

**DISEÑO METODOLÓGICO DEL PROCESO DE SELECCIÓN Y MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DE PROVEEDORES DE BIENES Y SERVICIOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE AGRUPAMIENTO Y HERRAMIENTAS MULTICRITERIO EN UNA EMPRESA DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL**

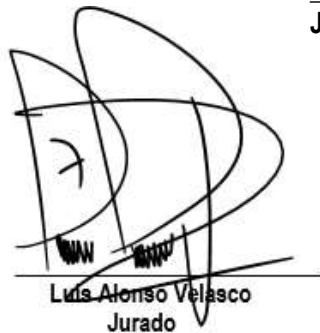
**Autor: Anyi Yasmin Reyes Guerrero.**

**Nota de Aceptación**

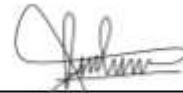
**Certificamos que el presente Trabajo de Grado Satisface, en alcances y calidad, todos los requisitos Que demanda un Trabajo de Grado de Maestría.**



**John Wilmer Escobar Velasquez**  
Director



**Luis Alonso Velasco**  
Jurado



**Julio César Londoño**  
Jurado

**Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali, para optar el título de Magister en Ingeniería énfasis Industrial.**



**HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO Ph. D.**  
Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias



**JUAN CARLOS MARTÍNEZ ARIAS**  
Director Posgrados de Ingeniería y Ciencias

Santiago de Cali, febrero 17 de 2021

**DISEÑO METODOLÓGICO DEL PROCESO DE SELECCIÓN Y MEDICIÓN DEL  
DESEMPEÑO DE PROVEEDORES DE BIENES Y SERVICIOS UTILIZANDO  
TÉCNICAS DE AGRUPAMIENTO Y HERRAMIENTAS MULTICRITERIO EN  
UNA EMPRESA DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL**

**Ing. ANYI YASMIN REYES GUERRERO**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**MAestrÍA EN INGENIERÍA**  
**ÉNFASIS INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**2021**

**DISEÑO METODOLÓGICO DEL PROCESO DE SELECCIÓN Y MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DE PROVEEDORES DE BIENES Y SERVICIOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE AGRUPAMIENTO Y HERRAMIENTAS MULTICRITERIO EN UNA EMPRESA DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL**

**Ing. ANYI YASMIN REYES GUERRERO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Magíster en Ingeniería.**

**Director:**

**JOHN WILMER ESCOBAR VELASQUEZ, PhD.**

**Línea de Investigación:**

**Investigación Operativa y Estadística**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANACALI**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAestrÍA EN INGENIERÍA**

**ÉNFASIS INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**2021**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser el centro de todo. A mi familia, por la vida y constante apoyo. A John Wilmer Escobar, por el respaldo, confianza y apoyo continuo durante el desarrollo de este proyecto. A Julio, por su incondicionalidad y mentoría. A Diego A. Vela, por su liderazgo, confianza y apoyo profesional en este proceso. A la empresa caso de estudio, por permitir la formación de profesionales que buscan la mejora continua en los procesos de la organización y su entorno. A mis compañeros de maestría y amigos cercanos, que me animaron y brindaron su apoyo para el cumplimiento de esta meta.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	22
3. OBJETIVOS.....	24
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	24
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
4. MARCO REFERENCIAL.....	25
4.1. MARCO TEÓRICO.....	25
4.1.1. Proceso de abastecimiento.....	25
4.1.2. Proceso de agrupamiento.....	32
4.1.3. Métodos de decisión multicriterio.....	36
4.2. ESTADO DEL ARTE.....	46
4.2.1. Técnicas de clustering o agrupamiento de proveedores.....	46
4.2.2. Métodos de selección multicriterio MCDM para seleccionar y evaluar proveedores.....	50
5. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.....	55
5.1. Selección y registro de proveedores:.....	56
5.2. Evaluación de desempeño de proveedores.....	57
5.3. Familias de materiales y servicios.....	59
5.4. Proceso de compras.....	60
6. PROCESO DE AGRUPAMIENTO DE PROVEEDORES.....	68
7. APLICACIÓN DEL MODELO DE DECISIÓN MULTICRITERIO TOPSIS.....	74
8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	86
9. CONCLUSIONES.....	88
10. ESTUDIOS FUTUROS.....	91
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
12. ANEXOS.....	98

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipo de codificación de proveedores para compras de bienes y servicios.....	17
<b>Tabla 2.</b> Total de proveedores de suministro de BIENES evaluados bajo los criterios de entrega y calidad.....	19
<b>Tabla 3.</b> Total de proveedores de suministro de SERVICIOS evaluados bajo los criterios de entrega y calidad.....	20
<b>Tabla 4.</b> Criterios de selección de proveedores.....	29
<b>Tabla 5.</b> Criterios de evaluación de desempeño posterior al suministro.....	58
<b>Tabla 6.</b> Proceso general de asignación de licitaciones.....	65
<b>Tabla 7.</b> Criterios de selección de un bien y/o servicio.....	66

<b>Tabla 8.</b> Ranking de ofertas negociación de categoría X. ....	66
<b>Tabla 9.</b> Matriz de decisión teórica.....	75
<b>Tabla 10.</b> Criterios y pesos para la selección de proveedores de acuerdo con la naturaleza del suministro. ....	77
<b>Tabla 11.</b> Datos de entrada del método Topsis: Alternativas de proveedores, criterios y sus pesos correspondientes a la categoría 1 de bienes agrupados en el clúster 3. ....	77
<b>Tabla 12.</b> Matriz de decisión normalizada.....	78
<b>Tabla 13.</b> Matriz de decisión normalizada ponderada. ....	79
<b>Tabla 14.</b> Solución ideal positiva $A^*$ (PIS) y la solución ideal negativa $A'$ (NIS). ....	79
<b>Tabla 15.</b> Medidas de separación de la alternativa ideal positiva $S_i^*$ y alternativa ideal negativa $S_i'$ . ....	80
<b>Tabla 16.</b> Cercanía relativa a la solución ideal $C_i^*$ y ordenación de preferencias. ....	81
<b>Tabla 17.</b> Resultados proceso de selección de proveedores de suministro de BIENES por categoría de compra*.....	82
<b>Tabla 18.</b> Resultados proceso de selección de proveedores de suministro de SERVICIOS por categoría de compra. ....	84

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Número total de proveedores de BIENES caracterizados en las escalas de calificación correspondientes al indicador de entregas (a) y calidad (b).....	19
<b>Figura 2.</b> Número total de proveedores de SERVICIOS caracterizados en las escalas de calificación correspondientes al indicador de entregas (a) y calidad (b).....	20
<b>Figura 3.</b> El proceso de compras. ....	27
<b>Figura 4.</b> Desarrollo de la encuesta de evaluación y selección de proveedores. ....	29
<b>Figura 5.</b> Métodos analíticos existentes para la selección de proveedores.....	32
<b>Figura 6.</b> Taxonomía de enfoques de agrupamiento. ....	33
<b>Figura 7.</b> Métodos de clustering o agrupamiento. ....	36
<b>Figura 8.</b> Enfoques de los procesos de abastecimiento. ....	56
<b>Figura 9.</b> Requisitos de evaluación a proveedores .....	58
<b>Figura 10.</b> Procedimiento paso a paso Algoritmo K-means.....	69
<b>Figura 11.</b> Resultados de agrupamiento de proveedores de suministro de BIENES por categoría de compra mediante el algoritmo K-means .....	71
<b>Figura 12.</b> Resultados de agrupamiento de proveedores de suministro de SERVICIOS por categoría de compra mediante el algoritmo K-means .....	72

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Modelo K-means librería Phyton aplicado para el agrupamiento de proveedores de bienes. ....	98
<b>Anexo 2.</b> Modelo K-means librería Phyton aplicado para el agrupamiento de proveedores de servicios.....	99

## RESUMEN

El problema de selección de proveedores consiste en determinar los mejores proponentes para negociaciones considerando criterios cualitativos y cuantitativos, los cuales varían entre empresas de acuerdo con la naturaleza de sus operaciones. El presente proyecto de grado presenta el diseño metodológico del proceso de selección de proveedores de bienes y servicios utilizando la técnica de agrupamiento K-means y la herramienta de toma de decisión multicriterio denominada Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud con la Solución Ideal o Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS, por sus siglas en inglés) aplicado en una empresa del sector agroindustrial para una base total de 1.887 proveedores activos para compras de suministros.

Para determinar la solución del problema, se realizó el proceso de agrupamiento de proveedores correspondientes a 17 categorías de compra de bienes y 15 categorías de servicios, una vez generados los grupos de proveedores con mejor desempeño por cada categoría bajo los criterios de entregas y calidad se procede a establecer el ranking de los proponentes a través del algoritmo TOPSIS con el cual se logró minimizar el costo de la compra seleccionando los proveedores con mejores resultados bajo diferentes criterios de selección.

**Palabras Claves:** Selección de Proveedores, método de agrupamiento K-means, Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM), Administración de la Cadena de Abastecimiento (SCM), Técnica para para el Orden de Preferencia por Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS).

## ABSTRACT

The supplier selection problem consists of determining the best bidders for negotiations considering qualitative and quantitative criteria, which vary between companies according to their operations' nature. This degree project presents the methodological design of the selection process of suppliers of goods and services using the K-means grouping technique and the multi-criteria decision-making tool called Technique for the Order of Preference by Similarity with the Ideal or Technical Solution for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) applied in a company in the agro-industrial sector for a total base of 1,887 active suppliers for supply purchases.

The process of grouping suppliers corresponding to 17 categories of purchase of goods and 15 categories of services was carried out to determine the problem. First, the suppliers' groups with the best performance for each category were generated under the criteria of deliveries and quality and proceeded to establish the bidders' ranking through the TOPSIS algorithm. This process minimizes the purchase cost by selecting the suppliers with the best results under different selection criteria.

*Keywords:* Supplier Selection, K-means grouping method, Multicriteria Decision Making (MCDM), Supply Chain Management (SCM), Technique for the Order of Preference by Similarity with the Ideal Solution (TOPSIS).

## INTRODUCCIÓN

La Administración de la Cadena de Suministro o Supply Chain Management (SCM, por sus siglas en inglés) considera la coordinación de decisiones estratégicas, tácticas y operativas para abastecer, producir, almacenar, comercializar y transportar productos y/o servicios al cliente o usuario final en función de la demanda. Este conjunto de actividades y flujo de información deben agregar valor a lo largo de toda la cadena en términos de eficiencia, costos competitivos, rentabilidad financiera y capacidad de respuesta ante cambios en el sistema.

Este estudio nace desde uno de los pilares más importantes dentro de la SCM, que es el proceso compras o abastecimiento de materias primas, materiales, insumos y servicios a través de proveedores, los cuales son los actores principales de la red logística de interés para esta investigación.

Para lograr los niveles de confiabilidad esperados en el desempeño de los proveedores algunas empresas cliente, como lo es la del caso de estudio, realizan intervención sobre sus proveedores mediante programas desarrollo y mejoramiento en temas relevantes tales como gestión comercial, planeación de la producción, control y gestión de inventarios, optimización de la logística de transporte, definición acuerdos de nivel de servicio, entre otros tópicos. Los resultados obtenidos posterior a estos programas de seguimiento se traducen en contar con una base de proveedores calificada que cumple con los estándares establecidos por la empresa cliente.

A pesar de la creación y gestión de los programas de acompañamiento a proveedores, en ocasiones no se logra la efectividad en los resultados esperados en términos de calidad y entregas, razón por la cual se hace necesario reconocer la importancia del proceso de selección proveedores (Supplier Selection - SS) antes del proceso de la gestión de compras disminuyendo de esta manera los posibles riesgos durante el proceso de abastecimiento.

Teniendo en cuenta este último aspecto, para determinar los diferentes criterios en la SS nuevos y existentes, las empresas deben establecer procesos robustos y confiables de preselección y selección involucrando características cuantitativas y cualitativas con el objetivo de tener un grupo de proveedores con capacidad de respuesta y alto nivel de servicio.

Actualmente existen muchos enfoques para abordar el problema, para el caso particular, el enfoque de técnicas de agrupamiento (clustering) y selección multicriterio de proveedores son la base de la elaboración de esta propuesta de investigación. Lo anterior, debido a que se pretende establecer los criterios de evaluación y selección por cada categoría de proveedores.

Este proyecto de grado se clasifica como una investigación aplicada y descriptiva que maneja información cualitativa y cuantitativa. El presente documento contiene la descripción del problema, justificación y objetivos en las secciones 1, 2 y 3 respectivamente, en la sección 4 se presenta el marco referencial que relaciona el proceso de gestión de compras de un caso de estudio y las principales técnicas de solución a investigar para solucionar el problema. En la sección 5 se presenta la caracterización del caso de estudio de la empresa del sector agroindustrial y a partir de la sección 6, 7 y 8 se muestra el diseño metodológico y resultados esperados del proyecto de investigación.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Como se ha mencionado, la SCM se ha convertido en uno de los pilares más importantes dentro de los objetivos estratégicos de las organizaciones a nivel mundial debido al reconocimiento del impacto del flujo de decisiones de cada uno de los actores de la red que tienen como fin satisfacer los clientes al mínimo costo de operación. Según (Ballou, 2004) cada eslabón del sistema logístico se planea y balancea, respecto de los demás, en un proceso de planeación logística integrada que involucra el diseño de la administración y los sistemas de control de toda la cadena.

Las etapas de SCM se dividen en cuatro ciclos, los cuales inician con el proceso de abastecimiento de materias primas, materiales e insumos; después pasan al proceso de fabricación en donde se transforman los productos y posteriormente se planifica el reabastecimiento de la demanda de los clientes en las zonas de consumo determinada en el ciclo de pedidos (Chopra & Meindl, 2008).

Dicho lo anterior, es importante mencionar que todos los actores de la red de SCM aportan mediante los resultados de operación a los indicadores de competitividad y desempeño logístico de un país, región o sector empresarial. Según el informe del Consejo Privado de Competitividad (2017), es importante medir el desempeño logístico ya que es un factor fundamental para competir en los mercados nacionales e internacionales, pues comprende un conjunto de variables que permiten optimizar los tiempos y costos de movilizar productos desde la fase del suministro hasta el consumidor final.

Colombia con respecto al resto del mundo, desde el año 2016 al 2018 presenta un avance de 36 puestos en el índice de desempeño logístico LPI para un total de 2,942 de 5 puntos máximos siendo el puntaje más alto de la medición en más de 10 años pasando del puesto 94 al 58 entre 160 países que hacen parte de la evaluación del indicador (Banco Mundial, 2018), desde el año del reporte al 2020 no se ha realizado un nuevo reporte de LPI. Por otra parte, el Índice Global de Competitividad (IGC) para el cierre de 2019 posicionó a Colombia dentro del ranking con la posición 57 de 140 países evaluados aumentando 3 posiciones de un año a otro (World Economic Forum, 2019).

A nivel interno Colombia mide el Índice Departamental de Competitividad (IDC) a partir de trece pilares estratégicos agrupados en tres factores de análisis tales como: Condiciones habilitantes, capital humano, eficiencia de los mercados y ecosistema innovador, para los cuales se identifican y calculan 104 indicadores evaluando la competitividad de 25 departamentos clasificados por 4 etapas de acuerdo con sus niveles de desarrollo. Para el caso del Valle del Cauca, su posición en el 2019 quedó en la etapa 5 bajando una posición frente al año anterior con respecto a los departamentos de Bogotá, Antioquia, Santander y Atlántico posicionados en los primeros 4 lugares respectivamente (Consejo Privado de Competitividad, 2018).

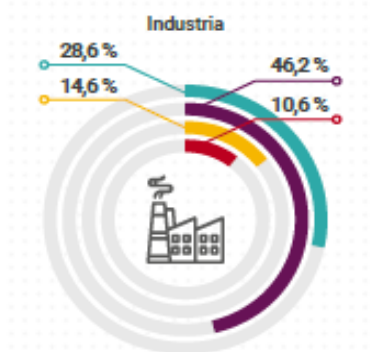
A la fecha se tiene una investigación nacional sobre logística y operaciones derivada de la Política Nacional Logística (PNL) formulada por el Gobierno Nacional a través del documento CONPES 3547 de 2008 en la cual se enmarca el programa “Colombia es Logística” en donde se busca generar información sobre el desempeño logístico en el país; a la fecha se encuentra publicada la tercera edición de la Encuesta Nacional Logística ENL desarrollada por el Departamento Nacional de Planeación DNP en alianza con instituciones

de orden público y privado con resultados nacionales del año 2018 (DNP, 2018, pág. 6).

Según este informe, para el año 2018 el costo total de logística en Colombia como porcentaje de las ventas fue del 13,5% los rubros de almacenamiento y transporte obtuvieron los porcentajes más significativos con un 46,5% y 35,2% respectivamente. En el **Gráfico 1** se puede observar los datos desagregados por actividad económica; para la empresa caso de estudio aplican los resultados de la Industria que evidencia el comportamiento específico de las variables de estudio (DNP, 2018b). Para el año 2020 no se ha publicado un nuevo reporte de desempeño logístico.

Teniendo en cuenta el contexto anterior sobre competitividad y desempeño logístico del país y el departamento en el cual se encuentra ubicada la empresa caso de estudio, se evidencia la existencia de brechas en materia logística en términos del flujo de materiales, transporte, servicios e información, lo que para las empresas se resume en las deficiencias de calidad de infraestructura, productos y servicios, debilidades en la distribución, consolidación y localización de mercancías, ineficiencia en la planificación de los suministros y trámites dentro de la operación, así como también afectación de los niveles de servicio y respuesta ante el cliente final.

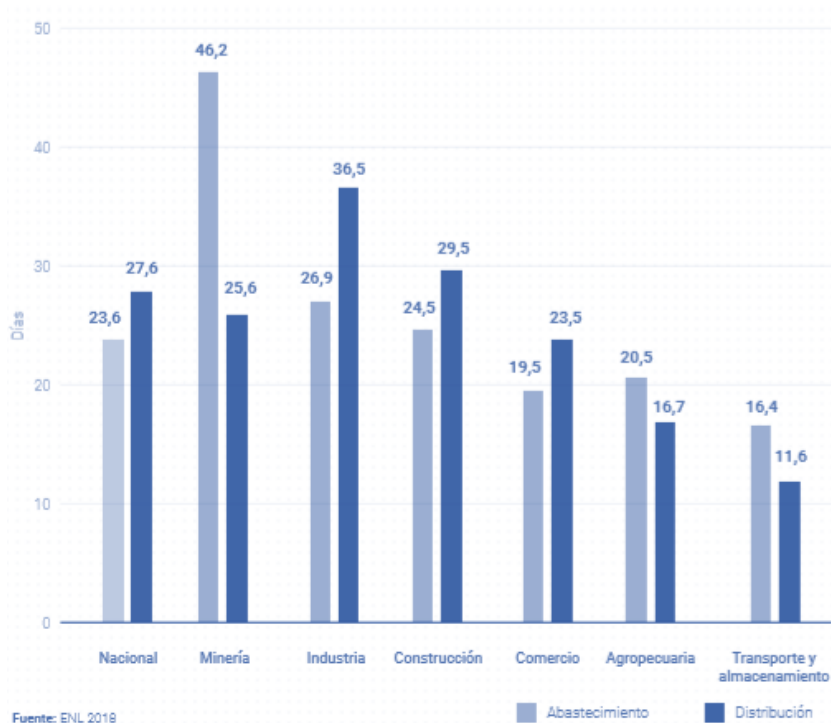
**Gráfico 1.** Costo logístico total actividad comercial Industria.



Fuente: Encuesta Nacional Logística ENL 2018

Dentro de los hallazgos de la ENL 2018, se encontró que el lead time o tiempo promedio de aprovisionamiento es de 26,9 días para la Industria ocupando el segundo lugar con respecto a las empresas que representan las demás actividades económicas evaluadas, así mismo la variable de días de distribución presenta el mayor número de días con respecto a los otros sectores para un total de 36,5 (ver **Gráfico 2**).

**Gráfico 2.** Días de abastecimiento y distribución en empresas grandes por actividad económica.



Fuente: Encuesta Nacional Logística ENL 2018

Este proyecto de investigación aborda un caso de estudio de una compañía del sector agroindustrial del Valle del Cauca, la cual fabrica y comercializa nacional e internacionalmente productos de consumo masivo como el azúcar, insumos para el sector paplero e hidrocarburos. Para lograr dicho fin, la empresa caso de estudio tiene como aliados estratégicos aproximadamente 1887 proveedores de suministro de bienes y servicios considerándolos como aliados estratégicos en toda la red de suministro nacional e

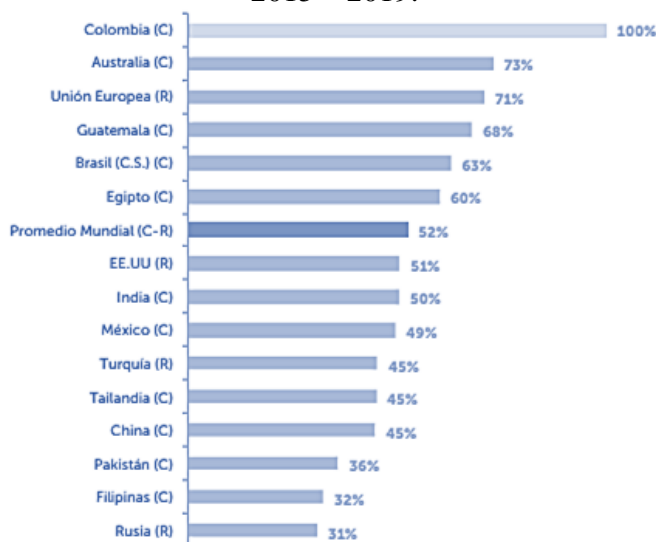
internacional, cada uno con diferentes características asociadas a su naturaleza y contexto.

Es importante resaltar que el mercado mundial del azúcar se encuentra definido en función de las políticas gubernamentales y arancelarias de los países productores y consumidores que buscan proteger sus niveles de rentabilidad y competitividad global, así como también es influenciado por el comportamiento de la moneda internacional y el factor climático de cada región, llevando al sector azucarero a una corriente de permanente inversión en tecnologías, mejora de los indicadores de productividad y eficiencias en la producción de azúcar y sus derivados.

Lo anterior, puede ser evidenciado en el último reporte generado por la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (ASOCAÑA) en donde se muestra que para el 2019 Colombia sigue encabezando el indicador de productividad mundial de azúcar frente a los demás países productores (ver **Gráfico 3**) debido a las inversiones en el proceso de investigación y desarrollo y su asociación gremial, sin embargo, la derogación de la Resolución 90454 de 2014 a partir del 1 de Mayo de 2017 afectó considerablemente el mercado interno de azúcar y etanol durante los últimos años, así como también las frecuentes distorsiones de las condiciones de mercado (ASOCAÑA, 2019).

Sumado a esta problemática, cada año se presentan incrementos en el costo de los materiales y servicios para la operación de las plantas de producción ya sea por el Índice de Precios al Consumidor (IPC), comportamiento de commodities, inestabilidad de las tasas de cambio y la dificultad en la predicción del factor climático han llevado al gremio a problemas de apalancamiento financiero y búsqueda de estrategias para sostenerse en el mercado.

**Gráfico 3.** Indicador de productividad mundial de azúcar - principales países productores (toneladas de azúcar/hectárea) como porcentaje del rendimiento de Colombia\*. Promedio 2015 – 2019.



\* Se refiere a la cantidad de azúcares totales ajustado por edad de corte

(C): Caña

(R): Remolacha

Fuente: LMC International. [www.lmc.co.uk](http://www.lmc.co.uk)

Fuente: Tomado de Informe Anual de Aspectos Generales del Sector Agroindustrial de la caña (ASOCAÑA, 2019).

En este contexto y con el objetivo de ofrecer productos competitivos manteniendo su participación en el mercado, la compañía del caso de estudio ha identificado que la gestión efectiva de su cadena logística esencialmente desde el proceso de compras, le permitirá obtener resultados importantes en términos de productividad, competitividad y rentabilidad.

Dada la prioridad latente de disminución del gasto en la operación de la empresa caso de estudio, se ha hecho necesario negociar con los proveedores con oferta económica más atractiva, sin embargo, esto no asegura un nivel de servicio esperado y relaciones a largo plazo con proveedores confiables. Dicho esto, el área de compras y gestión de proveedores ha identificado año tras año incumplimientos reiterativos por parte de proveedores de bienes y

servicios, los cuales, han generado impactos negativos considerables en la operación e insatisfacción del cliente interno por la incertidumbre y baja confiabilidad del proceso de abastecimiento.

El no contar con suministros de bienes y servicios disponibles a tiempo y con la calidad requerida para las áreas usuarias o clientes internos, genera retrasos en la programación de mantenimientos, equipos o áreas con altos tiempos de espera en ser habilitados para su uso, inconformidad y baja calidad en las operaciones de las diferentes áreas de la empresa caso de estudio que al final se reflejan en los costos ocultos de la operación que impactan directamente la rentabilidad de la organización.

Una de las causas principales detectadas como fuente del problema, es el proceso de selección de proveedores para negociaciones. Aunque se tiene un proceso estructurado de selección de proveedores para vinculación a la compañía, no se articula al proceso de compras para realizar una evaluación integral del proveedor postulante a una negociación.

Generalmente, la solicitud de registro de un proveedor nace del equipo negociador cuando ya se han validado consideraciones técnicas y comerciales corriendo el riesgo de que, en el proceso de evaluación integral que incluye validaciones legales, capacidad financiera y nivel de servicio en el mercado, pueda generar que no se apruebe el proveedor y se pierda el trabajo realizado desde la gestión de compras.

Tanto las negociaciones enmarcadas en un contrato a largo plazo como las compras operativas diarias pueden realizarse a proveedores nuevos y/o existentes. Los criterios utilizados actualmente para la asignación de contratos y pedidos son: Precio, especificaciones técnicas, descuento comercial, tiempo de entrega y condiciones de pago.

Teniendo en cuenta lo anterior, para disminuir el riesgo en el proceso de abastecimiento, el área de compras debe ejecutar inicialmente la evaluación integral del proveedor y posteriormente realizar los procesos de negociación. Para los proveedores inscritos en la base de datos es mandatorio tener en cuenta los indicadores de desempeño para realizar procesos de asignación de licitaciones efectivos.

Actualmente, se tienen aproximadamente un total de 1.887 proveedores de bienes y servicios activos para compras, los cuales están identificados por una codificación de 10 dígitos que inicia con el número detallado en la **Tabla 1** de acuerdo con la naturaleza de la compra, esta condición tiene como objetivo realizar un control y gestión de proveedores con negociaciones vigentes o compras operativas diarias.

**Tabla 1.** Tipo de codificación de proveedores para compras de bienes y servicios.

RAÍZ DEL CÓDIGO DE PROVEEDOR		TIPO DE COMPRA
2	Bienes de consumo regular	Negociación/licitación
4	Bienes y servicios de importación	Negociación/licitación/compra operativa diaria
7	Servicios por oferta mercantil	Negociación/licitación
9	Bienes y servicios de compra esporádica	Compra operativa diaria

Fuente: Elaboración propia.

Dependiendo de la raíz del código asignada al proveedor así mismo se clasifica el tipo de compra. Los proveedores bajo negociación o licitación son los cuales a los que se llegan a un acuerdo de precios durante un periodo determinado. Para el caso de las compras esporádicas o puntuales, son los proveedores a los cuales se les realiza procesos de cotización cada vez que se recibe una necesidad por parte de las áreas usuarias y con los cuales no se han gestionado las negociaciones a largo plazo.

El objetivo estratégico del área de abastecimiento es lograr negociar la mayor parte de categorías con un catálogo de proveedores confiables para optimizar el gasto en el proceso de compras y ser más eficientes en los procesos de adquisición de bienes y servicios.

En la actualidad los resultados del proceso de calificación de proveedores no se utilizan como criterios para la toma de decisión durante los procesos de asignación de negociaciones, lo que conlleva a realizar acuerdos comerciales con proveedores que pueden tener un histórico en su gestión del desempeño excelente, satisfactorio, regular o deficiente. Como resultado se obtienen sobrecostos en la ejecución de labores en la operación debido a la falta de disponibilidad y calidad de los bienes y servicios.

Según el último reporte del programa de reevaluación de desempeño a proveedores del año 2019, se encontraron desviaciones considerables en los indicadores de gestión de los proveedores. A continuación, se detallan los hallazgos que evidencian el problema de la baja confiabilidad de las empresas de la cadena de abastecimiento del caso de estudio y por el cual se justifica el proyecto de grado:

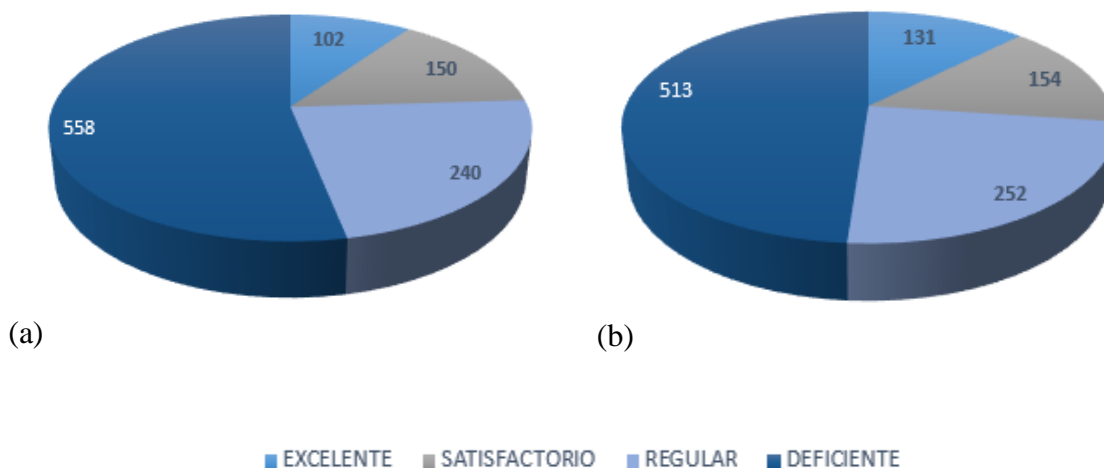
Los resultados de evaluación de proveedores de suministro de Bienes son presentados en la **Tabla 2** y **Figura 1** para una base total de 1050 proveedores. Para el criterio de entregas, se evidencia un total de 558 proveedores correspondientes al 53% de los proponentes con desviaciones en la entrega de los materiales ya sea en fecha de entrega y/o cantidades pactadas en las compras. Así mismo, el criterio de calidad presenta 513 proveedores con un 49% sobre el total que tienen novedades en el cumplimiento de las especificaciones técnicas, reclamos y procesos de garantía.

**Tabla 2.** Total de proveedores de suministro de BIENES evaluados bajo los criterios de entrega y calidad

ESCALAS DE CALIFICACIÓN			ENTREGAS		CALIDAD	
			TOTAL PROVEEDORES			
EXCELENTE		91%-100%	102	10%	131	12%
SATISFACTORIO		81%-90%	150	14%	154	15%
REGULAR		61%-80%	240	23%	252	24%
DEFICIENTE		0%-60%	558	53%	513	49%
			1050	100%	1050	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 1.** Número total de proveedores de BIENES caracterizados en las escalas de calificación correspondientes al indicador de *entregas* (a) y *calidad* (b).



Fuente: Elaboración propia.

La situación anterior refleja en los indicadores internos de la operación que miden el total de “órdenes de compra a proveedores vencidas” y el nivel de “materiales agotados”, los cuales miden el incumplimiento de los proveedores en las entregas afectando directamente la disponibilidad de las mercancías en el almacén de materiales. Para el primer indicador, durante el último trimestre del 2019 se evidencia un promedio de 40,5% de órdenes de compra con fecha de entrega vencida sobre una base de 56.188 pedidos realizados y para el

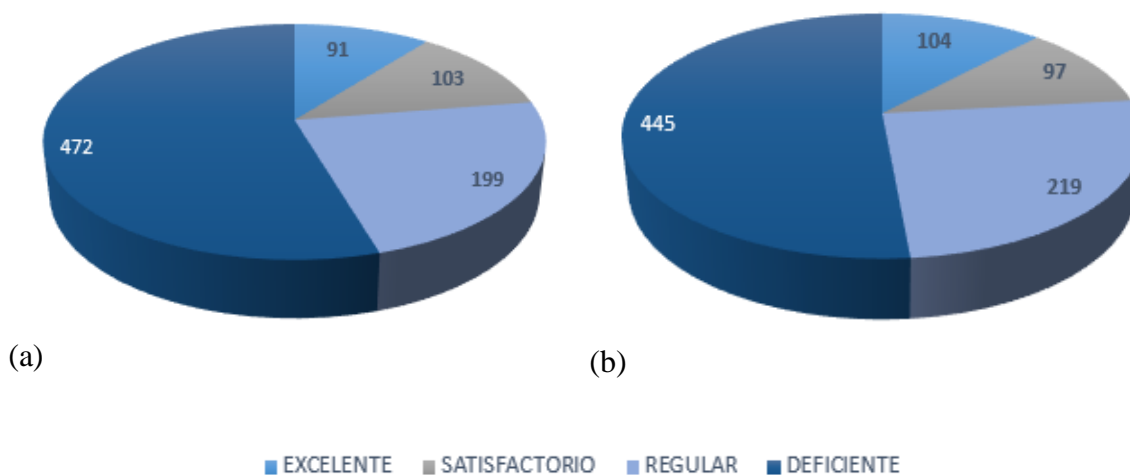
segundo, se calculó un 4,4% de los materiales agotados en el stock de 381 ítems solicitados a proveedores.

**Tabla 3.** Total de proveedores de suministro de SERVICIOS evaluados bajo los criterios de entrega y calidad

ESCALAS DE CALIFICACIÓN			ENTREGAS		CALIDAD	
			TOTAL PROVEEDORES			
EXCELENTE		91%-100%	91	11%	104	12%
SATISFACTORIO		81%-90%	103	12%	97	11%
REGULAR		61%-80%	199	23%	219	25%
DEFICIENTE		0%-60%	472	55%	445	51%
			865	100%	865	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 2.** Número total de proveedores de SERVICIOS caracterizados en las escalas de calificación correspondientes al indicador de *entregas* (a) y *calidad* (b).



Fuente: Elaboración propia.

En este mismo sentido, los proveedores de servicios presentan los resultados de gestión del desempeño relacionados en la **Tabla 3** y **Figura 2** aplicado a 865 empresas para el cierre año 2019 dejando como resultados 472 proveedores escalafonados como deficientes en el cumplimiento de entrega en los servicios y 445 empresas con indicador deficiente en calidad.

Los bajos desempeños de las empresas prestadoras de servicios pueden estar asociados a la falta de planeación del proveedor a los servicios programados, idoneidad y competencia del personal utilizado, infraestructura de equipos y herramientas, falta de generación de acuerdos de nivel de servicios, entre otros. Estos aspectos son el input de las calificaciones que realizan los usuarios de la empresa y evidencian la existencia del problema de selección de proveedores.

Para finalizar, cabe mencionar que los bajos niveles de servicios de los proveedores generan un aumento en el costo de no calidad, reproceso o parada en actividades programadas por disponibilidad del materiales o servicios e incertidumbre por parte de la empresa cliente al momento de contratar.

Debido a la importancia de tener una cadena de suministros desarrollada y resiliente ante cualquier ambiente de riesgo e incertidumbre, es necesario gestionar todos los actores de la red especialmente los proveedores de suministros, razón por la cual surge la siguiente pregunta de investigación:

***¿Qué metodología debería ser apropiada para seleccionar y evaluar proveedores de bienes y servicios teniendo en cuenta técnicas de agrupación y herramientas multicriterio?.***

En este mismo sentido, también se busca resolver los siguientes interrogantes:

¿Cómo realizar el agrupamiento o clustering de proveedores teniendo en cuenta atributos cualitativos y cuantitativos para la identificación de los proveedores con mejor evaluación de desempeño?

¿Cuáles deberían ser los criterios de agrupamiento o clustering y para la selección y evaluación de proveedores?

¿Cuál sería la política que defina el número de proveedores apropiados por categoría de bienes y servicios de acuerdo con el clúster?

¿Cuáles deberían ser las métricas de selección y medición del desempeño de acuerdo con el clúster del proveedor?

## 2. JUSTIFICACIÓN

La Gerencia de Abastecimiento de la empresa caso de estudio ha manifestado su interés en gestionar eficientemente el proceso de adquisición tanto de bienes como servicios. Sin embargo, la metodología actual de compras ha demostrado históricamente que el problema de gestión de desempeño a proveedores no se ejecuta de manera efectiva por las causales expuestas en la sección anterior.

Dentro de las razones más importantes que catapultan esta investigación como factor clave en el proceso de gestión de compras se encuentran las siguientes:

- Se ha evidenciado que muchos proveedores considerados para compras esporádicas pasaron a ser proveedores estratégicos debido a los montos y frecuencias de compra. Esta situación demuestra que en el proceso de selección y evaluación de proveedores existen debilidades ya que los criterios de decisión son diferentes en cada categoría de proveedor y la evaluación del desempeño no se tiene en cuenta para la toma de decisiones.

- Los resultados de calificación del desempeño obtenidos de los proveedores en escalas deficientes y regulares son reiterativos año tras año y los planes de acción que han propuesto no han sido efectivos. Algunos de estos proveedores han ganado licitaciones a largo plazo, las cuales durante su ejecución incumplen los acuerdos comerciales y logísticos pactados, por tanto, la empresa contratante del caso de estudio aplica sanciones y pólizas de cumplimiento que demandan más recurso administrativo y pérdida del valor en el proceso de abastecimiento.
- Cada incumplimiento está generando insatisfacción a los clientes internos y el hecho de tener materiales agotados, sanciones legales y paradas en procesos por fallas en la operación de los proveedores genera incertidumbre, desconfianza y pérdidas económicas por el costo de oportunidad de cada suministro.
- Por último, no se tiene definida una política integral de evaluación y gestión de proveedores que involucre diferentes criterios para una gestión adecuada de la base de datos de proveedores que permita mejorar la eficiencia, competitividad y valor agregado en la selección de los proponentes.

Este proyecto de investigación tiene como propósito principal, diseñar una metodología de agrupamiento, selección y medición del desempeño a proveedores de bienes y servicios para mejorar el nivel de servicio, garantizar los suministros en todos los niveles de la organización y proyectar a futuro un programa de desarrollo de proveedores como parte del eje de responsabilidad social corporativa.

De igual manera, dentro de la compañía caso de estudio no se tiene como prioridad la inversión en herramientas avanzadas para el análisis y toma de decisiones con respecto a la

selección y medición del desempeño del proceso logístico desde los proveedores, por lo cual, se enmarca la necesidad de desarrollar este proyecto de investigación.

Con los resultados obtenidos en este proyecto se espera gestionar los proveedores de manera óptima de acuerdo con la naturaleza, contexto, características cuantitativas y cualitativas para enfocar los esfuerzos en el desarrollo de negociaciones competitivas, así como también, dar continuidad a los programas de desarrollo a proveedores.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1.OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una metodología de selección y medición del desempeño de proveedores de bienes y servicios utilizando técnicas de agrupamiento y herramientas multicriterio en una empresa del sector agroindustrial.

#### **3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Revisar la literatura de técnicas de agrupamiento y herramientas multicriterio para resolver el problema de selección de proveedores.
- Caracterizar el caso de estudio y los elementos que interactúan en el proceso de selección, medición y seguimiento al desempeño de proveedores.
- Determinar los parámetros y la metodología apropiada de agrupamiento
- Determinar y priorizar los criterios de decisión a considerar en la metodología multicriterio.

## **4. MARCO REFERENCIAL**

Una correcta selección y evaluación del desempeño de los proveedores puede eliminar proveedores no calificados y establecer una relación de cooperación a largo plazo con proveedores calificados, en este marco, la información se intercambia rápidamente para proporcionar un apoyo propicio para la administración del suministro (Z.H. & H.S., 2009, pág. 746).

En este capítulo se pretende contextualizar la investigación desde los conceptos básicos y característicos del problema en estudio. Para su desarrollo, se realizará una descripción del marco teórico que soporta las técnicas avanzadas para desarrollar el problema y se presenta la revisión del estado del arte que pretende identificar las principales corrientes teóricas con las cuales se ha abordado la temática.

### **4.1. MARCO TEÓRICO**

El marco teórico se divide en tres secciones, en la primera desarrolla lo relacionado con el proceso selección y evaluación de proveedores incluyendo el ciclo de compras, la segunda, presenta lo relacionado con los métodos de agrupamiento y en la tercera se muestra la toma de decisiones multicriterio.

#### **4.1.1. Proceso de abastecimiento.**

La gestión compras es un proceso mediante el cual una compañía optimiza sus niveles de rentabilidad. En este sentido, es importante destacar etapas para el aprovisionamiento como

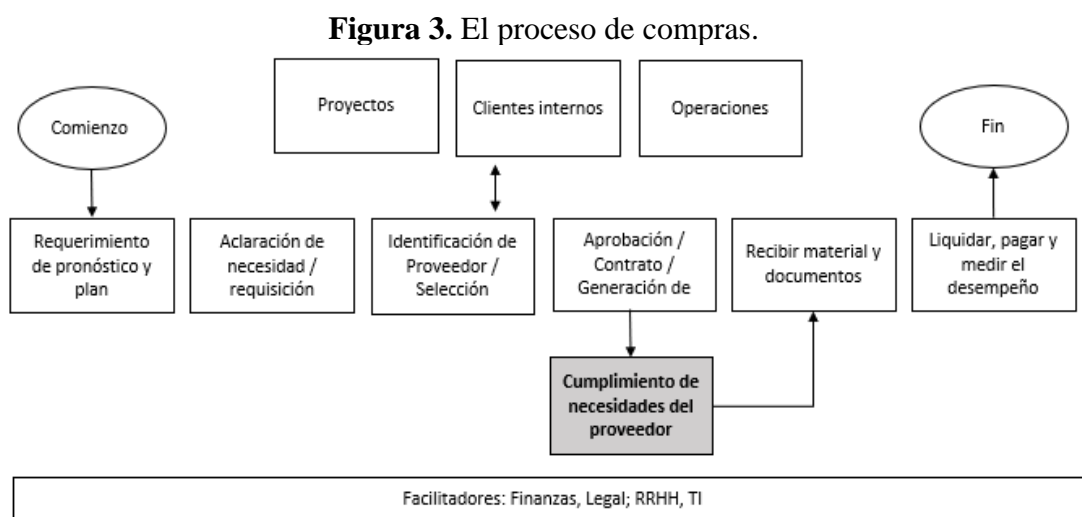
la caracterización y clasificación de los materiales y servicios bajo el nivel de riesgo y la incidencia en los resultados de la compra, realización del análisis del gasto interno, conocimiento del mercado de proveedores, definición de estrategias de aprovisionamiento para las categorías de compra con ahorros potenciales, generación de contratos a largo plazo con proveedores, monitoreo continuo de las tendencias del mercado y de las fuentes principales de suministro, búsqueda de proveedores alternos, entendimiento del negocio de la empresa cliente y metas trazadas a nivel corporativo.

Para Sangri Coral (2014), el objetivo general de compras es adquirir los recursos materiales que necesita la organización con la mejor calidad y precio, así mismo, define entre los objetivos específicos de este proceso de abastecimiento son:

- **Reducir costos:** Obtención de utilidades y a la vez mejorar el trinomio costo-beneficio-utilidad.
- **Comprar al mínimo precio:** Sin olvidar, la calidad, el volumen y la pronta utilización de lo adquirido.
- **Servicio:** Optimizando los tiempos y las coordinaciones con los departamentos a los que les da el servicio, para con ello cumplir con los requerimientos solicitados.
- **La responsabilidad del área de compras:** Precios, proveedores, pedidos, inspección de lo adquirido, cuando así lo amerite; también, informes, inventarios, convenios, contratos, almacenaje y seguimiento, entre otros.
- **Controlar convenios:** Interés en todos los convenios que fueron, son y serán necesarios para el financiamiento que otorgue el proveedor como el tiempo de pago, requerimientos y parámetros, mantener inventarios en existencia y seguir procedimientos escritos para pedidos y órdenes de compra.

- **Control de los tratados comerciales con los proveedores:** En lo referente al cumplimiento de lo pactado en contratos y acuerdos de nivel de servicio.

El ciclo de compras según la propuesta de Monczka, Handfield, Giunipero y Patterson (2009), inicia mediante el pronóstico o previsión de los requerimientos, así como también el plan de compras, al final de las etapas proponen el uso de indicadores de desempeño para la medición de procesos y proveedores (ver **Figura 3**).



Fuente: Tomado y traducido de Monczka et. al. (2009, pág. 43)

#### 4.1.1.1. Selección de proveedores

De acuerdo con la definición de Vidal, C. J. (2010), se definen como proveedores las empresas o personas que suministran materias primas, componentes, insumos y/o servicios a las plantas manufactureras de una cadena de abastecimiento industrial o comercial, éstos pueden diferenciarse por localización, tamaño, actividad comercial, costo, calidad, servicio, confiabilidad, flexibilidad, gestión integral y certificaciones.

Actualmente existen en el mercado un sin número de proveedores disponibles para el suministro de bienes y servicios, los cuales deben ser adquiridos bajo las correctas especificaciones solicitadas razón por la cual el proceso de selección de proveedores se convierte en uno de los procesos más críticos e importantes dentro de la cadena de suministro.

Según Chopra & Meindl (2008, pág. 428), un buen proceso de puntuación y evaluación de un proveedor debe identificar y seguir el desempeño en todas las dimensiones que afectan el costo total de utilizar un proveedor.

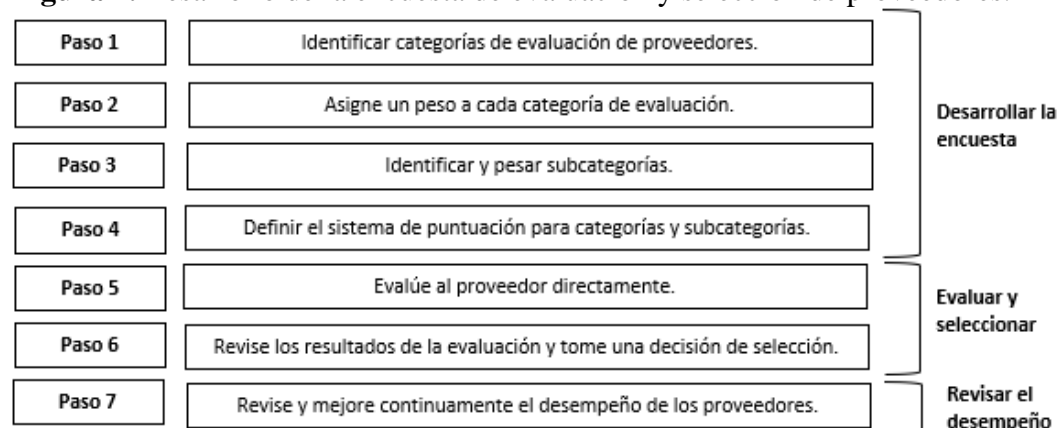
Para Monczka et. al. (2009b), dicho proceso consiste en la identificación de los requisitos clave y estrategia de abastecimiento, identificación de fuentes potenciales de suministro, evaluación de alternativas, limitación del grupo de proveedores, definición del método de evaluación y selección de proveedores, por último, lograr el acuerdo.

En la **Figura 4** se muestran los siete pasos para la selección y evaluación de proveedores propuestos por los autores Monczka et. al. (2009), los cuales son utilizados frecuentemente en las compañías, sin embargo, a través de los años varios autores han desarrollado diferentes técnicas multicriterio para seleccionar proveedores que permiten obtener resultados mediante la evaluación de alternativas con diferentes variables de decisión dando como resultado una solución que agrupa los criterios de decisión.

Durante muchos años, el enfoque tradicional para la selección de proveedores ha sido seleccionar proveedores simplemente en función del precio, sin embargo, como las empresas han aprendido que el énfasis exclusivo en el precio como criterio único para la selección de proveedores no está bien organizado, se ha convertido en un enfoque multicriterio más

completo que impulsa el crecimiento y competitividad de las compañías (Taherdoost & Brard, 2019, pág. 1028).

**Figura 4.** Desarrollo de la encuesta de evaluación y selección de proveedores.



Fuente: Tomado y traducido Monczka et. al. (2009, pág. 256).

En la **Tabla 4** se presentan algunos de los criterios de selección de proveedores identificados en la revisión de la literatura como punto referencia para la ejecución de cualquier ciclo de compras. Las empresas de acuerdo con sus objetivos estratégicos, tácticos y operativas definirán los criterios de selección de proveedor a utilizar.

**Tabla 4.** Criterios de selección de proveedores.

CRITERIO	DEFINICIÓN
<b>Precio</b>	El precio es el valor monetario asignado a un bien o servicio, éste, incluye precio unitario, términos de precios, tasas de cambio, impuestos y descuento.
<b>Calidad</b>	La capacidad del proveedor para cumplir con las especificaciones de calidad de manera consistente que incluyen calidad características (material, dimensiones, diseño, durabilidad), variedad, calidad de producción (líneas de producción, técnicas de fabricación de maquinaria), sistema de calidad y mejora continua.
<b>Tiempo de entregas</b>	La capacidad del proveedor para cumplir con los cronogramas de entrega especificados que incluyen el tiempo de entrega, el rendimiento a tiempo, la tasa de llenado, la gestión de devoluciones, la ubicación, el transporte y los incoterms.
<b>Historial de desempeño</b>	El proceso de evaluación de desempeño en períodos de tiempo regulares se considera como un mecanismo esencial para monitorear y medir el desempeño del proveedor con el fin de validar que se mantiene la calidad de los productos y servicios solicitados, cumplimiento en los tiempos de entrega pactados y demás acuerdos comerciales y operativos.
<b>Política de quejas y reclamaciones</b>	Es un mecanismo que establece las orientaciones para la gestión de quejas, reclamos y sugerencias, con el fin de reforzar el compromiso con los grupos de interés y mejorar la calidad de los suministros y el nivel de servicio.

<b>Condiciones de pago</b>	Las condiciones de pago son los términos de pago acordados entre un vendedor y un comprador por un intercambio comercial, éstos, deben figurar en la factura y orden de compra detallando cómo y cuándo se va a efectuar el pago de la operación. Existen varias modalidades de pago, entre ellas el de contado, anticipado y crédito a un plazo pactado entre las partes.
<b>Capacidad Técnica</b>	Capacidad de fabricación, comercialización y/o distribución de bienes y/o servicios en términos del conocimiento de su catálogo, calidad, especialización, personal competente, nivel de servicio y asesoría, flexibilidad y diseño de soluciones integrales.
<b>Capacidad de producción e instalaciones</b>	El volumen de productos o servicios que puede producir un proveedor utilizando los recursos actuales.
<b>Capacidad tecnológica</b>	La capacidad tecnológica de un proveedor y la capacidad de adquirir nuevas tecnologías y recursos técnicos para prácticas y procesos de investigación y desarrollo, es decir, se encuentra constituida por el conjunto de conocimientos, habilidades, técnicas y demás componentes relacionados que permiten utilizar, adquirir, mejorar y adaptar tecnologías para el crecimiento y desarrollo sostenido de una organización.
<b>Sistema de comunicación</b>	Un sistema de comunicación efectivo y el intercambio de información oportuno entre proveedores y clientes son factores claves para lograr mantener procesos eficientes y relaciones a largo plazo. En el sistema de comunicación del proveedor se incluye información sobre los datos de progreso de los pedidos y novedades en los diferentes tipos de requerimientos realizados por la empresa.
<b>Reputación y posición en la industria</b>	Es el perfil del proveedor, el cual va asociado a la trayectoria, historial de desempeño en los negocios, base de clientes, crecimiento en ventas y el posicionamiento de la marca entre otras consideraciones.
<b>Garantías y pólizas de reclamo</b>	La superioridad de la garantía escrita especificada que promete reparar o reemplazar el producto si es necesario dentro de un período específico y también la póliza de reclamo como una solicitud formal de cobertura o compensación por una pérdida cubierta o un evento de póliza.
<b>Riesgo en el suministro</b>	El riesgo es el efecto de la incertidumbre, es decir, la posibilidad de que un evento inesperado afecte a la organización, influyendo negativamente en las actividades normales o impidiendo que las cosas se realicen de acuerdo a lo planeado. Pueden existir riesgos operacionales, incumplimiento de proveedores, financieros, calidad, inventarios, desastres naturales, entre otros.
<b>Direccionamiento estratégico (Planes)</b>	La declaración en formato del proveedor de los objetivos de un negocio, las razones por las cuales son alcanzables y los planes e infraestructura para llegar a ellos.
<b>Ubicación geográfica</b>	La ubicación geográfica del proveedor, se considera una decisión de tipo estratégico.
<b>Confiabilidad</b>	La calidad del proveedor de ser confiable y confiable según las referencias (retroalimentación de los compradores), estabilidad financiera (capital, facturación anual), socios comerciales pasados y actuales, organización y personal de la empresa, diversidad de propiedad y conciencia cultural.
<b>Nivel de servicio</b>	La capacidad del proveedor para proporcionar productos intangibles, incluida la personalización (tamaño, forma, color, diseño, OEM, servicio de etiquetas), cantidad mínima de pedido, comunicación (tiempo de respuesta, información, lenguaje), conocimiento de la industria, flexibilidad y respuesta al cambio.
<b>Poder de negociación</b>	El poder de negociación de los proveedores es una de las cinco fuerzas que determinan la intensidad de la competencia en una industria, en otras palabras, es la capacidad superior al momento que se llega a acuerdos entre los agentes negociadores, funcionando como una amenaza o riesgo para la empresa.
<b>Mejoramiento continuo en procesos</b>	Son todas las iniciativas, proyectos y/o acciones que lleva a cabo un proveedor para hacer que sus procesos, productos y la empresa sean más competitivos, diferenciadores y brinden un valor agregado a su cliente.
<b>Capacidad financiera</b>	Es la capacidad que tiene el proveedor para realizar pagos a corto, mediano y largo plazo para su desarrollo y crecimiento, así mismo, presenta los niveles de liquidez, endeudamiento y rentabilidad de la empresa.
<b>Capacidad de desarrollo de productos</b>	La capacidad del proveedor para modificar un producto existente o su presentación, o la formulación de un producto completamente nuevo que satisface un nuevo deseo del cliente o nicho de mercado.
<b>Diversidad en portafolio de bienes y servicios</b>	Permite dar a conocer a los clientes o potenciales clientes cuál es el trabajo que realiza la empresa y las opciones de selección de suministros, el tamaño del portafolio debe coincidir con la capacidad de la empresa para atender el mercado.
<b>Responsabilidad social empresarial</b>	La responsabilidad del proveedor de utilizar los recursos naturales con cuidado, minimizar los daños y garantizar que estos recursos estarán disponibles para las generaciones futuras.

<b>Costo</b>	El costo es una valoración monetaria del esfuerzo, material, recursos, tiempo y servicios consumidos, riesgo incurrido y oportunidad perdida en la producción y entrega de un bien o servicio.
<b>Confianza mutua y comunicación efectiva</b>	El nivel de confianza en la calidad del trabajo proporcionado por el proveedor. Se refiere a las obligaciones adeudado entre el comprador y el proveedor. La comunicación fácil es un simple intercambio de información entre la empresa y el proveedor.
<b>Perfil del proveedor</b>	La superioridad y la reputación del estado del proveedor, el rendimiento pasado, las finanzas, los certificados, y referencias.
<b>Administración, organización y</b>	La reputación del equipo de gestión del proveedor y la eficiencia de su toma de decisiones, resolver problemas para ser efectivos y beneficiosos.

Fuente: Tomado y adaptado de Taherdoost & Brard (2019, pág. 1029) y Wan, Xu & Dong (2016, pág. 20)

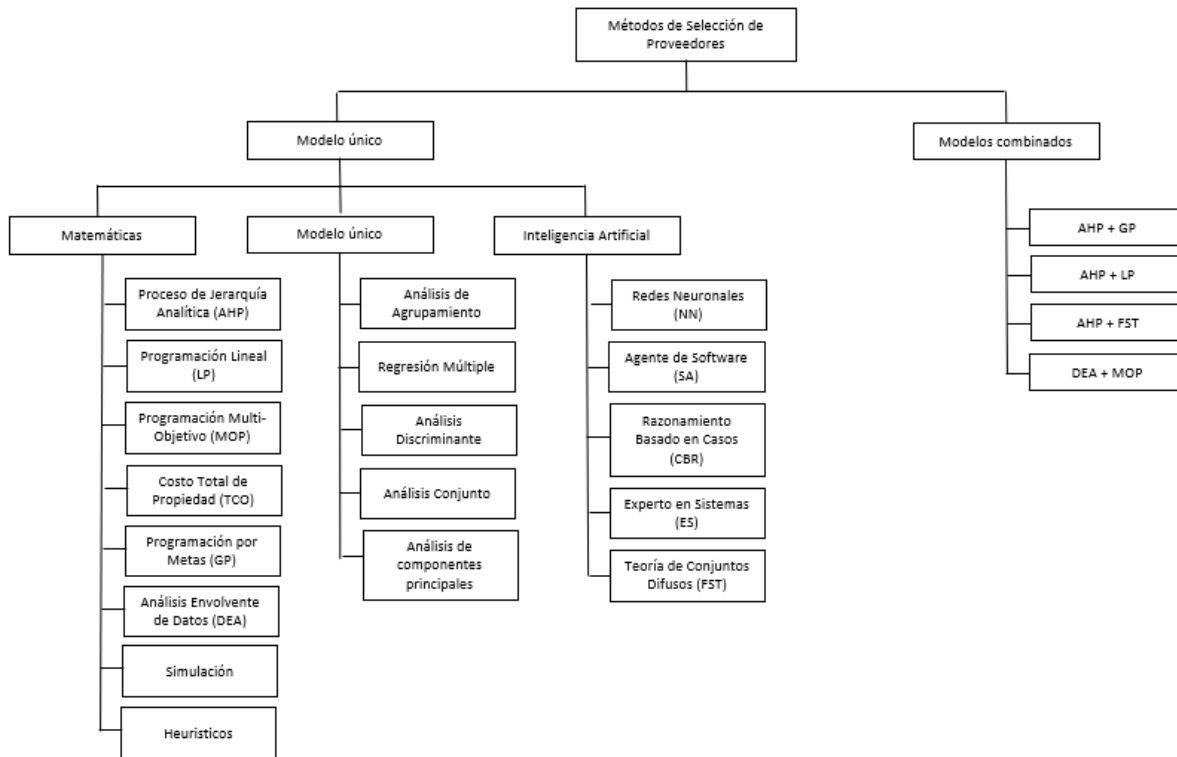
Thakkar (2008) citado por Sarache Castro, Castrillon Gómez, & Ortiz Franco (2009, pág. 157) mencionan que una vez definidos y jerarquizados los criterios de selección, el siguiente paso consiste en escoger a los proveedores mediante la aplicación de un determinado método.

Dicho esto, la selección de proveedores es un problema de MCDM que contiene tanto y criterios cualitativos que, juntos, están en conflicto (Kannan, Khodaverdi, Olfat, Jafarian, & Diabat, 2013, pág. 356). En la **Figura 5** se presentan algunos de los métodos multicriterio para la selección de proveedores y más adelante en la Sección **4.1.3**, se amplía información detallada de los más representativos.

#### **4.1.1.3. Ciclo de compra.**

Una vez se han identificado las fuentes de suministro con las mejores condiciones globales, el proceso de abastecimiento comienza con la emisión del RFX (Request for X) más complejas y requieren de varios factores clave de decisión, y por último, la solicitud de invitación para oferta (*Request For Bid, RFB* o *Invitation For Bid, IFB*) se usa cuando se requiere canalizar el proceso de abastecimiento a través de una licitación (Johnson, Leenders, & Flynn, 2012, págs. 72, 280).

**Figura 5.** Métodos analíticos existentes para la selección de proveedores



Fuente: Tomado y traducido de Kannan et. al. (2013, pág. 357)

#### 4.1.2. Proceso de agrupamiento.

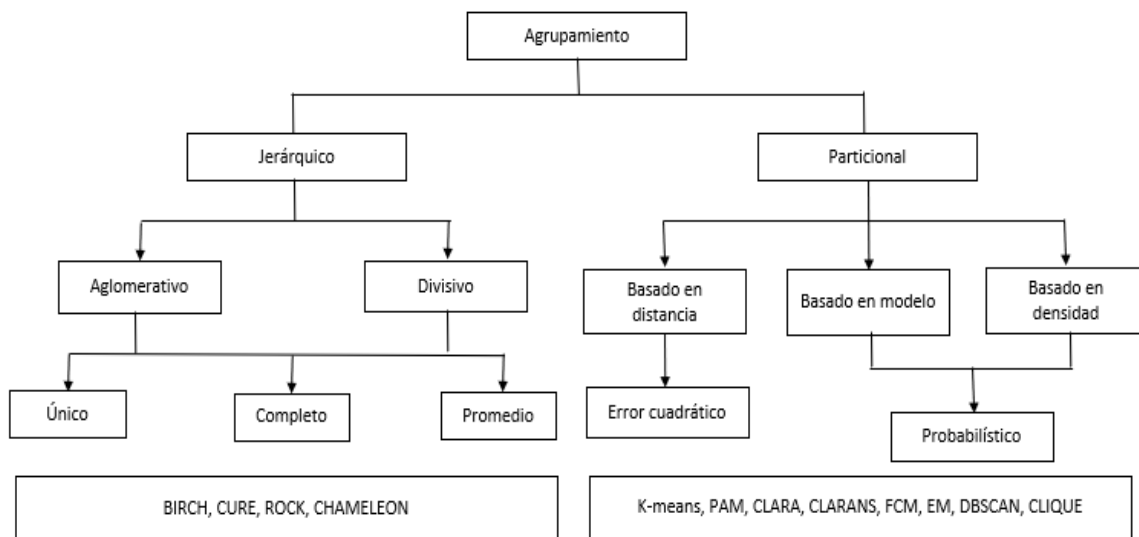
Según Kotu & Deshpande (2019) la agrupación o clustering es el proceso de explorar los datos y encontrar todos los grupos significativos posibles en los datos y el objetivo no es predecir una variable de clase objetivo, sino simplemente capturar las posibles agrupaciones naturales en los datos. Dependiendo de la técnica de agrupamiento utilizada, la cantidad de grupos o agrupaciones es definida por el usuario o determinada automáticamente por el algoritmo del conjunto de datos.

Dichos autores utilizan el concepto publicado por Witten & Frank (2005) quienes indican que independientemente de los tipos de aplicaciones de agrupación se busca encontrar aglomeraciones en los datos, de tal manera que los puntos de datos dentro de un grupo sean

más similares entre sí que a los puntos de datos en los otros grupos. En este mismo sentido, precisan que la forma común de medir la similitud es la medición de la distancia euclidiana en el espacio n-dimensional.

Saxena et. al. (2017) presentan en la **Figura 6** la taxonomía de los principales enfoques del proceso de agrupamiento, también indican que para iniciar este proceso los usuarios deciden el número de grupos en los que se dividirán los conjuntos de datos disponibles, si el usuario decide el número adecuado, la precisión juzgada por la distancia dentro del grupo será alta, de lo contrario, la precisión puede volverse baja.

**Figura 6.** Taxonomía de enfoques de agrupamiento.



Fuente: Tomado de Saxena et. al. (2017)

Che & Wang (2009, pág. 746) ilustran en su investigación que debido a que hay varios proveedores involucrados en un proceso de evaluación y selección, las combinaciones de proveedores pueden ser muy grandes y complicadas, por lo tanto, es difícil establecer índices de gestión de proveedores y sistemas de selección y evaluación, los autores mencionan que Wang (2005) sugirió que el análisis de conglomerados podría adoptarse para agrupar a todos

los proveedores y establecer un sistema de índice de evaluación de proveedores utilizando análisis para demostrar que la agrupación de proveedores podría gestionarlos de forma eficaz.

De esta manera, es importante detallar los diferentes tipos de agrupaciones teniendo en cuenta la pertenencia de un punto de datos a un grupo identificado. A continuación, se detallan las técnicas principales relacionadas en el texto de Kotu & Deshpande (2019):

- **Agrupamientos de partición exclusivos o estrictos:** Cada objeto de datos pertenece a un grupo exclusivo, siendo este es el tipo más común de clúster.
- **Agrupamientos superpuestos:** Los grupos de clústeres no son exclusivos y cada objeto de datos puede pertenecer a más de un clúster, estos también se conocen como grupos de vistas múltiples.
- **Agrupamiento Jerárquico:** Es un proceso en el que se crea una jerarquía de agrupación basada en la distancia entre los puntos de datos. La salida es un *dendrograma* definido como un diagrama de árbol que muestra diferentes agrupaciones en cualquier punto de precisión especificado por el usuario.
- **Agrupamiento difuso o probabilístico:** Cada punto de datos pertenece a todos los grupos de clúster con distintos grados de pertenencia de 0 a 1. En lugar de una asociación definida de un punto de datos con un grupo, la agrupación difusa asocia una probabilidad de pertenencia a todos los grupos.

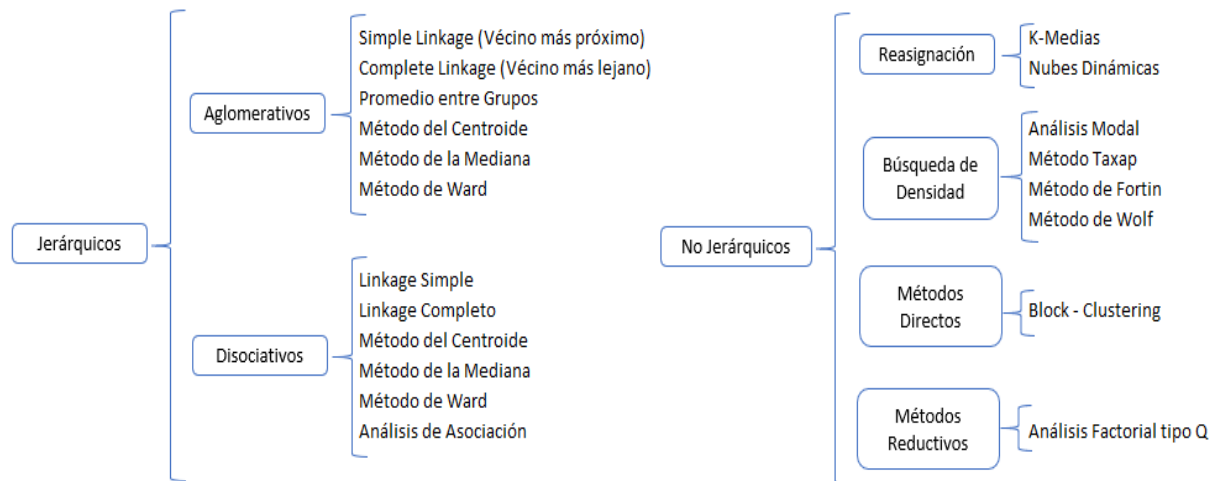
Estos mismos autores plantean que las técnicas de agrupación también se pueden clasificar en función del enfoque algorítmico utilizado para encontrar agrupaciones en el conjunto de datos, cada una de estas clases de algoritmos de agrupación difiere según la relación que aprovechan entre los objetos de datos, algunos de estos métodos son:

- **Agrupación basada en prototipos:** Cada agrupación está representada por un objeto de datos central, también llamado prototipo, éste suele ser el centro del grupo denominado grupo centroide o grupo basado en el centro.
- **Agrupación de densidad:** Un clúster también se puede definir como una región densa donde los objetos de datos se concentran rodeados por un área de baja densidad donde los objetos de datos son escasos. A cada área densa se le puede asignar un grupo y el área de baja densidad se puede descartar como ruido.
- **Agrupación basada en modelos:** También llamada agrupación basada en distribución obtiene su base de estadísticas y modelos de distribución de probabilidad. Con este enfoque, todo el conjunto de datos se puede representar mediante una mezcla de modelos de distribución (Gaussian o Poisson).

Fernandez (2011) presenta en su revisión de análisis de conglomerados los métodos más relevantes de acuerdo con sus características y esquematiza los métodos de acuerdo con su naturaleza tal como se muestran en la **Figura 7**.

Dicho autor indica que para los métodos *Jerárquicos* su objetivo principal es formar un nuevo clúster o separar alguno ya existente para dar origen a otros dos de forma que se maximice la medida de similitud o se minimice alguna distancia; éstos permiten construir un árbol de clasificación o *dendograma* y se clasifican en:

**Figura 7.** Métodos de clustering o agrupamiento.



Fuente: Tomado de Fernandez (2011)

- **Asociativos o Aglomerativos:** Se parte de tantos grupos como individuos hay en el estudio y se van agrupando hasta llegar a tener todos los casos en un mismo grupo.
- **Disociativos:** Se parte de un solo grupo que contiene todos los casos y a través de sucesivas divisiones se forman grupos cada vez más pequeños.

Por otro lado, el autor plantea que los métodos **No Jerárquicos** o también conocidos como particionales están diseñados para la clasificación de individuos (no de variables) en **K** grupos e intercambiar los miembros de los grupos para tener una mejor partición, el investigador debe especificar a priori los grupos que deben ser formados.

#### 4.1.3. Métodos de decisión multicriterio.

La toma de decisiones multicriterio o multi-criteria decision making (MCDM por sus siglas en inglés) es una de las ramas más conocidas de la toma de decisiones y está dividida en toma de decisiones multiobjetivo o multi-objective decision making (MODM) y toma

decisiones multiatributo o multi-attribute decision making (MADM). La diferencia entre ambos métodos es que MODM es utilizado cuando el espacio de la decisión es continuo y MADM se concentra en problemas con espacio de decisión discreta, así mismo, son clasificados según el tipo de datos como deterministas, estocásticos y difusos, o según el número de tomadores de decisiones ya sean individuales o grupales (Triantaphyllou, 2000).

A continuación, en los numerales **4.1.3.1** al **4.1.3.8** se presentan los fundamentos y métodos principales de la MCDM tomados de Figueira, Greco & Ehrgott (2005).

#### **4.1.3.1. Fundamentos del MCDM**

Dentro de los fundamentos del MCDM, los autores Figueira et. al. (2005), presentan el desarrollo y aplicación de los modelos de preferencias y herramientas de medición conjuntas partiendo de los modelos clásicos y alcanzando resultados relacionados con lógica difusa y no clásica. Así mismo, estos modelos son analizados cuando se utilizan múltiples criterios de preferencias comprendiendo las condiciones básicas que subyacen cada método y su axiomatización específica.

##### **4.1.3.1.1. Modelado de preferencias:**

El modelado de preferencias puede verse como el resultado de una comparación directa, es decir pedirle a un tomador de decisiones que compare dos objetos y establecer la relación entre ellos, a partir del cual podría ser posible inferir una representación numérica, o también, como resultado de la inducción de una relación de preferencia a partir del conocimiento de algunas "medidas" asociadas a los objetos comparados.

Los autores de este capítulo Öztürk, Tsoukiàs & Vincke (2005) presentan en su investigación la metodología de cómo obtener y validar información de preferencias, el proceso de la evaluación de la relación entre el modelado de preferencias y el problema de significación en la teoría de la medición, realización de análisis estadístico de datos preferenciales y finalmente, muestran interrogatorios sobre las relaciones entre las preferencias y el sistema de valores, y la naturaleza de estos valores.

#### **4.1.3.2.Herramientas de medición conjuntas para MCDM**

En el capítulo 3 del libro base del apartado **4.1.3** del presente documento, los autores Bouyssou & Pirlot (2005) presentan técnicas de medición conjunta útiles en el análisis multicriterio, las cuales se enfocan principalmente en el modelo central de funciones de valor aditivo y presentan brevemente fundamentos y diversas técnicas para implementarlo.

#### **4.1.3.3.Métodos superpuestos.**

Los métodos ELECTRE y PROMETHEE son herramientas desarrolladas para la toma de decisiones multicriterio, ambos métodos utilizan la técnica del modelado de preferencias. A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno:

##### **4.1.3.3.1. Método ELECTRE.**

Los autores Figueira et. al (2005) indican que los métodos de Eliminación y Elección que Expresa la Realidad (ELECTRE, por sus siglas en inglés) comprenden dos procedimientos principales: Construcción y comparación de una o varias relaciones de superación seguidas de un procedimiento de explotación, éste, se utiliza para elaborar recomendaciones a partir de los resultados obtenidos en la primera fase. La naturaleza de las recomendaciones depende

de la problemática (elección, clasificación u ordenamiento), por lo tanto, cada método se caracteriza por su construcción y sus procedimientos de explotación.

#### **4.1.3.3.2. Método PROMETHEE.**

El método PROMETHEE I (clasificación parcial) y el PROMETHEE II (clasificación completa) fueron desarrollados por J.P. Brans y presentados por primera vez en 1982, años más tarde el autor presentó las siguientes variantes de la metodología en conjunto con B. Mareschal con aplicaciones en diferentes campos debido a sus propiedades matemáticas y su facilidad de uso (Brans & De Smet, 2005). Este método se basa en comparaciones por pares, en este caso, se considera la desviación entre las evaluaciones de dos alternativas en un criterio particular; para el análisis de sensibilidad se utiliza el procedimiento PROMETHEE VI y para la selección múltiple de alternativas bajo restricciones se utiliza el PROMETHEE V.

#### **4.1.3.4.Utilidad multiatributo y teorías del valor.**

##### **4.1.3.4.1. Método MAUT**

Para los autores Dyer et. al. (1992) la Técnica de Utilidad Multiatributo o Multi Attribute Utility Technique (MAUT, por sus siglas en inglés) es incluido algunas veces bajo el enfoque MCDM pero es tratado de manera separada cuando los riesgos e incertidumbres tienen un rol significativo en la evaluación y definición de alternativas, este se centra en la estructura de múltiples criterios o alternativas de múltiples atributos, generalmente en presencia de riesgo o incertidumbre, y en metodologías para evaluar los valores y las probabilidades subjetivas de los individuos. MAUT abarca tanto un gran cuerpo de teoría matemática para modelos de utilidad como una amplia gama de técnicas prácticas de evaluación que prestan

atención a las capacidades limitadas de los evaluadores. La información obtenida de la evaluación generalmente alimenta el problema de los padres para clasificar las alternativas, hacer una elección o aclarar una situación para el tomador de decisiones.

#### **4.1.3.4.2. Métodos UTA.**

El método UTA (Utilités Additives) propuesto por Jacquet-Lagrèze y Siskos (1982) tiene como objetivo evaluar un conjunto de funciones de valor o utilidad, asumiendo la base axiomática de MAUT y adoptando el principio de desagregación de preferencias. La metodología UTA utiliza técnicas de programación lineal para inferir de manera óptima las funciones de utilidad/valor aditivo, de modo que estas funciones sean lo más consistentes posible con las preferencias del tomador de decisiones global (Siskos, Grigoroudis, & Matsatsinis, 2005).

#### **4.1.3.4.3. Métodos AHP y ANP.**

El Proceso de Jerarquía Analítica o Analytic Hierarchy Process (AHP, por sus siglas en inglés) y su generalización a la dependencia y la retroalimentación, así como el Proceso de Red Analítica o Analytic Network Process (ANP), son teorías de medición relativa de criterios intangibles, con este enfoque de medición relativa, una escala de prioridades se deriva de las mediciones de comparación por pares sólo después de que se conocen los elementos a medir. En el AHP, las comparaciones pareadas se realizan con juicios utilizando valores numéricos tomados de la escala fundamental absoluta de AHP de 1-9. El AHP/ANP es útil para tomar decisiones multicriterio que involucran beneficios, oportunidades, costos y riesgos (Saaty T. , 2005).

#### **4.1.3.4.4. Fundamentos matemáticos de MACBETH**

Para Bana e Coste et. al. (2005) el método de Medición del Atractivo mediante una Técnica de Evaluación Basada en Categorías o Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH, por sus siglas en inglés) es un enfoque de análisis de decisiones multicriterio que requiere sólo juicios cualitativos sobre las diferencias de valor para ayudar a un individuo o grupo a cuantificar el atractivo relativo de las opciones. En el desarrollo de MACBETH los límites de estos intervalos no se pueden fijar arbitrariamente a priori, sino que se determina simultáneamente con puntajes de valor numérico para los elementos de X.

Los autores Chai et. al (2013) presentan en su revisión de la literatura otros métodos para la toma de decisiones o DM los cuales son clasificados por categorías según diferentes incertidumbres, a continuación se relacionan algunos de ellos en los numerales **4.1.3.5** al **4.1.3.8**.

#### **4.1.3.5. Métodos de compromiso: TOPSIS y VIKOR.**

La base de los métodos de compromiso fue establecida por Yu (1973). Una solución de compromiso es lo más cercano a la solución ideal, y un compromiso denota un acuerdo sobre la base de concesiones mutuas. Como métodos de programación de compromiso típicos, tanto la Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud con la Solución Ideal o Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS, por sus siglas en inglés) como VIKOR se basan en una función de agregación que representa la cercanía al ideal. La diferencia es que TOPSIS utiliza la normalización lineal para eliminar la función de unidades

de criterios, mientras que VIKOR utiliza la normalización del vector (Opricovic & Tzeng, 2004).

Dentro de la gama de aplicaciones del mundo real para el método TOPSIS se ha utilizado para categorizar aplicaciones en diferentes campos y subáreas específicas en estudios de casos, ejemplos ilustrativos y / o experiencias prácticas dentro de áreas como la gestión de la cadena de suministro y logística considerándolas como el tema más popular en las aplicaciones TOPSIS cubriendo varias subáreas específicas, incluida la selección de proveedores, el transporte y el problema de ubicación (Otaghsara, Yazdani, Ignatius, & Behzadian, 2012).

#### **4.1.3.6.Otros métodos MCDM: SMART y DEMATEL.**

Técnica simple de clasificación de atributos múltiples o Simple Multiattribute Rating Technique (SMART, por sus siglas en inglés) es una técnica de clasificación básica que utiliza el método de peso aditivo simple para obtener valores totales como el índice de clasificación. Esta técnica puede tratar tanto con criterios cuantitativos como cualitativos, pero no puede manejar de manera efectiva información de decisiones inciertas, como términos lingüísticos, valores de intervalo y varios valores difusos. Chou y Chang (2008) desarrollaron el enfoque SMART modificado para selección de proveedores y su alineación a la estrategia.

Laboratorio de prueba y evaluación de decisiones o Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL, por sus siglas en inglés) es un modelo estructural para analizar la relación influyente entre los criterios de evaluación complejos. Buyukozkan y Cifci (2012) utilizaron DEMATEL, así como la fortaleza de la interdependencia para generar relaciones

mutuas de interdependencias entre los criterios. Dalalah, Hayajneh y Batiha (2011) modificaron DEMATEL para tratar las evaluaciones difusas y las calificaciones convirtiendo la relación entre las causas y los efectos de los criterios en un modelo estructural inteligible. Finalmente, Chang et. al (2011) diseñaron un cuestionario DEMATEL difuso para determinar los criterios directos e indirectos.

#### **4.1.3.7. Técnicas de programación matemática MP.**

##### **4.1.3.7.1. Análisis envolvente de datos DEA.**

Análisis Envolvente de Datos o Data Envelopment Analysis (DEA, por sus siglas en inglés) una técnica de Programación Matemática o Mathematical Programming (MP, por sus siglas en inglés) no paramétrica para evaluar la eficiencia relativa de entidades comparables en términos de unidades de toma de decisiones o decision-making units (DMUs, por sus siglas en inglés). Un modelo básico de DEA es una medida de rendimiento que se puede utilizar para evaluar la eficiencia relativa de las DMUs según múltiples entradas y salidas Adler et. al (2002). Dada su efectividad, el DEA puede ser un complemento valioso para varios modelos de decisión de selección de proveedores.

##### **4.1.3.7.2. Programación lineal LP.**

Programación lineal o Linear Programming (LP, por sus siglas en inglés) es un método de optimización matemática para determinar una forma de lograr el mejor resultado en un modelo matemático dado bajo una serie de requisitos representados como relaciones lineales. En esta revisión, el uso de LP para selección de proveedores se puede clasificar en cuatro categorías: (1) El simple empleo, (2) el LP difuso, (3) el LP multiobjetivo (MOLP) y (4) el LP de enteros mixtos.

#### **4.1.3.7.3. Programación no lineal NLP.**

Varios estudios modelaron procesos prácticos de selección de proveedores en problemas de LP y luego diseñaron varias funciones objetivas y restricciones para la resolución. A diferencia de LP, la Programación no Lineal o Nonlinear Programming (NLP, por sus siglas en inglés) permite que algunas de las restricciones o funciones objetivas sean no lineales.

#### **4.1.3.7.4. Programación multiobjetivo MOP.**

La Programación multiobjetivo o Multi Objective Linear Programming (MOLP, por sus siglas en inglés) es una especie de MP para problemas de decisión caracterizados por funciones objetivas múltiples y conflictivas que se pueden optimizar a través de un conjunto de soluciones factibles. De 2008 a 2012, la investigación sobre MOLP difuso para selección de proveedor fue la dirección principal.

#### **4.1.3.7.5. Programación por metas GP.**

La Programación por Metas o Programming by Goals (GP, por sus siglas en inglés) es una rama del método de optimización. Esta técnica se puede considerar como una extensión o generalización de MOLP que se puede utilizar para tratar múltiples y contradictorias medidas objetivas. A cada una de estas medidas se le asigna un valor objetivo que debe alcanzarse.

#### **4.1.3.7.6. Programación estocástica SP**

La Programación Estocástica o Stochastic Programming (SP, por sus siglas en inglés) es un marco para modelar problemas de optimización de la incertidumbre en el que las distribuciones de probabilidad que rigen los datos son conocidas o pueden estimarse a pesar

de la participación de un número de parámetros desconocidos. Esta técnica es una herramienta matemática adecuada para tratar varios problemas de selección de proveedores.

#### **4.1.3.8. Técnicas de inteligencia artificial IA.**

Cuatro de estas técnicas más importantes son: Algoritmo Genético o Genetic Algorithm (GA, por sus siglas en inglés), Red Neuronal o Neural Network (NN, por sus siglas en inglés), Teoría de Conjuntos Aproximados o Approximate Set Theory (RST, por sus siglas en inglés) y Teoría de Sistemas Grises o Gray Systems Theory (GST, por sus siglas en inglés). También se incluyen otras técnicas entre las cuales están la Inteligencia Artificial Artificial Intelligence (IA, por sus siglas en inglés), Redes Bayesianas o Bayesian Networks (BN, por sus siglas en inglés), Algoritmo de Colonia de Hormigas o Ant Colony Algorithm (ACA, por sus siglas en inglés), Regla de Asociación o Association Rule (AR, por sus siglas en inglés) y Árbol de Decisiones o Decisions Tree (DT, por sus siglas en inglés) entre otras.

Cada una de las técnicas de DM presentadas en este capítulo de marco teórico desde el apartado **4.1.3** hasta el **4.1.3.8** se tomaron del libro de Figueira et. al (2005), permiten definir y resolver de manera sistemática y fundamentada las problemáticas de selección de alternativas con atributos cualitativos y cuantitativos. Para el desarrollo de esta investigación, se presenta en el siguiente capítulo una revisión de la literatura sobre las técnicas utilizadas para la selección de proveedores que sumadas a la fundamentación teórica de la sección 4.1. se elegirá la herramienta más apropiada para solucionar el problema de selección de proveedores.

## **4.2. ESTADO DEL ARTE**

En este apartado se documenta una revisión exhaustiva del estado del arte sobre los métodos de agrupamiento y toma de decisiones multicriterio en la selección de proveedores desde la óptica del problema detallado en la **sección 1** y la línea base teórica que contiene los principales métodos de solución de la **sección 4.1**. Con esta base de la investigación se pretende conocer hasta dónde se ha avanzado en el tema y las futuras investigaciones y aplicaciones de estas técnicas, las cuales, para este caso de estudio serán utilizadas de manera integrada para determinar la selección de proveedores apropiados dentro de las estrategias de la SCM.

### **4.2.1. Técnicas de clustering o agrupamiento de proveedores.**

La mayor parte de técnicas de agrupamiento de proveedores son una extensión del problema clásico de agrupamiento de datos. En la actualidad, se han desarrollado diferentes variantes a la técnica de agrupamiento que involucran programación multiobjetivo, heurísticos y metaheurísticos para determinar soluciones con atributos cualitativos y cuantitativos. A continuación, se presentan algunos de los estudios que se han desarrollado en este ámbito y su evolución, así mismo, se analizan los atributos y limitaciones de las técnicas revisadas.

Para Omran, Engelbrecht & Salman (2007) la agrupación de datos es el proceso de identificación de agrupaciones naturales dentro de datos multidimensionales basados en alguna medida de similitud, los autores proporcionan una visión general de los diferentes métodos de agrupamiento representativos, muestran varios índices de validación de agrupamiento y diferentes enfoques para determinar automáticamente la cantidad de

clústeres. Estos enfoques difieren considerablemente en términos de eficiencia, costo y calidad de la solución, así mismo, cada uno tiene sus fortalezas, debilidades y limitaciones; si la velocidad es la principal preocupación, las técnicas C-medios difuso o Fuzzy C-means (FCM, por sus siglas en inglés) y K- armónico medios o K-harmonic means (KHM, por sus siglas en inglés) parecen ser opciones razonables, sin embargo, si la calidad de la solución es el objetivo principal, los enfoques estocásticos basados en la población representan opciones viables porque en general pueden evitar quedar atrapados en los óptimos locales.

Che, Z.H. & H.S. (2009) propusieron un enfoque híbrido basado en K-medios, algoritmo de recocido simulado (SA), optimización de enjambre de partículas de factor de convergencia (CPSO) y el método de Taguchi (KSACPSO) para definir la estrategia óptima de selección de proveedores. El análisis del agrupamiento de proveedores incluye criterios como la demanda de clientes, costo, calidad y tiempo de adquisición de los materiales; los resultados de la ejecución se analizaron para demostrar que la eficacia del enfoque de KSACPSO sugerido es superior a K-means, recocido simulado K-medios (KSA), algoritmo genético K-medios (KGA), recocido genético simulado K-medios (KGSA), y la optimización del enjambre de partículas del factor de convergencia K-medias (KCPSO).

En Che (2011), se proponen dos modelos matemáticos de optimización desarrollados en dos fases para la agrupación y selección de proveedores en un caso de estudio. Para el primer modelo, se determinan los clústeres de proveedores bajo criterios de demanda del cliente, calidad de producto, costo y tiempo de producción, posteriormente, con la información obtenida del primer modelo, el segundo modelo establece la combinación de proveedores apropiados. La comparación de los dos heurísticos desarrollados en cada fase determinaron una solución de calidad, fueron aplicados el método K-means y un algoritmo de recocido

simulado con el método Taguchi (TKSA), así mismo el algoritmo de recocido simulado con el Método Taguchi (ATSA).

Ertay, Kahveci y Tabanli (2011) proponen una metodología para la toma de decisiones en una empresa farmacéutica en el proceso de selección y evaluación de proveedores, los cuales, son clasificados y comparados de acuerdo con su desempeño en varios criterios tanto cualitativos como cuantitativos. El proceso de Jerarquía Analítica Difusa o Fuzzy AHP se usa para ponderar los criterios establecidos y ELECTRE III se usa para evaluar, clasificar y clasificar a los proveedores de acuerdo con los criterios calculados. Al final de la investigación los autores proponen a futuro para completar la herramienta de toma de decisiones la aplicación de la metodología ELECTRE III difuso en la última etapa de clasificación de proveedores.

Otro enfoque de agrupamiento aplicado a la selección de proveedores fue planteado por Samrand Khaleie et. al (2012) el cual es basado en la toma de decisiones grupales GDM con diferentes alternativas utilizando el valor difuso intuitivo (IFV) y el método de agrupamiento (IFN) para definir preferencias y agruparlas respectivamente. Adicionalmente, se aplica la geometría ponderada difusa intuitiva (IFWG) para agregar los clústeres obtenidos. El enfoque se aplicó a un caso de estudio y su objetivo principal era considerar diferentes preferencias de los DM para determinar un juicio preciso a través de las metodologías.

Heidarzade, Mahdavi, y Mahdavi Amiri (2015) propusieron un método jerárquico basado en clustering para resolver el problema de proveedores y encontrar la proximidad entre los mismos. En este enfoque se utilizaron los valores difusos de intervalo de tipo 2 para mostrar las preferencias de los responsables de la toma de decisiones y también presentaron una

nueva fórmula para calcular la distancia entre dos conjuntos difusos de intervalo de tipo 2 en la cual su rendimiento es evaluado comparándola con el Hamming normalizado basado en la métrica de Hausdorff Euclidiano normalizado.

En investigaciones recientes para abordar el problema de selección de proveedores, los autores Maghsoodi, Kavianb, Khalilzadeha y Brauersc (2018) utilizan el enfoque de big data para la Toma de Decisiones con Múltiples Atributos (MADM), en este caso, se presenta un enfoque novedoso e integral para mejorar el Análisis de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDA) basado en el análisis de clústeres considerando una estructura nítida de datos grandes que se denomina algoritmo CLUS-MCDA (Análisis de Grupos para Mejorar el Análisis de Decisiones con Múltiples Criterios). El método propuesto se basa en la consolidación de una técnica de minería de datos, es decir, el método de agrupamiento K-means y un enfoque MADM que es el método MULTIMOORA. Para los autores, el método CLUS-MCDA es un enfoque rápido y práctico, el cual está implicado en un problema de selección de proveedores que considera datos estructurados de big data aplicado a un caso de estudio.

Kuo, Potti y Zulvia (2018) abordan el problema con un enfoque de agrupamiento difuso de K-modos para tratar clases superpuestas debido a que algunos proveedores pueden tener características similares y pertenecer a más de una clase, con el método propuesto se analizan las características de los proveedores solo en función de los productos que pueden ofrecer, para ello, se combina un algoritmo de K-modos Difuso con un enfoque metaheurístico responsable de proporcionar centroides iniciales más prometedoros para el algoritmo de K-modos Difuso; por otro lado, se definieron tres enfoques metaheurísticos en la aplicación, estos son: Algoritmo de Optimización de Enjambre de Partículas (PSO), Algoritmo Genético

(GA) y Algoritmo de Colonia de Abejas Artificiales (ABC). Entre tres metaheurísticas probadas, el algoritmo de Fuzzy K-modos basado en GA es el algoritmo más prometedor.

Dada la característica de los datos de entrada de la empresa caso de estudio como el número de observaciones (proveedores) y las variables de entrega y calidad, se define el algoritmo de K-means como el método de agrupación apropiado dando cubrimiento al objetivo de generar particiones de grupos de proveedores idóneos para realizar el proceso de selección de éstos. Este método es considerado no jerárquico, realiza reasignaciones de individuos en K grupos como herramienta exploratoria de datos hasta entregar en su iteración óptima los grupos requeridos de proveedores a analizar. Esta es una de las técnicas más populares en procesos de selección de proveedores tal como se evidenció en la sección **4.1.2** y en la presente revisión del estado del arte.

En la revisión del estado del arte de Saxena et. al. (2017b) se identifica que existen algunas limitaciones asociadas con la agrupación de K-Medias como que no existe un método eficiente y universal para identificar las particiones iniciales y el número de grupos K, así mismo el algoritmo es sensible a valores atípicos y al ruido ya que obliga al punto de datos a formar parte de un clúster. Esto no afecta la investigación en curso ya que se busca precisamente agrupar los proveedores basados en dos criterios importantes que determinan el grupo apropiado.

#### **4.2.2. Métodos de selección multicriterio MCDM para seleccionar y evaluar proveedores.**

Como se describe en el numeral **4.1.3** existen diferentes herramientas para la toma de decisiones con múltiples criterios, en este sentido, el problema de selección, evaluación y

desarrollo de proveedores comprende decisiones con características cualitativas y cuantitativas para que la SCM fluya de manera efectiva. En la **sección 4.2.1** se muestra un panorama general de la segmentación de proveedores, con los métodos de MCDM se complementa el problema de selección de proveedores debido a que permiten establecer un ranking por categoría y una gestión integral de los mismos.

Chen, Lin y Huang (2005) mencionan la importancia que empieza a tomar el proceso de selección de proveedores bajo múltiples criterios. Proponen un modelo de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM) basado en la teoría de conjuntos difusos, de igual manera, con el concepto de TOPSIS se define un coeficiente de proximidad para determinar el orden de clasificación de todos los proveedores calculando simultáneamente las distancias a la solución ideal positiva difusa (FPIS) y la solución ideal negativa difusa (FNIS).

En este mismo sentido, los autores Guneri, Yucel y Ayyildiz (2009) presentan una variante al problema integrando programación difusa y lineal, inicialmente utilizan la lingüística de los valores expresados en números difusos trapezoidales y se aplica para evaluar los pesos y calificaciones de los criterios de selección de proveedores, posteriormente, se implementa modelo múltiple jerárquico basado en la teoría de conjuntos difusos y se obtienen resultados difusos positivos y soluciones ideales negativas para determinar el coeficiente de proximidad de cada proveedor. Finalmente, se desarrolla un modelo de programación lineal basado en los coeficientes de los proveedores, el presupuesto del comprador, la calidad del proveedor y las limitaciones de capacidad para la asignación de cantidades de orden de compra a cada proveedor.

Por su parte, Dalalah, Hayajneh y Batiha (2011) presentan un modelo difuso híbrido para grupos de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM), utilizan un modelo de DEMATEL difuso modificado para tratar la relación influyente entre los criterios de evaluación, también se hace uso de un modelo TOPSIS modificado para evaluar los criterios contra cada alternativa. En el caso particular, se usa una medida de distancia difusa en la que se calcula la distancia desde la Solución Ideal Positiva Difusa (FPIS) y la Solución Ideal Negativa Difusa (FNIS). Para tener un mejor contraste entre los rangos de alternativas, se introdujo y resolvió un problema de optimización para maximizar el contraste y se desarrolla un análisis de sensibilidad para verificar los rangos resultantes de los proveedores disponibles mediante la prueba de diferentes valores de los parámetros utilizados mostrando resultados robustos y válidos que están cerca de las preferencias reales de los expertos que se consultaron.

X. Deng, Hu, Y. Den y Mahadevan (2013) proponen el uso del método D-AHP para el problema de selección de proveedores que amplía el método clásico de análisis de jerarquía analítica (AHP) y tiene como objetivo evitar imprecisión, falta de claridad y de integridad en la toma de decisiones debido a la incapacidad del juicio subjetivo del ser humano. En el método propuesto, se ha involucrado la relación de preferencia difusa extendida de los números D (representación efectiva y factible de información incierta) para representar la matriz de decisión de las comparaciones por pares dadas por los expertos.

Lima Junior et. al (2014) también desarrollan una herramienta combinada, proponen la comparación de los métodos TOPSIS difuso y AHP difuso para ayudar al proceso de decisión de selección del proveedor. La comparación se hizo en base a los factores:

Adecuación a los cambios de alternativas o criterios, agilidad en el proceso de decisión, complejidad computacional, adecuación para apoyar la toma de decisiones grupales, la cantidad de proveedores y criterios alternativos y modelado de incertidumbre. Finalmente, se demuestra que ambos métodos son adecuados, sin embargo, en el análisis comparativo se demuestra que el método TOPSIS difuso se adapta mejor al problema de la selección de proveedores con respecto a los cambios de alternativas y criterios, agilidad y número de criterios y proveedores alternativos.

Lima-Junior & Ribeiro Carpinetti (2016) presentan un nuevo enfoque que utiliza las métricas de rendimiento del modelo SCOR (Referencia de las Operaciones de la Cadena de Suministro) para evaluar a los proveedores en el costo de las dimensiones y el rendimiento de la entrega. Combinan dos modelos de TOPSIS difusos para evaluar y clasificar a los proveedores en cuatro grupos según su evaluación de desempeño; estas combinaciones entre el SCOR y el TOPSIS difuso aporta varios beneficios en comparación con otros enfoques, tales como: Facilita la integración de los procesos de evaluación del desempeño de los proveedores y el SC; por otro lado, el TOPSIS difuso requiere pocos juicios para la parametrización, lo que contribuye a la agilidad del proceso de decisión; no limita el número de alternativas evaluadas simultáneamente; no causa el problema de inversión de clasificación cuando se incluye un nuevo proveedor en el proceso de evaluación.

En este mismo sentido, los autores Memari et. al. (2019) desarrollan un método TOPSIS para la selección sostenible de proveedores que integra la ventaja de la teoría del modelo de nube en la manipulación de la incertidumbre de la aleatoriedad (incertidumbre intrapersonal) y el mérito del conjunto aproximado Teoría en el manejo flexible de la incertidumbre interpersonal sin información adicional. Además, proponen un método de ponderación

integrado que considera los pesos subjetivos y objetivos para determinar los pesos integrales de los criterios aplicando la herramienta en un estudio de caso de selección de proveedores de módulos fotovoltaicos sostenibles para mostrar la efectividad del método propuesto.

Mermari, Dargi, Akbari Jokar, Ahmad y Abdul Rahim (2019) se presenta un método intuicionista de TOPSIS difuso para seleccionar el proveedor sostenible adecuado para un fabricante de piezas de repuesto para automóviles, se utilizan nueve criterios y treinta criterios secundarios bajo las dimensiones económica, ambiental y social. El enfoque propuesto proporciona una clasificación precisa y sostenible de proveedores y una solución confiable para decisiones de abastecimiento sostenibles que se valida a través de un caso de estudio.

Bajo esta misma línea de investigación, los autores Li, Fang y Song (2019) presentan un modelo de selección de proveedores en una cadena de suministro sostenible (SSCM) desarrollando el método TOPSIS e integrando la ventaja de la teoría del modelo de nube en la manipulación de la incertidumbre de la aleatoriedad (incertidumbre intrapersonal) y el mérito del conjunto aproximado teoría en el manejo flexible de la incertidumbre interpersonal sin información adicional.

Para concluir esta revisión del estado del arte, se define el algoritmo K-means y método TOPSIS para el proceso de agrupamiento y selección de proveedores ya que son herramientas de toma de decisión estructuradas, sencillas y ágiles de aplicar, éstas permiten elegir entre las alternativas de decisión la que represente mejora en los costos y ahorro de tiempo en la aplicación. TOPSIS permite seleccionar la mejor alternativa

teniendo como inputs del modelo los criterios de selección y sus pesos a diferencia de otras técnicas en donde estos pesos deben ser calculados.

## **5. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO**

Dentro del grupo empresarial en el cual se va a desarrollar este proyecto se toma como caso de estudio del sector de alimentos que tienen centralizada la operación de abastecimiento. Actualmente, la actividad comercial principal de dichas empresas son la cosecha, producción y venta de productos alimenticios de primera necesidad, alcohol y energía.

El proceso de abastecimiento se encarga de realizar las compras de manera continua y efectiva de los bienes y servicios demandados por la operación cumpliendo con los criterios de calidad, precio, tiempo de entrega, garantía y servicio post venta acordados en el proceso comercial con los proveedores. Así mismo, se encarga del recibo, almacenamiento y mantenimiento de los materiales en las instalaciones asignadas con las condiciones apropiadas antes de su utilización.

Dentro de los objetivos estratégicos del área de abastecimiento es disminuir el impacto en el gasto de la organización a través de la consolidación de negociaciones que nacen del análisis de las categorías de compra en términos de tipo de suministro, volúmenes, frecuencias de consumo y montos de compra con el fin de obtener un mayor poder de negociación con los proveedores.

Detallando en los niveles jerárquicos, el área de abastecimiento se compone por varios procesos y sus principales roles en la gestión de los suministros se presentan a continuación:

**Figura 8.** Enfoques de los procesos de abastecimiento.



Fuente: Documentos internos de la empresa caso de estudio.

Con respecto a los proveedores definidos como aliados estratégicos para la organización, actualmente, se cuenta aproximadamente con 1.887 proveedores de bienes y servicios para la operación de naturaleza nacional o del exterior. Cabe aclarar que el proceso de abastecimiento del caso de estudio no se encarga de la adquisición de materia prima proveniente de la siembra y cosecha del cultivo en terrenos propios o de terceros.

### 5.1. Selección y registro de proveedores:

La empresa caso de estudio dentro de su proceso de aprovisionamiento cuenta con una división encargada de la selección, evaluación y registro de proveedores, la cual tiene como objetivo principal garantizar el cumplimiento los requisitos especificados en la política de compras de la organización.

La vinculación de un nuevo proveedor puede iniciar con la realización de sondeos de mercado para la creación de nuevas alianzas estratégicas y competitivas, también ocurre debido a la necesidad de un bien o servicio nuevo o especial que la base actual de

proveedores no oferte, y por último, debido a los procesos sancionatorios que involucran la suspensión de las relaciones comerciales implicando la sustitución de los mismos.

Una vez un proveedor se encuentre con relación comercial activa para la empresa caso de estudio se evalúa su ingreso al programa anual de evaluación de desempeño y visitas de auditoría de seguimiento teniendo en cuenta criterios como impacto en el proceso productivo, sistemas de gestión y monto de compras.

En la **Figura 9** se presenta la generalidad de los requisitos y evaluaciones establecidas para el proceso de vinculación y actualización de cualquier proveedor. Este proceso se realiza cuando ya se cuenta con el visto bueno técnico del proveedor por parte del área usuaria que requiere el suministro particular.

## **5.2.Evaluación de desempeño de proveedores**

La finalidad principal del proceso de evaluación de la gestión del desempeño de proveedores es conocer los resultados del nivel de servicio recibido de un proveedor una vez se hayan suministrados los bienes y servicios requeridos. Este proceso se ejecuta bajo criterios específicos de calificación de acuerdo con la naturaleza de la compra y una frecuencia definida por el cliente. En la **Tabla 5** se presentan los criterios específicos de calificación de proveedores de acuerdo con el tipo de suministro.

**Figura 9.** Requisitos de evaluación a proveedores

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.** Criterios de evaluación de desempeño posterior al suministro.

<b>BIENES</b>	<b>ENTREGAS:</b> Cumplimiento en fechas de entrega y cantidades negociadas.
	<b>CALIDAD:</b> Inspecciones del material, devoluciones, garantías, desempeño en operación.
	<b>INOCUIDAD:</b> Aplica a empaques e insumos, se evalúan componentes microbiológicos y físico químicos.
<b>SERVICIOS</b>	<b>CALIDAD DEL SERVICIO:</b> Tiempos de ejecución, maquinaria y herramientas, entrega de informes de análisis, conformidad del servicio, competencias del personal contratista y cumplimiento en sistemas de gestión.
	<b>ASPECTOS ADMINISTRATIVOS:</b> Entrega de documentación contractual, pago seguridad social, salarios, prestaciones sociales.
	<b>AMBIENTAL y SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO:</b> Indicadores de accidentalidad, uso de elementos de protección, inspecciones de seguridad, orden y aseo, gestión de residuos y requisitos legales.

Fuente: Elaboración propia.

### **5.3.Familias de materiales y servicios.**

Para realizar el análisis del gasto y generar un plan de compras se hace necesario identificar los suministros por familias y grupos de compras, evaluar su frecuencia y el volumen de consumo con el fin de determinar el potencial y la prioridad de desarrollar negociaciones a largo plazo. De igual manera, el realizar este ejercicio constantemente incluyendo al proceso de compras táctico operativo hace posible reconocer las categorías de compra que pueden negociarse a escala, proporcionando así, un aumento de la eficiencia y ahorro en el proceso de adquisición.

Para lograr dicho fin, el área de compras de la empresa caso de estudio ha procurado categorizar los suministros bajo una codificación especial, sin embargo, para el caso de los servicios ha sido más complejo ya que cada vez que se presenta una necesidad puede tener un pliego técnico con diferente en alcance y frecuencia del requerimiento.

En el caso de suministro de bienes o materiales tangibles, se tiene creado en el sistema SAP® una base de datos donde se puede asociar cada material codificado con su respectiva especificación a un grupo de artículos, que a su vez conforman las familias de productos. Dichos grupos de artículos son enlazados a los proveedores que tengan dentro de su portafolio de productos los materiales requeridos. No obstante, existen materiales con alto grado de especialización y complejidad tanto en especificaciones como en su consecución por lo tanto se asocia el material directamente al proveedor y no al grupo de artículos dentro de una familia de productos.

En cuanto a la categorización de los servicios, se tiene definido grupos de compra generales que abarcan todos los tipos de servicios por rubros. Los servicios comprados ya

sea por oferta mercantil o por órdenes de compra menores no se tienen codificados en el sistema SAP® debido a su alcance y presupuesto cada vez que nace la necesidad, esto implica que para realizar un análisis del gasto por frecuencia y volumen de compra se dificulta el proceso debido a que la información no se obtiene automáticamente desde el sistema bajo una estructura detallada de las categorías de compras de servicios, dicha labor se desarrolla depurando y ordenando las bases de datos manualmente tal como se hizo para este proyecto en donde el área de compras apoyó el proceso de categorización por grupos o familias de servicios.

Como se ha mencionado, la adquisición de suministros se desarrolla mediante la clasificación de bienes y servicios en categorías de compra, para la empresa caso de estudio se presentan en la hoja de cálculo de Excel® anexa a este proyecto, para bienes son 259 y servicios 185 categorías identificadas cada una con sus proveedores asociados. Cada grupo de artículos o familia de bienes cuentan con aproximadamente 129.500 códigos de referencias de materiales, para el caso de los servicios, se identificó 16.270 tipos de servicios diferentes comprados en un año, el número restante de servicios es la operación diaria que varía por los criterios anteriormente mencionados.

#### **5.4. Proceso de compras.**

La empresa caso de estudio cuenta con un manual de compras en el cual está determinado el alcance de la operación de abastecimiento y el de todos sus procesos de apoyo. El objetivo principal es garantizar el suministro efectivo de los bienes y servicios, así como también determinar las normas, procedimientos y políticas que comprenden dicho proceso.

Con respecto a las compras de suministros el proceso se ejecuta basado en dos pilares, el primero de carácter estratégico, el cual se fundamenta en el plan de compras anual y un cronograma de negociación que proporciona la medición del alcance de los objetivos de adquisición en un período determinado, el segundo, el pilar táctico operativo que corresponde a las compras de menor valor necesarias para la operación y que requieren menos niveles de aprobación.

Un proceso de negociación puede tener diferentes características, para la empresa caso de estudio las más importantes son los contratos a largo plazo y la generación de órdenes de compra regulares posterior a cada proceso de cotización realizado cuando se generan requerimientos específicos de clientes internos; en ambos casos hay una definición de parámetros comerciales como precios, plazos de entrega, consideraciones técnicas, descuentos, servicio posventa y garantías. La diferencia en ambas modalidades de compra radica en que, con negociaciones a largo plazo formalizadas con los proveedores, se elimina el proceso de cotización normal y cada vez que hay una necesidad emitida por el planeador de materiales, los pedidos se generan de manera automática con las consideraciones pactadas y cargadas en el sistema ERP SAP®.

En este sentido, un proceso de compra inicia desde que se genera una necesidad de un área usuaria hasta la entrega del suministro y posterior evaluación en uso. Dicho esto, el proceso de adquisición de un bien o servicio nace en el momento que llega a través del ERP una solicitud de pedido (Solped) de un cliente interno, el comprador a cargo de gestionar la categoría del suministro le da tratamiento a través de un proceso de solicitud de cotización o petición de oferta (Petof) a proveedores de acuerdo con las especificaciones técnicas y comerciales requeridas.

En efecto, la decisión de asignación de un pedido debe contar con el análisis de al menos tres propuestas económicas y se realiza bajo criterios de precio, calidad, tiempo de entrega, condiciones de pago, garantías y fletes por ubicación geográfica. La evaluación técnica se encuentra incluida en el criterio de calidad y se realiza antes de remitir la cotización a los proveedores, para el caso de los servicios la realizan los usuarios en la definición del alcance y para los materiales se describen las especificaciones técnicas en el código que se lanza a cotizar.

La política de compras establece que para iniciar un proceso de adjudicación de un pedido se debe tener como mínimo tres (3) cotizaciones una vez se ha entregado al proveedor el RFI y/o RFQ. Como excepción se tiene definida la presentación de una cotización para las compras por caja menor y por monto menor o igual a 3 SMMLV y/o proveedores únicos aprobados.

#### **5.4.1. Tipos de compras.**

Como se mencionó anteriormente, los procesos de compra de la empresa caso de estudio se realizan a través de dos canales, el primero son contratos a largo plazo o compras estratégicas y el segundo, órdenes de compra de bajos montos o compras táctico-operativas. Cuando una compra especial no está enmarcada bajo un contrato y representa una cuantía significativa, se lleva al comité de compras mensual al igual que una negociación con potencial de contrato. Las compras de alto o bajo monto serán gestionadas a partir del respectivo RFX y el área de compras es responsable de asegurar que los pedidos lleguen hasta la planta en las condiciones técnicas y comerciales que se hayan negociado.

#### **5.4.1.1.Compras Táctico Operativas.**

Son las compras de bienes y servicios generadas a partir de la recepción de solicitudes de pedido (Solped) que no superan el límite de una compra de diez millones de pesos consideradas de bajo monto en la operación, para la valoración y direccionamiento del proceso de adquisición.

#### **5.4.1.2.Compras Estratégicas.**

Se denominan compras estratégicas a las adquisiciones de altos montos de compra y que requieren la gestión del RFX. El equipo de compras estratégicas es el encargado de realizar el análisis del gasto, identificar las categorías potenciales de negociación, planear y priorizar el cronograma de compras, definir la estrategia de aprovisionamiento, sondear constantemente el mercado, analizar la capacidad de suministro de los proveedores creando relaciones comerciales competitivas y administrando los contratos adecuadamente.

Generalmente en los procesos de compra se tienen en cuenta criterios de selección en términos de precio, descuento comercial, condición de pago, tiempo de entrega y aprobación técnica. En el presente proyecto, la calificación de desempeño en términos de entrega, calidad, ubicación geográfica, seguridad y salud en el trabajo y aspectos administrativos se utilizarán como inputs para seleccionar al mejor proveedor en el proceso de compra.

#### **5.4.2. Proceso de licitaciones.**

Teniendo en cuenta los parámetros de compras de bienes de alto monto con potencial de negociación presentados en la sección anterior, un proceso licitatorio es el procedimiento

mediante el cual la empresa caso de estudio realiza una convocatoria formal a proveedores aprobados para participar en el proceso de contratación de bienes y servicios bajo un pliego de especificaciones técnicas y condiciones definido previamente.

El alcance del proceso de licitación inicia desde la comunicación de la necesidad de suministro a proveedores, se reciben las ofertas y pasan por un proceso de evaluación para posterior asignación del contrato.

En la **Tabla 6** se presenta detalladamente los procesos de una negociación y selección de proveedores de la empresa caso de estudio. El enfoque de esta propuesta metodológica se desarrollará en el paso III correspondiente a la selección del proveedor. Posterior a ello se gestionan los trámites documentales necesarios para la generación del contrato.

#### **5.4.3. Evaluación y selección del proceso RFX.**

Una vez recibidas las cotizaciones por parte de los proveedores se extrae la información necesaria para la selección de las propuestas y se ingresa en el cuadro comparativo de ofertas, en éste se evalúan los aspectos técnicos y económicos bajo criterios de selección definidos por el área de compras, los cuales, pueden variar tanto en la inclusión de cada uno de ellos en el análisis de la decisión como el nivel de importancia o prioridad que adopten cada uno.

En la **Tabla 7** se presentan los criterios de selección de un bien y/o servicio los cuales pueden variar dependiendo del suministro.

**Tabla 6.** Proceso general de asignación de licitaciones.

<b>I. ANÁLISIS DEL GASTO</b>	1. Generación de datos de categoría programada para negociación
	2. Selección de materiales/servicios: Analizar rotación o frecuencias e identificar materiales estratégicos a negociar
	3. Hacer matriz de Kraljic para materiales y/o servicios seleccionados
	4. Definir y evaluar proponentes a invitar
	5. Programar y agendar negociaciones por categoría
<b>II. APERTURA DE LICITACIÓN</b>	6. Diligenciar planilla y carta de licitación, identificar las pólizas que cubren la negociación
	7. Envío de documentos de licitación a oferentes y solicitar póliza de seriedad
	8. Confirmación de interés en participar
	9. Recepción de Inquietudes y observaciones
	10. Recepción de propuestas de licitación y póliza de seriedad-Solicitar a Auditoría en fecha de cierre RFX
<b>III. EVALUACIÓN, NEGOCIACIÓN Y SELECCIÓN</b>	11. Evaluación RFX- Técnica y Económica
	12. Realizar análisis de asignación
	13. Elaboración cuadro de comité
	14. Negociación directa de mejor propuesta o propuestas de acuerdo a análisis de asignación
<b>IV.CONTRATACIÓN</b>	15. Enviar copia de oferta mercantil al proveedor
	16. Recepción de oferta mercantil firmada por el proveedor
	17. Solicitar firma de aceptación a representante legal
	18. Solicitar pólizas a oferente
	19. Recepción de pólizas
	20. Crear libro de pedido/registro Info o Contrato marco
	21. Administrar contrato hasta cierre

Fuente: Adaptado de documentos internos de la empresa caso de estudio

Los resultados de la evaluación de la oferta económica y técnica se realizan bajo el esquema presentado en la **Tabla 8** el cual presenta el ranking de proveedores evaluados con

la oferta a seleccionar. El analista de compras realiza la evaluación comercial de los precios incluidos descuentos, condiciones de pago, incoterms entre otros, para el caso de la calificación de la calidad, los usuarios internos aprueban los materiales y servicios de acuerdo con las especificaciones técnicas y las condiciones posteriores a su uso o ejecución.

**Tabla 7.** Criterios de selección de un bien y/o servicio.

Clasificación	Criterio de selección:	Descripción
Económico	Precio	Permite seleccionar la oferta con la que se obtienen costos eficientes del proceso, se analiza el historial validando y comparando contra los últimos
	Descuento comercial	Si el proveedor proponente en su cotización o petición de oferta presenta descuentos para el requerimiento, será considerado como un beneficio,
	Condiciones de pago	Se evalúa las formas de pago que se establece por cada una de las peticiones de oferta, seleccionando aquella que se ajuste y sea oportuna.
	Incoterms	Busca obtener costos logísticos eficientes en cada petición de oferta en los procesos de importación de materiales.
Calidad	Especificaciones técnicas	Cumplimiento de las especificaciones técnicas planteadas por los usuarios con el fin de garantizar que la compra será funcional al proceso que se requiera y
Otif (On Time In Full)	Tiempo de entrega	Tiempo propuesto de los proveedores para la entrega del suministro, se califica en cuanto a cumplimiento en fecha y cantidades entregadas.
	Lugar de entrega	Se identifica aquella oferta que disponga entregar en las instalaciones y sólo en casos que aplique se aceptará que se entregue en otro lugar especificado.

Fuente: Adaptado de documentos internos del caso de estudio

**Tabla 8.** Ranking de ofertas negociación de categoría X.

OFERENTES	NÚMERO CÓDIGO MATERIAL/SERVICIO A NEGOCIAR					DECISIÓN		
	ECONÓMICO (PRECIO)	PUNTOS	CALIDAD (TÉCNICO)		PUNTOS	PUNTOS TOTAL	RANKING	OBSERVACIONES
		60%	Especificaciones	P.uso	40%			
Proveedor 1	13%	8%	8,7%	8%	17%	24,21%	4	Ninguna
Proveedor 2	13%	8%	9,3%	3%	12%	19,84%	5	Ninguna
Proveedor 3	25%	15%	12,6%	10%	23%	37,59%	1	Ninguna
Proveedor 4	40%	24%	11,2%	0%	11%	35,21%	2	Ninguna
Proveedor 5	11%	7%	11,0%	10%	21%	27,67%	3	Ninguna

Fuente: Documentos internos de la empresa caso de estudio

La adjudicación de compras bajo contrato u oferta mercantil, así como también la de montos menores tienen niveles diferentes de aprobación, cuando una negociación es admitida su proceso de activación y gestión documental se libera desde SAP® para su respectivo

tratamiento. A continuación, se describen los factores principales que se tuvieron en cuenta para desarrollar la propuesta del diseño metodológico:

- Se analizan las categorías de suministro más fuerte de cada proveedor en términos de monto compras, volumen y frecuencia. Un proveedor puede vender más de una categoría, sin embargo, se utiliza para el análisis la categoría más representativa.
- Por política de compras se deben recibir mínimo tres (3) cotizaciones por cada necesidad de compra de alguna categoría, para el presente proyecto no se tendrá en cuenta la clasificación de las compras por montos económicos las cuales dependiendo de su cuantía se realizan de manera directa o a través de un comité de compras, es decir, se estudian todas las posibles negociaciones.
- Se asume que las ofertas comerciales evaluadas para cada caso ya presentan el descuento comercial en el precio final.
- No se tienen en cuenta proveedores como universidades, instituciones públicas, entidades gubernamentales, fundaciones y algunos servicios especializados que se definen como proveedor único o especializado.

Para la presente investigación se tienen 259 categorías de compra de Bienes con 1049 proveedores asociados, para el caso de servicios son 185 categorías con 838 proveedores vinculados que suman un total de 1.887 empresas. En la **sección 6** se presenta la resolución del algoritmo de agrupamiento de proveedores a través de la herramienta K-means en donde se identifica el grupo de proveedores mejor calificado para ser proponentes en una negociación y en la **sección 7** se establece el ranking de proveedores a través de la Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud con la Solución Ideal o Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS, por sus siglas en inglés).

## 6. PROCESO DE AGRUPAMIENTO DE PROVEEDORES

Tal como se presentó en las secciones **4.1.2** y **4.2.1** de revisión teórica y el estado del arte respectivamente, se define al análisis clúster como una técnica de optimización que tiene como objetivo agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos; para su aplicación se identifican dos tipos de técnicas de clúster, los jerárquicos y no jerárquicos (Fernandez, 2011).

Según Saxena et. al. (2017c) el algoritmo K-means es uno de los algoritmos de agrupamiento más simples, comparados y más conocidos que se aplica principalmente para resolver los problemas de agrupamiento; en este procedimiento, el conjunto de datos dado se clasifica a través de un número de grupos definido por el usuario  $k$  (centroides) para cada grupo minimizando la suma de distancias entre cada objeto y el centroide de su grupo o clúster  $K$ . Estos autores presentan la función objetivo  $J$  y el procedimiento del algoritmo de K-means en la **Figura 10**:

$$\text{Minimizar } J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|X_i^{(j)} - C_j\|^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde  $\|X_i^{(j)} - C_j\|^2$  es una medida de distancia elegida entre un punto de datos  $X_i^{(j)}$  y el centro del grupo  $C_j$ .

Generalmente, para inicializar el método de agrupamiento K-means el investigador define el número  $K$  correspondiente a la cantidad de grupos de manera aleatoria, para este caso de estudio particular se definió a priori  $K=4$  grupos o clústeres ya que se busca agrupar los

proveedores de cada categoría con el mejor desempeño en el grupo perteneciente al cuadrante superior derecho del plano cartesiano cuyas variables son desempeño en *entregas* y *calidad*, para *X* y *Y* respectivamente.

**Figura 10.** Procedimiento paso a paso Algoritmo K-means.

1. Inicialización: Se decide formar K-grupos del conjunto de datos dado, el número de K lo define el investigador a priori. Ahora tome K puntos distintos (patrones) al azar. Estos puntos representan los centroides del grupo inicial. Como estos centroides cambiarán después de cada iteración antes de que se arreglen los grupos, no hay necesidad de perder tiempo en la decisión de elegir los centroides.

2. Asigne cada objeto al grupo que tenga el centroide más cercano.

3. Se actualiza la posición del centroide de cada grupo tomando como nuevo centroide la posición del promedio de los objetos pertenecientes a dicho grupo.

4. Cuando se hayan asignado todos los objetos, vuelva a calcular las posiciones de los k centroides.

5. Repita los pasos 2 y 3 hasta que los centroides ya no se muevan. Esto produce una separación de los objetos en grupos a partir de los cuales se puede calcular la métrica a minimizar.

Fuente: Adaptado de Saxena et. al. (2017)

Como se ha expuesto en las secciones anteriores, el algoritmo K-means no determina el número de clúster por sí sólo, lo cual lo diferencia de los métodos jerárquicos de agrupamiento, en esta técnica el investigador debe fijarlo antes de ejecutar la herramienta. Dado el caso de que se tenga dificultad en la definición del número de los grupos o clústeres K, se deja a consideración el método Elbow o método del codo utiliza esta distancia representada a K para determinar el número de grupos ideal para el problema en cuestión (Garrido Agenjo, 2017).

Dentro de los aspectos para tener en cuenta en la inicialización del algoritmo K-means es la normalización de los datos para que las escalas de los atributos sean similares y no afecten

el cálculo de las distancias entre puntos, así mismo se debe tener en cuenta que el criterio de detención de iteraciones del algoritmo es que no se presenten cambios en los puntos asignados a los grupos y si se logran el número máximo de iteraciones.

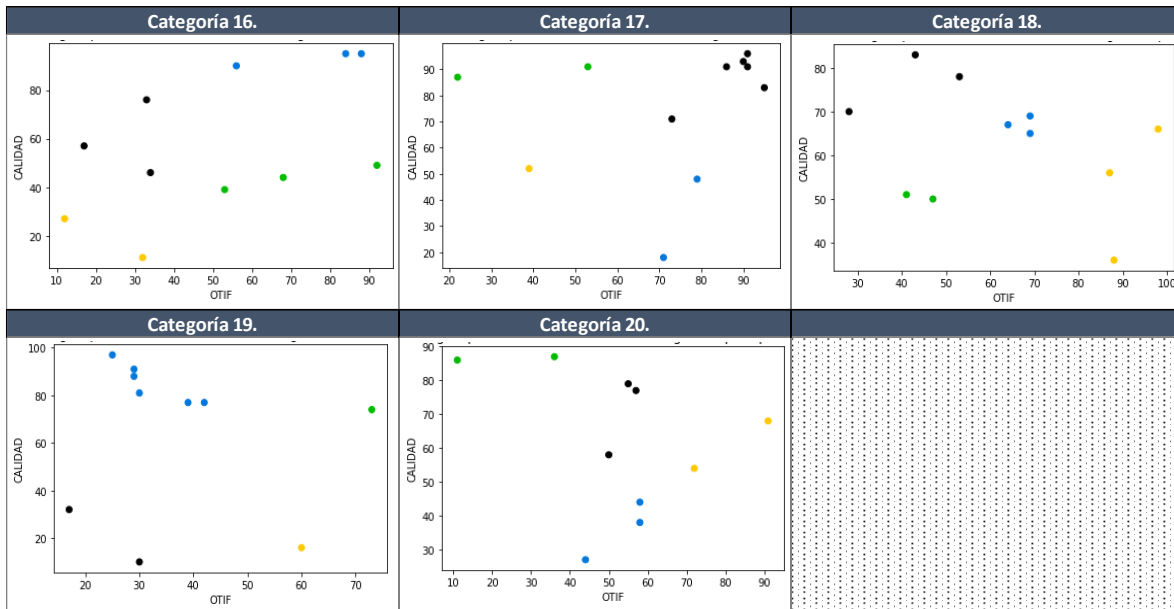
El desarrollo el algoritmo K-means para el caso de estudio fue ejecutado a través del software Phyton™ cuya funcionalidad es potente, maneja estructuras de alto nivel de manera eficiente, lenguajes de programación orientado a objetivos simples pero efectivos y con diferentes aplicaciones; también cuenta con extensivas librerías disponibles libremente en código fuente y forma binaria entre ellas la del algoritmo K-means como técnica de agrupamiento de datos (Phyton TM, 2020).

En el **Anexo 1** y **Anexo 2** se presenta el código de la librería de K-means utilizada en Phyton™ para el agrupamiento de los proveedores del caso de estudio, así mismo, en las **Figura 11** y **Figura 12** se muestran los resultados del proceso de agrupamiento para proveedores de bienes y servicios respectivamente, para cada caso se utilizan como variables de entrada los indicadores de desempeño en *Entregas* y *Calidad*.

Una vez se obtienen los grupos de proveedores mejor por cada categoría de compra de bienes y servicios, se observa que en el cuadrante superior derecho se agrupan los proveedores con mejor desempeño en ambos criterios, los cuales son de interés para el investigador. En la **sección 8** se presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos y con esto se determina el cumplimiento del objetivo 3 de la presente investigación.

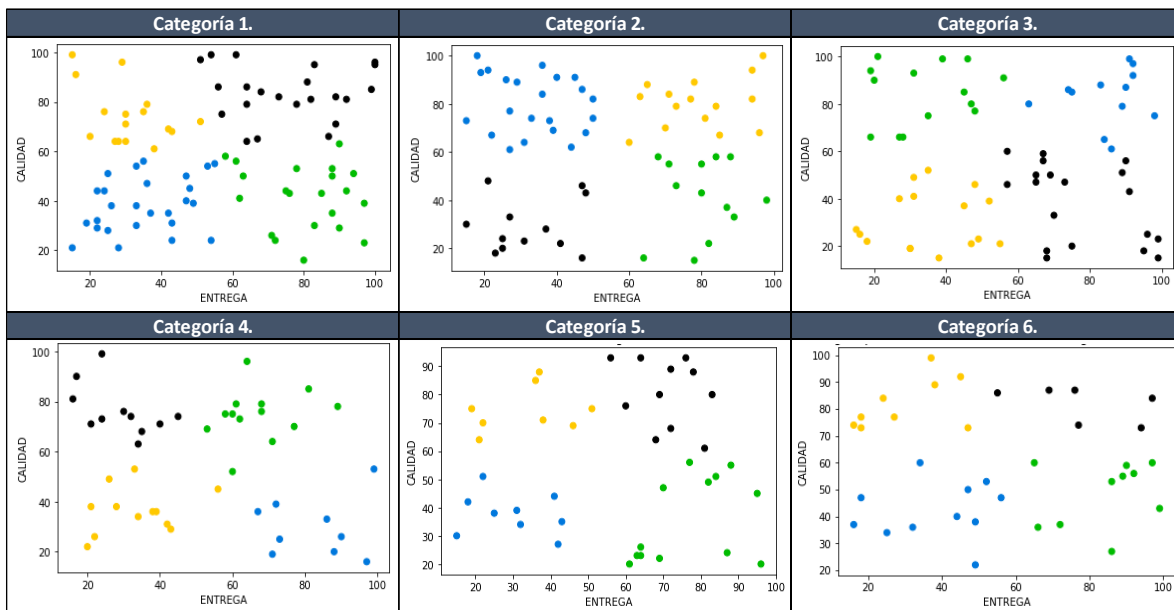
**Figura 11.** Resultados de agrupamiento de proveedores de suministro de BIENES por categoría de compra mediante el algoritmo K-means

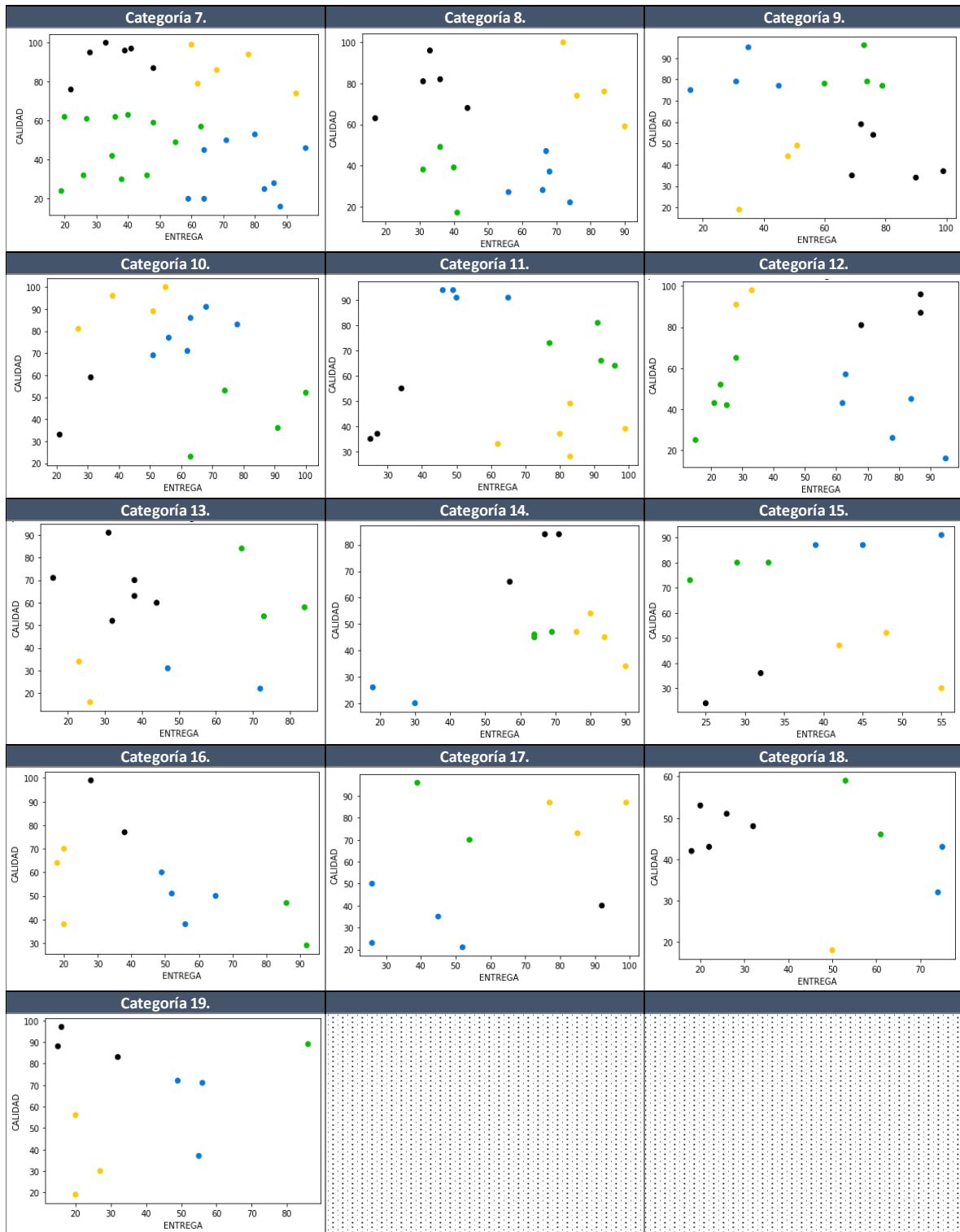




Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12.** Resultados de agrupamiento de proveedores de suministro de SERVICIOS por categoría de compra mediante el algoritmo K-means





Fuente: Elaboración propia.

## 7. APLICACIÓN DEL MODELO DE DECISIÓN MULTICRITERIO TOPSIS

En el marco referencial presentado en la **Sección 4** se identifica como herramienta de aplicación para resolver el problema de selección de proveedores del caso de estudio la técnica TOPSIS, este método tiene una lógica racional y entendible, siendo su proceso de resolución sencillo y estructurado en un algoritmo permitiendo la búsqueda de las mejores alternativas por cada criterio (Ceballos, Lamata, Pelta, & Sanchez, 2013).

El método TOPSIS estándar propuesto por Hwang y Yoon (1981) intenta elegir alternativas que simultáneamente tengan la distancia más corta de la solución ideal positiva (PIS) y la distancia más lejana de la solución ideal negativa (NIS), dicho esto, la solución ideal positiva maximiza el criterio de beneficio y minimiza el criterio de costo, mientras que la solución ideal negativa maximiza el criterio de costo y minimiza el criterio de beneficio (Otaghsara, Yazdani, Ignatius, & Behzadian, 2012 b).

TOPSIS hace un uso completo de la información de atributos, proporciona una clasificación cardinal de alternativas y no requiere que las preferencias de atributos sean independientes (Chen y Hwang (1992); Yoon & Hwang (1995)). A continuación, se describe el procedimiento detallado para el desarrollo del método TOPSIS presentado en la revisión del estado del arte de los autores Otaghsara, Yazdani, Ignatius & Behzadian (2012c):

Partiendo de las  $m$  alternativas  $A_i$  para  $i = 1, 2, \dots, m$  que serán evaluadas a partir de los criterios  $C_j$  para  $j = 1, 2, \dots, n$  que tienen un peso  $w_j$  para  $j = 1, 2, \dots, n$  se obtiene la siguiente matriz de decisión:

**Tabla 9.** Matriz de decisión teórica.

	$w_1$	$w_2$	...	$w_n$
	$C_1$	$C_2$	...	$C_n$
$A_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1n}$
$A_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2n}$
...	...	...	...	...
$A_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	...	$x_{mn}$

Fuente: Tomado y adaptado de Ceballos, Lamata, Pelta, & Sanchez (2013)

**Paso 1:** Construir matriz de decisión normalizada.

$$r_{ij} = X_{ij} / \sqrt{\sum X_{ij}^2} \text{ para } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde  $X_{ij}$  y  $r_{ij}$  son puntajes originales y normalizados de la matriz de decisión, respectivamente.

**Paso 2:** Construya la matriz de decisión normalizada ponderada.

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $w_j$  es el peso del criterio  $j$ .

**Paso 3:** Determinar la solución ideal positiva (PIS) y la solución ideal negativa (NIS).

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\} \text{ Solución ideal positiva.} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde  $v_i^* = \{\text{máx}(v_{ij}) \text{ si } j \in J; \text{mín}(v_{ij}) \text{ si } j \in J'\}$

$$A' = \{v_1, \dots, v_n\}, \text{ Solución ideal negativa.} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde  $v' = \{\text{mín}(v_{ij}) \text{ si } j \in J; \text{max}(v_{ij}) \text{ si } j \in J'\}$

**Paso 4:** Calcule las medidas de separación para cada alternativa.

La separación de la alternativa ideal positiva es:

$$S_i^* = \left[ \sum (v_i^* - v_{ij})^2 \right]^{1/2} \quad i = 1, \dots, m \quad \text{Ecuación 6}$$

De manera similar, la separación de la alternativa ideal negativa es:

$$S_i' = \left[ \sum (v_j^* - v_{ij})^2 \right]^{1/2} \quad i = 1, \dots, m \quad \text{Ecuación 7}$$

**Paso 5:** Calcule la cercanía relativa a la solución ideal, el conjunto de alternativas se puede clasificar según el orden descendente del coeficiente de cercanía  $C_i^*$ .

$$C_i^* = \frac{S_i'}{S_i^* + S_i'}, \quad 0 < C_i^* < 1 \quad \text{Ecuación 8}$$

Seleccione la alternativa con  $C_i^*$  más cercano a 1 y ordene las preferencias.

Para el caso de estudio, se toman los criterios de selección de proveedores para bienes y servicios presentados en la **Tabla 10** cada uno cuenta con sus respectivos pesos. Esta información fue suministrada por la empresa caso de estudio y por confidencialidad de la información no se detallan los nombres detallados de los proveedores y la descripción de las categorías de compras asociadas.

Definidos los criterios de selección se procede a presentar la resolución del proceso de selección de proveedores a través de la herramienta multicriterio TOPSIS que busca establecer el ranking de proveedores para asignar una negociación. Para efectos de presentación de la información, se coloca como ejemplo el procedimiento paso a paso del algoritmo para la categoría 1 de suministro de bienes, los demás detalles de los cálculos de selección de proveedores con el método TOPSIS incluyendo las categorías de servicios se encuentran en el archivo de datos de Excel® complemento a este proyecto.

**Tabla 10.** Criterios y pesos para la selección de proveedores de acuerdo con la naturaleza del suministro.

CRITERIOS	BIENES	SERVICIOS
Entregas	20%	20%
Calidad	30%	25%
Precio	30%	30%
Ubicación geográfica	5%	5%
Condición de pago	15%	10%
Seguridad y salud en el trabajo	N.A.	5%
Aspectos administrativos	N.A.	5%

Fuente: Elaboración propia.

Para inicializar el algoritmo, se toma en el primer caso la categoría 1 de compra de bienes que cuenta actualmente con 55 proveedores matriculados, con el algoritmo de agrupamiento K-means se identifican 18 empresas como proveedores calificados para desarrollar un proceso de negociación en el clúster 3 bajo los criterios de *entrega y calidad*. En la **Tabla 11** se observa los datos correspondientes de cada proveedor y sus criterios para inicializar el algoritmo multicriterio.

**Tabla 11.** Datos de entrada del método Topsis: Alternativas de proveedores, criterios y sus pesos correspondientes a la categoría 1 de bienes agrupados en el clúster 3.

PESO CRITERIO:	20%	30%	30%	5%	15%	CLÚSTER
PROVEEDOR	OTIF	CALIDAD	PRECIO UNITARIO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	CONDICIÓN DE PAGO	
2	87	92	\$ 7.563,00	2	8	3
663	90	76	\$ 9.191,00	3	30	3
695	85	88	\$ 8.804,00	2	60	3
700	79	64	\$ 9.066,00	3	60	3
739	63	66	\$ 10.482,00	3	60	3
748	58	95	\$ 8.649,00	3	0	3
755	88	73	\$ 8.926,00	2	60	3
761	63	98	\$ 9.247,00	2	60	3
821	72	85	\$ 7.796,00	1	30	3
828	85	83	\$ 8.537,00	1	45	3
856	58	85	\$ 9.894,00	1	30	3
860	80	56	\$ 10.270,00	1	0	3
872	81	68	\$ 8.492,00	1	30	3
928	84	78	\$ 9.157,00	3	30	3
1012	68	77	\$ 8.268,00	2	0	3
1026	92	63	\$ 7.744,00	2	30	3
1030	89	98	\$ 9.566,00	2	30	3
1034	70	85	\$ 9.720,00	1	30	3

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 1:** Construir matriz de decisión normalizada. Los elementos de la matriz de decisión pueden no estar definidos en el mismo dominio y por ello han de ser normalizados (Ceballos, Lamata, Pelta, & Sanchez, 2013b), en este caso se aplica la **Ecuación 2**.

**Tabla 12.** Matriz de decisión normalizada.

PROVEEDOR	OTIF	CALIDAD	PRECIO UNITARIO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	CONDICIÓN DE PAGO
2	0,26	0,27	0,20	0,23	0,05
663	0,27	0,22	0,24	0,34	0,18
695	0,26	0,26	0,23	0,23	0,36
700	0,24	0,19	0,24	0,34	0,36
739	0,19	0,19	0,27	0,34	0,36
748	0,17	0,28	0,23	0,34	0,00
755	0,27	0,21	0,23	0,23	0,36
761	0,19	0,29	0,24	0,23	0,36
821	0,22	0,25	0,20	0,11	0,18
828	0,26	0,24	0,22	0,11	0,27
856	0,17	0,25	0,26	0,11	0,18
860	0,24	0,16	0,27	0,11	0,00
872	0,24	0,20	0,22	0,11	0,18
928	0,25	0,23	0,24	0,34	0,18
1012	0,21	0,23	0,22	0,23	0,00
1026	0,28	0,18	0,20	0,23	0,18
1030	0,27	0,29	0,25	0,23	0,18
1034	0,21	0,25	0,25	0,11	0,18

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 2:** Construya la matriz de decisión normalizada ponderada. En esta etapa se multiplican los puntajes normalizados por cada peso de criterio utilizando la **Ecuación 3**.

**Tabla 13.** Matriz de decisión normalizada ponderada.

PROVEEDOR	OTIF	CALIDAD	PRECIO UNITARIO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	CONDICIÓN DE PAGO
2	0,05	0,08	0,06	0,01	0,01
663	0,05	0,07	0,07	0,02	0,03
695	0,05	0,08	0,07	0,01	0,05
700	0,05	0,06	0,07	0,02	0,05
739	0,04	0,06	0,08	0,02	0,05
748	0,03	0,08	0,07	0,02	0,00
755	0,05	0,06	0,07	0,01	0,05
761	0,04	0,09	0,07	0,01	0,05
821	0,04	0,07	0,06	0,01	0,03
828	0,05	0,07	0,07	0,01	0,04
856	0,03	0,07	0,08	0,01	0,03
860	0,05	0,05	0,08	0,01	0,00
872	0,05	0,06	0,07	0,01	0,03
928	0,05	0,07	0,07	0,02	0,03
1012	0,04	0,07	0,06	0,01	0,00
1026	0,06	0,06	0,06	0,01	0,03
1030	0,05	0,09	0,08	0,01	0,03
1034	0,04	0,07	0,08	0,01	0,03

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 3:** Determinar con la **Ecuación 4** y **5** la solución ideal positiva (PIS) y la solución ideal negativa (NIS) respectivamente:

**Tabla 14.** Solución ideal positiva  $A^*$  (PIS) y la solución ideal negativa  $A'$  (NIS).

$A^*$	0,0555	0,0862	0,0594	0,0169	0,0545
$A'$	0,0350	0,0493	0,0823	0,0056	0,0000

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 4:** Calcule las medidas de separación para cada alternativa con la **Ecuación 6** y **7**.

**Tabla 15.** Medidas de separación de la alternativa ideal positiva  $S_i^*$  y alternativa ideal negativa  $S_i'$ .

PROVEEDOR	$S_i^*$	$S_i'$
2	0,04794	0,04381
663	0,03580	0,04067
695	0,01490	0,06505
700	0,03310	0,05855
739	0,04030	0,05640
748	0,05890	0,03887
755	0,02521	0,06083
761	0,02264	0,06684
821	0,03389	0,04370
828	0,02372	0,05227
856	0,04190	0,03761
860	0,07046	0,01338
872	0,04077	0,03592
928	0,03510	0,03997
1012	0,05985	0,02668
1026	0,04152	0,04117
1030	0,03201	0,05040
1034	0,03825	0,03849

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 5:** Calcule con la **Ecuación 8** la cercanía o proximidad relativa a la solución ideal, el conjunto de alternativas se puede clasificar según el orden descendente del coeficiente de cercanía  $C_i^*$ .

En esta etapa se selecciona la alternativa con cercanía relativa  $C_i^*$  más cercano a 1. Las preferencias se deben ordenar en orden decreciente empezando con el  $C_i^*$  que está más próximo a la solución ideal, es decir el que se encuentra con mayor cercanía relativa.

Finalizadas las etapas del algoritmo se identifica al proveedor 695 de la categoría 1 como el mejor proponente bajo los criterios de selección en la negociación, por lo tanto, se asigna el contrato de abastecimiento y se inician trámites administrativos. Es de gran importancia realizar un proceso de preselección a través de la técnica de agrupamiento K-means ya que

los esfuerzos de selección de proveedores se enfocan en los proveedores que tienen mayor confiabilidad en la organización.

**Tabla 16.** Cercanía relativa a la solución ideal  $C_i^*$  y ordenación de preferencias.

PROVEEDOR	$S_i^*$	$S_i'$	$C_i^*$	Ranking
695	0,0149	0,0650	0,8137	1
761	0,0226	0,0668	0,7470	2
755	0,0252	0,0608	0,7070	3
828	0,0237	0,0523	0,6879	4
700	0,0331	0,0586	0,6389	5
1030	0,0320	0,0504	0,6116	6
739	0,0403	0,0564	0,5832	7
821	0,0339	0,0437	0,5632	8
928	0,0351	0,0400	0,5325	9
663	0,0358	0,0407	0,5318	10
1034	0,0382	0,0385	0,5016	11
1026	0,0415	0,0412	0,4979	12
2	0,0479	0,0438	0,4775	13
856	0,0419	0,0376	0,4730	14
872	0,0408	0,0359	0,4684	15
748	0,0589	0,0389	0,3976	16
1012	0,0598	0,0267	0,3083	17
860	0,0705	0,0134	0,1596	18

$C_i$  más cercano a 1, selección del mejor proponente.

Fuente: Elaboración propia.

El algoritmo TOPSIS permite una práctica y sistemática implementación en la operación de procesos de cadena de suministro. Para la empresa caso de estudio se logró aplicar el método de agrupamiento K-means y el algoritmo TOPSIS para 17 categorías de suministro de bienes y 15 categorías de servicios que suman alrededor de 331 y 473 empresas respectivamente. En las **Tabla 17** y **Tabla 18** se presentan los resultados finales del proyecto, indicando las categorías de compras de bienes y servicios, el número total de proveedores de la empresa caso de estudio, las empresas preseleccionadas con el método K-means, el número de proveedores requeridos por política de la organización, el ranking de proveedores encontrado con el método TOPSIS y las acciones a tomar para cada caso. En la **sección 8** se describe a detalle el análisis y discusión de los resultados.

**Tabla 17.** Resultados proceso de selección de proveedores de suministro de BIENES por categoría de compra\*.

Número de categoría	Número total de proveedores	Proveedores pre seleccionados K-means	Número real de proveedores requeridos en categoría	Ci*	Ranking TOPSIS	Proveedor Seleccionado	Acción
<a href="#">Categoría 1</a>	55	18	10	0,8137	1	695	Asignar negociación
				0,7470	2	761	2da mejor opción
				0,7070	3	755	3ra mejor opción
				0,6879	4	828	4ta mejor opción
				0,6389	5	700	5ta mejor opción
				0,6116	6	1030	6ta mejor opción
				0,5832	7	739	7ma mejor opción
				0,5632	8	821	8va mejor opción
				0,5325	9	928	9na mejor opción
				0,5318	10	663	10ma mejor opción
				0,5016	11	1034	11ma mejor opción
				0,4979	12	1026	12ma mejor opción
				0,4775	13	2	13ra mejor opción
				0,4730	14	856	14ta mejor opción
				0,4684	15	872	15ta mejor opción
				0,3976	16	748	16ta mejor opción
				0,3083	17	1012	17ma mejor opción
				0,1596	18	860	18va mejor opción
<a href="#">Categoría 2</a>	28	7	5	0,8425	1	78	Asignar negociación
				0,6368	2	867	2da mejor opción
				0,5384	3	73	3ra mejor opción
				0,5368	4	989	4ta mejor opción
				0,5018	5	835	5ta mejor opción
				0,4179	6	71	6ta mejor opción
				0,1875	7	627	5ta mejor opción
<a href="#">Categoría 3</a>	28	9	5	0,7059	1	903	Asignar negociación
				0,6278	2	882	2da mejor opción
				0,3320	3	375	3ra mejor opción
				0,3000	4	895	4ta mejor opción
				0,2869	5	376	5ta mejor opción
				0,2640	6	912	6ta mejor opción
				0,2066	7	901	7ma mejor opción
				0,2063	8	889	8va mejor opción
				0,1558	9	1011	9na mejor opción
<a href="#">Categoría 4</a>	26	5	5	0,7269	1	307	Asignar negociación
				0,5642	2	297	2da mejor opción
				0,5618	3	640	3ra mejor opción
				0,5490	4	296	4ta mejor opción
				0,4397	5	702	5ta mejor opción
<a href="#">Categoría 5</a>	26	9	5	0,7857	1	54	Asignar negociación
				0,6635	2	57	2da mejor opción
				0,6275	3	801	3ra mejor opción
				0,6020	4	62	4ta mejor opción
				0,5925	5	743	5ta mejor opción
				0,4932	6	711	6ta mejor opción
				0,4532	7	61	7ma mejor opción
				0,3867	8	675	8va mejor opción
				0,2896	9	50	9na mejor opción
<a href="#">Categoría 6</a>	23	6	5	0,9167	1	317	Asignar negociación
				0,6395	5	322	2da mejor opción
				0,7456	4	326	3ra mejor opción
				0,8195	3	328	4ta mejor opción
				0,8264	2	330	5ta mejor opción
0,1188	6	890	6ta mejor opción				
Categoría 7	15	1	5	0	0	0	Desarrollar/buscar proveedores

<a href="#">Categoría 8</a>	15	3	5	0,6882	1	798	Asignar negociación
				0,5507	2	367	2da mejor opción
				0,3064	3	880	3ra mejor opción
<a href="#">Categoría 9</a>	14	4	5	0,8345	1	215	Asignar negociación
				0,7300	2	217	2da mejor opción
				0,4531	3	219	3ra mejor opción
				0,2563	4	838	4ta mejor opción
<a href="#">Categoría 10</a>	14	4	5	0,8397	1	950	Asignar negociación
				0,5380	2	628	2da mejor opción
				0,4448	3	729	3ra mejor opción
				0,1698	4	820	4ta mejor opción
<a href="#">Categoría 11</a>	14	5	5	0,7171	1	342	Asignar negociación
				0,6826	2	679	2da mejor opción
				0,5616	3	343	3ra mejor opción
				0,4616	4	341	4ta mejor opción
				0,2003	5	967	5ta mejor opción
<a href="#">Categoría 12</a>	14	4	5	0,9809	1	473	Asignar negociación
				0,4624	2	1028	2da mejor opción
				0,3480	3	1003	3ra mejor opción
				0,2879	4	470	4ta mejor opción
<a href="#">Categoría 13</a>	13	3	5	0,6659	1	1017	Asignar negociación
				0,5820	2	1	2da mejor opción
				0,3202	3	541	Desarrollar/buscar proveedores
<a href="#">Categoría 14</a>	13	5	5	0,6617	1	417	Asignar negociación
				0,5220	2	736	2da mejor opción
				0,4474	3	773	3ra mejor opción
				0,3683	4	829	4ta mejor opción
				0,2518	5	823	5ta mejor opción
<a href="#">Categoría 15</a>	11	3	5	0,8122	1	333	Asignar negociación
				0,6311	2	337	2da mejor opción
				0,1489	3	721	Desarrollar/buscar proveedores
<a href="#">Categoría 16</a>	11	3	5	0,7970	1	796	Asignar negociación
				0,7108	2	844	2da mejor opción
				0,2672	3	936	Desarrollar/buscar proveedores
<a href="#">Categoría 17</a>	11	6	5	0,9321	1	934	Asignar negociación
				0,5131	2	768	2da mejor opción
				0,4906	3	874	3ra mejor opción
				0,4531	4	851	4ta mejor opción
				0,4243	5	995	5ta mejor opción
				0,3669	6	673	6ta mejor opción
Categoría 18	11	0	5	0	0	0	Desarrollar/buscar proveedores
Categoría 19	10	0	5	0	0	0	Desarrollar/buscar proveedores
Categoría 20	10	0	5	0	0	0	Desarrollar/buscar proveedores

Fuente: Elaboración propia.

\*A partir de la categoría 18 hasta la 129 se cuenta con el número mínimo de proveedores para recibir cotizaciones, sin embargo, debe definirse un plan de acción para buscar o desarrollar los proveedores de suministro de bienes debido a su bajo desempeño. Esta acción aplica también para las categorías 130 hasta la 259 donde no se cuenta con el número mínimo de proponentes para negociar lo que limita a la empresa caso de estudio en la evaluación de

ofertas competitivas del mercado (ver detalle archivo anexo Excel® “Aplicación método TOPSIS.xls”).

**Tabla 18.** Resultados proceso de selección de proveedores de suministro de SERVICIOS por categoría de compra.

Número de categoría	Número total de proveedores	Proveedores pre seleccionados K-means	Número real de proveedores requeridos en categoría	Ci	Ranking TOPSIS	Proveedor Seleccionado	Acción
<a href="#">Categoría 1</a>	85	22	20	0,8171	1	329	Asignar negociación
				0,8031	2	103	2da mejor opción
				0,7955	3	687	3ra mejor opción
				0,7824	4	699	4ta mejor opción
				0,7621	5	128	5ta mejor opción
				0,7334	6	349	6ta mejor opción
				0,7311	7	689	7ma mejor opción
				0,6886	8	270	8va mejor opción
				0,6513	9	512	9na mejor opción
				0,6088	10	142	10ma mejor opción
				0,4890	11	115	11ma mejor opción
				0,4334	12	749	12ma mejor opción
				0,4039	13	334	13ra mejor opción
				0,3771	14	708	14ta mejor opción
				0,3751	15	563	15ta mejor opción
				0,3372	16	805	16ta mejor opción
				0,2808	17	837	17ma mejor opción
				0,2742	18	312	18va mejor opción
				0,2711	19	847	19na mejor opción
				0,2676	20	769	20ma mejor opción
				0,2042	21	543	21ra mejor opción
				0,1179	22	744	22da mejor opción
<a href="#">Categoría 2</a>	62	15	10	0,7428	1	816	Asignar negociación
				0,7238	2	13	2da mejor opción
				0,6894	3	105	3ra mejor opción
				0,6594	4	19	4ta mejor opción
				0,6100	5	75	5ta mejor opción
				0,5492	6	5	6ta mejor opción
				0,4798	7	9	7ma mejor opción
				0,4780	8	91	8va mejor opción
				0,4501	9	596	9na mejor opción
				0,4049	10	84	10ma mejor opción
				0,3880	11	2	11ma mejor opción
				0,3829	12	57	12ma mejor opción
				0,3268	13	819	13ra mejor opción
				0,3202	14	628	14ta mejor opción
				0,2938	15	423	15ta mejor opción
<a href="#">Categoría 3</a>	61	12	5	0,6610	1	186	Asignar negociación
				0,6439	2	275	2da mejor opción
				0,6368	3	315	3ra mejor opción
				0,6300	4	289	4ta mejor opción
				0,5626	5	281	5ta mejor opción
				0,4983	6	332	6ta mejor opción
				0,4788	7	229	7ma mejor opción
				0,4704	8	280	8va mejor opción
				0,4652	9	300	9na mejor opción
				0,4136	10	296	10ma mejor opción
				0,3499	11	385	11ma mejor opción
				0,3078	12	387	12ma mejor opción

<a href="#">Categoría 4</a>	45	13	5	0,6879	1	463	Asignar negociación
				0,6072	2	774	2da mejor opción
				0,5800	3	202	3ra mejor opción
				0,5787	4	480	4ta mejor opción
				0,5751	5	536	5ta mejor opción
				0,5481	6	187	6ta mejor opción
				0,4710	7	351	7ma mejor opción
				0,4408	8	505	8va mejor opción
				0,4305	9	625	9na mejor opción
				0,4223	10	578	10ma mejor opción
				0,4049	11	495	11ma mejor opción
				0,3861	4	807	12ma mejor opción
				0,3272	13	683	13ra mejor opción
<a href="#">Categoría 5</a>	41	11	10	0,8627	1	135	Asignar negociación
				0,7930	2	662	2da mejor opción
				0,7756	3	264	3ra mejor opción
				0,7522	4	158	4ta mejor opción
				0,6392	5	159	5ta mejor opción
				0,5638	6	49	6ta mejor opción
				0,4896	7	31	7ma mejor opción
				0,4607	8	99	8va mejor opción
				0,4122	9	144	9na mejor opción
				0,4115	10	41	10ma mejor opción
				0,3510	11	303	11ma mejor opción
<a href="#">Categoría 6</a>	36	6	10	0,8533	1	779	Asignar negociación
				0,5341	2	409	2da mejor opción
				0,5090	3	167	3ra mejor opción
				0,4655	4	494	4ta mejor opción
				0,4332	5	783	5ta mejor opción
				0,4037	6	210	6ta mejor opción
<a href="#">Categoría 7</a>	32	5	10	0,6610	1	181	Asignar negociación
				0,4278	2	147	2da mejor opción
				0,3740	3	145	3ra mejor opción
				0,3407	4	434	4ta mejor opción
				0,1037	5	673	5ta mejor opción
<a href="#">Categoría 8</a>	18	4	10	0,7630	1	96	Asignar negociación
				0,3261	2	161	2da mejor opción
				0,2968	3	502	3ra mejor opción
				0,2209	4	656	4ta mejor opción
				<a href="#">Categoría 9</a>	16	4	5
0,5815	2	179	2da mejor opción				
0,2537	3	549	3ra mejor opción				
0,1774	4	591	4ta mejor opción				
Categoría 10	16	0	5	0,0000	0	0	Desarrollar/buscar proveedores
<a href="#">Categoría 11</a>	15	3	5	0,6646	1	770	Asignar negociación
				0,6105	2	90	2da mejor opción
				0,3306	3	503	Desarrollar/buscar proveedores
<a href="#">Categoría 12</a>	13	3	5	0,8563	1	293	Asignar negociación
				0,2495	3	304	2da mejor opción
				0,6125	2	326	Desarrollar/buscar proveedores
<a href="#">Categoría 13</a>	12	3	5	0,5117	1	230	Asignar negociación
				0,7572	2	162	2da mejor opción
				0,2489	3	307	Desarrollar/buscar proveedores
<a href="#">Categoría 14</a>	11	3	10	0,6354	1	830	Asignar negociación
				0,1665	2	853	Desarrollar/buscar proveedores
				0,6272	3	832	3ra mejor opción
<a href="#">Categoría 15</a>	10	3	10	0,6230	1	216	Asignar negociación
				0,4563	2	338	2da mejor opción
				0,3954	3	454	Desarrollar/buscar proveedores

Fuente: Elaboración propia.

## 8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El alcance del presente proyecto está definido como el diseño de una propuesta metodológica para la selección de proveedores de una cadena de abastecimiento del sector agroindustrial. Para lograr dicho fin, se establecieron dos fases de desarrollo, la primera, utilizar el algoritmo de agrupamiento K-means para establecer el grupo de proveedores con mejor desempeño en cada categoría de compra (**sección 6**), y la segunda, después de tener este grupo de empresas se aplica el método multicriterio para la toma de decisiones TOPSIS el cual permite establecer un ranking de las alternativas de proveedores a través de ordenación de preferencias para seleccionar el mejor proponente al cual se le realizará el proceso de asignación de la negociación (**sección 7**).

Con el algoritmo agrupamiento K-means se busca optimizar de manera sistemática los proveedores bajo criterios de desempeño, es decir, se minimiza la suma de distancias cuadráticas de cada objeto con respecto al centroide de cada clúster (K) definido en los datos de entrada. Para el caso de estudio particular, después de las iteraciones necesarias durante la ejecución del algoritmo, la herramienta permitió definir los conjuntos de datos similares entre sí, es decir, particionar los grupos de proveedores dadas las variables entrega y calidad para las categorías de compra de bienes y servicios con un número de proveedores determinado.

En los resultados presentados en la sección 6 en las **Figura 11** y **Figura 12** se puede apreciar que para las categorías de compra de bienes o servicios los proveedores con mejor desempeño en los criterios de entrega y calidad son representados gráficamente en el cuadrante superior izquierdo del plano cartesiano. Para las categorías de compra que

contienen un número considerable de proveedores potenciales para procesos de negociación, las nubes de datos son más densas dando más opciones al investigador para la selección de proveedores. En el caso de las categorías con menor número de proveedores, el algoritmo de agrupamiento K-means limita el número de proponentes dados los criterios de agrupación.

Dicho esto, el algoritmo K-means permitió detectar que la empresa caso de estudio tiene que desarrollar y/o buscar proveedores para algunas categorías. Se utilizaron las como variables de entrada los indicadores de desempeño de entrega y calidad dejando ver que las categorías de bienes de la 7 a la 10, 15, 16 y 18, y para el caso de servicios de 7 a la 15 no cumplieron con la política de abastecimiento que define un número mínimo de proveedores en cada caso (ver documento anexo “Aplicación método TOPSIS bienes.xls” y “Aplicación método TOPSIS servicios.xls”). Este algoritmo logró la clasificación de los mejores proponentes bajo estas variables de nivel de desempeño minimizando el riesgo de ofertar con el número total de proveedores a los cuales pueden pertenecer empresas con baja confiabilidad en sus niveles de servicio.

Una vez identificados los grupos de proveedores con mejor desempeño, se procede con la implementación del algoritmo TOPSIS que permitió en cada caso de evaluación de categoría de compra de bien o servicio, establecer el orden de preferencia por similitud con la solución ideal bajo criterios de asignación de contrato en proceso de negociación.

Este método resulta práctico y permite la actualización de datos cada vez que la empresa caso de estudio se vea enfrentada a tomar decisiones bajo múltiples criterios. Los resultados detallados muestran que con la herramienta se logró establecer la mejor opción de proveedor para bienes hasta la categoría 17 y para servicios hasta la categoría 15. Las demás categorías

identificadas requieren búsqueda inmediata de proveedores ya que en su mayoría cuentan con menos de 5 proponentes calificados para realizar el proceso de asignación.

Cabe resaltar que, aunque el enfoque desarrollado podría ser genérico, los criterios seleccionados para la selección de proveedores están relacionados con los problemas frecuentes de cadena de suministro incluyendo la selección de proveedores, éstos son propios dada la naturaleza de operación de la empresa caso de estudio; su aplicación puede servir para otro tipo de industrias y la selección de criterios depende de lo que se quiera encontrar a través del algoritmo.

## **9. CONCLUSIONES**

Como se mencionó en la sección anterior, el resultado de esta investigación fue el diseño de una metodología de selección de proveedores basada en dos fases, la primera, aplicación del algoritmo K-means y la segunda, corresponde a la aplicación del algoritmo multicriterio TOPSIS dando como resultado la selección adecuada de proveedores por categoría de compra en una empresa caso de estudio cumpliendo los objetivos planteados para el proyecto. Esta herramienta es potencialmente aplicable para cualquier tipo de industria por su practicidad y lógica de aplicación.

Desarrollar el problema de selección de proveedores a través de dos fases permite al decisor realizar una preselección de proponentes por grupos con los mejores resultados de desempeño y sobre éstos aplicar la herramienta de jerarquización de alternativas para la ordenación de preferencias definiendo un ranking donde la mejor opción es el proveedor cuya

proximidad se acerque a 1. Estas dos etapas permiten minimizar el riesgo de seleccionar un proponente con baja confiabilidad en su gestión de desempeño y también reduce los tiempos de toma de decisión porque se descartan los proveedores cuyos indicadores tienen un bajo nivel de servicio para la operación.

Esta combinación de herramientas de aplicación práctica y sistemática genera valor dentro de un proceso de abastecimiento de bienes y servicios desde un enfoque de gestión del desempeño y múltiples alternativas de decisión.

El algoritmo de agrupamiento K-means cuya característica de aprendizaje no supervisado permite realizar un análisis exploratorio de datos de acuerdo con variables de entrada para la segmentación de proveedores.

Con respecto a la herramienta, se identifica dentro de las limitaciones del algoritmo de K-means que sólo se pueden visualizar los grupos en espacios de hasta tres dimensiones (3D) y sus inputs deben ser estrictamente datos de variables numéricas, para un problema con variables categóricas estas deben representarse de manera cuantitativas. Por otra parte, este método es sensible al ruido y puede caer en mínimos locales.

Dentro de las ventajas identificadas del modelo de K-means es que se evidencia un buen comportamiento para grandes volúmenes de datos, en su ejecución no requiere grandes tiempos computacionales y sus resultados son fáciles de interpretar como técnica exploratoria de datos para la toma de decisiones. También permite a los decisores encontrar el mejor grupo de conjuntos de datos a través de variables de entrada consideradas como atributos que representan los resultados de manera precisa.

En la revisión de la literatura se define como una desventaja del algoritmo de agrupamiento K-means la definición del número de grupos (K) ya que no puede calcular el número de clúster por sí sólo, para el caso particular esto no generó inconvenientes ya que el autor de este proyecto en curso con su experiencia introdujo en el plano bidimensional un  $K=4$  como parámetro para la formación de grupos, el mejor grupo de proveedores se ubicaba en el cuadrante superior izquierdo que enmarcaba los mejores indicadores de desempeño del plano cartesiano.

El método TOPSIS permite evaluar diferentes alternativas con criterios y pesos de cada una como datos de entrada cuantitativos, hace parte de un gran número de herramientas de decisión multicriterio tal como se presentó en el marco referencial y en su implementación se observan las bondades del algoritmo en lo práctico, lógico y secuencial dando al decisor asertividad y eliminación de la subjetividad en la toma de decisiones para la selección de proveedores. Para este caso, no se establece un análisis de sensibilidad dado que el objetivo del proyecto es seleccionar el mejor proveedor por categoría compra, sin embargo, se recomienda realizarlo para estudios futuros ya que este algoritmo es sensible al ruido y a los cambios en los criterios razón por la cual el investigador debe definir de manera adecuada los datos de entrada del modelo.

En síntesis, se encontró que la herramienta propuesta es una base para el desarrollo de oportunidades de mejora en los procesos de selección de proveedores, búsqueda de nuevas alternativas de proveedores por escasez de proponentes dentro de ciertas categorías, así como también, gestionar el desarrollo de proveedores para empresas segmentadas dentro de los indicadores de desempeño regulares y deficientes.

## **10. ESTUDIOS FUTUROS**

Dentro de las extensiones futuras de esta investigación se plantea revisar en función de los temas de tendencia a nivel mundial la evaluación de proveedores incluyendo dimensiones de sostenibilidad buscando seleccionar proponentes que aporten en la disminución de impactos ambientales y sociales negativos derivados de su actividad comercial y operacional.

Así mismo, si la empresa caso de estudio considera importante mantener y controlar la confiabilidad de sus operaciones logísticas basados en esquemas de evaluación de desempeño, puede considerar el análisis de estadísticos que permitan conocer la variabilidad de los datos (indicadores de desempeño) en períodos de tiempo. De esta manera se identifica si los proponentes son confiables en el tiempo y se pueden tomar acciones para complementar, desarrollar y/o fortalecer a gestión de los proveedores de la cadena de suministro.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, N., Friedman, L., & Sinuany-Stern, Z. (2002). Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *European Journal of Operational Research*, 140, 249–265.
- Akman, G. (2014). Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods. *Computers & Industrial Engineering*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.013>
- Asocaña. (2017). *Informe anual de Asocaña con aspectos generales del sector azucarero colombiano 2016-2017*. Cali, Valle del Cauca: Asocaña.
- ASOCAÑA. (2019). *Informe Anual: Aspectos Generales del Sector Agroindustrial de la caña*. Cali: Asocaña. Obtenido de <https://www.asocana.org/documentos/2352019-D0CA1EED-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D,A3C4B5.pdf>
- Awasthi, A., Govindan, K., & Gold, S. (2017). Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. *International Journal of Production Economics*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.013>
- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson Education.
- Bana e Costa, C., De Corte, J.-M., & Vansnick, J.-C. (2005). On the Mathematical Foundations of MACBETH. En S. Science, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pág. 409). United States of America.
- Banco Mundial. (2018). *Banco Mundial. BIRF - AIF*. Obtenido de [https://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ?locations=CO&year\\_high\\_desc=true](https://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ?locations=CO&year_high_desc=true)
- Bouyssou, D., & Pirlot, M. (2005). Conjoint measurement tools for MCDM: A brief introduction. En S. Science, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (págs. 73-119).
- Brans, J.-P., & De Smet, Y. (2005). Promethee Methods. En S. Science, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (págs. 163-189).
- Buyukozkan, G., & Cifci, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39, 3000–3011.

- Ceballos, B., Lamata, M. T., Pelta, D., & Sanchez, J. M. (2013). EL MÉTODO TOPSIS RELATIVO VS. ABSOLUTO. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos ASEPUMA*, 14, 182.
- Chai, J., N.K. Liu, J., & W.T. Ngai, E. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert Systems with Applications*, 40. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.040>
- Chang, B., Chang, C., & Wu, C. (2011). Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. *Expert Systems with Applications*, 38, 1850–1858.
- Che, Z. (2011). Clustering and selecting suppliers based on simulated annealing algorithms. *Computers and Mathematics with Applications*, 63. doi:10.1016/j.camwa.2011.11.014
- Che, Z., & Wang, H. (2009). A hybrid approach for supplier cluster analysis. *Elsevier*. doi:10.1016/j.camwa.2009.10.018
- Chen, C.-T., Lin, C.-T., & Huang, S.-F. (2005). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal Production economics*. doi:10.1016/j.ijpe.2005.03.009
- Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and applications. *Berlin: Springer-Verlag*.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*. México: Pearson Education.
- Chou, S., & Chan, Y. (2008). A decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach. *Expert Systems with Applications*, 34, 2241–2253.
- Consejo Privado de Competitividad. (2018). *Índice Departamental de Competitividad*. Bogotá. Recuperado el 2018, de <https://compite.com.co/idc/>
- Consejo Privado de Competitividad. (2019). *Índice Departamental de Competitividad*. Bogotá. Recuperado el 2019, de <https://compite.com.co/indice-departamental-de-competitividad/>
- Consejo Privado de Competitividad de Colombia. (2017). *Desempeño Logístico: Infraestructura, transporte y logística*. Bogotá. Obtenido de <https://compite.com.co/wp-content/uploads/2016/11/ITLCap.pdf>
- Dalalah, D., Hayajneh, M., & Batieha, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert Systems with Applications*. doi:10.1016/j.eswa.2011.01.031

- Deng, X., Hu, Y., Deng, Y., & Mahadevan, S. (2013). Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers. *Expert Systems with Applications*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.018>
- DNP. (2018). *Encuesta Nacional Logística*. Departamento Nacional de Planeación. Puntoaparte bookverstising. Obtenido de <https://onl.dnp.gov.co/es/Publicaciones/Paginas/Encuesta-Nacional-Log%C3%ADstica-2018.aspx>
- DNP, Departamento Nacional de Planeación. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo 2014 - 2018. Tomo I*. Bogotá. Recuperado el 2018, de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/PND/PND%202014-2018%20Tomo%201%20internet.pdf>
- DNP, Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Encuesta Nacional Logística*. Bogotá. Obtenido de <https://onl.dnp.gov.co/es/Publicaciones/Documents/Encuesta%20Nacional%20Log%C3%ADstica%202015%20%E2%80%93%20Libro%20de%20resultados.pdf>
- Dyer, J., Fishburn, P., Steuer, R., Wallenius, J., & Zionts, S. (1992). Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: The Next Ten Years. *Management Science*, 647.
- Ertay, T., Kahveci, A., & Tabanlı, R. (2011). An integrated multi-criteria group decision-making approach to efficient supplier selection and clustering using fuzzy preference relations. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* , 24(12). doi:<http://dx.doi.org/10.1080/0951192X.2011.615342>
- Fernandez, S. (2011). Análisis de conglomerados. (U. A. Madrid, Ed.) *Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*.
- Ferreira, L., & Borenstein, D. (2012). A fuzzy-bayesian model for supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 39, 7834–7844.
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. United States of América: Springer Science.
- Figueira, J., Mousseau, V., & Roy, B. (2005). Electre Methods. En S. Science, *Multicriteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (págs. 133-153).
- G.H. Omran, M., P. Engelbrecht, A., & Salman, A. (2007). An overview of clustering methods. *Intelligent Data Analysis II*, 583.
- Garrido Agenjo, O. A. (2017). *Aplicación de Técnicas de Cluster al Análisis de Responsabilidad de los Conductores al Análisis de Responsabilidad de los Conductores en Accidentes de Tráfico*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.


- Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.046>
- Guneri, A., Yucel, A., & Ayyildiz, G. (2009). An integrated fuzzy-lp approach for a supplier selection problem in supply chain management. *Expert Systems with Applications*. doi:10.1016/j.eswa.2008.12.021
- Heidarzade, A., Mahdavi, I., & Mahdavi-Amiri, N. (2015). *Supplier selection using a clustering method based on a new distance for interval type-2 fuzzy sets: A case study*. Applied Soft Computing. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.029>
- Johnson, P., Leenders, M., & Flynn, A. (2012). *Administración de Compras y Abastecimientos* (Vol. 14). México: McGraw-Hill /Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., & Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multiobjective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Elsevier*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.010>
- Khaleie, S., Fasanghari, M., & Tavassoli, E. (2012). Supplier selection using a novel intuitionist fuzzy clustering approach. *Applied Soft Computing*. doi:10.1016/j.asoc.2012.01.017
- Khaleie, S., Fasanghari, M., & Tavassoli, E. (2012). Supplier selection using a novel intuitionist fuzzy clustering approach. *Applied Soft Computing*, 12, 1742-1743. doi:10.1016/j.asoc.2012.01.017
- Kotu, V., & Deshpande, B. (2019). *Data Science, concepts and practice*. Cambridge, United States: Elsevier.
- Kuo, R., Potti, Y., & Zulvia, F. (2018). Application of metaheuristic based fuzzy K-modes algorithm to supplier clustering. *Computers & Industrial Engineering*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.050>
- Li, J., Fang, H., & Song, W. (2019). Sustainable supplier selection based on SSCM practices: A rough cloud TOPSIS approach. *Journal of Cleaner Production*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.070>
- Lima Junior, F. R., Osiro, L., & Ribeiro Carpinetti, L. C. (13 de 04 de 2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Elsevier*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2014.03.014>
- Maghsoodi, A., Kavian, A., Khalilzadeh, M., & Brauers, W. (2018). CLUS-MCDA: A novel framework based on cluster analysis and multiple criteria decision theory in a supplier

- selection problem. *Computers & Industrial Engineering*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.03.011>
- Memari, A., Dargi, A., Akbari Jokar, M. R., Ahmad, R., & Abdul Rahim, A. R. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.11.002>
- Monczka, R., Handfield, R., Giunipero, L., & Patterson, J. (2009). *Purchasing & Supply Chain Management* (Vol. 4). South Western, USA: Nelson Education, Ltd.
- Omran, M., Engelbrecht, A., & Salman, A. (2007). An overview of clustering methods. *Intelligent Data Analysis*.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156, 445–455.
- Organization, I. I. (s.f.). *ISO International Sugar Organization*. Obtenido de <https://www.isosugar.org/aboutus/role-of-the-international-sugar-organization>
- Otaghsara, S. K., Yazdani, M., Ignatius, J., & Behzadian, M. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. (Elsevier, Ed.) *Expert Systems with Applications*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Öztürk, M., Tsoukiàs, A., & Vincke, P. (2005). Preference Modelling. En S. Science, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (págs. 27-61). Springer Science.
- Phyton TM*. (2020). Obtenido de *Phyton TM*: <https://www.python.org/>
- Rajesh, G., & Malliga, P. (2013). Supplier Selection Based on AHP QFD Methodology. *Procedia Engineering*. doi:[doi:10.1016/j.proeng.2013.09.209](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.209)
- Saaty, T. (2005). The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision - Making. En S. Science, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pág. 345). United States of America.
- Saaty, T. L. (1990). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: MacGraw-Hill.
- Sangri Coral, A. (2014). *Administración de Compras: Adquisiciones y Abastecimiento* (Vol. 1). México: Grupo Editorial Patria S.A. de C.V. doi:ISBN: 978-607-438-815-2
- Sarache Castro, W., Castrillon Gómez, Ó., & Ortiz Franco, L. (2009). Selección de proveedores: Una aproximación al estado del arte. *Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v22n38/v22n38a08.pdf>
- Saxena, A., Prasad, M., Gupta, A., Bharill, N., Patel, O., Om Prakash, . . . Lin, C.-T. (2017). A review of clustering techniques and developments. (Neurocomputing, Ed.) *Elsevier*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2017.06.053>

- Saxena, A., Prasad, M., Gupta, A., Bharill, N., Patel, O., Tiwari, A., . . . Lin, C.-T. (2017). A review of clustering techniques and developments. (Elsevier, Ed.) *Science Direct* . doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2017.06.053>
- Siskos, Y., Grigoroudis, E., & Matsatsinis, N. (2005). UTA Methods. En S. Science, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pág. 297).
- Taherdoost, H., & Brard, A. (2019). Analyzing the Process of Supplier Selection Criteria and Methods. *Science Direct*.
- Thakkar, J. (2008). Evaluation of buyer-supplier relationships using an integrated mathematical approach of interpretative structural modeling (ISM) and graph theoretic matrix: The case study of Indian automotive SMEs Jitesh Thakkar . *Journal of Manufacturing Technology Management* .
- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Baton Rouge, Louisiana, USA: Louisiana University.
- Valipour Parkouhi, S., & Safaei Ghadikolaei, A. (2017). A resilience approach for supplier selection: Using Fuzzy Analytic Network Process and grey VIKOR techniques. *Journal of Cleaner Production*, 161. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.175>
- Vidal Holguín, C. J. (2010). *Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios*. Santiago de Cali: Comité Editorial Universidad del Valle.
- Wan, S.-p., Xu, G.-l., & Dong, J.-y. (2016). Supplier selection using ANP and ELECTRE II in interval 2-tuple linguistic environment. *Elsevier*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2016.12.032>
- Wang, M. (2005). Building evaluating index System for shipping equipment's qualified supplier in view of AHP and group decision. *Hubei. Univ.*
- Witten, I., & Frank, E. (2005). Algorithms: The basic methods. Data science: Practical machine learning tools and techniques. CA: *Morgan Kaufmann.*, 136-139.
- World Economic Forum. (2019). *World Economic Forum*. Obtenido de [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf)
- Yoon, K. P., & Hwang, C. L. (1995). Multiple attribute decision making. *Thousand Oaks CA: Sage Publication*.
- Yu, P. (1973). A class of solutions for group decision problems. *Management Science*, 19, 936–946.
- Z.H., C., & H.S., W. (2009). A hybrid approach for supplier cluster analysis. *Elsevier Ltd.*, 59. doi:[10.1016/j.camwa.2009.10.018](http://dx.doi.org/10.1016/j.camwa.2009.10.018)

## 12. ANEXOS

### Anexo 1. Modelo K-means librería Phyton aplicado para el agrupamiento de proveedores de bienes.

 Cluster-kmeans-bienes.py: Bloc de notas

[Archivo](#) [Edición](#) [Formato](#) [Ver](#) [Ayuda](#)

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
"""
```

```
Created on Wed Jun 17 15:25:28 2020
```

```
@author: Usuario
```

```
"""
```

```
import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.cluster import KMeans
import matplotlib.pyplot as plt

bienes = pd.read_excel("Bienes.xlsx")

categoria = np.unique(bienes["CATEGORIA"])

Resultados = pd.DataFrame()

grupos = 4

for i in categoria:
    data = bienes[bienes["CATEGORIA"] == i]
    if len(data) < 10:
        print("No se hace cluster")
    else:
        columns = data.loc[:,["OTIF", "CALIDAD"]]
        model = KMeans(n_clusters=grupos).fit(columns)
        clusters = model.labels_
        data1 = pd.DataFrame({
            "PROVEEDOR" : data["PROVEEDOR"],
            "CATEGORIA" : data["CATEGORIA"],
            "OTIF" : data["OTIF"],
            "CALIDAD" : data["CALIDAD"],
            "CLUSTER" : clusters
        })

        Resultados = pd.concat([Resultados, data1])

#Para el gráfico
color_palette = [plt.cm.nipy_spectral(float(i)/grupos) for i in range(grupos)]
label_color = [color_palette[i] for i in clusters]

#Graficar clusters
plt.plot()
plt.scatter(data1["OTIF"], data1["CALIDAD"], c=label_color)
plt.xlabel("OTIF")
plt.ylabel("CALIDAD")
plt.title("Clustering de proveedores de bienes de la categoría " + str(i))
plt.savefig("Clustering de proveedores de bienes de la categoría " + str(i) + ".png", bbox_inches='tight')
plt.show()

Resultados.to_excel("Resultados-bienes.xlsx")
```

Fuente: Código de algoritmo K-means para la agrupación de proveedores de BIENES tomado desde el software Phyton™

## Anexo 2. Modelo K-means librería Python aplicado para el agrupamiento de proveedores de servicios.

```

Cluster-kmeans-servicios: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Wed Jun 17 15:25:28 2020

@author: Usuario
"""

import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.cluster import KMeans
import matplotlib.pyplot as plt

servicios = pd.read_excel("Servicios.xlsx")

categoria = np.unique(servicios["CATEGORIA"])

Resultados = pd.DataFrame()

grupos = 4

for i in categoria:
    data = servicios[servicios["CATEGORIA"] == i]
    if len(data) < 10:
        print("No se hace cluster")
    else:
        columns = data.loc[:,["ENTREGA", "CALIDAD"]]
        model = KMeans(n_clusters=grupos).fit(columns)
        clusters = model.labels_

        data1 = pd.DataFrame({
            "PROVEEDOR" : data["PROVEEDOR"],
            "CATEGORIA" : data["CATEGORIA"],
            "ENTREGA" : data["ENTREGA"],
            "CALIDAD" : data["CALIDAD"],
            "CLUSTER" : clusters
        })

        Resultados = pd.concat([Resultados, data1])

#Para el gráfico
color_palette = [plt.cm.nipy_spectral(float(i)/grupos) for i in range(grupos)]
label_color = [color_palette[i] for i in clusters]

#Graficar clusters
plt.plot()
plt.scatter(data1["ENTREGA"], data1["CALIDAD"], c=label_color)
plt.xlabel("ENTREGA")
plt.ylabel("CALIDAD")
plt.title("Clustering de proveedores de servicios de la categoría " + str(i))
plt.savefig("Clustering de proveedores de servicios de la categoría " + str(i), bbox_inches='tight')
plt.show()

Resultados.to_excel("Resultados-servicios.xlsx")

```

Fuente: Código de algoritmo K-means para la agrupación de proveedores de SERVICIOS tomado desde el software Python™