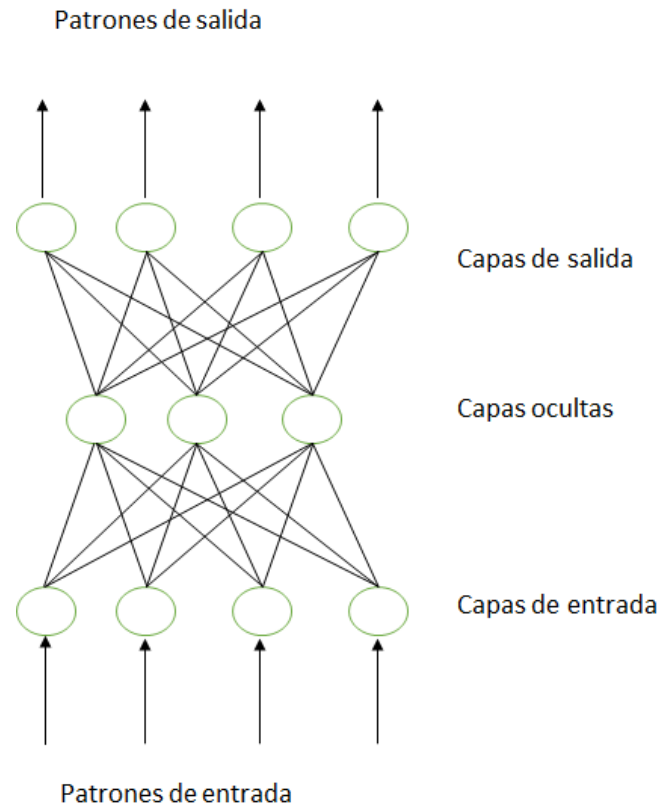


Figura 3.5: Red Backpropagation completamente interconectada.

Otro aspecto fundamental es el entrenamiento de la red. El aprendizaje es el proceso por el cual una red neuronal modifica sus pesos en respuesta a una información de entrada. Los cambios que se producen durante la etapa de aprendizaje se reducen a la destrucción, modificación y creación de conexiones entre las neuronas. Una vez seleccionada el tipo de neurona artificial que se utilizará en una red neuronal y determinada su topología, es necesario entrenarla para que la red nos pueda brindar el mejor resultado posible. Algunos de los algoritmos que se utilizan son los siguientes:

- Levenberg-Marquardt
- BFGS Quasi-Newton

- Resilient Backpropagation
- Scaled Conjugate Gradient
- Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts
- Fletcher-Powell Conjugate Gradient
- Polak-Ribière Conjugate Gradient
- One Step Secant
- Variable Learning Rate Backpropagation

Para nuestro trabajo se realizará una comparación entre todos los algoritmos antes mencionados para poder determinar el que mejor desempeño presentes en cuando en cuanto al entrenamiento de a red.

Existen 2 aspectos fundamentales que nos da la medida si la red está correctamente entrenada o no. Uno de estos es el valor de regresión (R), este valor tanto para el entrenamiento, la prueba , la validación y de forma general debe estar muy cercano a 1 , mientas más cercano a 1 sea ese valor pues la red estará mejor entrenada o *good fitting*. Otro aspecto a tomar en cuenta es el error acumulado, en este caso el algoritmo debe ajustar los parámetros de la red para minimizar el error cuadrático medio. Cada patrón de entrenamiento se propaga a través de la red y sus parámetros para producir una respuesta en la capa de salida, la cual se compara con los patrones objetivo o salidas deseadas para calcular el error en el aprendizaje, este error marca el camino más adecuado para la actualización de los pesos y ganancias que al final del entrenamiento producirán una respuesta satisfactoria a todos los patrones de entrenamiento, esto se logra minimizando el error cuadrático medio en cada iteración del proceso de aprendizaje.

Luego que la red esté correctamente entrenada se procede a simularla introduciendo los datos que se van a utilizar para este fin, para luego poder analizar los

resultados. La salida que brindará la simulación corresponderá a la ponderación de cada uno de los proveedores.

3.4 SELECCIÓN FINAL DE UN PROVEEDOR

Una vez que se ha evaluado al conjunto de proveedores mediante el método integrado por AHP y redes neuronales artificiales, la siguiente actividad a realizar será seleccionar un proveedor final.

En esta etapa es conveniente que el grupo de decisión que ha realizado el proceso de selección, informe a la alta gerencia o altos directivos de la empresa, en relación al proveedor que ha sido elegido, ya que son ellos quienes deben observar el apego que pudiera tener éste con los objetivos y planes estratégicos que tiene la empresa. Es posible que una decisión tomada desde un punto de vista analítico y en función de una técnica de decisión como las anteriores, sea eliminada debido a que no se alinea con las prácticas y planes estratégicos de la empresa, para evitar este tipo de problemas se recomienda que siempre sean incluidas personas de la alta gerencia en el proceso de evaluación.

3.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

- La metodología propuesta para el desarrollo de este trabajo se basará en la utilizada por De Boer (2001), la cual sufrirá de algunas modificaciones adecuada a nuestro caso de estudio y lo que se quiere lograr.
- Dicha metodología se compone de pasos: Identificación de indicadores críticos, Selección de los indicadores a evaluar, Evaluación de los proveedores mediante un método integrado , Selección final de un proveedor.

CAPÍTULO 4

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

En el presente capítulo se procederá a aplicar la metodología propuesta en el capítulo anterior para el proceso de compras de la Resina, como uno de las principales materias primas que se utiliza para la elaboración de los productos destinados para la industria automotriz en la empresa BETPLAS . Dicha empresa está dedicada a la fabricación, manufactura, producción, comercialización, compra, venta, distribución, importación, exportación, almacenamiento de partes y piezas plásticas técnicas y de moldes de alta precisión por medio de inyección de plástico; para varias industrias y entre ellas la automotriz.

Esta empresa busca reorganizar su proceso de evaluación y selección proveedores con la finalidad de mejorar el desempeño de la cadena de aprovisionamiento. El departamento de compras de la empresa experimenta la falta de una metodología eficiente y armonizada para la evaluación de proveedores de materias primas e insumos para la producción. Hasta la fecha, la gerencia de esta área maneja una hoja de cálculo estandarizada para la evaluación, la cual no se divulga con otros departamentos y se utilizan métodos propios o desatienden la evaluación. Se han presentado problemas en cuanto al suministro de diferentes materias primas, entre ellas la resina como principal.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES CRÍTICOS

Con el objetivo de determinar los indicadores críticos para la problemática que nos ocupa, se aplicará el Método Delphi. Como parte de la estrategia de la metodología y para la aplicación de este método se tomará las principales opiniones de la literatura respecto a los atributos, criterios o indicadores principales para la selección de proveedores en el sector automotriz.

4.1.1 ELABORACIÓN DEL MÉTODO DELPHI

En esta sesión se procederá a aplicar el Método Delphi siguiendo cada uno de los pasos mencionados en el capítulo anterior.

4.1.1.1 DETERMINAR EL OBJETIVO PRINCIPAL DE LA INVESTIGACIÓN

El principal objetivo de esta investigación y a la vez de la aplicación del método, es determinar los principales indicadores o criterios a tener en cuenta para la selección de proveedores, que incidan positivamente en el desempeño de la cadena de aprovisionamiento en una empresa dentro del sector automotriz.

4.1.1.2 DISEÑO DEL CUESTIONARIO

Para este trabajo se analizarán diferentes investigaciones realizadas con el objetivo de responder la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los principales criterios a tomar en cuenta para seleccionar los proveedores dentro del sector automotriz?

Se evaluará las opiniones utilizando la escala Likert del (1-5), siendo la evaluación de la siguiente manera:

- 5 puntos: Sugiere el criterio muy importante.
- 4 puntos: Sugiere el criterio importante.
- 3 puntos: Sugiere la utilización de otros criterios además de ese para poder tomar una decisión.
- 2 puntos: No le brinda mucha importancia al criterio.
- 1 punto: No menciona el criterio.

4.1.1.3 SELECCIÓN DEL GRUPO DE EXPERTOS

Como se había mencionado anteriormente para el desarrollo de este trabajo se tomará las algunas opiniones encontradas en la literatura respecto a los atributos, criterios o indicadores principales para la selección de proveedores en el sector automotriz. En lo referente a la determinación de expertos, no existe un consenso en la literatura sobre el número óptimo de expertos en un desarrollo Delphi, a pesar de que este paso se muestra crítico en el desarrollo del método (Okoli y Pawlowski, 2004). Dicho esto, para ese trabajo utilizaremos los criterios expuestos por 10 autores, los cuales son académicos y profesionales en el campo de la administración, la ingeniería y la logística y que sus investigaciones se basan específicamente para la selección de proveedores para la industria automotriz. Los mismos se mencionan a continuación:

- Experto 1 (E1): Osorio. JC, (2010)
- Experto 2 (E2): Rahiminezhad Galankashi. R et al., (2016)
- Experto 3 (E3): Menglar González. A (2016)
- Experto 4 (E4):Kumar. A (2014)
- Experto 5 (E5): Curler. I (2017)

- Experto 6 (E6): Suraraksa. J y Sup Shin. K, (2019)
- Experto 7 (E7): Gaikwad.L y Sunnapwar.V, (2019)
- Experto 8 (E8): Leibinger. L y Montalvo. M, (2019)
- Experto 9 (E9): Ghi-Feng Yen et al., (2018)
- Experto 10 (E10): Nazihah. N et al., (2016)

4.1.1.4 OBTENCIÓN DE LAS RESPUESTAS DEL GRUPO DE EXPERTOS

De la investigación realizada se obtuvo 45 criterios o indicadores fundamentales. Para los cuales se brindó una calificación de cada uno de los autores según lo expuesto es sus artículos, utilizando la escala mencionada en secciones anteriores con puntuaciones entre 1 y 5. Los resultados de la aplicación del método se muestran en las tablas 4.1 y 4.2, donde E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9 y E10 representan los expertos.

Criterios	Metodo Delphi										Suma	%
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10		
Sistema de gestión de calidad	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	43	0.0468
Capacidad administrativa	1	1	5	1	2	5	2	2	1	1	21	0.0229
Desempeño comercial	1	1	5	1	5	1	1	1	1	1	18	0.0196
Estabilidad financiera	1	4	5	4	4	5	1	1	1	1	27	0.0294
Posicionamiento geográfico, centros de distribución y soporte técnico.	1	3	5	3	3	1	1	1	1	1	20	0.0218
Capacidad instalada de producción.	1	4	5	3	3	4	4	4	1	1	30	0.0326
Especificaciones técnicas del producto.	1	1	5	1	5	1	1	1	1	1	18	0.0196
Precio de venta.	4	4	5	3	5	5	4	5	1	5	41	0.0446
Desempeño logístico.	1	1	5	1	1	1	1	2	1	1	15	0.0163
Tiempos de entrega mínimos	4	4	5	4	4	1	1	5	5	5	38	0.0413
Nivel de colaboración de la cadena de suministro.	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	14	0.0152
Proporciona a la compañía una ventaja competitiva	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	13	0.0141
Calidad de los suministros	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50	0.0544
Flexibilidad del proveedor	4	1	5	1	3	5	1	1	4	1	26	0.0283
Fiabilidad de la información	2	4	1	4	2	1	1	2	1	1	19	0.0207
Competitividad	2	1	5	1	1	1	1	1	1	1	15	0.0163
Garantías y políticas de reclamo	1	3	5	1	5	1	1	2	5	1	25	0.0272
Capacidad para satisfacer la demanda	1	2	5	3	1	3	4	2	3	1	25	0.0272
Capacidad de resolución de problemas.	1	2	1	1	2	4	1	1	1	1	15	0,0163
Reputación y posición en la industria	1	4	5	3	2	4	1	4	1	1	26	0,0283
Apariencia del producto	1	3	1	1	5	1	1	1	1	1	16	0,0174

Tabla 4.1: Método Delphi

Criterios	Metodo Delphi										Suma	%
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10		
Restricciones comerciales	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	12	0,0131
Intercambio de información	1	4	5	4	4	1	1	1	1	1	23	0,0250
Negociabilidad	1	4	1	1	2	1	1	1	1	1	14	0,0152
Administración con su propios proveedores	1	1	1	4	2	1	1	1	1	1	14	0,0152
Certificado ISO 9000 / ISO 14000	1	2	4	1	3	4	1	1	1	3	21	0,0229
Desarrollo de productos (capacidad de innovación y diseño)	1	4	5	6	1	1	1	1	4	1	25	0,0272
Gestión de residuos	1	3	1	4	1	2	1	1	1	1	16	0,0174
Costo logístico	1	3	1	1	1	1	5	2	5	1	21	0,0229
Gama de productos	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	12	0,0131
Gestión de inventario (costos de inventario)	1	3	1	1	1	1	5	1	1	1	16	0,0174
Infraestructura	1	3	1	1	2	1	1	1	1	1	13	0,0141
JIT	1	4	1	3	4	1	1	1	1	1	18	0,0196
Profesionalismo	1	5	1	1	4	1	1	1	1	1	17	0,0185
Servicio al cliente superior	1	3	1	1	1	1	1	1	4	1	15	0,0163
Patente	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	12	0,0131
Políticas sociales	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	12	0,0131
Actividades de reducción de costos	1	3	5	1	1	1	5	1	4	1	23	0,0250
Capacidad tecnológica	1	5	5	3	5	5	4	4	5	1	38	0,0413
Capacidades generales de la fuerza laboral	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	14	0,0152
Regulación ecológica	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	13	0,0141
Estrategias de compra	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	13	0,0141
Relación a largo plazo	1	1	1	1	1	4	5	1	1	1	17	0,0185
Capacidad de embalaje	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	11	0,0120
Evaluación de riesgos y capacidad de mitigación	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	14	0,0152
Total											919	1.0000

Tabla 4.2: Continuación del Método Delphi

4.1.1.5 INTERPRETACIÓN DE LAS RESPUESTAS Y EVALUACIÓN DE ACCIONES

Luego de analizar los resultados de la aplicación del Método Delphi y de utilizar el Principio de Pareto o también conocido como Regla 80/20 , el cual establece que el 80 % de las consecuencias se derivan de 20 % de las causas; podemos decir que de los

45 criterios o indicadores mencionados por los expertos, los criterios más importantes o críticos y que representan aproximadamente el 20 % de la puntuación total son los siguientes, en orden de importancia según el por ciento que representan : Calidad adecuada de los suministros, Sistemas de Gestión de Calidad certificado, Precio de venta adecuado, Tiempos de entrega mínimos y Capacidad Tecnológica.

Estos criterios representan aproximadamente el 22.88 % de la puntuación total. Un punto a destacar es que se debe comprobar si los mismos se pueden utilizar finalmente para el posterior desarrollo de la investigación, aunque según la opinión de los expertos seleccionados, estos son los elementos principales a tener en cuenta para seleccionar el proveedor adecuado dentro del sector automotriz . Una mejor representación de estos criterios se muestra en la Tabla 4.3.

Criterios	Metodo Delphi										%
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	
Sistema de gestión de calidad	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	0.0468
Precio de venta.	4	4	5	3	5	5	4	5	1	5	0.0446
Tiempos de entrega mínimos	4	4	5	4	4	1	1	5	5	5	0.0413
Calidad de los suministros	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0.0544
Capacidad tecnológica	1	5	5	3	5	5	4	4	5	1	0,0413
Total											0,2285

Tabla 4.3: Criterios o indicadores críticos

4.2 SELECCIÓN DE LOS INDICADORES A EVALUAR

Como se evidenció en la sección anterior luego de aplicar el Método Delphi, hay 5 indicadores o criterios fundamentales a tener en cuenta para la selección de proveedores. Es importante entonces comprobar si hay concordancia entre los juicios de los expertos en cuanto a la selección de los mismos para poder proseguir con la investigación. Con este propósito utilizaremos una herramienta estadística llamada Coeficiente Concordancia de Kendall (W).

El coeficiente de concordancia de Kendall (W) mide el grado de concordancia entre un grupo de elementos (K) y un grupo de características (n). Como se había mencionado en capítulos anteriores, este coeficiente indica el grado de asociación de las evaluaciones ordinales realizadas por múltiples evaluadores al evaluar las muestras. (Abdi, 2008). Este estadístico sigue una Distribución Chi cuadrado con grados de libertad $n-1$ (Figura A.1). Para el desarrollo de esta prueba se utilizan 2 hipótesis:

Hipótesis nula o H_0 : No hay concordancia entre los expertos. $W=0$ $p>\alpha$

Hipótesis alternativa o H_1 : Hay concordancia entre los expertos. $W>0$ $p<\alpha$

Donde el término p proporciona la probabilidad de obtener su muestra, en una distribución Chi cuadrado, con su coeficiente particular de correlación de Kendall. Si el valor p es menor o igual a un nivel predeterminado de significancia (nivel α), se rechaza la hipótesis nula y da crédito a la hipótesis alternativa.

Dicho esto, procedemos entonces a calcular W para nuestro caso de estudio, para esto utilizaremos el software Minitab 19. Los resultados se muestran en la Tabla 4.4 con un Nivel de confianza de 95 % por lo tanto $\alpha = 0.05$.

Los coeficientes de correlación se especifican para cada evaluador con el fin de identificar la concordancia de cada evaluador con el valor estándar conocido, y un coeficiente general que represente a todos los evaluadores con los valores estándar (Tabla 4.4).

Coeficiente de Concordancia de Kendall			
Coef W	Chi-cuad.	GL	P
0,311940	12,4776	4	0,0141

Tabla 4.4: Coeficiente de Concordancia de Kendall

Analizando los resultados anteriores podemos decir que $W = 0.31194$ y este valor es mayor que se 0. Por otra parte $p = 0.0141$ y es menor que α . Como se cumple que $W > 0$ y que $p < \alpha$ se rechaza H_0 y se acepta H_1 , por lo tanto podemos

concluir que si hay concordancia entre los expertos. Utilizaremos los criterios de Calidad adecuada de los suministros, Sistemas de Gestión de Calidad certificado, Precio de venta adecuado, Tiempos de entrega mínimos y Capacidad Tecnológica para los próximos pasos de la metodología propuesta.

4.3 EVALUACIÓN DE LOS PROVEEDORES MEDIANTE UN MÉTODO CUANTITATIVO INTEGRADO

Luego de obtener los criterios o indicadores a evaluar, procedemos a desarrollar el método cuantitativo propuesto para seleccionar al mejor proveedor.

Primeramente es importante establecer una cartera de proveedores para cada producto a comprar. Para este caso de estudio, la materia prima seleccionada es la resina por ser la principal en la elaboración de artículos plásticos que son utilizados en la industria automotriz y otras industrias. Los directivos y el Jefe de Compras han seleccionado a 5 proveedores, los cuales han suministrado este producto en el último año, se le ha realizado una evaluación previa a cada proveedor a través de una investigación de mercado. A continuación se desarrollará este método híbrido o integrado de AHP-RNA.

4.3.1 APLICACIÓN DE AHP

Para continuar con el desarrollo de nuestra metodología, se aplicará primeramente el Proceso de Jerarquía Analítica o AHP. Como se había mencionado anteriormente el AHP ayuda a tomar decisiones de una manera más racional y comprensible (Osorio Gómez y Orejuela Cabrera, 2008). Para la aplicación de este método se utilizaron los 5 criterios que se seleccionaron al aplicar el Método Deplhi y el Coeficiente de concordancia de Kendall y 5 alternativas o proveedores que por temas de confi-

dencialidad serán Proveedor 1, Proveedor 2, Proveedor 3, Proveedor 4 y Proveedor 5. La estructura jerárquica del AHP se muestra en la Figura 4.1.

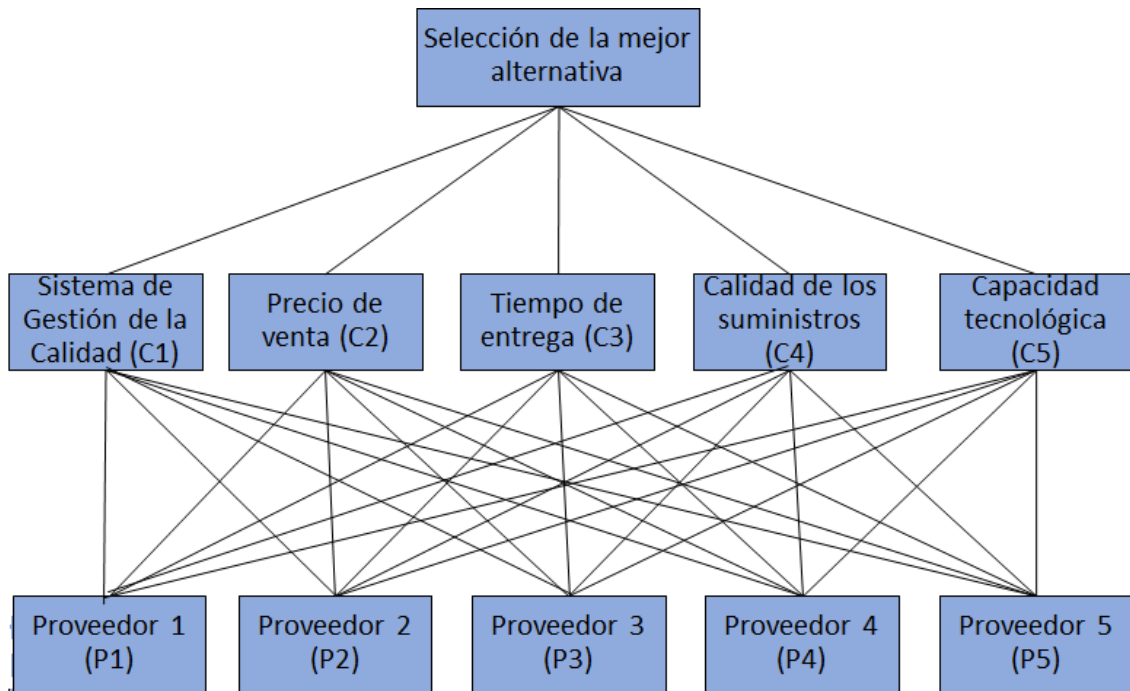


Figura 4.1: Estructura del AHP

Como primer paso de la aplicación del método APH se debe realizar la matriz de comparación pareada entre los criterios seleccionados (Tabla 4.5), para esto, los expertos o jueces, que en este caso son los responsables en el Departamentos de compras y la dirección general de la empresa Betplas, le asignará pesos a cada criterio con respecto a los otros (Tabla 4.6) utilizando la Escala de Saaty (1-9), la cual se mencionó en el capítulo anterior.

Nomenclatura	Criterio
C1	Sistema de Gestión de la Calidad
C2	Precio de venta
C3	Tiempo de entrega
C4	Calidad de los suministros
C5	Capacidad tecnológica

Tabla 4.5: Nomenclatura de los criterios

Matriz de comparación por pares											
	C1	C2	C3	C4	C5	Matriz normalizada					Vector promedio
C1	1	5	5	1	5	0,38	0,66	0,41	0,29	0,24	0,40
C2	1/5	1	3	1	5	0,08	0,13	0,24	0,29	0,24	0,20
C3	1/5	1/3	1	1/3	3	0,08	0,04	0,08	0,10	0,14	0,09
C4	1	1	3	1	7	0,38	0,13	0,24	0,29	0,33	0,28
C5	1/5	1/5	1/3	1/7	1	0,08	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04
SUMA	2,60	7,53	12,33	3,48	21,00						

Tabla 4.6: Matriz de comparación pareada

La Tabla 4.6 muestra a través del Vector promedio o Vector propio de la matriz, como para los expertos el criterio más importante para seleccionar a un proveedor en este caso es el Sistema de Gestión de la Calidad ya que presenta el mayor valor.

Para corroborar que existe una consistencia en los juicios de los expertos y que se pueden utilizar estos criterios para los próximos pasos del método, es necesario identificar el grado de consistencia a partir de la Relación de Consistencia (CR) que se calcula como se describe en la Ecuación 3.3, para ello se debe hallar primeramente el Índice de Consistencia que se calcula a través de la Ecuación 3.2 donde $\lambda_{max} = 5.47$ y $n=5$. Además se debe conocer que en este caso el Índice Aleatorio (RI) (Ecuación 3.4). Para $n=5$ el valor de la Relación de Consistencia debe ser menos o igual que 0.1 o 10% .

$$CI=(5.74-5)/(5-1)=0.1182$$

$$RI=1.98*(5-2)/5 =1.188$$

$$CR= 0.1182/1.188 = 0.09952$$

Como $CR < 0.1$ se puede decir que hay una consistencia aceptable entre los juicios de los expertos.

Posteriormente se procede a comparar las alternativas, o sea los 5 proveedores (P1,P2,P3,P4,P5) con respecto a cada uno de los 5 criterios. Por lo que se construyen matrices de comparación de las alternativas entre si en función de cada criterio y se calculan los vectores propios o promedio de cada matriz.

Sistema de Gestión de la Calidad												
	P1	P2	P3	P4	P5	Matriz normalizada					Vector promedio	
P1	1	5	7	9	1	0,41	0,49	0,72	0,53	0,10	0,45	
P2	1/5	1	1/3	1	5	0,08	0,10	0,03	0,06	0,49	0,15	
P3	1/7	3	1	1	3	0,06	0,29	0,10	0,06	0,29	0,16	
P4	1/9	1	1	1	1/5	0,05	0,10	0,10	0,06	0,02	0,07	
P5	1	1/5	1/3	5	1	0,41	0,02	0,03	0,29	0,10	0,17	
SUMA	2,45	10,20	9,67	17,00	10,20							

Tabla 4.7: Matriz de comparación pareada para Sistema de Gestión de la Calidad.

Precio de venta												
	P1	P2	P3	P4	P5	Matriz normalizada					Vector promedio	
P1	1	1/5	3	1	7	0,13	0,02	0,24	0,06	0,83	0,26	
P2	5	1	1/3	5	1/7	0,67	0,09	0,03	0,31	0,02	0,22	
P3	1/3	3	1	1/3	1/5	0,04	0,26	0,08	0,02	0,02	0,09	
P4	1	1/5	3	1	1/9	0,13	0,02	0,24	0,06	0,01	0,09	
P5	1/7	7	5	9	1	0,02	0,61	0,41	0,55	0,12	0,34	
SUMA	7,48	11,40	12,33	16,33	8,45							

Tabla 4.8: Matriz de comparación pareada para Precio de venta.

Tiempo de entrega											
	P1	P2	P3	P4	P5	Matriz normalizada					Vector promedio
P1	1	1/3	1/5	7	1/9	0,06	0,04	0,10	0,54	0,01	0,15
P2	3	1	1/3	1	1/3	0,17	0,12	0,16	0,08	0,04	0,11
P3	5	3	1	3	5	0,28	0,36	0,48	0,23	0,67	0,40
P4	1/7	1	1/3	1	1	0,01	0,12	0,16	0,08	0,13	0,10
P5	9	3	1/5	1	1	0,50	0,36	0,10	0,08	0,13	0,23
SUMA	18,14	8,33	2,07	13,00	7,44						

Tabla 4.9: Matriz de comparación pareada para Tiempo de entrega.

Calidad de los suministros											
	P1	P2	P3	P4	P5	Matriz normalizada					Vector promedio
P1	1	1/5	7	1	9	0,14	0,01	0,46	0,13	0,46	0,24
P2	5	1	1/5	1/3	1/5	0,69	0,07	0,01	0,04	0,01	0,17
P3	1/7	5	1	1/7	9	0,02	0,35	0,07	0,02	0,46	0,18
P4	1	3	7	1	1/5	0,14	0,21	0,46	0,13	0,01	0,19
P5	1/9	5	1/9	5	1	0,02	0,35	0,01	0,67	0,05	0,22
SUMA	7,25	14,20	15,31	7,48	19,40						

Tabla 4.10: Matriz de comparación pareada para Calidad de los suministros.

Capacidad tecnológica											
	P1	P2	P3	P4	P5	Matriz normalizada					Vector promedio
P1	1	1/3	1/9	1	5	0,07	0,06	0,01	0,10	0,33	0,11
P2	3	1	1/3	1	9	0,21	0,18	0,02	0,10	0,59	0,22
P3	9	3	1	1/3	1/9	0,63	0,55	0,07	0,03	0,01	0,26
P4	1	1	3	1	1/7	0,07	0,18	0,22	0,10	0,01	0,12
P5	1/5	1/9	9	7	1	0,01	0,02	0,67	0,68	0,07	0,29
SUMA	14,20	5,44	13,44	10,33	15,25						

Tabla 4.11: Matriz de comparación pareada para Capacidad tecnológica.

Como nuestro objetivo es tomar una decisión en función de los 5 criterios y la importancia de los mismos, se procede a multiplicar las matrices. Una de ellas esta compuesta por cada una de las ponderaciones o los vectores promedios de las matrices de comparación pareada de las alternativas en función de cada uno de los criterios y la otra es el ponderación de los criterios entre si. Dando como resultado la matriz de decisión final.

$$\begin{bmatrix} 0.45 & 0.26 & 0.17 & 0.24 & 0.11 \\ 0.15 & 0.22 & 0.11 & 0.17 & 0.22 \\ 0.16 & 0.09 & 0.40 & 0.18 & 0.26 \\ 0.07 & 0.09 & 0.10 & 0.19 & 0.12 \\ 0.17 & 0.34 & 0.23 & 0.22 & 0.29 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.40 \\ 0.20 \\ 0.09 \\ 0.28 \\ 0.04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.31 \\ 0.17 \\ 0.18 \\ 0.11 \\ 0.23 \end{bmatrix}$$

El vector columna final nos indica el peso de cada alternativa y por tanto nos permite elegir la mejor opción. En función de los 5 criterios y de su importancia la mejor alternativa es el Proveedor 1 ya que tiene el mayor peso (0.31) seguido del Proveedor 5 (0.23), Proveedor 3(0.18), Proveedor 2(0.17) y por último el Proveedor 4 (0.11).

Varios análisis se pueden realizar a partir este resultado, desde la necesidad de hacer una evaluación sistemática de los proveedores a partir de los criterios que fueron

seleccionados. Incitar y trabajar en conjunto con el proveedor 5 para que pueda mejorar su desempeño en cuanto a un Sistema de gestión de la calidad certificado y actualizado y que cumpla en mayor medida con las especificaciones de calidad que le son solicitadas (ya que estos son los criterios de mayor peso para los tomadores de decisiones en la empresa). Además, la empresa debe contribuir de cierta medida a que el proveedor seleccionado pueda encontrar formas para que su capacidad tecnológica esté a la altura de sus exigencias.

Para complementar nuestra decisión se aplicarán posteriormente un modelo de redes neuronales artificiales.

4.3.2 APLICACIÓN DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Como se había mencionado anteriormente, las redes neuronales artificiales son utilizadas para tareas de predicción y clasificación. Estas se han convertido en una pieza clave para el desarrollo de la Inteligencia Artificial, es uno de los principales campos de investigación y el que más está evolucionando con el tiempo, ofreciendo cada vez soluciones más complejas y eficientes. Por esta razón se ha decidido utilizar dicha técnica como parte de nuestra metodología. Por otra parte, otro aspecto es que la industria automotriz es bien demandante y se encuentra en constante auge y desarrollo y exige a la vez mucho que los proveedores sean de calidad y que cumplan con todos los parámetros que se establezcan, de ahí la necesidad de utilizar un método novedoso, pero que a la vez sea efectivo.

Para el entrenamiento de la red y su simulación se utilizará el software MATLAB R2015 desarrollado por MathWorks. Particularmente para nuestro caso de estudio, que es un problema de clasificación utilizaremos el tipo de red *Feedforward Backpropagation*, ya que se necesita un mecanismo de aprendizaje supervisado. Además en la que en mayor medida se ha utilizado en las investigaciones para este tipo de problema. Las redes Backpropagation han demostrado su capacidad de trabajar con éxito

en un amplio rango de aplicaciones incluyendo clasificación de imágenes, síntesis de voz, clasificación de ecos de sonar, sistemas de base de conocimiento, codificación de información y muchos otros problemas de clasificación y problemas de percepción.

Luego que ya se conoce el tipo de red a utilizar, el próximo paso es determinar los datos de entrada y de salida que serán introducidos en la red. Los datos de entrada corresponderán a la puntuación brindada por el grupo coordinador a 5 proveedores (P1,P2,P3,P4 y P5) con respecto a los 5 criterios seleccionados anteriormente (C1,C2,C3,C4 y C5) utilizando una escala del 1 al 5 (donde 5 sugiere excelente desempeño del proveedor y 1 sugiere mal desempeño de proveedor) en 8 escenarios diferentes que corresponden a la cantidad de proveedores que conforman la cartera total de la empresa objeto de estudio (40 proveedores) menos los proveedores que integran la cartera de la Resina (Tabla 4.12).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
P1	5	5	3	4	5	2	3	5
P2	3	4	3	4	5	2	2	3
P3	4	1	2	3	5	2	4	2
P4	1	1	2	1	5	4	4	1
P5	1	1	1	1	3	5	4	4
P1	3	1	1	1	2	4	5	4
P2	3	3	4	5	1	3	5	4
P3	3	2	4	5	1	3	1	5
P4	4	4	4	5	5	5	1	2
P5	2	5	5	5	4	5	5	1
P1	1	1	1	4	4	4	5	3
P2	3	2	1	2	1	2	2	5
P3	3	4	1	2	2	1	3	5
P4	1	4	2	1	2	1	4	5
P5	2	5	3	2	3	1	4	4
P1	3	5	4	3	4	3	5	1
P2	2	5	4	3	5	3	5	2
P3	2	2	4	3	1	5	3	4
P4	2	1	5	1	1	5	4	5
P5	1	1	1	5	2	4	1	1
P1	3	2	2	5	4	2	2	5
P2	1	3	4	5	5	1	5	3
P3	2	4	5	5	3	1	5	2
P4	3	4	2	2	1	1	5	1
P5	5	5	2	2	1	5	5	5

Tabla 4.12: Datos de entrada.

En cuanto a los datos de salida, estos se van a corresponder con la ponderación resultante de la aplicación del AHP para 5 proveedores o alternativas en los mismos escenarios (Tabla 4.13).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
P1	0,305	0,269	0,294	0,185	0,215	0,249	0,182	0,192
P2	0,168	0,217	0,183	0,189	0,175	0,144	0,182	0,187
P3	0,170	0,205	0,190	0,216	0,185	0,232	0,237	0,259
P4	0,120	0,121	0,163	0,237	0,255	0,197	0,233	0,190
P5	0,237	0,188	0,169	0,173	0,170	0,178	0,165	0,172

Tabla 4.13: Datos de salida.

Luego que se conoce el tipo de red a utilizar, los datos de entrada y salida y toda la información mencionada anteriormente; el próximo paso es determinar el algoritmo o función de entrenamiento. En la literatura especializada, específicamente en problemas similares al de este trabajo, se utiliza como algoritmo de entrenamiento el *Levenberg-Marquardt*. Este algoritmo se desarrolló a principios de la década de 1960 para resolver problemas de mínimos cuadrados en línea. El algoritmo de Levenberg-Marquardt combina dos métodos de minimización: el Gradiente método de descenso y el método de Gauss-Newton.(Gavin, 2019).

Esto implica que la función a minimizar es de la siguiente forma especial (Ranganathan, 2004):

$$f(x) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m r_j^2(x)$$

Donde $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ es un vector y cada r_j es una función de $\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$. Los r_j se denominan residuos y se supone que $m \geq n$. De una manera más sencilla f se representa como un vector residual r definido por:

$$r(x) = (r_1(x), r_2(x) \dots r_m(x))$$

Ahora, f se puede reescribir como $f(x) = \frac{1}{2} \|r(x)\|^2$ Las derivadas de f se pueden escribir usando la matriz Jacobiana J definida como $J(X) = \frac{\partial r_j}{\partial x_i}$, $1 \leq j \leq m, 1 \leq i \leq n$. El Jacobiano es constante y podemos representar r como un hiperplano a través del espacio, de modo que f viene dada por la función cuadrática $f(x) = \frac{1}{2} \|J_x + r(0)\|^2$. También se tiene que $\nabla f(x) = J^T (J_x + r)$ y $\nabla^2 f(x) = J^T J$.

Resolviendo el mínimo y estableciendo $\nabla f(x) = 0$ obtenemos $x_{min} = -(J^T J)^{-1} J^T r$ que es la solución al conjunto de ecuaciones normales. Retomando para los casos no lineales se tiene que:

$$\nabla f(x) = \sum_{j=1}^m r_j(x) \nabla r_j(x) = J(x)^T r(x) \quad (4.1)$$

$$\nabla^2 f(x) = J(x)^T J(x) + \sum_{j=1}^m r_j(x) \nabla^2 r_j(x) \quad (4.2)$$

En general, en problemas de aproximación de funciones, para redes que contienen hasta unos pocos cientos de pesos, el algoritmo Levenberg-Marquardt tendrá la convergencia más rápida. Esta ventaja es especialmente notable si se requiere un entrenamiento muy preciso. En muchos casos, este algoritmo puede obtener errores cuadrados medios más bajos que cualquier otro algoritmo.

Para verificar que esta función de entrenamiento es la que nos brinda los mejores resultados, se comparó todas las funciones de entrenamiento disponibles en el software Matlab y mencionadas en capítulos anteriores, con el objetivo de seleccionar la de mejor desempeño y/o rendimiento medido por 2 aspectos fundamentales: el valor de Regresión (mientras el valor de la regresión es más cercano a 1 la red estará mejor entrenada) y Error cuadrado medio acumulado (mientras menor sea el error acumulado estará mejor entrenada la red). Esta comparativa se representa en la Tabla 4.14.

Función de entrenamiento	Valor de Regresión	MSE
BFGS Cuasi-Newton (BFG)	0,81408	1,35E-03
Gradiente conjugado con reinicios de Powell / Beale (CBG)	0,82833	6,46E-04
Gradiente conjugado de Fletcher-Powell (CGF)	0,95568	1,01E-04
Gradiente conjugado de Polak-Ribière (CGP)	0,95354	9,39E-06
Retropropagación de tasa de aprendizaje variable (GDX)	0,94936	4,50E-06
Levenberg-Marquardt (LM)	0,99759	9,12E-11
One Step Secant (OSS)	0,8248	1,90E-03
Resilient Backpropagation (RP)	0,91133	1,86E-05
Gradiente conjugado escalado (SCG)	0,87628	1,22E-05

Tabla 4.14: Funciones de entrenamiento.

Luego de analizar los resultados podemos decir que la función con el mejor desempeño es la *Levenberg- Marquardt* ya que presenta los mejores valores tanto de Regresión como el Error cuadrático medio acumulado (MSE).

Otros de los datos necesarios para el entrenamiento de la red son determinar la función de aprendizaje de adaptación que debe estar en correspondencia con el algoritmo de aprendizaje, la función de rendimiento, el número de capas, la cantidad de neuronas y el tipo de función de propagación.

En cuanto a la función de aprendizaje de adaptación , para este caso se utilizará la de Sesgo y peso de descenso de gradiente (learnngdm). En el caso de la función de rendimiento, se utilizará el MSE. En la literatura se recomienda que se utilicen 2 capas , una de ellas ocultas, para el entrenamiento de la red cuando son problemas que no representan un gran manejo de datos, podemos decir que nuestro problema tiene esta característica por lo tanto utilizaremos esa cantidad de capas para el entrenamiento de la red y 10 neuronas en la capa oculta. Se utilizará además la Función sigmoideal como función de propagación.

Contando con toda la información necesaria para el entrenamiento de la red, la misma se introduce en el software Matlab a través del comando de *nntool* (Figura 4.2). La topología de la red neuronal se muestra en la Figura 4.3.

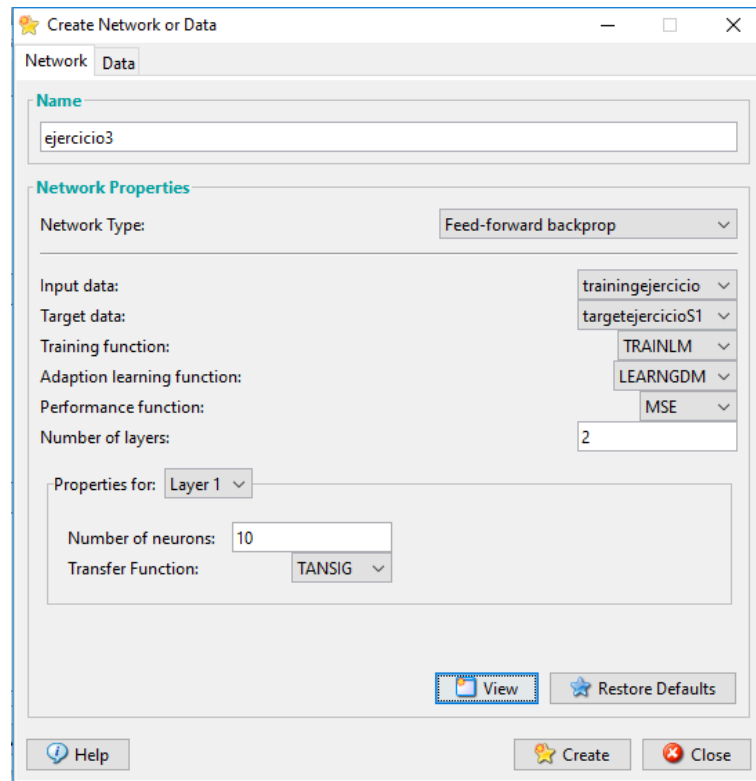


Figura 4.2: Información de entrada para el entrenamiento de la red

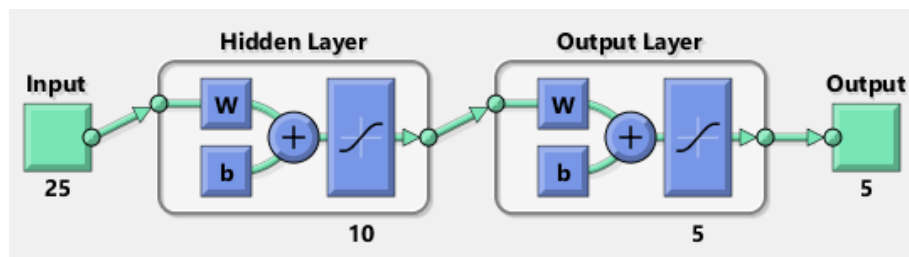


Figura 4.3: Topología de la red neuronal

Como se había mencionado anteriormente para saber si nuestra red está bien entrenada o *good fitting* se debe obtener el valor de Regresión y el MSE acumulado. Como se mostró en la Tabla 4.14, la red obtuvo mejor rendimiento en ambos aspectos al utilizar como función de entrenamiento la *Levenberg- Marquardt*. Analizando esos

resultados, en el caso de la Regresión, se obtuvo un valor de 0.99759, el cual es un valor muy cercano a 1, incluso el valor de Regresión para *validation* logró ser $R=1$ (Figura 4.5), por lo tanto se puede decir que en cuanto a este aspecto la red neuronal está correctamente entrenada. El otro apartado a considerar es el error acumulado que fue de $9.12E-11$, el cual se considera un error muy pequeño, por lo que se puede decir también considerando este aspecto que la red está bien entrenada.

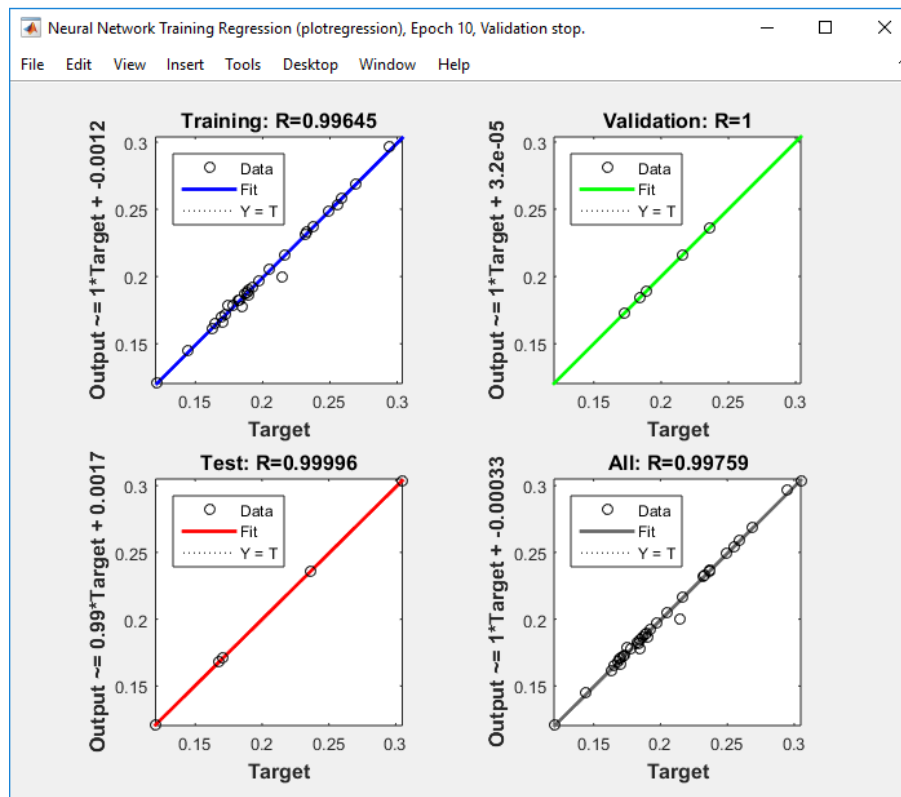


Figura 4.4: Resultados del valor de la Regresión

Una vez que se comprueba que la red está correctamente entrenada, se procede a simular la red. Para esto se utilizaron como datos de prueba la puntuación que dieron los expertos (en este caso los especialistas del departamento de compras de la empresa Betplas) también utilizando una escala del 1-5, para cada uno de los 5 proveedores con respecto a cada uno de los 5 criterios. La salida de la red mostrará la

ponderación que se le da a cada uno de los proveedores donde la primera ponderación corresponderá la Proveedor 1 y así sucesivamente hasta la última ponderación que corresponde al Proveedor 5.

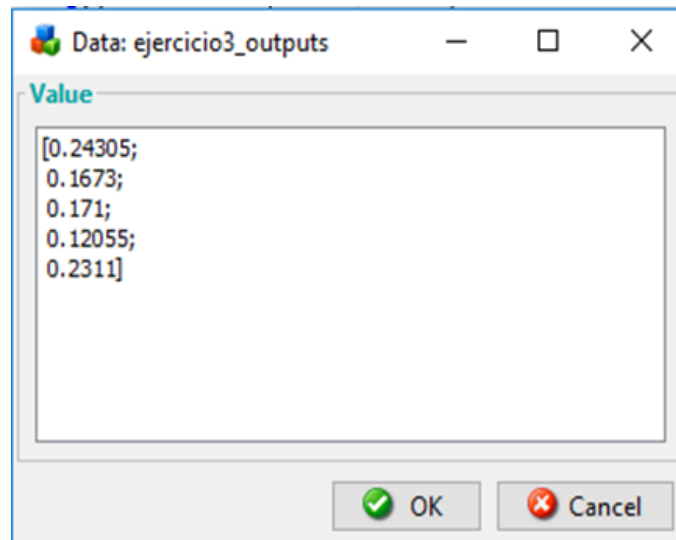


Figura 4.5: Salida de la red neuronal

Analizando los resultados derivados de la salida de la red neuronal, la mayor ponderación corresponde a la del Proveedor 1 (0.24305), seguido por el Proveedor 5 (0.2311), luego el Proveedor 3(0.171), después el Proveedor 2 (0.1673) y el proveedor con menor ponderación es el Proveedor 4 (0.12055). Por lo tanto, el proveedor seleccionado para suministrar la resina en un período determinado por la empresa es el Proveedor 1.

Es importante destacar que no solo el resultado de la aplicación de la red neuronal coincide con el resultado del AHP en cuanto al proveedor seleccionado, sino que también podemos decir que corresponde enteramente con el orden de los proveedores en cuanto a puntuación. Por lo tanto se puede concluir que con la aplicación de este método híbrido se puede seleccionar a un proveedor adecuado, que cumpla con las necesidades de la empresa y que tome en cuenta el juicio de los expertos en

la empresa, y de esta maneja poder mejorar la cadena de aprovisionamiento al poder contar con suministros de calidad, en el tiempo y la variedad demandados.

4.4 SELECCIÓN FINAL DEL PROVEEDOR

Para constatar la selección definitiva del proveedor 1, al mismo se le ha informado de los objetivos de la empresa a medio y largo plazo con el fin de obtener una alineación de objetivos entre ambas empresas. Esto permitirá un encadenamiento productivo y una mejora en el desempeño del proceso de aprovisionamiento dentro del sistema logístico, incidiendo positivamente en la cadena de suministro.

En este caso, el Proveedor 1 cumple en este aspecto, por lo es finalmente es el proveedor seleccionado para suministrar la resina en el plazo acordado. Este plazo será de 6 meses, donde se propone firmar un contrato de bases generales que incluya la cantidad prevista a suministrar por parte del proveedor en todo ese período, el precio de la materia prima que deber fijo durante ese tiempo, los tiempos de entrega, marcaje y documentación, las especificaciones de calidad, el lugar de entrega, confidencialidad y el uso de la información, el envase y embalaje de la mercancía, la garantía, seguro y transporte , condiciones y forma de pago, reclamaciones y penalidades , así como las obligaciones de ambas partes.

Luego ya esté firmado el contrato por ambas partes, cada vez que haya una solicitud de compras del producto resina, ya sea de un cliente externo o interno, se procederá a solo realizar una orden de compras para el Proveedor 1.

4.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

- A partir de la aplicación del Método Delphi y el Coeficiente de Concordancia de Kendall, se pudo determinar los criterios para evaluar y seleccionar al mejor

proveedor.

- Dentro del metodología se propuso aplicar un método cuantitativo utilizando un método híbrido compuesto por AHP y RNA, cuya aplicación condujo a la selección del Proveedor 1 como el seleccionado para suministrar la resina en la empresa Betplas.
- Con el proveedor seleccionado se prevee realizar un contrato de bases generales con una duración de 6 meses, donde se establecerán el precio del producto, la calidad, las cantidades a suministrar, los tiempos de entrega, las responsabilidades y obligaciones de ambas partes, entre otras cuestiones importantes.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Este capítulo contiene lo referente a las resoluciones finales derivadas de la investigación. Se destaca las conclusiones de este trabajo y 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 específicamente en el aprovisionamiento, así como las sugerencias para trabajos futuros.

5.1 CONCLUSIONES GENERALES

En esta tesis se abordó un problema fundamental en la mayoría de las organizaciones: la selección y evaluación de proveedores.

Se analizaron los diferentes antecedentes a través de una extensa investigación de la literatura, en cuanto a procesos de selección de proveedores, criterios utilizados para la evaluación, así como herramientas o métodos cuantitativos empleados para la selección definitiva de los proveedores. Se analizó además la importancia que representa 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 metodología para seleccionar el proveedor más adecuado para la compra de la resina, como principal materia prima para la elaboración de productos plásticos, en una empresa que abastece a diferentes industria entre ellas la automotriz. Esta metodología comprendió todo el proceso de selección de proveedores; desde la concepción de los criterios de selección hasta la determinación del método cuantitativo para la evaluación de los mismo y la posterior selección de la mejor alternativa.

Para la determinación de los principales criterios para evaluar a los proveedores se utilizaron el Método Delphi y el Coeficiente de concordancia de Kendall basándonos en las opiniones de investigadores que abordaron un tema similar al nuestro en sus investigaciones. Los criterios derivados fueron avalados positivamente por la dirección general de la empresa así como los principales responsables del departamento de compras de la empresa caso de estudio. En nuestro caso en particular, estos criterios se pueden utilizar para el proceso de compra de otros productos dentro de la empresa. Es importante destacar que también se pudiera aplicar estos métodos utilizando las opiniones de los expertos y/o los tomadores de decisiones dentro de la empresa caso de estudio. Indiscutiblemente cada caso es diferente , ya que los objetivos de las empresas no son iguales, así que la manera de seleccionar dichos criterios pudiera variar.

Posteriormente y con el objetivo de evaluar a los proveedores en base a los criterios seleccionados, se propuso una herramienta basada en el proceso de jerarquía analítica. Se realizó una encuesta a expertos de la empresa para posteriormente determinar los valores de los criterios. Seguidamente, se obtuvieron las calificaciones finales mediante la multiplicación con el respectivo desempeño de las alternativas. Por último se determinó la mejor alternativa, por el resultado de la mayor ponderación. De esta manera, la empresa caso de estudio cuenta con una herramienta científicamente fundada para el problema de evaluación y selección de proveedores

que toma en cuenta juicios de expertos del área.

Varios análisis se pueden derivar de la aplicación del AHP. La empresa debe trabajar de conjunto con aquellos proveedores que no obtuvieron la mayor puntuación de manera general, pero que si poseen un elevado desempeño con respecto a determinado criterio. La misma debe involucrarse en el mejoramiento de los procesos de sus proveedores, en sus certificaciones de calidad, en como se maneja sus sistemas de transporte y entrega, para de esta manera contar con una cartera de proveedores sólida. Y no solo trabajar con los proveedores que no hayan sido seleccionados, sino también involucrase en el proceso de mejora continua del proveedor seleccionado y trabajar en aquellos aspectos donde este no hay tenido la mayor ponderación. Esto propiciará que se cuente en todo momento con proveedores que puedan suministrar productos de calidad en el tiempo y variedad demandados.

Posteriormente, se exploró el uso de redes neuronales artificiales para la problemática descrita. El objetivo que se siguió fue brindar más robustez y confiabilidad al resultados de la aplicación del AHP. Para esto, se utilizó como tipo de red la feed-forward backpropagation y se experimentó con una serie de arquitecturas hasta llegar a un desempeño satisfactorio, considerando el error cuadrático medio y el valor de regresión. La mejor red fue capaz de tener un 99% de confiabilidad en el entrenamiento de la red. Se pudo obtener luego de la simulación de la misma, se obtuvo el mismo resultado de la aplicación del AHP, en el mismo orden de prioridades de los proveedores. Esto que evidencia que con la aplicación de este método híbrido se puede seleccionar al proveedor que cumpla con las necesidades de la empresa y a la vez tenga en cuenta el juicio de los expertos del área.

El trabajo realizado soluciona un problema que se presenta frecuentemente en las organizaciones: llegar a un consenso en la toma de decisiones. Se logró considerar todas las opiniones de un grupo de expertos dentro de la empresa, siendo la clave para resolver un problema con elevada importancia, como es la selección de proveedores. De esta forma se alcanzó una mejora en el proceso de compra mediante esta tesis,

permitiendo la evaluación y posteriormente la selección de los proveedores de una manera objetiva y concisa .

5.2 RECOMENDACIONES

El trabajo realizado representa una notable mejora del proceso de selección de proveedores, pero con la finalidad de lograr una eficiencia aún más alta, se consideró una serie de recomendaciones, las cuales son el resultado del análisis del estado actual del proceso.

- Utilizar otras opiniones de otros expertos del área (pueden ser otros investigadores encontrados en la literatura o realizar una encuesta a expertos en el tema de selección de proveedores en otras empresa dentro del sector automotriz) para determinar los criterios de selección en la aplicación de Método Delphi. De esta manera se pudiera considerar otros criterios y subcriterios que posteriormente se utilicen en la aplicación del AHP.
- Crear una base de datos en el sistema de información de la empresa, donde se pueda compartir la información del proceso de selección de proveedores y que todos los involucrados en el proceso de compra puedan tener acceso a ella en todo momento.
- Conformar un procedimiento para el proceso de compras en la empresa caso de estudio, donde en el apartado de selección de proveedores se considere la metodología propuesta en este trabajo.

5.3 CONTRIBUCIONES Y TRABAJO FUTURO

5.3.1 CONTRIBUCIONES

La contribución de esta tesis se centra en el desarrollo de una metodología con base en la aplicación de un método integrado compuesto por AHP y las redes neuronales artificiales; dos métodos de toma de decisiones científicamente fundamentadas para la evaluación y selección de proveedores, mediante un caso práctico en la industria automotriz. Esta herramienta ayudará a mejorar la eficiencia del proceso de aprovisionamiento, permitiendo la selección de los proveedores que mayor valor aportan a la empresa y tomando en consideración el juicio de los expertos del área. De esta forma se espera a mediano y largo plazo una mejora relacionada al cumplimiento de entregas, calidad de los suministros, con un precio juntos, la variedad demandados etc.

Por otra parte, la herramienta propuesta representa un aporte para la agilización y facilidad del proceso de compras, beneficiando a la empresa además en términos de menor tiempo dedicado a la evaluación y selección de proveedores. Los integrantes del departamento de compras y la dirección general de la empresa caso se estudio aceptan el desarrollar la metodología propuesta y se espera una evaluación y selección más acertada y cercana a la realidad.

Específicamente la aplicación de las redes neuronales artificiales representa una término novedoso y muy necesario ya que brinda confiabilidad en la decisión, aspecto muy importante dentro de la industria automotriz.

5.3.2 TRABAJO FUTURO

Con la finalidad de confirmar su uso de la metodología propuesta, se debe realizar un análisis de costo- beneficio a largo plazo, donde se pueda evidenciar el impacto de la aplicación de la metodología en un punto de vista económico.

Además se pudiera aplicar la metodología para el proceso de compras de otras materias primas o productos que no fueron analizados en este trabajo y realizar las respectivas comparaciones y conclusiones.

APÉNDICE A

APÉNDICES

A.1 TABLA DE CHI CUADRADO

TABLA Distribución Chi Cuadrado χ^2

P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, v = Grados de Libertad

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742	0,8735	0,7083	0,5707	0,4549
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079	2,0996	1,8326	1,5970	1,3863
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649	3,2831	2,9462	2,6430	2,3660
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853	4,8784	4,4377	4,0446	3,6871	3,3567
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257	6,0644	5,5731	5,1319	4,7278	4,3515
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408	7,2311	6,6948	6,2108	5,7652	5,3481
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371	8,3834	7,8061	7,2832	6,8000	6,3458
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189	9,5245	8,9094	8,3505	7,8325	7,3441
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887	10,6564	10,0060	9,4136	8,8632	8,3428
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489	11,7807	11,0971	10,4732	9,8922	9,3418
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007	12,8987	12,1836	11,5298	10,9199	10,3410
12	32,9092	30,3182	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	16,9893	15,8120	14,8454	14,0111	13,2661	12,5838	11,9463	11,3403
13	34,5274	31,8830	29,8193	27,6882	24,7356	22,3620	19,8119	18,2020	16,9848	15,9839	15,1187	14,3451	13,6356	12,9717	12,3398
14	36,1239	33,4262	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	19,4062	18,1508	17,1169	16,2221	15,4209	14,6853	13,9961	13,3393
15	37,6978	34,9494	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	20,6030	19,3107	18,2451	17,3217	16,4940	15,7332	15,0197	14,3389
16	39,2518	36,4555	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	21,7931	20,4651	19,3689	18,4179	17,5646	16,7795	16,0425	15,3385
17	40,7911	37,9462	35,7184	33,4087	30,1910	27,5871	24,7690	22,9770	21,6146	20,4887	19,5110	18,6330	17,8244	17,0646	16,3382
18	42,3119	39,4220	37,1564	34,8052	31,5264	28,8693	25,9894	24,1555	22,7595	21,6049	20,6014	19,6993	18,8679	18,0860	17,3379
19	43,8194	40,8847	38,5821	36,1908	32,8523	30,1435	27,2036	25,3289	23,9004	22,7178	21,6891	20,7638	19,9102	19,1069	18,3376
20	45,3142	42,3358	39,9969	37,5663	34,1696	31,4104	28,4120	26,4976	25,0375	23,8277	22,7745	21,8265	20,9514	20,1272	19,3374
21	46,7963	43,7749	41,4009	38,9322	35,4789	32,6706	29,6151	27,6620	26,1711	24,9348	23,8578	22,8876	21,9915	21,1470	20,3372
22	48,2676	45,2041	42,7957	40,2894	36,7807	33,9245	30,8133	28,8224	27,3015	26,0393	24,9390	23,9473	23,0307	22,1663	21,3370
23	49,7276	46,6231	44,1814	41,6383	38,0756	35,1725	32,0069	29,9792	28,4288	27,1413	26,0184	25,0055	24,0689	23,1852	22,3369
24	51,1790	48,0336	45,5584	42,9798	39,3641	36,4150	33,1962	31,1325	29,5533	28,2412	27,0960	26,0625	25,1064	24,2037	23,3367
25	52,6187	49,4351	46,9280	44,3140	40,6465	37,6525	34,3816	32,2825	30,6752	29,3388	28,1719	27,1183	26,1430	25,2218	24,3366
26	54,0511	50,8291	48,2898	45,6416	41,9231	38,8851	35,5632	33,4295	31,7946	30,4346	29,2463	28,1730	27,1789	26,2395	25,3365
27	55,4751	52,2152	49,6450	46,9628	43,1945	40,1133	36,7412	34,5736	32,9117	31,5284	30,3193	29,2266	28,2141	27,2569	26,3363
28	56,8918	53,5939	50,9936	48,2782	44,4608	41,3372	37,9159	35,7150	34,0266	32,6205	31,3909	30,2791	29,2486	28,2740	27,3362
29	58,3006	54,9662	52,3355	49,5878	45,7223	42,5569	39,0875	36,8538	35,1394	33,7109	32,4612	31,3308	30,2825	29,2908	28,3361

Figura A.1: Tabla de Distribución Chi cuadrado

BIBLIOGRAFÍA

- ABDI, H. (2008), «Kendall Rank Correlation Coefficient», *The Concise Encyclopedia of Statistics*, págs. 278–281.
- ACEVEDO SUAREZ, J. (2013), «Modelo de Gestión Integrada de la Cadena de Suministro», , págs. 1–10.
- ANDRADE, E. (2013), «Estudio de los principales tipos de redes neuronales y las herramientas para su aplicación», *Tesis Doctoral. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, págs. 1– 152, URL <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4098>.
- ASTHANA, N. y M. GUPTA (2015), «Supplier selection using artificial neural network and genetic algorithm», *International Journal of Indian Culture and Business Management*, **11**(4), pág. 457.
- BADII, A., O. P. GUILLEN, S. LUGO y J. J. AGUILAR GARNICA (2014), «Correlación No-Paramétrica y su Aplicación en la Investigaciones Científica Non-Parametric Correlation and Its Application in Scientific Research», *International Journal of Good Conscience Agosto*, **9**(2), págs. 31–40.
- BARRENECHE, D. (2015), «Metodología para la selección y evaluación de proveedores en una empresa», , págs. 1–70URL https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/425/Daniel_BerrenecheGiraldo_2010.pdf;sequence=1.

- BRIEN, J. O. (2014), *Supplier Relationship Management. Unlocking the hidden value in your supply base*, tomo 4, primera edición, United States.
- CASTORENA, O. H. (2017), «Proveedores y modelos de gestión en la cadena de suministro: Pymes manufactureras de Aguascalientes (México)», *Revista Faccea*, **7**(1), págs. 21–28, URL <http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/faccea/article/view/649>.
- CASTRO, S., W. ARIEL, C. GÓMEZ, Ó. DANILLO, O. FRANCO y L. FERNANDA (2009), «Selección de proveedores: una aproximación al estado del arte», (Castro, S., Ariel, W., Gómez, C., Danilo, Ó., Franco, O., & Fernanda, L. (2009).), URL <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20511730008>.
- CHAHARE, V. (2014), «Supplier selection in supply chain management: A review study», *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, **10**(2), págs. 107–130.
- CHE, Z. H. y H. S. WANG (2010), «A hybrid approach for supplier cluster analysis», *Computers and Mathematics with Applications*, **59**(2), págs. 745–763, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.camwa.2009.10.018>.
- CHEN, C. T., C. T. LIN y S. F. HUANG (2006), «A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management», *International Journal of Production Economics*, **102**(2), págs. 289–301.
- DE LA HOZ, E. y L. L. POLO (2017), «Aplicación de Técnicas de Análisis de Conglomerados y Redes Neuronales Artificiales en la Evaluación del Potencial Exportador de una Empresa», *Informacion Tecnologica*, **28**(4), págs. 67–74.
- DU, Y. W. y Y. L. SUN (2020), «Ds/anp method: A simplified group analytic network process with consensus reaching», *IEEE Access*, **8**, págs. 35 726–35 741.
- DUICA, M. C., N. V. FLOREA y A. DUICA (2018), «Selecting the Right Suppliers in Procurement Process along Supply Chain-a Mathematical Modeling Approach», *Valahian Journal of Economic Studies*, **9**(1), págs. 47–58.

- FULLANA BELDA, C. y E. URQUIA GRANDE (2009), «Los modelos de simulación: Una herramienta multidisciplinar de investigación», *Universidad Pontificia de Comillas*, págs. 1–11.
- GALANKASHI, M. R., S. A. HELMI, M. HISJAM y A. R. A. RAHIM (2018), «Leanness assessment in automotive industry: case study approach», *International Journal of Value Chain Management*, **9**(1).
- GARCÍA-RUIZ, M. E. y F. J. LENA-ACEBO (2018), «Aplicación del metodo delphi en el diseño de una investigación cuantitativa sobre el fenómeno FABLAB», *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, (40), pág. 129.
- GARFAMY, R. M. (2006), «A data envelopment analysis approach based on total cost of ownership for supplier selection», *Journal of enterprise information management*, **19**(6).
- GAVIN, H. P. (2019), «The Levenburg-Marquardt Algorithm For Nonlinear Least Squares Curve-Fitting Problems», *Duke University*, págs. 1–19, URL <http://people.duke.edu/~hpgavin/ce281/lm.pdf>.
- GHOORBANI, M., S. M. ARABZAD y M. BAHRAMI (2012), «Applying a Neural Network algorithm to Distributor selection problem», *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **41**, págs. 498–505, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.061>.
- GIL, M. (2018), *La Selección De Proveedores Elementos Clave En La Gestion De Aprovisionamientos.*, Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo. España.
- GIRALDO, O. G. (2013), «Guía ejecutiva para el diseño y aplicación del método Delphi en la Prospectiva Laboral Cualitativa», *ResearchGate*, (December 2013), págs. 0–28, URL https://www.researchgate.net/publication/299852742_Guia_de_aplicacion_del_Metodo_Delphi_Prospectiva_Cualitativa_Laboral.

- HERNADEZ-RAMIREZ, D., J. BLUHM-GUTIEREZ y S. VALLE-RODRIGUEZ (2017), «Conceptos Básicos De Programación Lineal Y Aplicación En El Manejo De Recursos Naturales», *Ambiente y Sostenibilidad*, (February), pág. 97.
- HERRERA UMAÑA, M. F. y J. C. OSORIO GÓMEZ (2009), «Modelo para la gestión de proveedores utilizando ahp difuso Estudios Gerenciales», *Universidad ICESI Cali, Colombia*, págs. 69 – 88.
- LAMMI, H. (2011), *Supplier Evaluation and Selection Process*, Master of business administration, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Helsinki, Finlandia.
- MCGRAW-HILL, A. E. (2008), «CAPÍTULO 3: Selección de proveedores», *European Journal Operational Research*, URL <http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/Fulltext/ADPS0000636/C3.pdf>.
- MELGAR GONZÁLEZ, A. (2016), *Valoración de proveedores en la industria del automóvil. Evaluación de calidad de proveedores para Renault S.A.*, Tesis Doctoral.
- MOLAMOHAMADI, Z., N. ISMAIL, Z. LEMAN y N. ZULKIFLI (2013), «Supplier Selection in a Sustainable Supply Chain», *Journal of Advanced Management Science*, **1**(3), págs. 278–281.
- NAZARI-SHIRKOUHI, S., H. SHAKOURI, B. JAVADI y A. KERAMATI (2013), «Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear programming», *Applied Mathematical Modelling*, **37**(22), págs. 9308–9323, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2013.04.045>.
- OKOLI, C. y S. D. PAWLOWSKI (2004), «The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications», *Information and Management*, **42**(1), págs. 15–29.
- OLABE, X. B. (2010), «REDES NEURONALES ARTIFICIALES-», *Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, EHU*, URL <http://cvb.ehu.es/>

- open_course_ware/castellano/tecnicas/redes_neuro/contenidos/pdf/libro-del-curso.pdf.
- OSORIO GÓMEZ, J. y J. OREJUELA CABRERA (2008), «El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación.», *Scientia et Technica*, **2**(39), págs. 247–252.
- PADILLOS BÁEZ, Y. (2013), «Gestión Integrada de las Cadenas de Suministro», .
- PANDEY, P., B. J. SHAH y H. GAJJAR (2017), «A fuzzy goal programming approach for selecting sustainable suppliers», *Benchmarking*, **24**(5), págs. 1138–1165.
- PAVÒN, S. C. (2006), *Sistema de aprovisionamiento para un programa de mantenimiento*, Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Cádiz.
- PYKE, D. F. y M. E. JOHNSON (2003), «Sourcing Strategy and Supplier Relationships: Alliances vs. eProcurement Forthcoming in The Practice of Supply Chain Management, Kluwer Publishers», *The Practice of Supply Chain Management*, págs. 77–89.
- RANGANATHAN, A. (2004), «The Levenberg-Marquardt Algorithm 3 LM as a blend of Gradient descent and Gauss-Newton itera», *Springer*, **142**(June), págs. 1–5, URL <http://twiki.cis.rit.edu/twiki/pub/Main/AdvancedDipTeamB/the-levenberg-marquardt-algorithm.pdf>.
- RASHID, N. R. M., B. A. HALIM, N. HASSAN, I. S. M. ZAWAWI y H. ARIS (2019), «Supplier selection using zero-one goal programming method», *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, **11**(12 Special Issue), págs. 98–106.
- REQUENA, K. E., D. M. ROZO y J. E. ARÉVALO (2017), «Principiosy características de las redes neuronales artificiales», *Desarrollo e innovación en ingeniería*, (March 2017), págs. 173–183.

- SAATY, T. L. (2008), «Decision making with the Analytic Hierarchy Process», *Scientia Iranica*, **9**(3), págs. 215–229.
- SALMASNIA, A., H. DALIRI, A. GHORBANIAN y H. MOKHTARI (2018), «A statistical analysis and simulation based approach to an uncertain supplier selection problem with discount option», *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, **9**(6), págs. 1250–1259, URL <https://doi.org/10.1007/s13198-018-0707-z>.
- TALLURI, R., SRINIVAS Y NARASIMHAN (2005), «Una nota sobre Una metodología para la optimización de la base de suministro», *IEEE Transactions on Engineering Management*, (1), págs. 130–139.
- TING, S. C. y D. I. CHO (2008), «An integrated approach for supplier selection and purchasing decisions», *Supply Chain Management*, **13**(2), págs. 116–127.
- VÍRSEDA, L. (2011), «Revisión de los métodos, modelos y herramientas existentes para la selección de proveedores», , págs. 1–11 URL https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12130/PFC_{_}LauraVirsedagallego_{_}Resumen.pdf?sequence=1.
- WEI, C. M. y C. Y. CHEN (2008), «An empirical study of purchasing strategy in automotive industry», *Industrial Management and Data Systems*, **108**(7), págs. 973–987.
- ZUBAR, H. A. y P. PARTHIBAN (2014), «Analysis of supplier selection methods through analytical approach», *International Journal of Logistics Systems and Management*, **18**(1), págs. 100–125.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Ing. Inaivis Lázara Ibañez Delgado

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:

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES MEDIANTE UNA
HERRAMIENTA CUANTITATIVA PARA UNA EMPRESA QUE ABASTECE
EL SECTOR AUTOMOTRIZ

El 26 de noviembre de 1993, Inaivis Lázara Ibañez Delgado nace como primera hija de Raúl Ibañez Calvo e Irene Delgado Oviedo en la Ciudad de La Habana, la capital de Cuba. Luego de haber concluido la preparatoria, en el 2011 ingresó al Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría hoy llamada Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE) para cursar los estudios de Ingeniería Industrial. Es egresada de dicha institución en el 2016 obteniendo el grado de Ingeniero Industrial. En el 2017 cursó un Diplomado en Comercio Exterior en el Centro de Superación del comercio exterior y la inversión extranjera egresando en el 2018. Cuenta con experiencia como compradora internacional, laborando en una empresa importadora y exportadora para la industria inmobiliaria y de la construcción.