

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

SELECCIÓN DE PROVEEDORES MEDIANTE UN ENFOQUE DE TOMA DE
DECISIONES MULTICRITERIO: EL CASO DE UNA EMPRESA FABRICANTE DE
PRODUCTOS PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

TRABAJO TERMINAL DE GRADO

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO

PRESENTA:

ING. MARLENNE CRUZ ROMERO

TUTOR ACADEMICO: M. EN I. JOSÉ CONCEPCIÓN LÓPEZ RIVERA

TUTOR ADJUNTO 1: M. EN I. ANA MARÍA DE LEÓN ALMARAZ

TUTOR ADJUNTO 2: M. EN I. LETICIA ARACELI OSORIO JARAMILLO

DICIEMBRE 2019

CONTENIDO

Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema de investigación	4
1.3 Objetivo general	4
1.4 Objetivos particulares.....	4
1.5 Hipótesis.....	5
1.6 Justificación.....	5
1.7 Metodología	7
2 Marco teórico.....	8
2.1 Bosquejo del marco teórico.....	8
2.2 Revisión de la literatura.....	9
2.3 Problema de selección de proveedores.....	9
2.4 Proceso de selección de proveedores	11
2.5 Criterios para la selección de proveedores	15
2.5.1 Medición de los valores de cada criterio	20
2.6 Despliegue de la función de calidad (DFC)	22
3 Métodos para la selección de proveedores	25
3.1 Enfoques de toma de decisiones multicriterio.....	25
3.1.1 Aplicaciones de enfoques de toma de decisiones multicriterio.....	26

3.2	Análisis envolvente de datos (AED)	30
3.3	Selección final	32
3.3.1	Métodos para abastecimiento simple	33
3.3.2	Métodos abastecimiento múltiple.....	33
4	Caso de estudio.....	35
4.1	Identificación de los productos a comprar	36
4.2	Identificación de criterios para la selección de proveedores de esta empresa.....	36
4.2.1	Diseño del instrumento.....	36
4.2.2	Estructura del instrumento	37
4.2.3	Aplicación del instrumento de medición.....	38
4.2.4	Análisis de resultados.....	38
4.3	Establecimiento de criterios para la selección de proveedores de empaques de cartón	41
4.3.1	Encuesta para el establecimiento de criterios para la selección de proveedores que suministrarán cajas de cartón en el área de muestras	42
4.3.2	Desarrollo y aplicación de la técnica DFC para el establecimiento de criterios de selección de proveedores de cajas de cartón	42
4.4	Búsqueda e identificación de futuros proveedores potenciales.....	58
4.5	Procesamiento de la información obtenida de los cuestionarios dirigidos a los futuros proveedores potenciales.....	61
4.6	Calificación de criterios de futuros proveedores	62
4.7	Escalación de los valores de cada criterio establecido para la selección de proveedores de cajas de cartón.....	65

4.8	Análisis envolvente de datos para la selección de proveedores de cajas de cartón.....	66
4.9	Selección y asignación de volúmenes de compra a proveedores de cajas de cartón.....	71
4.9.1	Simulación de demanda de Productos A y Productos B	71
4.9.2	Modelación matemática para la selección y asignación de volúmenes de compra a proveedores de cajas de cartón	75
4.9.3	Análisis de resultados.....	77
	Conclusiones	84
	Recomendaciones y trabajo futuro	86
	Recomendaciones	86
	Trabajo futuro	86
	Productos académicos obtenidos.....	87
	Referencias.....	88
	Anexos.....	92
	Anexo A. Encuesta para conocer criterios de selección de proveedores	92
	Anexo B. Encuesta para el establecimiento de criterios para la selección de proveedores que suministrarán cajas de cartón en el área de muestras.....	95
	Anexo C. Solicitud de cotización.....	98
	Anexo D. Cuestionario de información del proveedor	99
	Anexo E. Programación en GAMS del modelo AED – CCR orientado a las salidas.....	100
	Anexo F. Simulación de demanda de Producto A	102
	Anexo G. Simulación de demanda de Producto B.....	105

Anexo H. Programación en GAMS del modelo para la selección y asignación de volúmenes de compra a proveedores de cajas de cartón.....	107
--	-----

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de criterios según importancia (Dickson, 1966).....	16
Tabla 2.2 Lista de criterios para la selección de proveedores de acuerdo al tipo de compra (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a).....	18
Tabla 4.1 Frecuencia de criterios de selección de proveedores.....	38
Tabla 4.2 Criterios con mayor frecuencia	40
Tabla 4.3 Términos lingüísticos del grado de importancia de los requerimientos	43
Tabla 4.4 Matriz de juicios lingüísticos de cada tomador de decisiones sobre el grado de importancia de los requerimientos	44
Tabla 4.5 Números difusos triangulares de las prioridades de los requerimientos y valores de la importancia absoluta y relativa de los requerimientos	45
Tabla 4.6 Términos lingüísticos del grado de relación entre criterios y requerimientos.....	46
Tabla 4.7 Juicio lingüístico del grado de relación entre requerimientos y criterios. Tomador de decisiones 1	47
Tabla 4.8 Juicio lingüístico del grado de relación entre requerimientos y criterios. Tomador de decisiones 2	47
Tabla 4.9 Juicio lingüístico del grado de relación entre requerimientos y criterios. Tomador de decisiones 3	48
Tabla 4.10 Números difusos triangulares del grado de relación entre requerimientos y criterios	49
Tabla 4.11 Resultados de u_{ij} , $w_{\sim j}$, y w_{c_j}	50
Tabla 4.12 Términos lingüísticos para la evaluación de disponibilidad de información y recursos requeridos	52
Tabla 4.13 Evaluación de disponibilidad de información y recursos requeridos.....	52
Tabla 4.14 Estimación del grado de dificultad para obtener información	54
Tabla 4.15 Valores w_{c_j} y d_{f_j} normalizados	56

Tabla 4.16 Valores W_j y D_j normalizados y resultados de la clasificación	57
Tabla 4.17 Propuesta de escala para la calificación de los criterios para la selección de proveedores..	60
Tabla 4.18 Calificación de cada proveedor en cada criterio	62
Tabla 4.19 Escalación de los valores de las calificaciones de los criterios para la selección de proveedores	64
Tabla 4.20 Cantidad de entrada i consumida por proveedor j	66
Tabla 4.21 Cantidad de salida r producida por proveedor j	67
Tabla 4.22 Valor de eficiencia y ponderaciones u_r y v_i de cada proveedor.....	69
Tabla 4.23 Cantidad solicitada de Productos A en cada orden	70
Tabla 4.24 Especificaciones caja de cartón 1 y 2.....	72
Tabla 4.25 Cantidad solicitada de Productos B en cada orden	73
Tabla 4.26 Especificaciones caja de cartón 3 y 4.....	74
Tabla 4.27 Notación del modelo	75
Tabla 4.28 Información de precios y ordenes mínimas de compra establecidas por proveedores eficientes	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso de selección de proveedores (De Boer, Labro y Morlacchi, 2001)	12
Figura 2.2 Proceso para la selección de proveedores	14
Figura 2.3. Evolución de los criterios de selección de proveedores.....	20
Figura 2.4 Casa de calidad del DFC (Jafarzadeh, Akbari y Abedin, 2018a)	22
Figura 2.5 Casa de calidad (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a)	24
Figura 4.1 Gráfica de criterio y frecuencia.....	39
Figura 4.2 Proceso de aplicación y desarrollo de la técnica difusa DFC	41
Figura 4.3 Grafica de clasificación de criterios (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a).....	55
Figura 4.4 Grafica de clasificación de criterios.....	57
Figura 4.5 Dimensiones de Producto A y Producto B	72
Figura 4.6 Relación empaque 1 y cantidad de compra a cada proveedor	78
Figura 4.7 Intervalo de confianza para volumen de compra anual al proveedor 1 para el empaque 1 (137 – 147).....	79
Figura 4.8 Relación proveedor empaque 2 y cantidad de compra a cada proveedor	80
Figura 4.9 Intervalo de confianza para volumen de compra anual al proveedor 1 para el empaque 2 (767 – 830).....	80
Figura 4.10 Relación proveedor empaque 3 y cantidad de compra a cada proveedor	81
Figura 4.11 Relación proveedor empaque y cantidad de compra a cada proveedor	82
Figura 4.12 Intervalo de confianza para volumen de compra anual al proveedor 4 para el empaque 4 (1082 – 1202)	82

Resumen

Debido a que en cualquier proceso productivo o de servicios es necesario que el abastecimiento de materia prima y/o componentes sea en el momento correcto, al costo correcto, en la cantidad correcta y con la calidad deseada, el proceso de selección de proveedores es considerado como una actividad fundamental en la gestión de la cadena de suministro.

En el presente trabajo de investigación, se ilustra la aplicación de una metodología para la selección de proveedores de una planta de manufactura del giro automotriz, que se ubica en la ciudad de Toluca, y su actividad principal es la fabricación y ensamble de autopartes de equipo original y de repuesto.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un proceso confiable y eficaz para la selección de proveedores en esta empresa, y además aplicar el método propuesto para atender el caso específico de selección de proveedores de empaques de cartón, utilizados para embalar dos tipos de muestras automotrices que se fabrican en esta empresa.

De acuerdo con la operación actual y con base en los datos históricos analizados, la demanda de las muestras automotrices que se observa es muy variable, en consecuencia, la demanda de empaques de cartón, directamente dependiente, también lo es. Así que el aseguramiento del suministro del empaque es un proceso crítico para la empresa, más aún, considerando la escasez de proveedores que puedan cumplir y ofrecer el suministro en volúmenes pequeños a precios competitivos.

El presente trabajo propone como solución el desarrollo de un proceso confiable y eficaz para la selección de proveedores, el cual contempla el desarrollo de la técnica difusa, despliegue de la función de calidad (DFC) para el establecimiento de los criterios para la selección de proveedores de empaque, conjuntamente con el desarrollo y aplicación del análisis envolvente de datos (AED) para la identificación de proveedores eficientes y un modelo matemático de programación lineal entera para la selección y asignación de volúmenes de compra a proveedores de empaque.

Con base en lo anterior, la principal contribución de este trabajo es proveer a la empresa una herramienta confiable y eficaz para el logro del éxito en la gestión de su cadena de suministro.

Abstract

Due to the necessity of having the provision of raw materials or components for any manufacturing or services process on time, at the right cost and amount with the required quality, the supplier selection process plays a fundamental role in Supply Chain Management.

This research work illustrates the application of a framework for supplier selection in an automobile spare parts industry plant located in Toluca.

The main objective of this work is to develop a reliable and effective supplier selection process to be applied in the referred company, and applying this proposed method for a specific case of cardboard box supplier selection, these boxes are used to pack two types of products samples assembled in this plant.

Base on the current operation and using historical data, it is observed a high variable demand pattern, thus, cardboard boxes demand is also highly variable.

Then, ensuring the supply of cardboard boxes is critical for the company, furthermore, considering the scant availability of reliable suppliers, capable to provide small volume orders at competitive prices, is considered.

This work proposes as solution the deployment of a reliable and effective supplier selection process, that includes the development of a fuzzy analysis process and application of Quality Function Deployment (QFD) technique for criteria selection and assessment, for later use in conjunction with Data Envelopment Analysis (DEA) to identify the most efficient suppliers and then to develop and solve an integer programming model for optimal assignment of cardboard box orders among the efficient suppliers.

Based on the above mentioned, the main contribution of this work is the provision of a reliable and effective tool to foster the company's efficiency and success in its supply chain management.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

En México una de las industrias que más aporta al Producto Interno Bruto (PIB) manufacturero es la industria automotriz, la cual se integra por el sector terminal y el sector autopartes (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, 2018).

Hay que mencionar, que a nivel internacional la industria automotriz en su sector terminal se segmenta por dos grupos: vehículos ligeros y vehículos pesados, ahora bien, en México la segmentación que se realiza en el sector terminal, comprende la siguiente clasificación: vehículos ligeros, vehículos pesados y autobuses (Economía, 2012).

La industria automotriz mexicana se caracteriza por ser dinámica y estar en continuo crecimiento en su producción. Así por ejemplo la industria automotriz representa el 20% del PIB manufacturero a nivel nacional (*El Sector Automotor en México*, 2018). Además, la Organización Internacional de Constructores de Automóviles (OICA), que es una organización que proporciona estadísticas de la industria automotriz, así como otros campos relacionados con esta, reportó que, en el año 2018, a pesar de la contracción de las ventas internas, la producción total a nivel nacional de vehículos ligeros, vehículos pesados y autobuses fue de 4,100,525 lo que representa un crecimiento de 0.79% con respecto al año 2017. Aunado a esto en el año 2017, la industria automotriz mexicana tuvo una producción total de 4,068,415 a diferencia del año 2016 donde la producción total fue de 3,597,462 lo que representa un crecimiento del 13% con respecto al año 2016.

Por otra parte, la OICA informa en su estadística del año 2018 que comprende vehículos ligeros y vehículos pesados tuvo un total de producción internacional de 95,634,593 lo que representa una disminución de producción del 1.71%, en contraste con los años 2016 y 2017 donde la producción total fue de 95,057,929 y 97,302,534 respectivamente, lo que representa un crecimiento en producción internacional del 2.4% en el año 2017.

Así que, a pesar de la disminución en la producción internacional de automóviles para pasajeros y vehículos comerciales y con base en los datos de las estadísticas que presenta la Secretaría de Economía y la OICA, es fácil determinar que la industria automotriz se ha consolidado como una de las industrias que más aporta al crecimiento económico, tanto de nuestro país, como

internacionalmente y queda de manifiesto por lo anterior, que dada la importancia que representa la industria automotriz, esta debe contar con procesos altamente confiables y eficientes; en particular, debe disponer de proveedores confiables para el suministro de sus insumos, autopartes y componentes que satisfagan sus requerimientos y necesidades en el menor tiempo, con la calidad establecida y a bajo costo.

Por su parte, la Secretaría de Economía señala que noventa de las cien principales empresas de autopartes a nivel mundial, se encuentran establecidas en México, a causa de las facilidades y ventajas que ofrece el país que se traducen, por ejemplo, en un ahorro del 10% en costos de manufactura de autopartes comparado con Estados Unidos. En efecto, este ahorro es una de las causas por las cuales México es el principal proveedor de autopartes para el país vecino (Economía, 2012).

Hay que mencionar, además que el sector autopartes de la industria automotriz se segmenta en dos, el primero equipo original y el segundo equipo de repuesto. Además de acuerdo con información proporcionada por la Secretaría de Economía, el 70% de la producción de autopartes se destina a fabricantes de equipo original mientras que el 30% se destina al mercado de repuesto.

Con lo señalado en las líneas anteriores, primordialmente en lo que se refiere al crecimiento anual en la producción de vehículos, se puede percibir que las empresas proveedoras de autopartes deben ser competitivas, dinámicas y estar inmersas en un ambiente de mejora continua, para estar en condiciones de afrontar los retos que plantea la exigente industria automotriz y por tal motivo existe una gran oportunidad para las empresas establecidas en México que se dedican a la fabricación de autopartes, productos y componentes automotrices para atender eficaz y eficientemente la demanda de suministros de esta importante industria y con ello, beneficiarse de los logros de la misma.

La empresa bajo estudio y donde se aplicaron resultados, es una empresa de giro automotriz establecida en la ciudad de Toluca, Estado de México, su actividad principal es la manufactura y ensamble de autopartes de equipo original y de repuesto. Esta empresa abastece el mercado nacional e internacional. Por motivos de confidencialidad no se da a conocer el nombre de la empresa y el área donde se realiza el proyecto.

Una de las actividades fundamentales realizadas por la empresa es la construcción y envío de muestras automotrices.

El área donde se realizó el proyecto tenía la necesidad de contar con proveedores capaces de suministrar el empaque utilizado para proteger, embalar y transportar los productos A y B que son muestras automotrices. Esta área para la elección de sus proveedores toma en consideración aspectos como su ubicación, capacidad técnica del proveedor y primordialmente, el tiempo que transcurre desde que inicia un proceso hasta que lo termina, en este caso, la entrega de suministros (Lead time).

Cabe mencionar que la empresa decidió terminar su relación con el proveedor que le suministraba cajas de cartón, empleadas para el empaquetado de los productos A y B. Esta decisión se originó por los frecuentes retrasos en sus entregas, debido a que la entrega de las cajas de cartón no era directamente por parte del proveedor, sino que este primero las enviaba a un almacén externo para después ser transportadas a la empresa. Lo anterior daba como resultado la pérdida de rastreabilidad de las cajas, además de aumentar en semanas el tiempo de entrega. Por lo anterior, surgió la necesidad de seleccionar un nuevo proveedor de cajas de cartón que aseguraría el suministro a tiempo, con la calidad adecuada y a costo bajo.

1.2 Problema de investigación

En la actualidad existe un gran interés por el estudio de la gestión de la cadena de suministro debido a que los consumidores finales cada vez son más exigentes, por ejemplo, ellos demandan una entrega rápida, un servicio excelente y un producto económico con alta calidad. Indiscutiblemente para lograr una gestión exitosa será de suma importancia simplificar e integrar los procesos, la adopción de prácticas de gestión colaborativas y la integración del abastecimiento, fabricación y distribución (Ware, Singh y Banwet, 2012).

Acorde con los antecedentes expuestos en la sección 1.1, la práctica actual de selección de proveedores sugiere un área de mejora potencial en el desempeño operativo, la confiabilidad de entrega y los costos, razón es por la cual la selección de proveedores se convierte en una decisión fundamental e importante y a la vez crítica de la cadena de suministro de esta empresa.

Como caso específico, se atendió lo relativo a la provisión de los empaques de cartón para el embalaje de las muestras automotrices a través de la incorporación de un proceso confiable y eficaz para la selección de proveedores.

1.3 Objetivo general

Desarrollar un proceso confiable y eficaz para la selección de proveedores de esta empresa en general, y de cajas de cartón para el empaque de las muestras automotrices en particular.

1.4 Objetivos particulares

- Determinar criterios para la selección de proveedores de cajas de cartón a través de la colaboración multifuncional de la empresa.
- Revisar la literatura existente sobre el problema de selección de proveedores.
- Seleccionar el enfoque de toma de decisiones multicriterio más apropiado para la solución del problema descrito.
- Demostrar la aplicación del enfoque seleccionado al caso en específico de acuerdo con las características y requerimientos de la empresa.

1.5 Hipótesis

La combinación del análisis envolvente de datos con la programación lineal entera permite la incorporación de los criterios de selección más adecuados y con ello generar un proceso confiable y eficaz para la selección de proveedores.

1.6 Justificación

Considerando que México ofrece un ahorro significativo en costos de manufactura de autopartes y dado que, este ahorro impulsa a la industria automotriz a generar una porción importante del PIB manufacturero del país, es importante que este ahorro en manufactura de autopartes por lo menos se mantenga, o se incremente, para asegurar que México siga como un lugar atractivo para el establecimiento de empresas encargadas de la manufactura de autopartes. La aplicación de un correcto enfoque de toma de decisiones multicriterio para la preselección de proveedores y un modelo de programación lineal entera para la selección final en la empresa donde se está generando el proyecto, será de suma importancia para que los proveedores de esta empresa aseguren el suministro de sus requerimientos, con precios, calidad y tiempos adecuados, con la finalidad de que la empresa sea partícipe de que se mantenga o aumente el ahorro en costos de manufactura de autopartes.

Además de lo anterior, la aplicación del enfoque de toma de decisiones multicriterio se realizó en un punto de interés para la empresa en estudio, en lo referente al empaque, debido a que, el área de la empresa bajo estudio no cuenta con al menos un proveedor de cajas de cartón que pueda suministrar el insumo de acuerdo sus necesidades, además de que los proveedores de este insumo han sido cambiados periódicamente en los últimos años.

Las cajas de cartón son el insumo principal del sistema de empaquetado final y su funcionalidad es la de contener, proteger y transportar las muestras automotrices, permitiendo que estas lleguen en óptimas condiciones al consumidor final.

Actualmente las cajas de cartón se convierten en un insumo estratégico y a la vez crítico, ya que tienen un alto impacto en la calidad del producto final, y al mismo tiempo se tiene el inconveniente de que existen pocos proveedores que puedan cumplir con los requerimientos y el suministro en cantidades pequeñas de compra.

Por otro lado, los demás insumos con los que trabaja el área están asegurados puesto que se cuenta con proveedores que satisfacen el suministro de estos, quedando la provisión de empaques como la única problemática relevante del suministro.

Es necesario, importante y fundamental, entonces, el desarrollo de un proceso para la selección de proveedores más confiable y poder evitar así, los impactos negativos que genera el no contar con proveedores que puedan asegurar el suministro de las cajas de cartón.

El desarrollo y aplicación del enfoque de toma de decisiones multicriterio para la preselección de proveedores en la cadena de suministro es también importante, porque coadyuvaría a la identificación de proveedores confiables y a corregir la ruptura que existe en la cadena, por la limitada capacidad del proveedor para integrarse a ella, lo que ocasiona, además, que la información no fluya adecuadamente, a través de esta.

Bajo el contexto anterior, la selección de proveedores se convierte en una actividad importante dentro de la cadena de suministro, que ayuda a evaluar si el proveedor es capaz de integrarse, así como también evaluar si es capaz de cumplir con los requisitos establecidos por la empresa.

La realización de este proyecto en la industria automotriz es de importancia para la autora debido a lo siguiente:

1. Se realiza en la industria automotriz que, como ya se comentó es la segunda industria que más aporta a la economía del país.
2. Específicamente, en la industria de la manufactura de autopartes, ya que es participe de los logros que tenga la industria automotriz.
3. Por la firme convicción de que la incorporación de un correcto proceso para la selección de proveedores logrará una gestión exitosa en la cadena de suministro.

1.7 Metodología

Las actividades llevadas a cabo para determinar el proceso para la selección de proveedores fueron las siguientes:

1. Conocer el departamento donde se pretende realizar el proyecto.
2. Conocer cada uno de los insumos con los que trabaja el departamento y, en particular el insumo que se va a utilizar para el caso de aplicación.
3. Conocer las políticas para la selección de proveedores de la empresa, así como también los criterios que considera importantes para su selección de proveedores.
4. Revisar la literatura existente para conocer los enfoques de toma de decisiones multicriterio aplicables en la preselección y selección final de proveedores, así como los criterios más comunes empleados para ello.
5. Diseñar y aplicar un instrumento para los tomadores de decisiones de la empresa, donde se puedan identificar los criterios importantes para la selección de proveedores para esta empresa.
6. Procesar los resultados obtenidos de la aplicación del instrumento diseñado para la identificación de los criterios importantes para la selección de proveedores de esta empresa.
7. Establecer los criterios para selección de proveedores de empaques de cartón a través de la técnica difusa *despliegue de la función de calidad (DFC)*.
8. Determinar el enfoque más apropiado de toma de decisiones multicriterio, de acuerdo con los criterios propuestos y a las necesidades de la empresa.
9. Probar el enfoque establecido a través de su aplicación para la preselección e identificación de proveedores eficientes, que garanticen la confiabilidad del suministro de los empaques de cartón y validarlo.
10. Emplear un modelo de programación lineal entera para la selección final de proveedores que minimice el costo de compra total.
11. Elaboración del reporte escrito.

2 Marco teórico

2.1 Bosquejo del marco teórico

El mundo actual de los negocios conduce a cualquier empresa a buscar proveedores confiables que puedan garantizar el suministro de los materiales. Desafortunadamente la relación empresa – proveedor es distante a pesar de que los proveedores son parte fundamental en la gestión de la cadena de suministro de la empresa (Bhutta, 2003).

La tendencia de la gestión de la cadena de suministro es mantener relaciones a largo plazo con los proveedores además de trabajar cada vez con menos de ellos, pero considerando sólo a aquellos que le aporten mayores beneficios y sean capaces de satisfacer su demanda. Elegir a los mejores proveedores dependerá de criterios cualitativos y cuantitativos.

Mientras que muchos compradores consideran el precio como su principal preocupación, existen diversos criterios para la selección de proveedores de ahí que el proceso de selección de proveedores se convierte en un problema de toma de decisiones multicriterio.

Existe una amplia gama de enfoques matemáticos y métodos para atacar el problema de selección de proveedores. Bhutta, (2003) a través del resultado de una encuesta pudo determinar los enfoques matemáticos destacados para el problema de selección de proveedores.

Entre estos enfoques figuran, el enfoque de costo total de propiedad, el proceso de jerarquía analítica, la teoría de la utilidad de atributos múltiples, etc.

Otros autores recomiendan el uso de enfoques de toma de decisiones multicriterio que se dividen en enfoques individuales y enfoques integrados.

Los enfoques individuales contemplados son el proceso de jerarquía analítica (PJA), proceso analítico de redes (PAR), casos basados en razonamiento, el análisis envolvente de datos (AED), algoritmos genéticos (AG), programación por objetivos (PO), técnica simple de calificación de atributos múltiples (TSCAM), mientras que los enfoques integrados son el resultado de la combinación de dos o más enfoques individuales, por ejemplo, el proceso de jerarquía analítica y el análisis envolvente de datos, otro puede ser el proceso de jerarquía analítica, el análisis envolvente de datos y las redes neuronales artificiales.

A continuación, se comentan algunos trabajos encontrados en la literatura existente de enfoques de toma de decisiones multicriterio ya que en el área donde se pretende realizar el proyecto se consideran diferentes criterios para la selección de los proveedores.

2.2 Revisión de la literatura

Inicialmente, la revisión de la literatura estuvo dirigida a la búsqueda de métodos y modelos para la selección de proveedores.

Sin embargo, después de reconocer que la selección de proveedores es considerada una actividad crítica y compleja para la toma de decisiones y para obtener un proveedor confiable que pueda satisfacer las necesidades del cliente, es necesario tomar en cuenta diferentes criterios de selección y evaluación (Ware, Singh y Banwet, 2012); fue conveniente reorientar la búsqueda para concentrarse en enfoques de toma de decisiones multicriterio para la selección de proveedores.

2.3 Problema de selección de proveedores

A nivel mundial se realiza el abastecimiento de materias primas y componentes, los productos se fabrican y se ensamblan en países donde existen bajos costos de manufactura y operación, y se venden a clientes ubicados en otras partes del mundo (Ravindran y Warsing Jr, 2016), por tal motivo una empresa que decide trabajar en un escenario individual no puede sobrevivir en el mercado.

En la actualidad las empresas dependen en gran medida de sus proveedores, sería imposible producir a bajos costos y con calidad alta productos sin un buen proveedor. Una decisión errónea a la hora de seleccionar a un proveedor indiscutiblemente afectará el rendimiento de la empresa (Ravindran y Warsing Jr, 2016). Además, para que una empresa tenga una gestión exitosa en su cadena de suministro, deberá considerar a los proveedores como aliados para el logro de sus objetivos. Es por esto que será necesario incorporar un proceso confiable y eficaz para la selección y evaluación de proveedores (Ware, Singh y Banwet, 2012).

En general el problema de selección de proveedores se encuentra en el departamento de compras. El objetivo crítico al que se enfrentan los miembros de este departamento es la toma de decisiones acerca de la obtención del insumo correcto, en el momento correcto, al costo

correcto, en la cantidad correcta, con la calidad deseada y desde la fuente de abastecimiento óptima (Ware, Singh y Banwet, 2012).

El problema de selección de proveedores involucra inherentemente criterios en conflicto; hay que mencionar, además, que éste se complica por el hecho de que la situación de compra diferenciará al proveedor que la empresa requiera.

De Boer, Labro y Morlacchi, (2001) agrupan las situaciones de compra en tres categorías:

1. Compras por primera vez, que se dan cuando la empresa desarrolla un nuevo producto o servicio o también, cuando no existe experiencia previa con algún proveedor.
2. Recompras modificadas, las cuales son compras de productos existentes a proveedores conocidos, compras de productos existentes a proveedores desconocidos, compras de nuevos productos a proveedores conocidos.
3. Recompras para productos de rutina que se realizan cuando existe conocimiento total de los proveedores y las especificaciones.

Por lo anterior, el establecimiento de criterios para la selección de proveedores tomando en cuenta la situación de compra puede llegar a ser una tarea difícil debido a que es necesaria la evaluación y compensación de múltiples criterios cualitativos y cuantitativos para encontrar al mejor conjunto de proveedores (Ravindran y Warsing Jr, 2016).

Todavía más el problema de selección de proveedores deberá considerar y, en su caso, incluir criterios sobre aspectos tan importantes como resolver con qué proveedor o proveedores debe realizarse la asociación estratégica y, por otro lado, determinar con qué proveedor o proveedores realizar la compra y si se selecciona a más de un proveedor, también se tendrá que determinar qué cantidades ordenar a cada uno.

Conviene subrayar que una asociación estratégica entre un cliente y una empresa proveedora se define como una relación mutua y continua que implica compromisos durante un período largo de tiempo donde existirá intercambio de información, riesgos y beneficios (Ellram, 1990).

Por lo que se refiere a los métodos generales y enfoques de toma de decisiones multicriterio, existe una gran cantidad de éstos que ayudan a modelar y generar escenarios de solución para

este problema; sin embargo, la selección de este será el resultado de un análisis del entorno de la empresa para poder identificar y establecer los criterios de selección.

En resumen, se puede observar que el problema de selección de proveedores no solo es un elemento importante a nivel operativo, sino que, su solución también representará un factor importante para incrementar el desempeño financiero de la empresa.

2.4 Proceso de selección de proveedores

En la actualidad el proceso de selección de proveedores es considerado como una función crítica debido a que la compra de materia prima y componentes representa un gasto importante para una empresa, basta decir, por ejemplo, que los costos de materia prima consumen del 40% al 60% de los costos de producción (Ravindran y Warsing Jr, 2016), además de que ha recibido una atención significativa en la literatura existente. Ya que, si una empresa quiere mantener competitividad en el mercado, deberá procurar mantener el costo de compra al mínimo y producir bienes o servicios con calidad a bajos costos, en realidad esto será posible sólo si la empresa cuenta con proveedores confiables que puedan satisfacer sus necesidades.

Existe una gran cantidad de modelos que representan el proceso de selección de proveedores; de entre ellos en el presente trabajo se comentan los modelos desarrollados por los autores Ellram, (1990a), De Boer *et al.*, (2001), Aissaoui *et al.*, (2007), Ravindran *et al.*, (2016) y Chen, (2011).

Ellram, (1990a) examina el problema de selección de proveedores bajo el contexto donde la empresa considera la relación de su asociación con los proveedores potenciales, propone un modelo para la selección de proveedores el cual contempla las siguientes etapas: establecer la categoría de compra, posteriormente identificar a los proveedores potenciales, seleccionar al proveedor mediante un método o técnica matemática, establecer la relación con el proveedor y finalmente evaluar la relación a fin de expandir o reducir la relación con el proveedor.

En segunda instancia, De Boer, Labro y Morlacchi, (2001) realizan una revisión de literatura de métodos que se utilizan y soportan el proceso de selección de proveedores.

Ellos proponen un marco teórico para el proceso de selección de proveedores integrado por cuatro pasos. En el primer paso se define el problema en cuestión, lo que significa buscar nuevos proveedores y reemplazar al actual, en el segundo paso, el comprador debe convertir sus

requerimientos en criterios de decisión para guiar las opciones, luego en el tercer paso se deben clasificar a los proveedores potenciales según los criterios de selección establecidos en el segundo paso.

Finalmente, se apunta a posicionar a los proveedores potenciales para hacer la elección final. Este proceso se puede observar en la **Figura 2.1**.

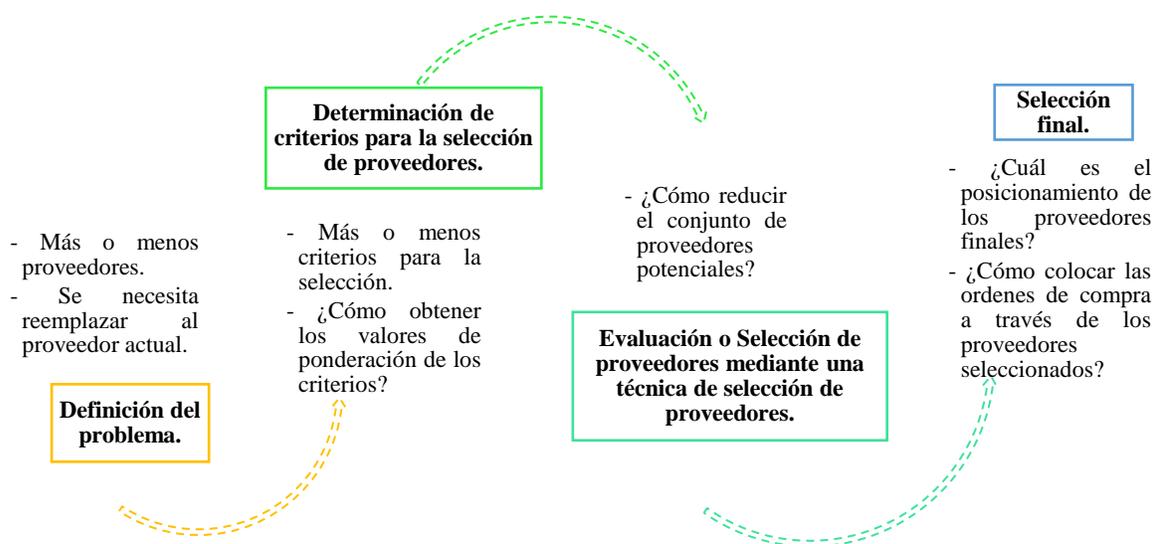


Figura 2.1 Proceso de selección de proveedores (De Boer, Labro y Morlacchi, 2001)

Se consideran también a (Aissaoui, Haouari y Hassini, 2007) quienes presentan una revisión de literatura que cubre todo el proceso de compra, proponen el proceso de selección de proveedores; compuesto por cinco pasos que, en particular, en su primer paso, considera la importancia de determinar qué es mejor para la empresa, si producir o comprar; una vez hecho este análisis, se prosigue a: seleccionar a los proveedores y asignar pedidos entre ellos, realizar la negociación y elaboración de contratos. Posteriormente diseñar la colaboración proveedor – empresa y finalmente analizar el abastecimiento.

Ravindran y Warsing Jr, (2016) propusieron otro proceso de selección de proveedores. En el primer paso de este proceso, se identifican las partes y servicios que se comprarán, en el segundo paso se establecen los criterios de selección de proveedores, posteriormente se identifican y seleccionan a los proveedores, después se tendrán que negociar los términos y condiciones del contrato, así como también se deberá monitorear el desempeño del proveedor y, finalmente, será

importante evaluar constantemente al proveedor y darle retroalimentación de dichas evaluaciones.

Finalmente, Chen, (2011) propone un proceso de selección y evaluación de proveedores basada en la estructura de integración de la cadena de suministro que comprende tres fases. La primera, donde se analiza la estrategia competitiva de la empresa que se utiliza para establecer los criterios para la selección de proveedores. En segundo lugar, se seleccionan y evalúan proveedores con un enfoque de toma de decisiones multicriterio; aquí principalmente se simplifica la base de proveedores y se eliminan aquellos que no son eficientes y, finalmente, la evaluación del rendimiento de los proveedores, que se realiza a través de un cuestionario de evaluación de desempeño del proveedor. Este autor realiza la aplicación de su proceso propuesto en una empresa textil Taiwanesa.

Las similitudes encontradas en los procesos de selección de proveedores que presentan los autores son las siguientes:

- De Boer *et al.*, (2001), Ravindran *et al.*, (2016) y Chen, (2011).consideran como una actividad importante el establecimiento de criterios para la selección de proveedores.
- Ravindran *et al.*, (2016), Aissaoui *et al.*, (2007) y Ellram, (1990a) dan énfasis al establecimiento de contratos para asegurar la relación, los derechos y obligaciones del proveedor.
- Una de las actividades importantes y que repiten De Boer *et al.*, (2001), Ravindran *et al.*, (2016) y Ellram, (1990a) es la selección a través de una técnica o enfoque de selección de proveedores.
- Los cinco autores antes mencionados consideran importante la evaluación del desempeño del proveedor una vez que ya está trabajando con la empresa.

Para concluir esta sección y con base en los diferentes procesos de selección de proveedores descritos líneas anteriores, se construyó un proceso para la selección de proveedores el cual se presenta en la **Figura 2.2**, este proceso se utilizó para la selección de proveedores de cajas de cartón.

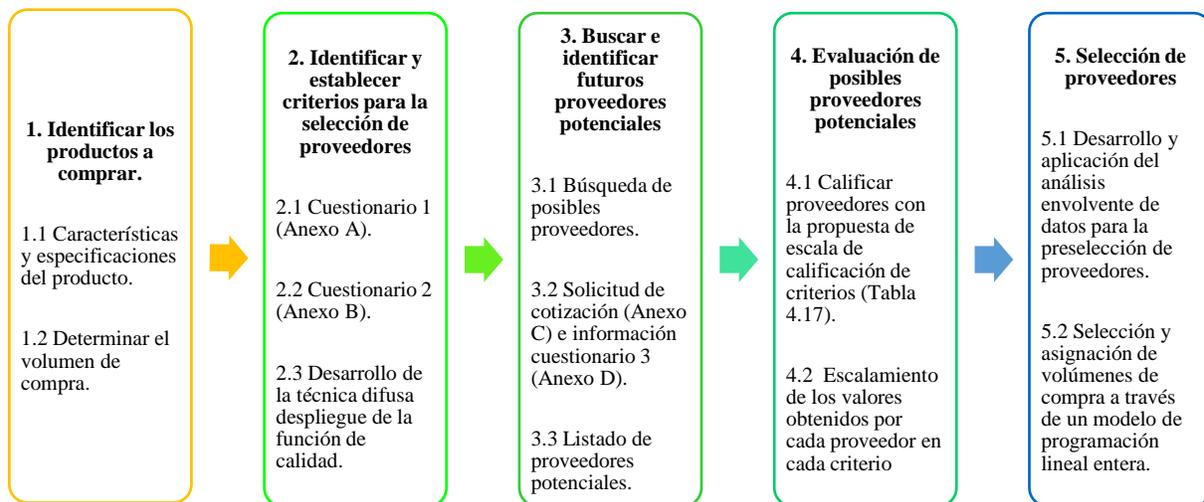


Figura 2.2 Proceso para la selección de proveedores

El proceso que se construyó para la selección de proveedores y que se muestra en la **Figura 2.2** tiene fundamento con lo propuesto y revisado en la literatura. Este proceso de selección de proveedores contempla cinco pasos; en el primer paso se identifican los productos a comprar, aquí será importante identificar las características y especificaciones del producto, así como también los volúmenes de compra. En el segundo paso se identifican y establecen los criterios para la selección de proveedores a través del desarrollo y aplicación de la técnica difusa *despliegue de la función de calidad (DFC)*, posteriormente en el tercer paso se buscan e identifican a los posibles proveedores potenciales tomando en cuenta que estos deben satisfacer las características y especificaciones de los productos, además de los volúmenes de compra establecidos previamente. Luego en el cuarto paso se evalúan a los posibles proveedores potenciales con la propuesta de escala de calificación para los criterios establecidos en el paso número dos de este proceso (**Tabla 4.17**) y finalmente en el paso cinco se realiza la preselección de proveedores a través del análisis envolvente de datos, por otra parte la selección final de

proveedores y asignación de volúmenes de compra se realiza a través de un modelo de programación lineal entera.

2.5 Criterios para la selección de proveedores

Existen diferentes razones por las cuales una empresa puede crear relaciones estratégicas con sus proveedores; por ejemplo, poder concentrarse en sus competencias básicas y tomar en cuenta que un proveedor puede proporcionar tecnología especializada y plataformas operativas para satisfacer la necesidad de la empresa. Hay que mencionar, además, que la selección de un buen proveedor será una tarea difícil, algunos proveedores cumplirán con ciertos criterios de selección y a la vez fallar en otros (Wadhwa y Ravi Ravindra, 2005), por lo tanto, la selección de proveedores inherentemente es un problema multicriterio y para seleccionar a un buen proveedor se necesita la compensación entre criterios cualitativos y cuantitativos (Deshmukh y Chaudhari, 2011).

El establecimiento adecuado de criterios resulta cuando varios departamentos trabajan en colaboración. Esta práctica garantiza una probabilidad alta para la obtención de criterios correctos y precisos, otra dimensión para el establecimiento de criterios para la selección de proveedores resulta de la política de compras de la empresa donde la mayoría de las instancias consideran al precio, calidad y tiempo de entrega como criterios importantes (Ravindran y Warsing Jr, 2016).

Dickson, (1966) es pionero en la investigación de criterios relevantes para la selección de proveedores. Él realizó una encuesta de las prácticas de selección de proveedores a distintas empresas con el fin de obtener una lista de criterios para la selección de proveedores. La encuesta se formó de tres partes. El objetivo de las primeras dos partes fue la búsqueda de información descriptiva acerca del giro de negocio y de las prácticas de selección de proveedores en contraste con la tercera parte donde el objetivo fue buscar información sobre el comportamiento de los tomadores de decisiones a la hora de hacer una compra.

Algunos de los resultados que obtuvo a través de su encuesta son los siguientes:

1. Las órdenes de compra más costosas obtienen mayor atención de los tomadores de decisiones.

2. Los criterios más utilizados para calificar a los proveedores son: Calidad, precio, tiempo de entrega, servicio, capacidad técnica, fuerza financiera y ubicación.
3. Los criterios que anulan una oferta baja son: Calidad, tiempo de entrega, servicio, experiencia pasada, reputación, instalaciones, habilidad técnica y servicio.
4. Los criterios críticos para la selección de proveedores son: La habilidad del proveedor para satisfacer el requerimiento de calidad y compromiso con la entrega a tiempo de los productos.

Tabla 2.1 Clasificación de criterios según importancia (Dickson, 1966)

Criterio	Evaluación
Calidad	Extremadamente importante
Entrega Rendimiento histórico Garantía Instalaciones de producción y capacidad Precio Habilidad técnica Posición financiera	Considerablemente importante
Cumplimiento en sus procesos Sistema de comunicación Reputación Interés en el negocio Gestión organizacional Controles operativos Servicio de mantenimiento Servicio al cliente Empaque Clientes Total de ventas en el pasado Programas de entrenamiento	Importante
Arreglo reciproco	Poco Importante

La clasificación de criterios según su importancia se muestra en la **Tabla 2.1**.

De igual modo, Weber, Current y Benton, (1991) identifican cambios importantes en la selección de proveedores y determinan que el proceso de selección de proveedores deberá incluir nuevos criterios de selección. Sólo después de una extensa revisión de la literatura, los autores determinan que los criterios más utilizados para la selección de proveedores son: Precio neto, tiempos de entrega, calidad, instalaciones y capacidad de producción.

Por otra parte, Lin y Chen, (2004) determinan una lista de criterios de selección de proveedores asignando cada uno de estos a ocho categorías. Los autores afirman que dichos criterios pueden aplicarse a cualquier industria. Por su parte Wu y Barnes, (2010) usan como base este trabajo y realizan una simplificación que propone un modelo para el establecimiento de criterios de selección de proveedores que comprende tres etapas. La primera, en donde se generan criterios de jerarquía general; la segunda, en dónde se desarrollan criterios de jerarquía orientados a la industria de interés y, por último, la tercera dónde se desarrollan criterios de jerarquía óptimos.

Después Lima-Junior y Carpinetti, (2016a) proponen un enfoque de toma de decisiones multicriterio para facilitar la selección y ponderación de los criterios. En el primer paso, los tomadores de decisiones tienen que establecer un conjunto de requerimientos para la selección de proveedores; en el segundo paso, se seleccionan los criterios iniciales a la vez que, en el tercer paso, se evalúa la dificultad para obtener la información y, finalmente, se realiza la clasificación de los criterios.

Algunas consideraciones que se deberán tener en cuenta según estos autores son que los requisitos de compra se derivan de los objetivos estratégicos de la empresa, también son importantes las dimensiones de desempeño o áreas clave que deben ser perseguidas por la cadena de suministro.

Tabla 2.2 Lista de criterios para la selección de proveedores de acuerdo al tipo de compra (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a)

Producto Estratégico	Producto Cuello de Botella	Producto de Apalancamiento	Producto no Crítico
Costo	Costo	Costo	Costo
Confiabilidad de entrega	Confiabilidad de entrega	Confiabilidad de entrega	Confiabilidad de entrega
Aspectos ambientales	Aspectos ambientales	Aspectos ambientales	Aspectos ambientales
Flexibilidad	Flexibilidad	Flexibilidad	Salud y seguridad
Salud y seguridad	Salud y seguridad	Salud y seguridad	Calidad
Tecnologías de información	Tecnologías de información	Tecnologías de información	
Innovación	Prácticas de gestión	Prácticas de gestión	
Prácticas de gestión	Desarrollo del producto	Desarrollo del producto	
Desarrollo del producto	Calidad	Calidad	
Calidad	Relación	Relación	
Relación	Estabilidad y continuidad		
Responsabilidad social			
Estabilidad y continuidad			

Los criterios son medidas que especifican el cómo será cuantificado el desempeño de los proveedores y finalmente, el establecimiento y ponderación de los criterios estará impulsado por el tipo de artículo que se comprará, así como también la relación que se espera con los proveedores potenciales (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a). Los mismos autores sugieren una

lista de criterios de selección de proveedores de acuerdo con el tipo de artículo que se comprará, la cual se muestra en la **Tabla 2.2**.

Se entiende que los productos estratégicos son críticos porque tienen un alto impacto en calidad y costo, a la vez que hay pocos proveedores que pueden atender los requerimientos. Los criterios asociados con su compra son aquellos relacionados con la capacidad de suministro, estabilidad y continuidad y capacidades técnicas; por otra parte, los requisitos que deberán considerarse son relación a largo plazo y capacidades tecnológicas para el desarrollo del producto.

Para los productos cuello de botella, a pesar de su impacto relativamente bajo en las ganancias, uno de los riesgos de suministro que pueden presentarse son escasez o mercado monopolístico. Aquí los criterios dominantes serán los mismos que se consideran para los artículos estratégicos (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a).

En cuanto a los productos de apalancamiento, que tienen alto impacto en la calidad y el costo del producto final y que, además, pueden ser suministrados por varios proveedores, los criterios dominantes tienen que ver con la compatibilidad gerencial y la transparencia en el proceso de adquisición.

Finalmente, para los productos de rutina o no críticos que son de baja importancia, dado que no añaden valor al producto final y, en dónde existen muchos proveedores que pueden suministrar estos productos, el criterio dominante será el costo (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a).

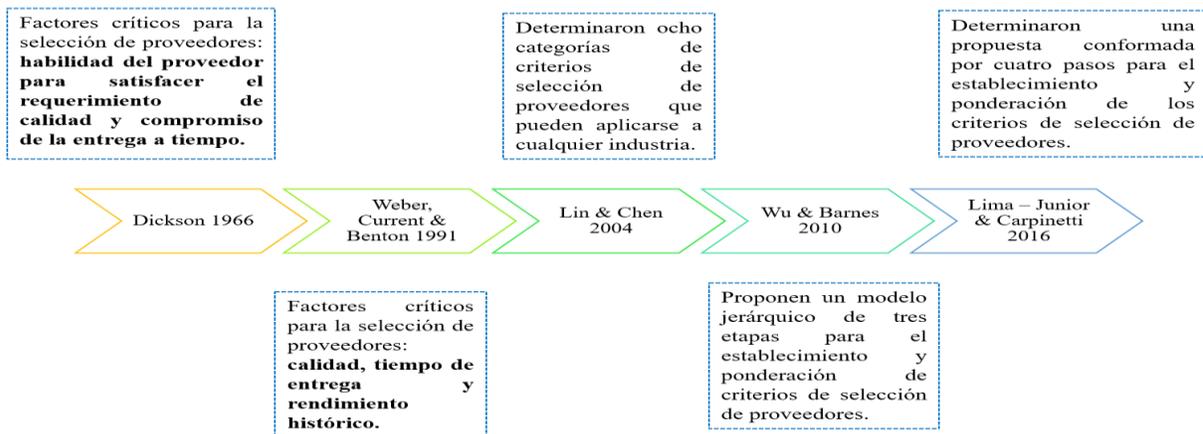


Figura 2.3. Evolución de los criterios de selección de proveedores

A modo de resumen, la **Figura 2.3** tiene el objetivo de mostrar la evolución de los criterios para la selección de proveedores.

De manera que, tomando en consideración los trabajos anteriores y para el establecimiento de los criterios para la selección de proveedores de empaques de cartón se consideraron las siguientes afirmaciones encontradas en la literatura:

- Resultan de la colaboración multifuncional de la empresa.
- Dependen de la política de compras establecida por la empresa.
- Dependen del tipo de productos que se comprará.
- Dependen de la situación de partida de la empresa y donde los requisitos de compra se derivan de los objetivos estratégicos de la misma.

2.5.1 Medición de los valores de cada criterio

En el mundo real, los criterios para selección de proveedores se miden en diferentes unidades. Algunos valores pueden ser muy grandes, por ejemplo, el costo, mientras que otros pueden ser valores muy pequeños, por ejemplo, la calidad. Si los valores de los criterios no se escalan correctamente, los criterios de mayor magnitud dominarán la selección final independientemente de los pesos asignados (Ravindran y Warsing Jr, 2016).

2.5.1.1 Método de valor ideal (Ravindran y Warsing Jr, 2016)

Este método propone escalar los valores de los criterios a través del uso de los valores ideales de cada criterio con las siguientes fórmulas.

Notación:

Proveedor, $i = (1, \dots, m)$

Criterio, $j = (1, \dots, n)$

f_{ij} = valor del criterio j por el proveedor i .

$F_{(m \times n)}$ = Matriz de criterios del proveedor formada por $[f_{ij}]$

H_j = valor ideal si el criterio j es de tipo Max.

L_j = valor ideal si el criterio j es de tipo Min.

$H_j = \text{Max}_i f_{ij}$ (Representa el valor más grande del proveedor i para el criterio j)

$L_j = \text{Min}_i f_{ij}$ (Representa el valor más pequeño del proveedor i para el criterio j)

Nota: Un criterio del tipo “max” representa un criterio donde se desea obtener la cantidad máxima de dicho criterio. Por ejemplo, la capacidad técnica medida por la producción total de piezas en un determinado periodo es un criterio del tipo “max” ya que entre más pueda producir el proveedor resulta benéfico para el comprador. En contraste con un criterio del tipo “min”, donde se desea obtener la cantidad mínima del criterio, por ejemplo, el criterio ubicación medido por la distancia. Para el comprador resulta una mejor opción que la distancia entre este y el proveedor sea la más pequeña.

Para criterios tipo “max” se utiliza (2.1) y para criterios tipo “min” se utiliza (2.2).

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{H_j} \quad (2.1)$$

$$r_{ij} = \frac{L_j}{f_{ij}} \quad (2.2)$$

Es importante tener en cuenta que cuando se escalan los valores de los criterios éstos siempre serán menores a o iguales a 1 y, además, todos los criterios deberán cambiar a tipo “max”, a causa de, el mejor valor de cada criterio es 1 (Ravindran y Warsing Jr, 2016).

2.6 Despliegue de la función de calidad (DFC)

Con respecto a los criterios para la selección de proveedores, es de suma importancia identificar y potenciar aquellos que generan satisfacción para convertirlos en especificaciones del producto o servicio requeridos.

La técnica difusa despliegue de la función de calidad fue desarrollada en 1960. La aplicación más común de esta técnica es en el desarrollo de productos y su objetivo es convertir los requerimientos de los clientes en características de los servicios o productos que demandan. Así, por ejemplo, la demanda del cliente se convierte en un conjunto detallado de requerimientos cualitativos y cuantitativos. Siendo específicos estos requerimientos ayudan a establecer las especificaciones de diseño del producto o servicio solicitados, de ahí que la aplicabilidad de la técnica difusa despliegue de la función de calidad es correcta cuando la intención del tomador de decisiones (TD) es la de priorizar una lista de especificaciones de diseño del producto con base en los requerimientos tal y como se observa en la **Figura 2.4**.

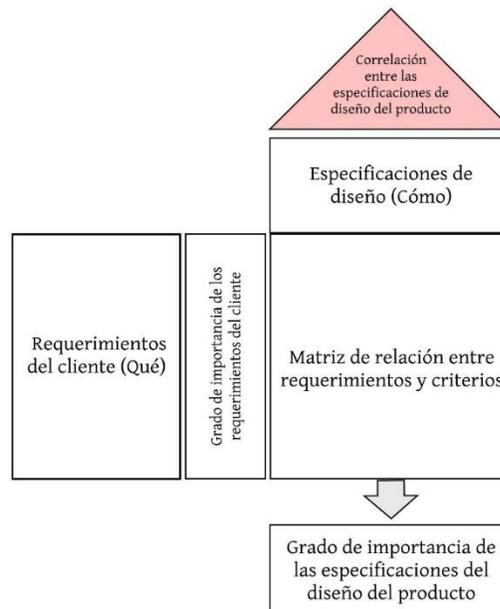


Figura 2.4 Casa de calidad del DFC (Jafarzadeh, Akbari y Abedin, 2018a)

En la **Figura 2.4** se muestra la casa de calidad que se integra por el listado de requerimientos del cliente, el listado de las especificaciones de diseño del producto y dos matrices de correlación. Una matriz que indica el grado de relación que existe entre requerimientos del cliente y las especificaciones de diseño del producto, mientras que la otra indica el grado de relación que existe entre las especificaciones de diseño del producto. Por otra parte, con las dos matrices de correlación y el grado de importancia de los requerimientos del cliente se calcula el grado de importancia de las especificaciones de diseño del producto.

A su vez los autores Lima-Junior y Carpinetti, (2016a) desarrollaron y aplicaron la técnica difusa despliegue de la función de calidad cuyo objetivo fue el de clasificar un listado de criterios para la selección de proveedores en cuatro grupos.

La técnica difusa desarrollada por estos autores sugirió: la participación de un grupo compuesto por tomadores de decisiones pertenecientes a diferentes áreas funcionales involucradas en el proceso de selección de proveedores y una metodología de desarrollo compuesta por cuatro pasos, en el paso número uno, se establecieron los requisitos del futuro proveedor en función del juicio de los tomadores de decisiones, en el paso número dos se determina el conjunto inicial de criterios de acuerdo con los requisitos previamente seleccionados y ponderados en función de su relación con los requisitos, en el paso número tres, se evalúa el grado de dificultad para recopilar información necesaria para evaluar los puntajes que obtiene el proveedor en cada criterio y finalmente en el paso número cuatro cada criterio se clasifica en función de la ponderación y el grado de dificultad para obtener información para cada criterio.

En este trabajo se desarrolló la técnica difusa despliegue de la función de calidad a través de la metodología que presentan estos autores. Para poder implementarla se utilizó la combinación de cinco matrices a los que ellos denominaron casa de calidad (**Figura 2.5**).

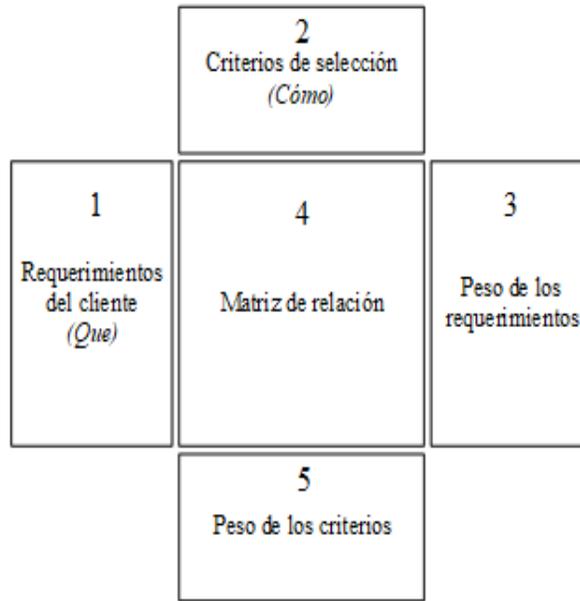


Figura 2.5 Casa de calidad (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a)

Como se puede ver en la **Figura 2.5** en la matriz de requerimientos (1) en donde cada fila corresponde a un requisito y donde la entrada es el juicio de importancia relativa de cada requisito, dada por cada tomador de decisiones. Dicho lo anterior, la matriz de relación (4) está formada por los requerimientos y los criterios ubicados en las filas y columnas respectivamente. En efecto, los tomadores de decisiones definen los criterios en la matriz (2) con base en una evaluación técnica de la relación entre los criterios y los requisitos (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a).

3 Métodos para la selección de proveedores

Los métodos para la selección de proveedores son el resultado de la necesidad que tienen las empresas de encontrar proveedores confiables que sean capaces de aumentar la competitividad de la cadena de suministro (Chen, 2011). Una selección adecuada de proveedores deberá traer consigo una reducción de costos para la empresa, además de cumplir con los requisitos de los tomadores de decisiones. Es importante mencionar que ésta es una actividad importante en cualquier departamento de compras considerando que las empresas invierten activamente en la gestión de la cadena de suministro (GCS), y dado que la oferta de proveedores puede ser excesiva o limitada, se deberá seleccionar a proveedores colaborativos con los cuales se pueda desarrollar una relación a largo plazo para garantizar una mejora en la eficiencia de la cadena de suministro (Chen, 2011).

3.1 Enfoques de toma de decisiones multicriterio

En la actualidad la gestión de la cadena de suministro contempla el desempeño de los proveedores potenciales en función de múltiples criterios, en lugar de considerar al costo como un factor único, además de que será necesario formar asociaciones a largo plazo con ellos y trabajar sólo con aquellos que sean capaces de satisfacer las necesidades de la empresa compradora (Ho, Xu y Dey, 2010).

Ho, Xu y Dey, (2010) realizaron una revisión de la literatura basada en enfoques de toma de decisiones multicriterio para la evaluación y selección de proveedores. La revisión da como resultado que los enfoques de toma de decisiones multicriterio son mejores que los enfoques tradicionales basados en costo asimismo proponen una clasificación de métodos para la selección de proveedores.

Dicha clasificación comprende, por un lado, la aplicación de enfoques individuales, como los matemáticos y los de inteligencia artificial y, por otra parte, los combinados, que resultan de la combinación de dos o más individuales.

3.1.1 Aplicaciones de enfoques de toma de decisiones multicriterio

En la literatura se puede encontrar una gran cantidad de aplicaciones de enfoques de toma de decisiones multicriterio para la selección de proveedores.

Como resultado de la revisión de la literatura, en el presente trabajo se realiza una breve descripción del desarrollo y aplicación, en diferentes contextos, de enfoques de toma de decisiones multicriterio para la selección de proveedores, la cual se muestra a continuación:

Proceso de Jerarquía Analítico (PJA)

Akarte *et al.*, (2001, citado en Ho, Xu y Dey, 2010) desarrollaron el PJA para evaluar proveedores de fundición con respecto a 18 criterios. El proceso consistió en que los proveedores tenían que registrarse y luego introducir sus especificaciones de fundición. Para evaluar a los proveedores, los compradores tenían que determinar las ponderaciones de importancia relativa de cada criterio. La calificación del rendimiento de cada criterio se realizó utilizando comparación por pares.

Liu y Hai, (2005) desarrollaron PJA para decidir el ranking total de los proveedores. Esta investigación presenta un nuevo procedimiento de ponderación en lugar de la comparación por pares de PJA para seleccionar proveedores. En este artículo se propone un procedimiento de seis pasos para seleccionar uno de diez proveedores con ejemplo numérico. En el paso 1 se establecieron los criterios de selección; en el segundo paso, se estructura la jerarquía de los criterios; en el paso 3, se prioriza el orden de criterios y subcriterios; en paso 4, se calculan los pesos de criterios y subcriterios; en el paso 5, se mide el desempeño de los proveedores y, finalmente, en el paso 6 se identifica la prioridad del proveedor.

Chan *et al.*, (2007, citado en Ho, Xu y Dey, 2010) desarrollaron un enfoque de toma de decisiones basado en PJA para resolver el problema de selección de proveedores. Los candidatos a proveedores fueron seleccionados a través de 14 criterios. Se realizó un análisis de sensibilidad para examinar la respuesta de las alternativas cuando se cambió la importancia relativa de cada criterio.

Ma, Li, y Chan, (2018) introducen el PJA como base para evaluar un proceso de construcción a través de cuatro etapas. La primera construyendo un marco de referencia para el sistema; la segunda etapa consistió en crear las matrices de juicio y realizar pruebas de consistencia; la

tercera etapa contempló el cálculo de los pesos de los indicadores en cada nivel y, finalmente, en la cuarta etapa, se determinaron los factores de puntuación para cada proyecto.

Programación lineal

Talluri y Narasimhan (2003, citados en Ho, Xu y Dey, 2010) desarrollaron un modelo de programación lineal para maximizar el rendimiento de un proveedor frente a las mejores medidas establecidas por el comprador. La medición de la eficiencia de cada proveedor lograría una comprensión integral del desempeño de un proveedor.

Programación multiobjetivo

Kasuganti, (2001) presentan un enfoque llamado Visual Interactive Goal Programming, utilizado para seleccionar proveedores para un solo producto, donde se pueden determinar órdenes de compra si se llegaran a elegir múltiples proveedores. Los ejemplos de aplicaciones sólo consideran 3 criterios los cuales son costo, calidad y entrega. El artículo enfatiza que debe haber compensación entre los criterios. Por ejemplo, el costo puede ser reducido y la calidad aumentada si el tomador de decisiones acepta la reducción en otros criterios.

Wadhwa y Ravi Ravindra, (2005) hacen referencia a la selección de proveedores como un modelo de optimización multi objetivo, donde uno o más compradores de múltiples productos seleccionan proveedores. Los criterios que son minimizados fueron precio, lead time y calidad en términos de porcentaje de defectos. En este artículo primero se propone el modelo matemático describiendo datos usados en el modelo, parámetros, variables de decisión y objetivos.

Programación por objetivos

Colapinto, Jayaraman y Marsiglio, (2017) hablan sobre decisiones multicriterio y modelos de programación por objetivos. Estos modelos son herramientas de operaciones importantes y tienen extensas aplicaciones en la ciencia, ingeniería y ciencias sociales. Es fácil de entender y aplicar. Un modelo bien definido se puede resolver con un software matemático comercial. El artículo menciona autores que han utilizado este enfoque para la selección de proveedores.

Análisis Envolvente de Datos (AED)

Charnes *et al.*, (2013) desarrollaron un análisis envolvente de datos para una empresa dedicada a la manufactura de comida para bebé. Los criterios de selección de proveedores son precio, entrega y calidad. El análisis envolvente de datos contempló 3 partes: en la primera, se hace la comparación de eficiencia de las unidades de toma de decisiones. En la segunda parte, la medida de salida se traduce matemáticamente a una unidad singular de un ítem que se desea comprar y, finalmente, se mide la eficiencia relativa de cada proveedor.

Narasimhan, Talluri y Mendez, (2001) utilizaron el análisis envolvente de datos para la selección de proveedores de una empresa de telecomunicaciones que permitió la incorporación de múltiples entradas y salidas. Para realizar este análisis, en el primer paso se identificaron las entradas y salidas, las cuales condujeron al establecimiento de los criterios de selección que son calidad, precio, tiempo de entrega y costo. Posteriormente se calcularon los puntajes de desempeño para clasificar a los proveedores en cuatro categorías y, finalmente, se proporcionan puntos de referencia para mejorar las operaciones de los proveedores con bajo rendimiento.

Garfamy, (2006a) propuso y demostró la aplicación del análisis envolvente de datos para evaluar a los proveedores en múltiples criterios basados en el concepto de costo total de propiedad, en una empresa hipotética con 15 proveedores hipotéticos para una compra estratégica, donde el objetivo era reducir el costo total de propiedad. Las salidas incluyeron una sola unidad de un artículo de compra, mientras que las variables de entrada determinadas fueron el costo de fabricación, costo de calidad, costo de tecnología, costo de servicio postventa y el precio del artículo.

Casos basados en razonamiento

Choy y Lee (2002, citados en Ho, Xu y Dey, 2010) implementaron el modelo en una empresa de fabricación de productos de consumo. Varios criterios de evaluación se agruparon en tres categorías: capacidad técnica, sistema de calidad y perfil organizacional. El modelo propuesto seleccionó a un proveedor que cumpliera con la especificación predefinida por la compañía.

Teoría de conjuntos difusos

Chen *et al.* (2006, citados en Ho, Xu y Dey, 2010) presentaron un modelo de jerarquía basado en la teoría de conjuntos difusos, para tratar el problema de selección de proveedores. Los

valores lingüísticos se usaron para evaluar las calificaciones y los pesos para los factores de evaluación del proveedor.

Proceso de jerarquía analítica (PJA) – Análisis envolvente de datos (AED) – Redes neuronales artificiales (RN)

Ha y Krishnan, (2008) seleccionaron proveedores competitivos en la cadena de suministro de una empresa de la industria automotriz, a través de un método combinado que integra PJA, AED, RN. El proceso de jerarquía analítica lo utilizaron para asignar pesos a los criterios cualitativos, en tanto que el análisis envolvente de datos, como las redes neuronales artificiales, los utilizaron para elegir a los proveedores en la etapa final del proceso de selección. Este método permitió al comprador la elección de una sola fuente de suministro o múltiples fuentes, a través del cálculo del puntaje combinado del proveedor y, posteriormente realizar un análisis cluster. También a través de un mapa de proveedores seleccionaron múltiples proveedores en diferentes segmentos de acuerdo con su desempeño en los criterios cualitativos y cuantitativos.

Proceso de jerarquía analítica (PJA) - Teoría de conjuntos difusos (TCD) – Análisis envolvente de datos (AED)

Zayden *et al.*, (2011, citados en Ho, Xu y Dey, 2010) propusieron una metodología para la industria automotriz. La metodología es la siguiente: 1. Se utiliza el proceso de jerarquía analítica difuso para determinar los pesos de los criterios, 2. La técnica para el orden de preferencia por similitud con la solución ideal difuso, para transformar las variables cualitativas en variables cuantitativas y 3. AED para clasificar los proveedores eficientes e ineficientes.

Análisis envolvente de datos (AED) – Enfoque de eficiencias cruzadas (EEC)

Falagario *et al.*, (2012) utilizan AED y el EEC para la selección de proveedores de licitación gubernamental en Italia. En este método sólo se utilizaron criterios cuantitativos.

Proceso de jerarquía analítica (PJA) y programación por objetivos (PO)

Perçin (2006 citado en Ho, Xu y Dey, 2010) utilizó el PJA para medir las ponderaciones de importancia relativa de los proveedores potenciales con respecto a 20 criterios de evaluación. Las ponderaciones se usaron luego como coeficientes de 5 funciones objetivo en el modelo de

programación por objetivos. El modelo se utilizó para determinar la cantidad de orden óptima del proveedor apropiado considerando su capacidad.

Teoría de conjuntos difusos (TCD) – Proceso de Jerarquía Analítica (PJA)

Kahraman et al. (2003, citado en Ho, Xu y Dey, 2010) propusieron un método combinado donde los tomadores de decisiones especificaron las preferencias sobre la importancia de cada criterio de evaluación utilizando variables lingüísticas.

3.2 Análisis envolvente de datos (AED)

El análisis envolvente de datos desarrollado por Charnes *et al.*, (1997) es una técnica de programación lineal no paramétrica determinista que considera y evalúa la eficiencia de unidades de toma de decisiones (UTD) (Haralambides y Gujar, 2012).

La eficiencia se calcula como la suma ponderada de las salidas dividida entre la suma ponderada de las entradas o bien, la relación entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados. El valor de la eficiencia obtenida por cada UTD pone de manifiesto su capacidad para obtener el máximo de resultados (salidas) a partir de un conjunto de recursos (entradas) dado. Así que una UTD eficiente obtiene un valor de eficiencia igual a 1, mientras que una UTD ineficiente obtiene un valor menor a 1.

El modelo AED – CCR matemáticamente identifica una *frontera eficiente* de las entradas y salidas observadas de un conjunto de objetos a evaluar llamados, “unidades de toma de decisiones”. La frontera eficiente está determinada por las unidades de toma de decisiones más eficientes, basadas en la noción de Optimalidad Pareto (Charnes *et al.*, 1997).

Modelo AED – CCR orientado a las salidas (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978)

VARIABLES DE DECISIÓN:

u_r = Ponderación de la salida.

v_i = Ponderación de la entrada.

Z = Eficiencia

ÍNDICES:

$i = (1, \dots, m)$ Entradas.

$j = (1, \dots, n)$ UTD.

$r = (1, \dots, s)$ Salidas.

Parámetros:

x_{ij} = Cantidad de la entrada i consumidas por la UTD j .

y_{rj} = Cantidad de la salida r producida por la UTD j .

x_{i0} = Cantidad de la entrada i consumida por la UTD que está siendo evaluada.

y_{r0} = Cantidad de la salida r producida por la UTD que está siendo evaluada.

Función Objetivo:

$$\text{Max} Z = \sum_{r=1}^s u_r * y_{r0}$$

Restricciones:

$$\sum_{r=1}^s u_r * y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i * x_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i * x_{i0} = 1$$

$$u_r \geq 0$$

$$v_i \geq 0$$

El modelo AED – CCR orientado a las salidas se ejecuta n veces para determinar los puntajes de eficiencia de cada UTD, n representa el número total de UTDs.

Cada UTD puede seleccionar pesos óptimos que maximicen su eficiencia, pero al mismo tiempo se evita que el valor de la eficiencia de cada UTD, cuando se evalúan con estos pesos exceda un valor de uno.

Con respecto al problema de interés y tomando en consideración trabajos anteriores similares (Garfamy, 2006a) en los que se utilizó el AED para diferenciar y clasificar a los proveedores en eficientes y no eficientes, se optó por emplear este enfoque multicriterio para hacer una preselección de proveedores de empaques de cartón.

3.3 Selección final

Como ya se mencionó, el AED sólo permite hacer una diferenciación entre proveedores eficiente y no eficientes, por lo que no es posible generar una jerarquización entre ellos ni, mucho menos hacer una selección final.

En la selección final, el tomador de decisiones identifica a los proveedores con los que hará los negocios y además asignará cantidades de pedidos entre el o los proveedores elegidos. Ghodsypour y O'Brien (2001 citados en Ravindran y Warsing Jr, 2016) establecen dos tipos.

El primero, abastecimiento simple, que implica que cualquiera de los proveedores puede satisfacer los requisitos de demanda, calidad, tiempo de entrega y precio establecidos por el tomador de decisiones. Uno de los objetivos principales del abastecimiento simple es minimizar los costos de compra y, otro, establecer una relación a largo plazo fuerte con un solo proveedor. Es importante mencionar que la estrategia de abastecimiento simple expone a una empresa a un mayor riesgo de interrupción en la cadena de suministro. El segundo, abastecimiento con múltiples proveedores, resulta de la obtención de materias primas y componentes a través de más de un proveedor, lo que proporcionará mayor flexibilidad a la empresa. Ayuda a reducir los costos de adquisición y mejorar la calidad de las piezas. También ayudará a proteger a la empresa de las principales interrupciones del suministro. Se aplica cuando existen limitaciones en la capacidad, calidad y tiempo de entrega proporcionados por los proveedores, por lo tanto, se deberán utilizar múltiples proveedores.

3.3.1 Métodos para abastecimiento simple

Un abastecimiento simple es una posibilidad cuando es necesaria la compra de una pequeña cantidad de materia prima, componentes o servicios.

Ravindran y Warsing Jr, (2016) describen dos de los métodos más utilizados para el abastecimiento simple: el primero, el método de punto ponderado lineal (MPL), el cual utiliza un método de puntuación simple que depende en gran medida del juicio del tomador de decisiones. En este método el tomador de decisiones asigna un peso a cada criterio de selección de proveedores en una escala de 1 a 100. Después se calcula una puntuación ponderada total al sumar el producto del peso y valor de cada criterio. A su vez el segundo, método de costo total de propiedad (CTP), busca más allá del precio de la materia prima o componente para incluir los costos de otros factores como la calidad, entrega, interrupción del suministro e inventario de seguridad. Aquí se asigna el costo asociado a cada criterio de selección de proveedores y se calcula el CTP con respecto a cada proveedor. Finalmente, el proveedor seleccionado será aquel que proporcione el costo total más bajo.

También se pueden utilizar el método Lp métrico, el método de calificación (puntuación) y el método Borda Count para la clasificación de proveedores.

3.3.2 Métodos abastecimiento múltiple

El abastecimiento múltiple compensa el riesgo de interrupciones del suministro. Los modelos de programación matemática son los métodos más apropiados para tomar decisiones sobre abastecimiento múltiple. Estos métodos permiten al tomador de decisiones considerar diferentes restricciones incluida la capacidad, entrega y calidad, así como también determinan qué proveedores y la cantidad de asignación de pedidos. Existen dos tipos de modelos que ayudan a tomar decisiones con respecto al abastecimiento múltiple.

El primero, modelo de una sola medida de desempeño, donde la función objetivo minimiza el costo de compra total dado por costos fijos más costos variables y las restricciones del modelo pueden ser de capacidad del proveedor, de demanda del comprador, de calidad, de tiempo de entrega y restricciones de precio para los productos (Ravindran y Warsing Jr, 2016).

Por otra parte, el modelo de múltiples objetivos para la asignación a proveedores. Este modelo se alimenta de sólo datos detallados cuantitativos como el precio, la capacidad y la calidad

recopilados de los proveedores preseleccionados y se asignan a un marco de objetivos múltiples para la asignación real de pedidos.

Ravindran y Warsing Jr, (2016) proponen un modelo donde los objetivos son la minimización simultánea de precio, plazo de entrega y rechazos mientras que las restricciones son de capacidad del proveedor, demanda del comprador, número máximo de proveedores a elegir y restricciones de no negatividad y binarias, este modelo considera múltiples compradores y múltiples productos con descuentos por volumen. El escenario de múltiples compradores será posible, si existe un departamento de compras central, donde diferentes divisiones de una organización compren a través del departamento de compras central. En este modelo también se considera el caso menos restrictivo, donde cualquiera de los compradores pueda adquirir uno o más productos de cualquier proveedor. Los autores recomiendan que antes de formular el modelo será necesario considerar preseleccionar a los proveedores más favorables que cumplirán con los criterios de selección de proveedores.

Con relación a la metodología objeto de este trabajo, para la selección final se emplea un modelo de programación lineal entera que minimiza el costo de compra total tomando en cuenta restricciones de demanda y órdenes mínimas de compra establecidas por los proveedores.

Dependiendo de las condiciones establecidas, los resultados pueden generar tanto abastecimiento simple como múltiple.

4 Caso de estudio

La empresa inspiradora de este trabajo de investigación es un proveedor de la industria automotriz que atiende diferentes sectores comerciales. La aplicación del caso de estudio se realiza en una planta de manufactura de esta empresa ubicada en la Zona Industrial de Toluca, Estado de México. En esta empresa las principales prioridades competitivas son la seguridad, la calidad y los costos.

El área de la empresa bajo estudio donde se aplicaron resultados desea identificar y establecer criterios cualitativos y cuantitativos para llevar a cabo su proceso de selección de proveedores de empaques de cartón, los cuales cumplen la función de empaque de las muestras automotrices (Producto A y Producto B). En esta área los criterios que utilizan para la selección de sus proveedores son la ubicación, capacidad técnica y lead time.

En consecuencia, para la identificación de los criterios para la selección de proveedores de esta empresa fue necesario construir un instrumento de medición y por otra parte para el establecimiento de los criterios de selección de proveedores de cajas de cartón fue necesaria la aplicación de la técnica difusa despliegue de la función de calidad.

Hay que mencionar, además que el enfoque de toma de decisiones multicriterio que se utilizó para la preselección de proveedores fue el Análisis Envoltente de Datos y para la selección final de proveedores se construyó un modelo de Programación Lineal Entera.

4.1 Identificación de los productos a comprar

El área de la empresa bajo estudio tiene la necesidad de asegurar el suministro de volúmenes pequeños de empaque para las muestras automotrices que actualmente fabrica. El empaque utilizado para las muestras automotrices son cajas de cartón. El área fabrica dos tipos de muestras automotrices, por motivos de confidencialidad en este trabajo se denominaron Producto A y Producto B.

Las cajas de cartón representan un insumo estratégico para esta empresa, ya que tiene un alto impacto para la preservación de la calidad del Producto A y el Producto B durante su traslado para su aceptación final por parte del cliente.

Las cajas de cartón para embalar las muestras automotrices tienen las siguientes características:

1. Cajas regulares
2. Doble corrugado de cartón
3. Resistencia 14 kg/cm²

La única diferencia en las características de las cajas son las dimensiones. Para el Producto A las dimensiones que se ocupan son: (ancho, largo y alto) 20x60x35 cm y 80x60x35 cm. Mientras que para el Producto B las dimensiones son de 20x60x50 cm y 80x60x50 cm.

4.2 Identificación de criterios para la selección de proveedores de esta empresa

Un instrumento de medición o encuesta se define como un método de investigación y recopilación de datos utilizados para obtener información sobre diversos temas y su aplicación se realiza a través de un cuestionario.

Como se menciona líneas anteriores, para la identificación de los criterios de selección de proveedores en general, fue necesario el diseño y aplicación de un instrumento de medición a los tomadores de decisiones involucrados en el proceso de selección de proveedores (**Anexo A**).

4.2.1 Diseño del instrumento

Para fines de esta aplicación en el caso de estudio, la encuesta fue diseñada para cumplir con el objetivo general, que es poder identificar los criterios cuantitativos y cualitativos que se deberían tomar en cuenta para la selección de proveedores, mientras que los objetivos particulares fueron: conocer el procedimiento actual de compras, las compras que realizan los tomadores de decisiones y, con esto, poder realizar una aproximación – comparación entre, los criterios de

selección de proveedores expuestos en la literatura y los criterios que consideran importantes los tomadores de decisiones en la empresa al momento de realizar una compra. Se subraya que, los criterios que se proponen en el instrumento de medición son el resultado de una revisión cuidadosa de la literatura sobre el tema y, comúnmente empleados en estudios de esta naturaleza. Sin embargo, quedó abierta la opción de agregar otros criterios que los tomadores de decisiones considerarían relevantes.

4.2.2 Estructura del instrumento

El instrumento de medición estuvo conformado por cinco preguntas divididas en cuatro secciones que se describen a continuación.

Sección I: Información general

Esta sección incluye sólo una pregunta con la que se desea conocer a qué departamento pertenece el tomador de decisiones; la persona encuestada elige la respuesta entre cuatro opciones.

Sección II: Procedimiento de compras

El objetivo de esta sección es que, a través de dos preguntas, el encuestado comunique si su empresa cuenta con algún procedimiento establecido para la selección de proveedores y, además, se le pide pueda describir brevemente su procedimiento.

Sección III: Criterios de selección de proveedores y tipo de compras

En esta sección se pregunta al encuestado qué tipo de compras realiza y cuáles criterios, a su juicio, deberían considerarse para la selección de proveedores, de acuerdo con cada tipo de compra; además, se incluye una pregunta complementaria para que el encuestado pueda incluir algún criterio, a su juicio importante, que no se encuentre en la lista.

Sección IV: Comunicación entre áreas

En esta sección conformada por sólo una pregunta, cuya respuesta puede ser sí o no, se indaga sobre la comunicación que existe entre las áreas involucradas en la selección de proveedores.

4.2.3 Aplicación del instrumento de medición

La aplicación de la encuesta se llevó a cabo con la ayuda del jefe del área. Los encuestados pertenecen a distintos departamentos involucrados en la selección de proveedores como son el departamento de compras y el departamento de muestras.

4.2.4 Análisis de resultados

En cuanto al procesamiento de los resultados obtenidos con el instrumento de medición, resulta que, los departamentos involucrados para la selección de proveedores en esta empresa, para el caso de estudio específico, son el departamento de compras y el departamento de muestras. Consideremos ahora la segunda sección del cuestionario cuya respuesta fue afirmativa y, por medio de la cual, nos enteramos de que la empresa cuenta con un procedimiento establecido para la selección de sus proveedores.

Tabla 4.1 Frecuencia de criterios de selección de proveedores

Criterios de selección de proveedores	Frecuencia
Instalaciones de producción y capacidad	8
Cumplimiento a acuerdos y procedimientos	13
Gestión y organización empresarial	7
Ubicación geográfica	7
Posición financiera	6
Reputación y posición en la industria	5
Desempeño histórico	6
Servicio al cliente	7
Precio	9
Calidad	15
Entrega	13
Red de distribución	10
Sistemas de comunicación	5
Capacidad técnica	10
Equipo e infraestructura	5
Políticas de garantía y reclamaciones	10

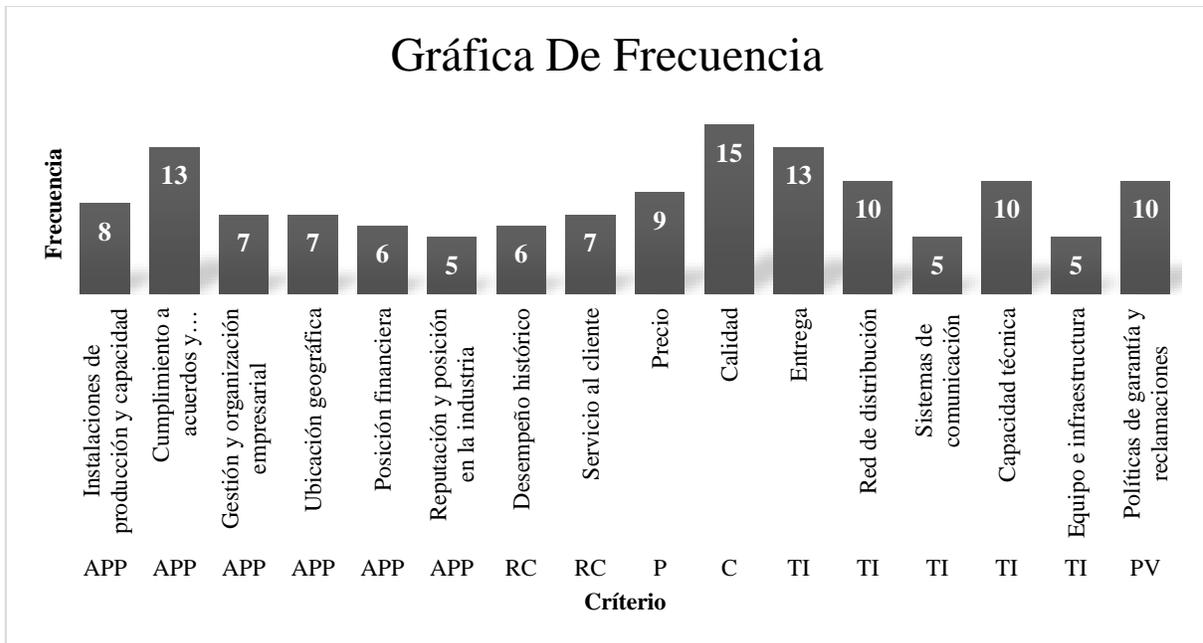


Figura 4.1 Gráfica de criterio y frecuencia

Ahora bien, a través de los cuestionarios se pudo conocer también que la empresa realiza distintas compras como lo son: de materia prima, componentes, equipo y maquinaria, refacciones, servicios y empaques. Una vez analizado lo anterior fue necesario construir una tabla y gráfica de frecuencia (**Tabla 4.1** y **Figura 4.1**) que permitieran visualizar la tendencia central y la dispersión de los datos.

En cuanto a la **Tabla 4.1** y la **Figura 4.1** se pudo realizar una aproximación – comparación entre los criterios de selección de proveedores expuestos en la literatura y los criterios que actualmente los tomadores de decisiones consideran importantes al momento de realizar una compra. Es importante mencionar que se les dio la oportunidad a los tomadores de decisiones de agregar algún criterio que consideraran importante o diferente a los expuestos en la lista, a lo que sólo uno de ellos sugirió que se tomara en cuenta un indicador de desempeño para calificar el servicio al cliente.

Tabla 4.2 Criterios con mayor frecuencia

Etiqueta	Criterios de selección de proveedores	Frecuencia
C1	Instalaciones de producción y capacidad	8
C2	Cumplimiento a acuerdos y procedimientos	13
C3	Gestión y organización empresarial	7
C4	Ubicación geográfica	7
C5	Servicio al cliente	7
C6	Precio	9
C7	Calidad	15
C8	Entrega	13
C9	Red de distribución	10
C10	Capacidad técnica	10
C11	Políticas de garantía y reclamaciones	10

Como resultado, se obtuvo que los criterios que con mayor frecuencia que se presentan al momento de realizar una compra son: instalaciones de producción y capacidad, cumplimiento a acuerdos y procedimientos, gestión y organización empresarial, ubicación geográfica, servicio al cliente, precio, calidad, entrega, red de distribución, capacidad técnica y políticas de garantía y reclamaciones (**Tabla 4.2**).

Ahora bien, Dickson (1966) clasifica una lista de criterios en cuatro grupos. El primer grupo, criterios extremadamente importantes, el segundo grupo, criterios considerablemente importantes, el tercer grupo, criterios importantes y finalmente el cuarto grupo, criterios poco importantes, de donde resulta que los criterios con mayor frecuencia mostrados en la **Tabla 4.2** este autor los clasifica como criterios extremadamente importantes, considerablemente importantes e importantes, de manera que para el caso de estudio que nos ocupa y para realizar la técnica difusa DFC sólo se tomaron en cuenta aquellos criterios que tuvieron la mayor frecuencia y que se muestran en la **Tabla 4.2**.

4.3 Establecimiento de criterios para la selección de proveedores de empaques de cartón

Por lo que se refiere al establecimiento de criterios para la selección de proveedores para el caso en específico se aplicó y desarrolló la técnica difusa DFC.

La finalidad de esta técnica difusa fue la de ponderar los criterios que se utilizaron para la selección de los proveedores para el suministro de empaques de cartón, además de que ésta se fusionó con un procedimiento que permitió valorar la dificultad para obtener información destinada a evaluar a los proveedores en cada criterio.

Además, se subraya que fue necesario el diseño y aplicación de un segundo cuestionario (**Anexo B**) a los tomadores de decisiones de la empresa, con la intención de recolectar información para poder desarrollar y aplicar la técnica difusa.

En la **Figura 4.2** se presenta el proceso de aplicación y desarrollo de la técnica difusa DFC.

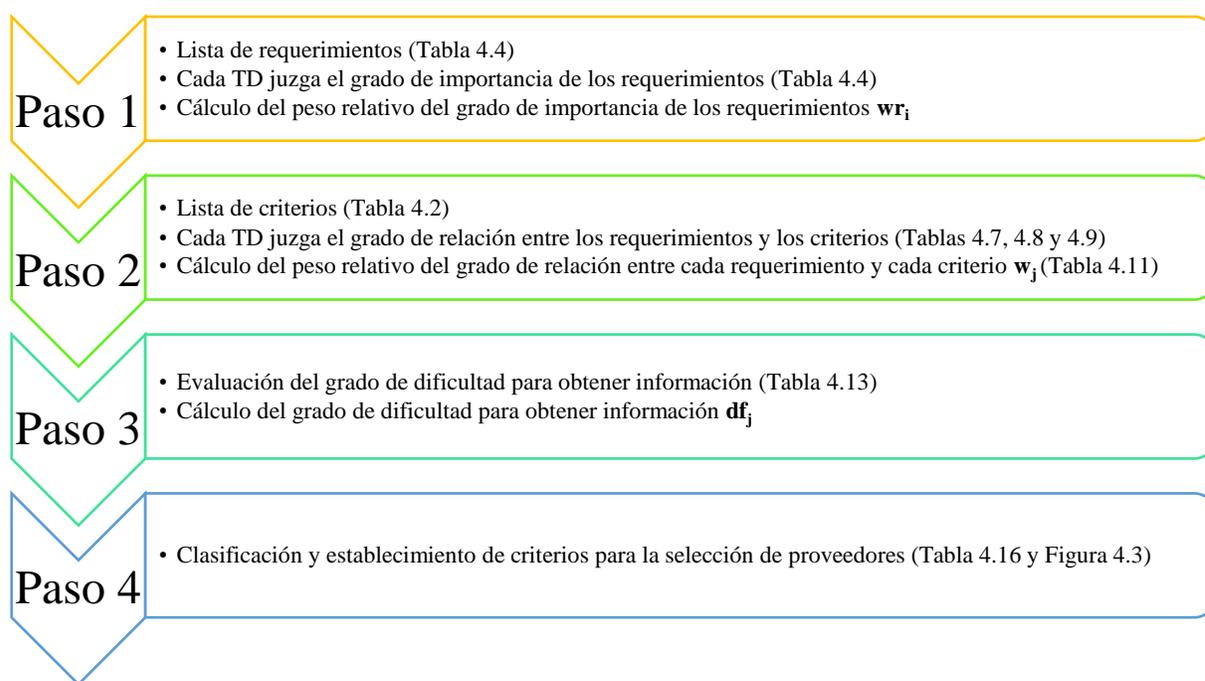


Figura 4.2 Proceso de aplicación y desarrollo de la técnica difusa DFC

4.3.1 Encuesta para el establecimiento de criterios para la selección de proveedores que suministrarán cajas de cartón en el área de muestras

La finalidad de la segunda encuesta fue la de establecer criterios cuantitativos y cualitativos que se deberían tomar en cuenta para la selección de proveedores para el suministro de las cajas de cartón en el área de la empresa bajo estudio (**Anexo B**).

Las cajas de cartón son el insumo principal del sistema de empaque, su funcionalidad es contener, proteger y transportar las muestras automotrices permitiendo que estas lleguen en óptimas condiciones al consumidor final.

La encuesta se compone básicamente de dos secciones; la primera, en donde se presenta una tabla con un listado de requerimientos que cualquier proveedor debe cumplir, además de que se le da la oportunidad al tomador de decisiones de la empresa de agregar algún requerimiento importante que hiciera falta. Y por otra parte la segunda sección en donde se pide al tomador de decisiones juzgue la relación entre los criterios enlistados en la **Tabla 4.2** y los requerimientos que cualquier proveedor debe cumplir; asimismo se le da la oportunidad al tomador de decisiones de que pueda agregar algún criterio que a su juicio haga falta.

Con respecto a la aplicación de la encuesta, nuevamente contamos con la ayuda del jefe del área de muestras de la empresa y los encuestados fueron los mismos que contestaron el primer cuestionario. Habría que decir también que la autora de este trabajo participó al contestar este segundo cuestionario.

4.3.2 Desarrollo y aplicación de la técnica DFC para el establecimiento de criterios de selección de proveedores de cajas de cartón

Las técnicas difusas se utilizan para apoyar la toma de decisiones en situaciones de incertidumbre y con datos imprecisos. En la lógica difusa, los términos lingüísticos se utilizan para expresar cualitativamente el valor de las variables que después se convierten en valores cuantitativos (Jafarzadeh, Akbari y Abedin, 2018a), de esta forma la aplicación de la técnica difusa DFC permitió asegurar que los requerimientos de los tomadores de decisiones de la empresa impulsaran el diseño del producto requerido.

Los conceptos que se deben tomar en consideración a partir de este momento son los siguientes:

1. Término lingüístico: expresa cualitativamente el valor de las variables.
2. Número difuso triangular: es la extensión de un número regular, es decir, no se refiere a un único valor sino a un conjunto de posibles valores.
3. Los términos lingüísticos son transformados en números difusos triangulares asignados.

A continuación, se describe el proceso, desarrollo y aplicación de la técnica difusa DFC para el establecimiento de criterios de selección de proveedores de cajas de cartón.

Sobre el desarrollo y aplicación de esta técnica, en el primer paso se estableció un conjunto de requerimientos que cualquier proveedor de cajas de cartón debería cumplir. El establecimiento de los requerimientos resultó de la identificación de las cajas de cartón como un artículo estratégico, debido a que no se cuenta con un proveedor confiable capaz de cumplir con el requisito del suministro en cantidades pequeñas de los diferentes tipos de cajas de cartón que se necesitan para embalar las muestras automotrices.

Los requerimientos fueron: calidad, costo, confiabilidad de entrega, capacidad tecnológica para el desarrollo de productos y procesos, flexibilidad, tecnologías de la información, innovación, desarrollo del producto, respuesta rápida, estabilidad del proveedor, relación a largo término y relación colaborativa.

Tabla 4.3 Términos lingüísticos del grado de importancia de los requerimientos

Grado de importancia del requerimiento	Número difuso triangular
Muy Baja (MB)	(1.00, 1.00, 2.00)
Baja (B)	(1.00, 2.00, 3.00)
Media (M)	(2.00, 3.00, 4.00)
Alta (A)	(3.00, 4.00, 5.00)
Muy Alta (MA)	(4.00, 5.00, 5.00)

Una vez que se estableció la lista de requerimientos, cada tomador de decisiones juzgó el grado de importancia de cada uno de ellos. En la técnica difusa DFC la importancia de cada requerimiento se juzga en una escala de términos lingüísticos a los que se le asocian números difusos triangulares (**Tabla 4.3**).

Tabla 4.4 Matriz de juicios lingüísticos de cada tomador de decisiones sobre el grado de importancia de los requerimientos

Requerimientos		Tomadores de decisiones		
		TD ₁	TD ₂	TD ₃
R1	Calidad	MA	MA	MA
R2	Costo	A	M	M
R3	Confiabilidad de entrega	MA	A	MA
R4	Capacidad tecnológica para el desarrollo de productos y procesos	M	A	A
R5	Flexibilidad	A	MA	MA
R6	Tecnologías de la información	M	M	M
R7	Innovación	B	A	M
R8	Desarrollo del producto	M	A	A
R9	Respuesta rápida	MA	MA	MA
R10	Estabilidad del proveedor	MA	A	MA
R11	Relación a largo plazo	A	A	MA
R12	Relación colaborativa con la empresa	A	A	MA

En la **Tabla 4.4** se muestra la matriz de requerimientos, donde se puede observar que cada fila de esta matriz corresponde a un requerimiento y por otra parte la entrada de esta matriz es el juicio de importancia relativa de cada requerimiento, indiscutiblemente dada por cada tomador de decisiones de la empresa. Por ejemplo, el requisito *calidad* tiene una importancia (MA) para los tres tomadores de decisiones; el requisito *costo* tiene una importancia (A) para el tomador de decisiones 1, mientras que para los tomadores de decisiones 2 y 3 la importancia de este requisito es (M) y así sucesivamente.

Tabla 4.5 Números difusos triangulares de las prioridades de los requerimientos y valores de la importancia absoluta y relativa de los requerimientos

Requerimientos	TD ₁	TD ₂	TD ₃	\tilde{x}_i	x _i	wr _i
R1	(4.00, 5.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	4.75	0.10
R2	(3.00, 4.00, 5.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.33, 3.33, 4.33)	3.33	0.07
R3	(4.00, 5.00, 5.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	(3.66, 4.66, 5.00)	4.50	0.09
R4	(2.00, 3.00, 4.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(2.66, 3.66, 4.66)	3.66	0.08
R5	(3.00, 4.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	(3.66, 4.66, 5.00)	4.50	0.09
R6	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	3.00	0.06
R7	(1.00, 2.00, 3.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	3.00	0.06
R8	(2.00, 3.00, 4.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(2.66, 3.66, 4.66)	3.66	0.08
R9	(4.00, 5.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	4.75	0.10
R10	(4.00, 5.00, 5.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	(3.66, 4.66, 5.00)	4.50	0.09
R11	(3.00, 4.00, 5.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	(3.33, 4.33, 5.00)	4.25	0.09
R12	(3.00, 4.00, 5.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(4.00, 5.00, 5.00)	(3.33, 4.33, 5.00)	4.25	0.09

Una vez que se agregó el juicio de los tomadores de decisiones, fue necesaria la transformación de los términos lingüísticos en números difusos triangulares además del cálculo del peso relativo (wr_i) de cada requerimiento (**Tabla 4.5**).

Para el cálculo del peso absoluto y relativo de cada requerimiento fue necesario desarrollar las siguientes fórmulas algebraicas. Los resultados se muestran en la **Tabla 4.5**.

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (4.1)$$

Sean $\tilde{A} = (l_1, m_1, u_1)$ y $\tilde{B} = (l_2, m_2, u_2)$ dos números difusos triangulares. La suma está dada por (4.1).

$$\tilde{x}_i = \sum_{d=1}^t \tilde{x}_i^d / t \quad (4.2)$$

Con respecto a (4.2) donde \tilde{x}_i^d es el número difuso correspondiente al juicio lingüístico del requerimiento i realizado por el tomador de decisiones d .

$$x_i = (l_{\tilde{x}_i} + 2 * m_{\tilde{x}_i} + u_{\tilde{x}_i}) / 4 \quad (4.3)$$

Como el resultado de \tilde{x}_i fue número difuso triangular se tuvo que convertir con (4.3) para que produjera un resultado cuantificable x_i (peso absoluto del requerimiento i).

$$wr_i = x_i / \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.4)$$

Una vez que se obtuvo el peso absoluto del requerimiento i fue necesario calcular el peso relativo del requerimiento i (wr_i) con (4.4).

Tabla 4.6 Términos lingüísticos del grado de relación entre criterios y requerimientos

Términos lingüísticos	Etiqueta	Número difuso triangular
Sin Relación	SR	(0.00, 0.00, 0.00)
Relación Débil	RD	(1.00, 1.00, 3.00)
Relación Media	RM	(1.00, 3.00, 5.00)
Relación Fuerte	RF	(5.00, 9.00, 9.00)

Una vez que se calculó el peso relativo del requerimiento i (wr_i) se continuó con el paso número dos de esta técnica difusa, en donde los tomadores de decisiones definieron un conjunto de criterios (**Tabla 4.2**) relacionados con los requerimientos establecidos en la **Tabla 4.4**.

Tabla 4.7 Juicio lingüístico del grado de relación entre requerimientos y criterios. Tomador de decisiones 1

TD ₁	Criterios para la selección de proveedores										
Requerimientos	Instalaciones de producción y capacidad	Cumplimiento a acuerdos y procedimientos	Gestión y organización empresarial	Ubicación geográfica	Servicio al cliente	Precio	Calidad	Entrega	Red de distribución	Capacidad técnica	Políticas de garantía y reclamaciones
Calidad	RM	RF	RF	SR	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RF
Costo	RM	RM	RF	RM	RD	RF	RF	RM	RF	RF	RD
Confiabilidad de entrega	RM	RF	RF	RM	RM	SR	RF	RF	RF	RD	RF
Capacidad tecnológica para el desarrollo de productos y procesos	RF	RD	RF	SR	SR	RF	RM	RD	RF	RF	RD
Flexibilidad	RD	RM	RF	SR	RF	RD	RM	RF	RF	RM	RF
Tecnologías de la información	RF	RD	RF	SR	SR	RF	RD	RD	RF	RD	RM
Innovación	RD	RD	RF	SR	RD	RF	RD	SR	RF	RF	RD
Desarrollo del producto	SR	SR	RF	SR	SR	RF	RM	SR	SR	RF	SR
Respuesta rápida	RF	RM	RF	RM	RF	RF	RD	RF	RF	RD	RF
Estabilidad del proveedor	RD	RF	RF	SR	RF	RD	SR	RF	RF	RF	RF
Relación a largo plazo	RD	RF	RF	RD	RF	RM	SR	RF	RF	RF	RF
Relación colaborativa con la empresa	RD	RF	RF	SR	RF	RD	SR	RF	RF	RF	RF

Tabla 4.8 Juicio lingüístico del grado de relación entre requerimientos y criterios. Tomador de decisiones 2

TD ₂	Criterios para la selección de proveedores										
Requerimientos	Instalaciones de producción y capacidad	Cumplimiento a acuerdos y procedimientos	Gestión y organización empresarial	Ubicación geográfica	Servicio al cliente	Precio	Calidad	Entrega	Red de distribución	Capacidad técnica	Políticas de garantía y reclamaciones
Calidad	RF	RD	RM	SR	RF	RF	RF	RF	SR	RM	SR
Costo	RM	RF	RM	RF	RF	RF	RF	RF	RM	SR	SR
Confiabilidad de entrega	RF	RM	RM	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RM	RF
Capacidad tecnológica para el desarrollo de productos y procesos	RF	RF	RD	SR	RF	RF	RF	RM	RM	RF	SR
Flexibilidad	RM	RM	RD	RF	RF	RF	RM	RF	RM	RM	RF
Tecnologías de la información	RM	RM	RD	SR	RF	RM	RM	RM	RF	RM	RM
Innovación	RD	RM	RD	SR	RF	RF	RF	RM	RM	RM	SR
Desarrollo del producto	RF	RF	RM	RM	RF	RF	RF	RM	RD	RF	RF
Respuesta rápida	RF	RM	RM	RF	RF	RF	RM	RF	RD	RM	RM
Estabilidad del proveedor	RF	RF	RM	RF	RF	RF	RF	RM	RM	RF	RM
Relación a largo plazo	RD	RM	RM	RM	RF	RM	RF	RM	RM	RM	RF
Relación colaborativa con la empresa	RD	RM	RM	RM	RF	RM	RF	RM	RF	RF	RF

Tabla 4.9 Juicio lingüístico del grado de relación entre requerimientos y criterios. Tomador de decisiones 3

TD ₃	Criterios para la selección de proveedores										
Requerimientos	Instalaciones de producción y capacidad	Cumplimiento a acuerdos y procedimientos	Gestión y organización empresarial	Ubicación geográfica	Servicio al cliente	Precio	Calidad	Entrega	Red de distribución	Capacidad técnica	Políticas de garantía y reclamaciones
Calidad	RF	SR	SR	SR	RF	RF	RF	RF	SR	RF	SR
Costo	RF	SR	SR	RF	RF	RF	RF	RF	SR	RF	SR
Confiabilidad de entrega	RM	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RF	SR
Capacidad tecnológica para el desarrollo de productos y procesos	SR	RF	RF	SR	SR	RF	RF	SR	SR	RF	SR
Flexibilidad	RF	SR	RF	RF	RF	RF	RD	RF	SR	RF	SR
Tecnologías de la información	RM	RM	RM	RF	RD	RF	RM	RM	SR	SR	SR
Innovación	RF	SR	RF	SR	SR	RF	SR	SR	SR	SR	SR
Desarrollo del producto	RF	SR	RF	SR	SR	RF	RD	SR	SR	SR	SR
Respuesta rápida	RM	SR	RF	RF	RF	RF	SR	RF	SR	SR	SR
Estabilidad del proveedor	SR	SR	SR	SR	SR	RF	SR	RF	SR	SR	RF
Relación a largo plazo	SR	SR	RF	SR	SR	RF	SR	RF	SR	SR	RF
Relación colaborativa con la empresa	SR	SR	RF	RF	RF	RF	SR	RF	SR	SR	RF

En la siguiente acción cada tomador de decisiones juzgó el grado de relación existente entre un criterio y un requerimiento en específico. El grado de relación se calificó con los términos lingüísticos mostrados en la **Tabla 4.6**.

Por ejemplo, en la **Tabla 4.7**, el TD₁ juzgo que el grado de relación existente entre el *requerimiento calidad* y el *criterio instalaciones de producción y capacidad* representa un grado de relación media (RM). Ahora bien, este mismo TD juzgo que el grado de relación existente entre el *requerimiento calidad* y el *criterio cumplimiento a acuerdos y procedimientos* representa un grado de relación fuerte (RF). Así que avanzando en el razonamiento este TD tuvo que juzgar el grado de relación entre cada uno de los requerimientos y cada uno de los criterios (**Tabla 4.7**).

De igual manera los TD₂ y TD₃ realizaron la misma relación de juicio entre cada requerimiento y cada criterio (**Tabla 4.8** y **Tabla 4.9**).

Tabla 4.11 Resultados de \tilde{u}_{ij} , \tilde{w}_j , y w_{cj}

\tilde{u}_{ij}	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Wri
R1	(3.67, 7.00, 7.67)	(2.00, 3.33, 4.00)	(2.00, 4.00, 4.67)	(0.00, 0.00, 0.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(1.67, 3.00, 3.00)	(3.67, 7.00, 7.67)	(1.67, 3.00, 3.00)	0.10
R2	(2.33, 5.00, 6.33)	(2.00, 4.00, 4.67)	(2.00, 4.00, 4.67)	(3.67, 7.00, 7.67)	(3.67, 6.33, 7.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(3.67, 7.00, 7.67)	(2.00, 4.00, 4.67)	(3.33, 6.00, 6.00)	(0.33, 0.33, 1.00)	0.07
R3	(2.33, 5.00, 6.33)	(3.67, 7.00, 7.67)	(3.67, 7.00, 7.67)	(3.67, 7.00, 7.67)	(3.67, 7.00, 7.67)	(3.33, 6.00, 6.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(2.33, 4.33, 5.67)	(3.33, 6.00, 6.00)	0.09
R4	(3.33, 6.00, 6.00)	(3.67, 6.33, 7.00)	(3.67, 6.33, 7.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.67, 3.00, 3.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(3.67, 7.00, 7.67)	(0.67, 1.33, 2.67)	(2.00, 4.00, 4.67)	(5.00, 9.00, 9.00)	(0.33, 0.33, 1.00)	0.08
R5	(2.33, 4.33, 5.67)	(0.67, 2.00, 3.33)	(3.67, 6.33, 7.00)	(3.33, 6.00, 6.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(3.67, 6.33, 7.00)	(1.00, 2.33, 4.33)	(5.00, 9.00, 9.00)	(2.00, 4.00, 4.67)	(2.33, 5.00, 6.33)	(3.33, 6.00, 6.00)	0.09
R6	(2.33, 5.00, 6.33)	(1.00, 2.33, 4.33)	(2.33, 4.33, 5.67)	(1.67, 3.00, 3.00)	(2.00, 3.33, 4.00)	(3.67, 7.00, 7.67)	(1.00, 2.33, 4.33)	(1.00, 2.33, 4.33)	(3.33, 6.00, 6.00)	(0.67, 1.33, 2.67)	(0.67, 2.00, 3.33)	0.06
R7	(2.33, 3.67, 5.00)	(0.67, 1.33, 2.67)	(3.67, 6.33, 7.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(2.00, 3.33, 4.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(2.00, 3.33, 4.00)	(0.33, 1.00, 1.67)	(2.00, 4.00, 4.67)	(2.00, 4.00, 4.67)	(0.33, 0.33, 1.00)	0.06
R8	(3.33, 6.00, 6.00)	(1.67, 3.00, 3.00)	(3.67, 7.00, 7.67)	(0.33, 1.00, 1.67)	(1.67, 3.00, 3.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(2.33, 4.33, 5.67)	(0.33, 1.00, 1.67)	(0.33, 0.33, 1.00)	(3.33, 6.00, 6.00)	(1.67, 3.00, 3.00)	0.08
R9	(3.67, 7.00, 7.67)	(0.67, 2.00, 3.33)	(3.67, 7.00, 7.67)	(3.67, 7.00, 7.67)	(5.00, 9.00, 9.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	(0.67, 1.33, 2.67)	(5.00, 9.00, 9.00)	(2.00, 3.33, 4.00)	(0.67, 1.33, 2.67)	(2.00, 4.00, 4.67)	0.10
R10	(2.00, 3.33, 4.00)	(3.33, 6.00, 6.00)	(2.00, 4.00, 4.67)	(1.67, 3.00, 3.00)	(3.33, 6.00, 6.00)	(3.67, 6.33, 7.00)	(1.67, 3.00, 3.00)	(3.67, 7.00, 7.67)	(2.00, 4.00, 4.67)	(3.33, 6.00, 6.00)	(3.67, 7.00, 7.67)	0.09
R11	(0.67, 0.67, 2.00)	(2.00, 4.00, 4.67)	(3.67, 7.00, 7.67)	(0.67, 1.33, 2.67)	(3.33, 6.00, 6.00)	(2.33, 5.00, 6.33)	(1.67, 3.00, 3.00)	(3.67, 7.00, 7.67)	(2.00, 4.00, 4.67)	(2.00, 4.00, 4.67)	(5.00, 9.00, 9.00)	0.09
R12	(0.67, 0.67, 2.00)	(2.00, 4.00, 4.67)	(3.67, 7.00, 7.67)	(2.00, 4.00, 4.67)	(5.00, 9.00, 9.00)	(2.33, 4.33, 5.67)	(1.67, 3.00, 3.00)	(3.67, 7.00, 7.67)	(3.33, 6.00, 6.00)	(3.33, 6.00, 6.00)	(5.00, 9.00, 9.00)	0.09
\tilde{w}_j	(2.87, 5.3, 6.42)	(1.62, 3.14, 3.83)	(3.52, 6.57, 7.39)	(1.58, 3, 3.35)	(3.87, 6.92, 7.17)	(3.06, 5.55, 5.84)	(1.92, 3.54, 4.04)	(2.82, 5.3, 5.86)	(2.73, 5.1, 5.63)	(2.99, 5.61, 6.3)	(2.42, 4.42, 4.83)	
w_j	4.97	2.93	6.01	2.73	6.22	5.00	3.26	4.82	4.64	5.13	4.02	
w_{cj}	0.10	0.06	0.12	0.05	0.13	0.10	0.07	0.10	0.09	0.10	0.08	

R1 Calidad, **R2** Costo, **R3** Confiabilidad de entrega, **R4** Capacidad tecnológica para el desarrollo de productos y procesos, **R5** Flexibilidad, **R6** Tecnologías de la información, **R7** Innovación, **R8** Desarrollo del producto, **R9** Respuesta rápida, **R10** Estabilidad del proveedor, **R11** Relación a largo plazo, **R12** Relación colaborativa con la empresa.

C1 Instalaciones de producción y capacidad, **C2** Cumplimiento a acuerdos y procedimientos, **C3** Gestión y organización empresarial, **C4** Ubicación geográfica, **C5** Servicio al cliente, **C6** Precio, **C7** Calidad, **C8** Entrega, **C9** Red de distribución, **C10** Capacidad técnica, **C11** Políticas de garantía y reclamaciones.

Una vez dado el juicio de los tomadores de decisiones en términos lingüísticos, éstos se tuvieron que transformar en números difusos triangulares (**Tabla 4.10**).

$$\tilde{u}_{ij} = \sum_{d=1}^t \tilde{u}_{ij}^d / t \quad (4.5)$$

Y para poder calcular la relación existente entre el requisito i y el criterio j representada por \tilde{u}_{ij} y que es igual a la sumatoria del juicio de los tomadores de decisiones dividida entre el número total de tomadores de decisiones t se utilizó (4.5).

$$\tilde{w}_j = \sum_{i=1}^n \tilde{u}_{ij} \times wr_i \quad (4.6)$$

Después se calculó el peso absoluto del criterio j (\tilde{w}_j) con (4.6), cuya igualdad representa la suma del producto de la relación \tilde{u}_{ij} con el valor del peso relativo del requerimiento i (wr_i).

$$w_j = (l_{\tilde{w}_j} + 2 * m_{\tilde{w}_j} + u_{\tilde{w}_j}) \quad (4.7)$$

Una vez que se obtuvo el valor del peso absoluto del criterio j (\tilde{w}_j), el cual da como resultado números difusos triangulares, éstos se convirtieron, empleando (4.7), con el fin de producir un resultado cuantificable w_j .

$$wc_j = w_j / \sum_{j=1}^m w_j \quad (4.8)$$

Consideremos ahora que se convirtió al resultado cuantificable w_j en un peso relativo wc_j con (4.8).

Los resultados de la relación entre el requisito i y el criterio j (\tilde{u}_{ij}), peso absoluto del criterio j \tilde{w}_j , y peso relativo (wc_j) se muestran en la **Tabla 4.11**.

En el tercer y cuarto pasos de esta técnica difusa, no fue necesario que los tomadores de decisiones buscaran y recopilaran información acerca de los proveedores potenciales. Por lo tanto, la autora de este trabajo lo realizó. Además de que el resultado que buscan los tomadores de decisiones es obtener un proveedor o proveedores confiables que garanticen el suministro de las cajas de cartón.

Tabla 4.12 Términos lingüísticos para la evaluación de disponibilidad de información y recursos requeridos

Términos lingüísticos	Etiqueta	Número difuso triangular
Muy Poca	MP	(1.00, 1.00, 2.00)
Poca	P	(1.00, 2.00, 3.00)
Justa	J	(2.00, 3.00, 4.00)
Mucha	M	(3.00, 4.00, 5.00)
En exceso	EE	(4.00, 5.00, 5.00)

Tabla 4.13 Evaluación de disponibilidad de información y recursos requeridos

Criterios	Disponibilidad de información	Recursos y tiempo utilizados	Recursos adicionales
C1	MP	J	J
C2	MP	M	M
C3	MP	J	J
C4	M	P	P
C5	P	J	P
C6	M	P	J
C7	M	P	J
C8	M	P	J
C9	M	J	J
C10	MP	M	M
C11	MP	M	J

C1 Instalaciones de producción y capacidad, **C2** Cumplimiento a acuerdos y procedimientos, **C3** Gestión y organización empresarial, **C4** Ubicación geográfica, **C5** Servicio al cliente, **C6** Precio, **C7** Calidad, **C8** Entrega, **C9** Red de distribución, **C10** Capacidad técnica, **C11** Políticas de garantía y reclamaciones.

Avanzando en el desarrollo de la técnica difusa, como tercer paso se evaluó la dificultad de la recolección de datos con respecto a tres dimensiones. La primera, disponibilidad de información de cada uno de los criterios (\tilde{t}_j); la segunda, los recursos humanos y tiempo requerido para la evaluación de los criterios (\tilde{ht}_j) y finalmente la tercera, los recursos adicionales requeridos para procesar esta información (\tilde{r}_j).

La finalidad de esta evaluación fue la de averiguar el desempeño de los proveedores potenciales con respecto a cada uno de los criterios enlistados en la **Tabla 4.2**. Esta evaluación realizada por la autora de este trabajo se muestra en la **Tabla 4.13**.

La **Tabla 4.12** muestra los términos lingüísticos y los números difusos triangulares que se utilizaron para la evaluación.

$$\tilde{df}_j = \frac{\tilde{ht}_j \times \tilde{r}_j}{2 \times \tilde{t}_j} \quad (4.9)$$

Luego fue necesario estimar el grado de dificultad para la recolección de datos \tilde{df}_j con (4.9). La estimación se muestra en la **Tabla 4.14**.

Sean $\tilde{A} = (l_1, m_1, u_1)$ y $\tilde{B} = (l_2, m_2, u_2)$ dos números difusos triangulares.

$$\tilde{A} \times \tilde{B} = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (4.10)$$

$$\tilde{A} \div \tilde{B} = (l_1 \times u_2, m_1 \times m_2, u_1 \times l_2) \quad (4.11)$$

$$k = \text{constante} \quad k \times \tilde{A} = (k \times l_1, k \times m_1, k \times u_1) \quad (4.12)$$

Donde la multiplicación y división de números difusos triangulares está dada por (4.10) y (4.11) respectivamente mientras que la multiplicación de un número difuso triangular por una constante, a su vez, está dada por (4.12).

Tabla 4.14 Estimación del grado de dificultad para obtener información

Crterios	Disponibilidad de información \tilde{t}_j	Recursos y tiempo utilizados \tilde{ht}_j	Recursos adicionales \tilde{r}_j	$\tilde{ht}_j * \tilde{r}_j$	$2 * \tilde{t}_j$	\tilde{df}_j	df_j
C1	(1.00, 1.00, 2.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(4.00, 9.00, 16.00)	(2.00, 2.00, 4.00)	(1.00, 4.50, 8.00)	4.50
C2	(1.00, 1.00, 2.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(9.00, 16.00, 25.00)	(2.00, 2.00, 4.00)	(2.25, 8.00, 12.50)	7.69
C3	(1.00, 1.00, 2.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(4.00, 9.00, 16.00)	(2.00, 2.00, 4.00)	(1.00, 4.50, 8.00)	4.50
C4	(3.00, 4.00, 5.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00, 4.00, 9.00)	(6.00, 8.00, 10.00)	(0.10, 0.50, 1.50)	0.65
C5	(1.00, 2.00, 3.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(2.00, 6.00, 12.00)	(2.00, 4.00, 6.00)	(0.50, 1.50, 6.00)	2.38
C6	(3.00, 4.00, 5.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(3.00, 6.00, 12.00)	(6.00, 8.00, 10.00)	(0.30, 0.75, 2.00)	0.95
C7	(3.00, 4.00, 5.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.00, 6.00, 12.00)	(6.00, 8.00, 10.00)	(0.20, 0.75, 2.00)	0.93
C8	(3.00, 4.00, 5.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.00, 6.00, 12.00)	(6.00, 8.00, 10.00)	(0.20, 0.75, 2.00)	0.93
C9	(3.00, 4.00, 5.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(4.00, 9.00, 16.00)	(6.00, 8.00, 10.00)	(0.40, 1.13, 2.67)	1.33
C10	(1.00, 1.00, 2.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(9.00, 16.00, 25.00)	(2.00, 2.00, 4.00)	(2.25, 8.00, 12.5)	7.69
C11	(1.00, 1.00, 2.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(6.00, 12.00, 16.00)	(2.00, 2.00, 4.00)	(1.50, 6.00, 8.00)	5.38

C1 Instalaciones de producción y capacidad, **C2** Cumplimiento a acuerdos y procedimientos, **C3** Gestión y organización empresarial, **C4** Ubicación geográfica, **C5** Servicio al cliente, **C6** Precio, **C7** Calidad, **C8** Entrega, **C9** Red de distribución, **C10** Capacidad técnica, **C11** Políticas de garantía y reclamaciones.

$$df_j = (l_{\widetilde{df}_j} + 2 \times m_{\widetilde{df}_j} + u_{\widetilde{df}_j}) / 4 \quad (4.13)$$

Después para la transformación de \widetilde{df}_j a un resultado cuantificable df_j se utilizó (4.13). Los resultados se pueden ver en la **Tabla 4.14**.

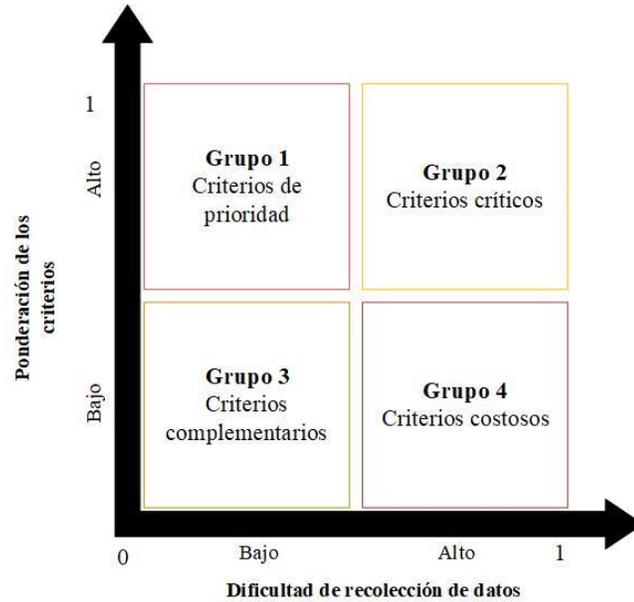


Figura 4.3 Grafica de clasificación de criterios (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a)

Los autores Lima-Junior y Carpinetti (2016a), proponen una cuadrícula bidimensional (**Figura 4.3**) para para clasificar y establecer criterios para la selección de proveedores en cuatro grupos de criterios: el primer grupo, *criterios de prioridad*, que se relacionan con los requerimientos prioritarios y, por lo tanto, contribuyen a su cumplimiento. Además, se prefieren ya que presentan una dificultad baja para la recolección de datos para su evaluación. El segundo grupo, *criterios críticos*, también relacionados con los requisitos y que también deberán considerarse en el proceso de selección de proveedores. El tercer grupo, *criterios complementarios*, que pueden o no incluirse en el proceso de selección de proveedores. Y finalmente el cuarto grupo, *criterios costosos*, que no deben seleccionarse ya que son los menos importantes y requieren un esfuerzo alto para la recopilación de datos (Lima-Junior y Carpinetti, 2016a).

Con respecto al cuarto paso y para finalizar esta técnica difusa DFC fue necesario realizar la clasificación y el establecimiento de los criterios para la selección de proveedores a través de los valores cuantificables de wc_j y los valores cuantificables de df_j .

$$\text{max} = \text{el valor más grande} \quad W_j = wc_j / \max(wc_j) \quad (4.14)$$

$$D_j = df_j / \max(df_j) \quad (4.15)$$

Para realizar la clasificación de los criterios en la cuadrícula bidimensional presentada por los autores (**Figura 4.3**) se tuvieron que normalizar los valores wc_j y df_j con (4.14) y (4.15).

Tabla 4.15 Valores wc_j y df_j normalizados

Criterio	W_j	D_j
C1	0.80	0.59
C2	0.47	1.00
C3	0.97	0.59
C4	0.44	0.08
C5	1.00	0.31
C6	0.80	0.12
C7	0.52	0.12
C8	0.77	0.12
C9	0.75	0.17
C10	0.82	1.00
C11	0.65	0.70

C1 Instalaciones de producción y capacidad, **C2** Cumplimiento a acuerdos y procedimientos, **C3** Gestión y organización empresarial, **C4** Ubicación geográfica, **C5** Servicio al cliente, **C6** Precio, **C7** Calidad, **C8** Entrega, **C9** Red de distribución, **C10** Capacidad técnica, **C11** Políticas de garantía y reclamaciones.

Una vez realizada la normalización de los valores wc_j y df_j asumieron valores en un intervalo de [0 a 1]. Los valores de la normalización se muestran en la **Tabla 4.15**.

Tabla 4.16 Valores W_j y D_j normalizados y resultados de la clasificación

Criterio	W_j	Clasificación según W_j	D_j	Clasificación según D_j	W_j	D_j	Clasificación de C_j
C1	0.80	4	0.59	8	A	A	Criterio crítico
C2	0.47	10	1.00	10	B	A	Criterio costoso
C3	0.97	2	0.59	7	A	A	Criterio crítico
C4	0.44	11	0.08	1	B	B	Criterio complementario
C5	1.00	1	0.31	6	A	B	Criterio de prioridad
C6	0.80	5	0.12	2	A	B	Criterio de prioridad
C7	0.52	9	0.12	3	A	B	Criterio de prioridad
C8	0.77	6	0.12	4	A	B	Criterio de prioridad
C9	0.75	7	0.17	5	A	B	Criterio de prioridad
C10	0.82	3	1.00	11	A	A	Criterio crítico
C11	0.65	8	0.70	9	A	A	Criterio crítico

C1 Instalaciones de producción y capacidad, **C2** Cumplimiento a acuerdos y procedimientos, **C3** Gestión y organización empresarial, **C4** Ubicación geográfica, **C5** Servicio al cliente, **C6** Precio, **C7** Calidad, **C8** Entrega, **C9** Red de distribución, **C10** Capacidad técnica, **C11** Políticas de garantía y reclamaciones.

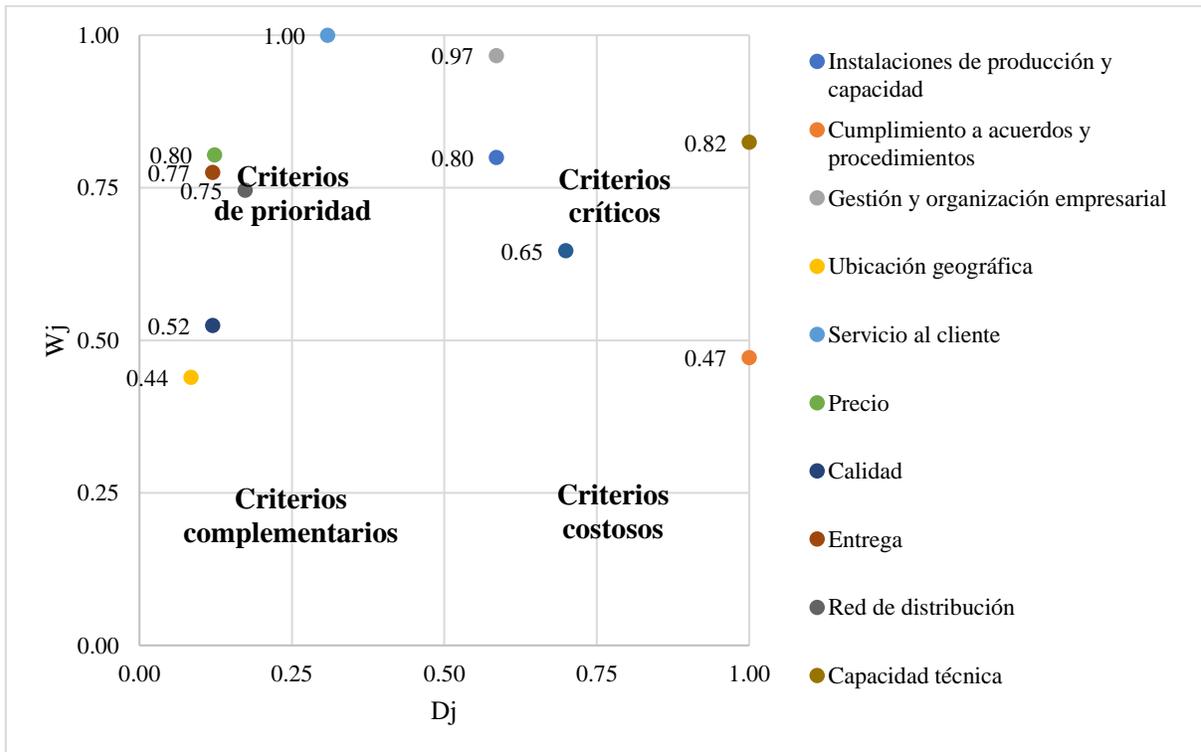


Figura 4.4 Grafica de clasificación de criterios

Los autores Lima-Junior y Carpinetti, (2016a) establecen que los criterios con valores menores a 0.5 se clasifiquen como bajos (B) mientras que los valores mayores a 0.5 se clasifiquen como altos (A) (**Tabla 4.16**) y como se observa la **Figura 4.4**, los criterios se clasificaron según el grupo al que correspondían.

- Criterios de prioridad: Servicio al cliente, precio, calidad, entrega y red de distribución.
- Criterios críticos: Instalaciones de producción y capacidad, gestión y organización empresarial, capacidad técnica y políticas de garantía y reclamaciones.
- Criterios complementarios: Ubicación geográfica.
- Criterios costosos: Cumplimiento a acuerdos y procedimientos.

Según los autores Lima-Junior y Carpinetti, (2016a) recomiendan que los criterios del grupo cuatro, criterios costosos, no se tomen en cuenta ya que son los menos importantes y requieren un esfuerzo alto para la recopilación de datos y de donde resulta que los criterios para la selección de proveedores de cajas de cartón serán aquellos que se clasificaron como criterios de prioridad, críticos y complementarios.

4.4 Búsqueda e identificación de futuros proveedores potenciales

Cuando una empresa busca socios estratégicos requiere el desarrollo de una relación mutua y continua que implique el compromiso durante un periodo de tiempo largo, además de un constante intercambio de información, así como la aceptación de los riesgos y beneficios de la relación. La efectividad de la misma requiere que el proveedor entienda los requerimientos del comprador y además de que esté dispuesto a que en el futuro los dos se dirijan hacia una misma dirección (Ellram, 1990).

Ya que la empresa bajo estudio no tenía un proveedor que garantizará el suministro de las cajas de cartón y para la identificación de futuros proveedores potenciales, esta se llevó a través de la búsqueda *on line* de proveedores de cajas de cartón. En efecto, antes de realizar la búsqueda de futuros proveedores potenciales, se tuvieron en claro las características y especificaciones de los productos requeridos, además de las cantidades estimadas de compra de cada tipo de caja.

La búsqueda *on line* de proveedores permitió aprovechar las ventajas que nos brinda la tecnología y gracias a motores de búsqueda se encontraron múltiples empresas suministradoras de cajas de cartón. Dado que estas empresas comparten toda la información de sus productos y

servicios a través de páginas web y plataformas específicas de búsqueda, fue relativamente fácil tener un primer acercamiento con ellas y obtener una forma de contacto directo para la solicitud de información.

El listado final de futuros proveedores potenciales contempló sólo a 7 de un total de 15. Se tuvieron que descartar a aquellos que no podían suministrar las cajas de cartón de acuerdo con las características, especificaciones y volúmenes de compra establecidos por la empresa.

Una vez que se identificó a los 7 proveedores candidatos se solicitó la cotización de cada tipo de caja. La información se solicitó a través de correo electrónico (**Anexo C**).

Posteriormente se formuló un cuestionario de siete preguntas cuyo objetivo fue conocer y evaluar información relacionada con los criterios para la selección de proveedores establecidos en la sección 4.3 de este trabajo (**Anexo D**). Se debe de subrayar que una de las preguntas estaba orientada a la solicitud de cajas muestra para evaluar la calidad y resistencia ofrecida. Este cuestionario se le hizo llegar a estos 7 proveedores a través de correo electrónico.

Tabla 4.17 Propuesta de escala para la calificación de los criterios para la selección de proveedores

Criterio	Escala	Calificación	
Instalaciones de producción y capacidad	Microempresa	Hasta 10 trabajadores	50%
	Pequeña empresa	De 11 a 30 trabajadores	90%
	Mediana empresa	De 31 a 100 trabajadores	100%
Gestión y organización empresarial	Capacitación a empleados	Más de 1 vez al año	30%
	Programas de seguridad y salud	Más de 1 vez al año	30%
	Afiliación al IMSS		30%
	Gestión empresarial		10%
Ubicación geográfica	Distancia en km.		
Servicio al cliente	Envío de caja muestra, entregas parciales, disposición para compartir información		100%
	Servicio entregas parciales y disposición para compartir información		80%
	Disposición para compartir información		10%
Precio	En pesos		
Calidad	Resistencia de la caja	Aseguramiento de la resistencia	10%
		Prueba en planta	90%
Entrega	1 - 3 días		100%
	4 - 6 días		90%
	7 - 8 días		80%
	8 >		70%
Red de distribución	Sin gestión de transporte y con red de distribución propia		100%
	Sin gestión de transporte y red de distribución en colaboración		90%
	Gestión del transporte		80%
Capacidad técnica	Número de piezas producidas por periodo		
Políticas de garantía y reclamaciones	Cambio de piezas defectuosas en los primeros 14 días		40%
	Cambio de piezas defectuosas en los primeros 7 días		80%
	Cambio de piezas defectuosas en los primeros 4 días		90%
	Política de desistimiento y reembolso (si el cliente devuelve el producto en condiciones que pacta con el proveedor)		100%

4.5 Procesamiento de la información obtenida de los cuestionarios dirigidos a los futuros proveedores potenciales

Por lo que se refiere al procesamiento de la información obtenida de los cuestionarios, se creó una escala propuesta para poder calificar homogéneamente a cada proveedor en cada criterio.

La propuesta de escala de calificación para cada criterio se muestra en la **Tabla 4.17**, tal y como se observa en esta tabla, se consideraron dos tipos de escala, una escala acumulativa donde la suma es igual al 100%. Los criterios que se calificaron con esta escala acumulativa son: *gestión y organización empresarial y calidad*. Y, por otra parte, una escala donde se le asigna cierto porcentaje de calificación según a lo que pueda cumplir el proveedor candidato. Los criterios que se califican con esta escala son: *instalaciones de producción y capacidad, servicio al cliente, entrega, red de distribución y políticas de garantía y reclamaciones*. Ahora bien, el criterio *ubicación geográfica* se califica según la distancia en km. entre la empresa y el proveedor, mientras que el criterio *capacidad técnica* califica al proveedor según el número de piezas producidas por periodo.

4.6 Calificación de criterios de futuros proveedores

Tabla 4.18 Calificación de cada proveedor en cada criterio

Criterio		Descripción		Calificación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Instalaciones de producción y capacidad	Microempresa	Hasta 10 trabajadores		50%						50%	
	Pequeña empresa	De 11 a 30 trabajadores		90%	90%		90%	90%	90%		90%
	Mediana empresa	De 31 a 100 trabajadores		100%		100%					
	Total					90%	100%	90%	90%	90%	50%
Gestión y organización empresarial	Capacitación a empleados	1 - 4 Veces al año		30%	30%		30%	0%	30%		30%
	Programas de seguridad y salud	1 - 4 Veces al año		30%			30%	0%	30%		30%
	Afiliación al IMSS			30%	30%	30%	30%	0%	30%		30%
	Gestión empresarial			10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
	Total					100%	40%	100%	10%	100%	10%
Ubicación geográfica	Distancia en kilómetros				87.5	69.9	83	96.9	84.8	92	59.5
Servicio al cliente	Envío de caja muestra, entregas parciales, disposición para compartir información			100%	100%						
	Servicio entregas parciales y disposición para compartir información			80%		80%			80%	80%	80%
	Disposición para compartir información			10%		10%					
	Total					100%	80%	10%	10%	80%	80%
Precio	Pesos				31.49	18.93	26.78	32	22.52	24.77	17.9
Calidad	Resistencia de la caja		Aseguramiento de la resistencia	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
			Prueba en planta	90%	90%						
	Total					100%	10%	10%	10%	10%	10%

Entrega	1 - 3 días	100%									
	4 - 6 días	90%									
	7 - 8 días	80%									
	8 >	70%									
Total											
Red de distribución	Sin gestión de transporte y con red de distribución propia	100%									
	Sin gestión de transporte y red de distribución en colaboración	90%									
	Gestión del transporte	80%									
Total											
Capacidad técnica	Piezas producidas por periodo										
Políticas de garantía y reclamaciones	Cambio de piezas defectuosas en los primeros 14 días	40%									
	Cambio de piezas defectuosas en los primeros 7 días	80%									
	Cambio de piezas defectuosas en los primeros 4 días	90%									
	Política de desistimiento y reembolso (si el cliente devuelve el producto en condiciones que pacta con el proveedor)	100%									
Total											
			70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
			70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
			80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
			80%	100%							
			150000	300000	150000	250000	80000	30000	650000		
			80%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
			80%	40%							

En la **Tabla 4.18** se muestra la calificación obtenida por cada proveedor en cada criterio de acuerdo con la información recibida.

Tabla 4.19 Escalación de los valores de las calificaciones de los criterios para la selección de proveedores

Tipo de criterio	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+
Proveedor	Instalaciones de producción y capacidad (%)	Gestión y organización empresarial (%)	Ubicación geográfica (Km)	Servicio al cliente (%)	Precio (\$)	Calidad (%)	Entrega (%)	Red de distribución (%)	Capacidad técnica (Pzs)	Políticas de garantía y reclamaciones (%)
P1	0.90	1.00	0.68	1.00	0.57	1.00	0.70	0.80	0.23	0.80
P2	1.00	0.40	0.85	0.80	0.95	0.10	0.70	1.00	0.46	0.40
P3	0.90	1.00	0.72	0.10	0.67	0.10	0.70	1.00	0.23	0.40
P4	0.90	0.10	0.61	0.10	0.56	0.10	0.70	1.00	0.38	0.40
P5	0.90	1.00	0.70	0.80	0.79	0.10	0.70	1.00	0.12	0.40
P6	0.50	0.10	0.65	0.80	0.72	0.10	0.70	1.00	0.05	0.40
P7	0.90	1.00	1.00	0.80	1.00	0.10	0.70	1.00	1.00	0.40

4.7 Escalación de los valores de cada criterio establecido para la selección de proveedores de cajas de cartón

Los criterios de selección de proveedores de cajas de cartón se midieron en diferentes unidades. Por ejemplo, el criterio capacidad técnica se calificó de acuerdo con el número de piezas producidas por periodo, un valor muy grande, mientras que el criterio ubicación geográfica se calificó con el valor de la distancia entre el cliente y el proveedor, un valor muy pequeño, de ahí que, si los valores no se escalan correctamente, los criterios de mayor magnitud dominarán la selección final.

Para escalar los valores de los criterios para la selección de proveedores se utilizó el método del valor ideal presentado en la sección 2.5.1.

Primeramente, se identificaron dos grupos de criterios para la selección de proveedores. El primer grupo contiene a los criterios donde una mayor calificación es mejor y el segundo grupo donde una menor calificación es mejor. Por otra parte, cuidadosamente se eligieron aquellos criterios que cumplirían la función de entradas y salidas para nuestro análisis envolvente de datos.

Posteriormente con el desarrollo de (2.1) y de (2.2) se obtuvo el escalamiento de cada uno de los valores de las calificaciones de los criterios para la selección de proveedores. Este resultado se muestra en la **Tabla 4.19**.

4.8 Análisis envolvente de datos para la selección de proveedores de cajas de cartón

A través del modelo AED-CCR orientado a las salidas propuesto por Charnes, *et al.*, (1978), se calculó la eficiencia de los proveedores que participaron en el proceso de selección de proveedores de cajas de cartón. Este modelo permitió que, dado el nivel de las entradas, se buscará el máximo incremento proporcional de las salidas.

Para efectos de este trabajo, una UTD fue cada posible proveedor potencial de cajas de cartón. Ninguno de ellos ha dado servicio a la empresa. El conjunto de proveedores presenta un alto grado de homogeneidad en su estructura empresarial y el interés del desarrollo del AED fue medir su rendimiento con base en los criterios establecidos en la sección 4.3.

Tabla 4.20 Cantidad de entrada *i* consumida por proveedor *j*

UTD	Cantidad de entrada <i>i</i> consumida por proveedor <i>j</i>						
<i>j</i>	X_{ij}						
Proveedor	Instalaciones de producción y capacidad (%)	Gestión y organización empresarial (%)	Ubicación geográfica (Km)	Precio (\$)	Entrega (%)	Red de distribución (%)	Capacidad técnica (Pzs)
P1	0.90	1.00	0.68	0.57	0.70	0.80	0.23
P2	1.00	0.40	0.85	0.95	0.70	1.00	0.46
P3	0.90	1.00	0.72	0.67	0.70	1.00	0.23
P4	0.90	0.10	0.61	0.56	0.70	1.00	0.38
P5	0.90	1.00	0.70	0.79	0.70	1.00	0.12
P6	0.50	0.10	0.65	0.72	0.70	1.00	0.05
P7	0.90	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00

Tabla 4.21 Cantidad de salida r producida por proveedor j

UTD	Cantidad de salida r producida por proveedor j		
j	Y _{rj}		
Proveedor	Servicio al cliente (%)	Calidad (%)	Políticas de garantía y reclamaciones (%)
P1	1	1.00	0.80
P2	0.80	0.10	0.40
P3	0.10	0.10	0.40
P4	0.10	0.10	0.40
P5	0.80	0.10	0.40
P6	0.80	0.10	0.40
P7	0.80	0.10	0.40

Una de las particularidades para poder construir el modelo del AED es elegir criterios de entrada y criterios de salida. Las *instalaciones de producción y capacidad, la gestión y organización empresarial, la ubicación geográfica, el precio, la entrega, la red de distribución y la capacidad técnica* se tomaron como criterios de entrada ya que representan los recursos que el proveedor utilizo para producir los beneficios que adquiere el comprador (**Tabla 4.20**). Ahora bien, los criterios de salida o los beneficios que obtiene el comprador fueron *el servicio al cliente, la calidad y las políticas de garantía y reclamaciones* (**Tabla 4.21**).

Como se puede observar en la **Tabla 4.20** cada una de las celdas contiene la cantidad de entrada *i* consumida por el proveedor *j*, de igual manera las celdas de la **Tabla 4.21** contienen la cantidad de salida *r* producida por el proveedor *j*.

Una vez que se identificaron las entradas y las salidas del modelo. El modelo AED-CCR orientado a las salidas escrito en su forma multiplicativa y estándar para la selección de proveedores de cajas de cartón para este trabajo se muestra a continuación.

Modelo AED-CCR orientado a las salidas para la selección de proveedores de cajas de cartón.

VARIABLES DE DECISIÓN:

u_r = Ponderación de la salida.

v_i = Ponderación de la entrada.

TE = Eficiencia

ÍNDICES:

$i = (1, \dots, 7)$ Entradas.

$j = (1, \dots, 3)$ Proveedores.

$r = (1, \dots, 3)$ Salidas.

PARÁMETROS:

x_{ij} = Cantidad de la entrada i consumidas por la UTD j .

y_{rj} = Cantidad de la salida r producida por la UTD j .

x_{i0} = Cantidad de la entrada i consumida por la UTD que está siendo evaluada.

y_{r0} = Cantidad de la salida r producida por la UTD que está siendo evaluada.

Función Objetivo:

$$\text{MaxTE} = \sum_{r=1}^3 u_r * y_{r0}$$

Restricciones:

$$\sum_{r=1}^3 u_r * y_{rj} \leq \sum_{i=1}^7 v_i * x_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, 7$$

$$\sum_{i=1}^7 v_i * x_{i0} = 1$$

$$u_r \geq 0$$

$$v_i \geq 0$$

Tabla 4.22 Valor de eficiencia y ponderaciones u_r y v_i de cada proveedor

Proveedor	u1	u2	u3	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	Eficiencia
P1	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.063	0.000	1.111	1.000
P2	1.154	0.000	0.000	0.000	0.256	0.000	0.000	1.282	0.000	0.000	0.923
P3	0.000	0.000	1.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.516	0.000	2.778	0.500
P4	0.000	0.000	2.500	0.000	1.111	0.000	0.000	1.270	0.000	0.000	1.000
P5	1.139	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.212	0.000	1.266	0.911
P6	1.250	0.000	0.000	0.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.550	20.000	1.000
P7	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.429	0.000	0.000	0.800

Una vez que se realizaron las corridas de cada uno de los modelos AED-CCR orientado a las salidas para cada uno de los posibles proveedores, se obtuvo el valor de la eficiencia para cada uno de éstos. Los valores de la eficiencia obtenidos por cada uno de los posibles proveedores se presentan en la **Tabla 4.22**.

Para la solución del modelo AED – CCR orientado a las salidas, se realizó la implementación y solución utilizando el software GAMS 25.1 y se empleó una computadora con procesador AMD Ryzen 5 y 12 Gb en RAM, los tiempos de solución observados en general son menores a un segundo. La programación de este modelo se encuentra en el **Anexo E**.

Por lo que se refiere al valor de la eficiencia, los proveedores denominados como eficientes fueron el proveedor 1, el proveedor 4 y el proveedor 6.

Tabla 4.23 Cantidad solicitada de Productos A en cada orden

Producto A	
Número de orden	Cantidad solicitada
1	1
2	1
3	5
4	4
5	8
6	10
7	60
8	121
9	5
10	5
11	4
12	5
13	1
14	5
15	5
16	1
17	5
18	5
19	15
20	40
21	5
22	38
23	16
24	5

25	2
26	30
27	30
28	7
29	10
30	123
31	150
32	100
33	100
34	6
35	6
36	1
37	2
38	2
39	33
40	25
41	6
42	75
43	3
44	3
45	4
46	6
47	3
48	3
49	5
50	36
51	6
52	6
53	1

54	80
55	63
56	29
57	8
58	6
59	150
60	6
61	12
62	15
63	3
64	10
65	227
66	98
67	50
68	10
69	18
70	18
71	18
72	18
73	18
74	12
75	12
76	6
77	1
78	3
79	1
80	6
81	50
Total	2102

4.9 Selección y asignación de volúmenes de compra a proveedores de cajas de cartón

En este trabajo se propuso como solución el uso de programación matemática entera para la selección y asignación de los volúmenes de compra entre los proveedores de empaque denominados como eficientes en la sección 4.7. Se consideró la definición de los volúmenes mínimos de compra de los diferentes tipos de empaque y los precios que cada proveedor ofrece, así como los volúmenes de empaque que demanda cada orden.

De acuerdo con la operación actual y con base en los datos históricos analizados, la demanda de las muestras automotrices que se observa es muy variable, en consecuencia, la demanda de cajas de cartón, directamente dependiente, también lo es, a causa de lo anterior, la demanda se consideró como variable y con la finalidad de estimar los volúmenes de empaque requeridos al año, se simuló a partir de la distribución empírica de las órdenes y sus volúmenes.

Con la información de la demanda simulada, se solucionaron diferentes instancias utilizando el modelo de programación lineal entera para asignación de volúmenes de compra de cajas de cartón a proveedores. Con los resultados obtenidos de diferentes escenarios de demanda de Productos A y Productos B se establece la selección y la cantidad de compra a proveedores por tipo de empaque, garantizando que dicha asignación satisface los volúmenes de empaque requeridos minimizando el costo de la compra total.

4.9.1 Simulación de demanda de Productos A y Productos B

Con respecto a las muestras automotrices, solo se fabrican en la empresa dos tipos de estas, Productos A y Productos B. La diferencia entre productos es la altura de estos, como se puede observar en la **Figura 4.5**.

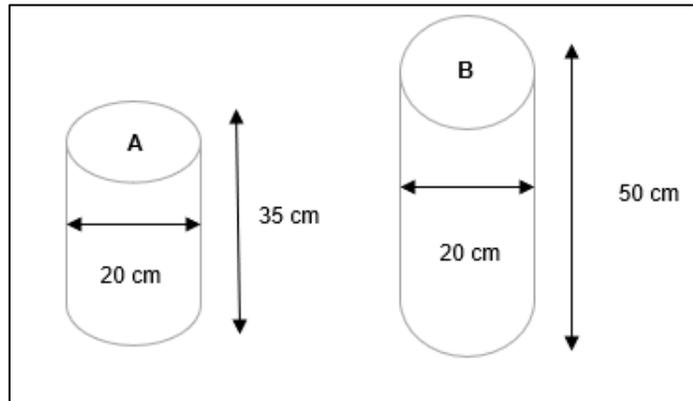


Figura 4.5 Dimensiones de Producto A y Producto B

Se asumió como representativa la información de tres meses de demanda de 2018 de Productos A y Productos B para el cálculo de la posible demanda anual de 2019 productos.

Como se puede observar en la **Tabla 4.23**, la demanda total en tres meses de Productos A es de 2102. Se subraya que esta demanda se encuentra dividida en 81 órdenes de compra, cada una con diferentes cantidades de Productos A solicitados.

Tabla 4.24 Especificaciones caja de cartón 1 y 2

Caja de cartón	Dimensiones	Capacidad
1	20x60x35	3
2	80x60x35	12

El empaque utilizado para proteger los Productos A son las cajas de cartón 1 y 2. Las especificaciones de dimensiones y capacidad de cada una de las cajas se muestra en la **Tabla 4.24**.

Tabla 4.25 Cantidad solicitada de Productos B en cada orden

Producto B	
Número de orden	Cantidad solicitada
1	1
2	8
3	10
4	3
5	10
6	1
7	36
8	5
9	5
10	10
11	1
12	165
13	150
14	120
15	48
16	60
17	60
18	160
19	400
20	15
21	15
22	12
23	150
24	125
25	24
26	440
27	6
28	400
29	6
30	15
31	15
32	500
Total	2976

Con respecto a los Productos B la demanda total en tres meses es de 2976. Se ha de mencionar que esta demanda se encuentra dividida en 32 órdenes de compra, cada una con diferentes cantidades de Productos B solicitados (**Tabla 4.25**).

Tabla 4.26 Especificaciones caja de cartón 3 y 4

Caja de cartón	Dimensiones	Capacidad
3	20x60x50	3
4	80x60x50	12

El empaque utilizado para proteger los Productos B son las cajas de cartón 3 y 4. Las especificaciones de dimensiones y capacidad de cada una de las cajas se muestra en la **Tabla 4.26**.

Los supuestos para simular los diferentes escenarios de demanda de Productos A y B son los siguientes:

1. La información proporcionada de demanda de Productos A y B fue considerada como información representativa de lo que podría ser el posible comportamiento de la demanda en 2019.
2. Un total de 81 órdenes en tres meses demandando diferentes cantidades de Productos A, de donde resulta que en 12 meses se solicitarán 324 órdenes demandando diferentes cantidades de Productos A.
3. Un total de 32 órdenes en tres meses demandando diferentes cantidades de Productos B, de donde resulta que en 12 meses se solicitarán 128 órdenes demandando diferentes cantidades de Productos B.
4. Mediante el uso de la distribución empírica se pronosticó la demanda anual de los Productos A y B.

Cuando es difícil ajustar una distribución de probabilidad se prefiere utilizar una distribución empírica asociada con los datos históricos disponibles, de ahí que, se simularon 30 escenarios de demanda para cada tipo de producto a través de la distribución empírica, los resultados se muestran en el **Anexo F y Anexo G**.

4.9.2 Modelación matemática para la selección y asignación de volúmenes de compra a proveedores de cajas de cartón

Se propone un modelo de programación lineal entera para la selección y asignación de volúmenes de compra de empaque a proveedores. Los supuestos que se consideraron en este trabajo son los siguientes:

Supuesto 1: Se han identificado previamente a los 3 proveedores denominados como eficientes mediante el enfoque de toma de decisiones multicriterio AED.

Supuesto 2: La información disponible de la demanda de los Productos A y B es considerada como información representativa de lo que será el comportamiento de demanda en 2019. Con base en esta información se consideran 324 y 128 órdenes para los Productos A y B para el siguiente año.

Supuesto 3: Los empaques del tipo 1 y 2 solo se pueden utilizar para embalar Productos A y sus capacidades son de 3 y 12 Productos A respectivamente.

Supuesto 4: Los empaques del tipo 3 y 4 solo se pueden utilizar para embalar Productos B y sus capacidades son de 3 y 12 Productos B respectivamente.

La notación usada para el modelado se muestra en la **Tabla 4.27**.

Tabla 4.27 Notación del modelo

Notación	
j	Número de orden.
k	Tipo de empaque.
m	Proveedor.
$DPROD_j$	Demanda de producto en orden j .
Cap_k	Capacidad de empaque tipo k cuando se emplea para embalar producto.
P_{km}	Precio de empaque k comprado a proveedor m .
$OrdMin_{km}$	Orden mínima de venta de empaque k establecida por proveedor m .

Variables de decisión:

X_{jkm} = Número de empaques tipo k vendidos por el proveedor m en la orden j .

CT = Costo total de compra.

$Y_{km} = 1$ Si los empaques tipo k se compran al proveedor m .

0 en otro caso.

Z_{km} = Cantidad de empaques tipo k que se compran al proveedor m .

Función objetivo

$$\text{Min } CT = \sum_j^J \sum_k^K \sum_m^M P_{km} * X_{jkm} \quad (4.16)$$

(4.16) Permite la minimización del costo total de compra de empaque.

Restricciones

$$\sum_k^K \sum_m^M Cap_k * X_{jkm} \geq DPROD_j \quad \forall j \quad (4.17)$$

La restricción (4.17) donde el número de empaques tipo j , proporcionados por todos los proveedores m , empleados para embalar la cantidad de productos, en la orden j , multiplicados por su respectiva capacidad para contenerlos, deben ser suficientes para empaclar la cantidad total de productos demandados en la orden j .

$$Z_{km} = \sum_j^J X_{jkm} \quad \forall k, m \quad (4.18)$$

En (4.18) se propone una variable auxiliar que ayuda a acumular la cantidad total de empaques k comprados al proveedor m .

$$Z_{km} \geq OrdMin_{km} * Y_{km} \quad \forall k, m \quad (4.19)$$

(4.19) indica que la suma del número de empaques tipo k , proporcionados por el proveedor m , que se emplean para embalar los productos, debe ser superior a la cantidad mínima establecida como requisito de compra por dicho proveedor para este tipo de empaque.

$$X_{jkm} \leq MY_{km} \quad \forall j, k, m \quad (4.20)$$

(4.20) es una ecuación de control con M grande para anular las compras de k al proveedor m cuando éste no es seleccionado.

$$X_{jkm} \geq 0 \text{ y entera}$$

4.9.3 Análisis de resultados

Para la solución del modelo presentado en la sección 4.9.2, se realizó la implementación y solución utilizando el software GAMS 25.1 y se empleó una computadora con procesador AMD Ryzen 5 y 12 Gb en RAM, los tiempos de solución observados en general fueron menores a 1 segundo.

La programación del modelo para la selección y asignación de volúmenes de compra a proveedores de cajas de cartón se muestra en el **Anexo H**.

Tabla 4.28 Información de precios y ordenes mínimas de compra establecidas por proveedores eficientes

Tipo de caja	Producto	Capacidad de caja	P1		P4		P6	
			Orden mínima de compra	\$/ Pieza	Orden mínima de compra	\$/ Pieza	Orden mínima de compra	\$/ Pieza
1	A	3	100	\$ 31.49	600	\$ 32.00	800	\$ 24.77
2	A	12	100	\$ 53.00	500	\$ 39.73	800	\$ 71.84
3	B	3	100	\$ 36.00	600	\$ 43.12	800	\$ 31.19
4	B	12	100	\$ 54.00	500	\$ 44.47	800	\$ 82.86

La información de los precios de las cajas por unidad y las ordenes mínimas de compra establecidas por los proveedores 1, 4 y 6 se muestran en la **Tabla 4.28**.

Considerando la naturaleza variable de la demanda, en este trabajo se analizaron 30 diferentes escenarios de demanda simulada de Productos A y Productos B y se establecieron volúmenes de compra de empaque a proveedores para cada instancia.

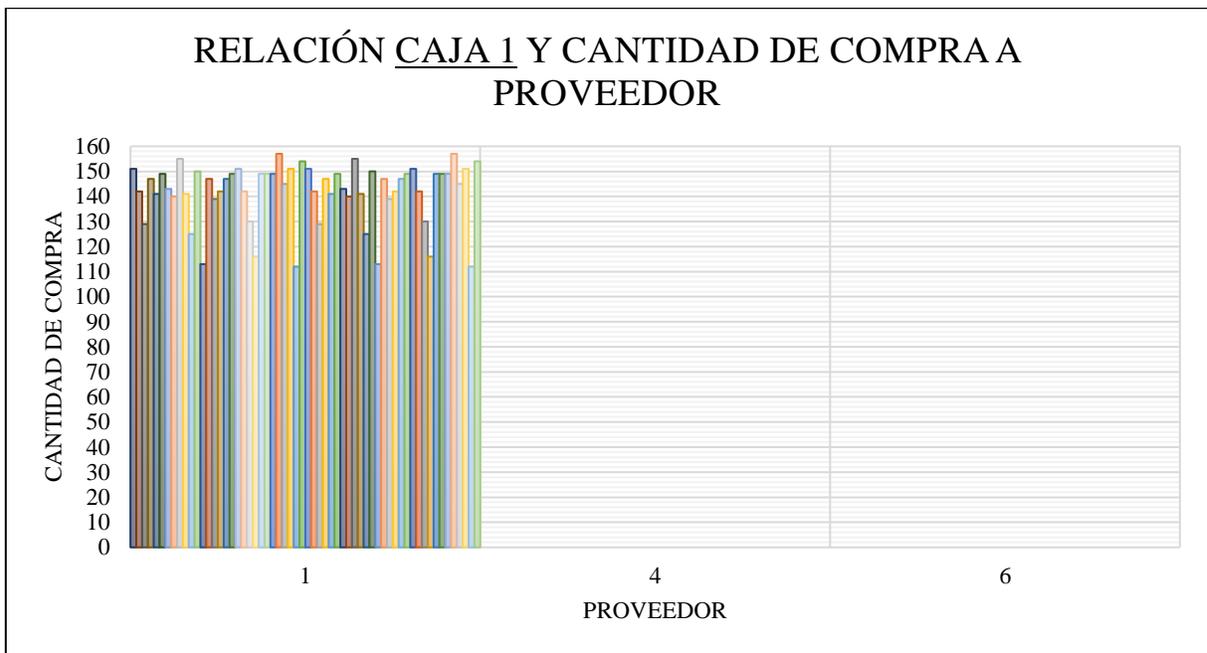


Figura 4.6 Relación empaque 1 y cantidad de compra a cada proveedor

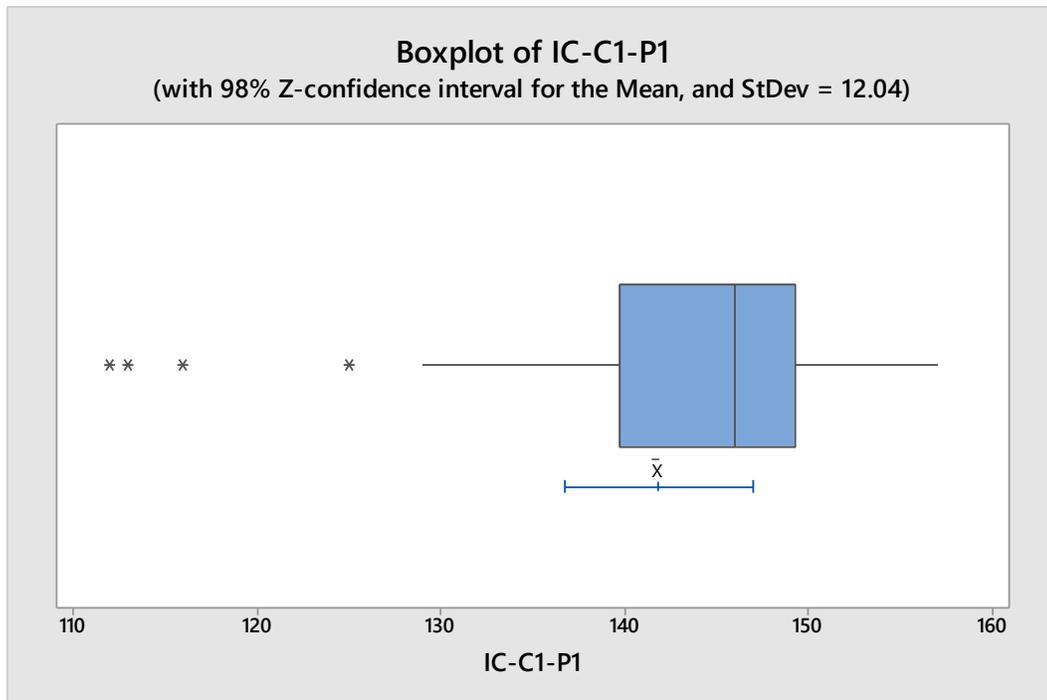


Figura 4.7 Intervalo de confianza para volumen de compra anual al proveedor 1 para el empaque 1 (137 – 147)

En la **Figura 4.6**, dados los 30 escenarios de demanda de Productos A, se puede observar que si existe variabilidad en la cantidad de compra del empaque 1, por lo tanto, el 98% de las veces la cantidad de compra del empaque 1 estará entre 137 y 147 unidades (**Figura 4.7**).

Por otra parte los asteriscos que se observan en la **Figura 4.7** son valores atípicos, es decir son valores que están alejados de los otros valores. Estos valores atípicos resultan de los escenarios simulados de demanda de Productos A que determinan la cantidad de compra anual del empaque 1.

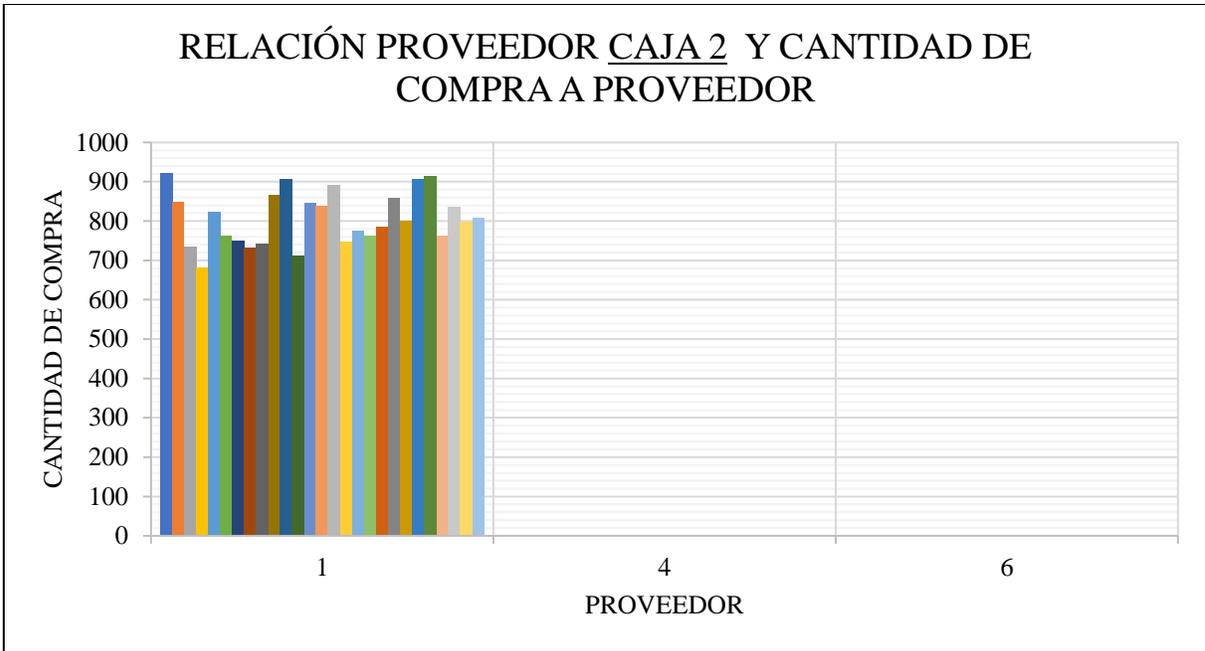


Figura 4.8 Relación proveedor empaque 2 y cantidad de compra a cada proveedor

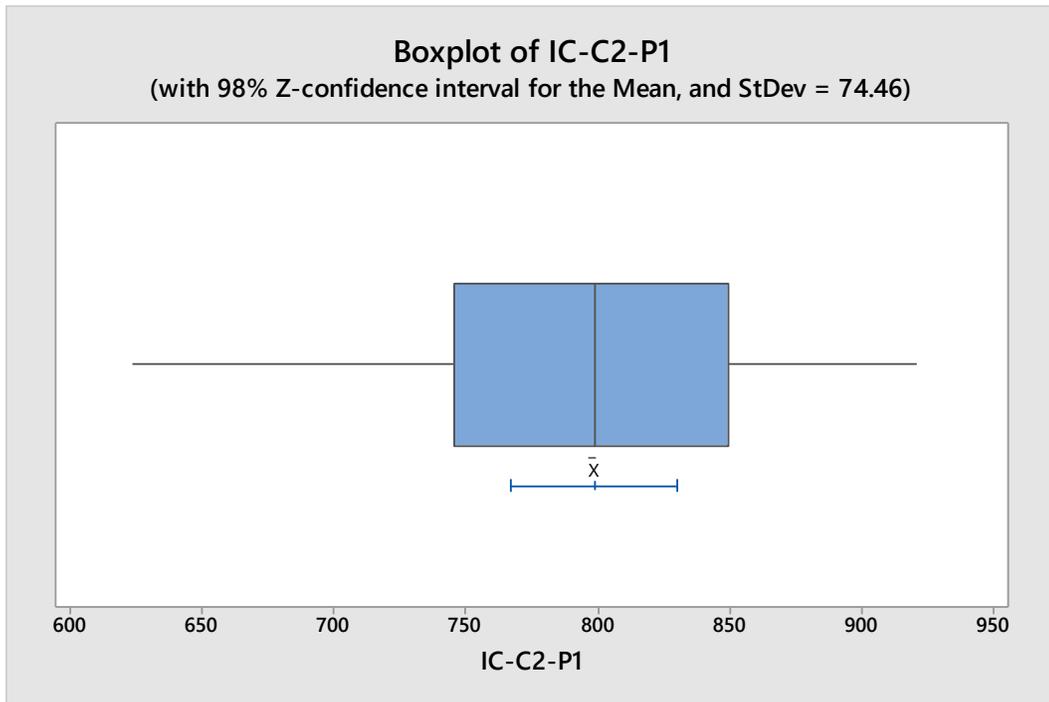


Figura 4.9 Intervalo de confianza para volumen de compra anual al proveedor 1 para el empaque 2 (767 – 830)

De igual manera, como se observa en la **Figura 4.8**, dados los 30 diferentes escenarios de demanda de Productos A también existe variabilidad en la cantidad de compra del empaque 2 y se puede determinar que el 98% de las veces la cantidad de compra de empaque deberá ser entre 767 y 830 unidades **Figura 4.9**.

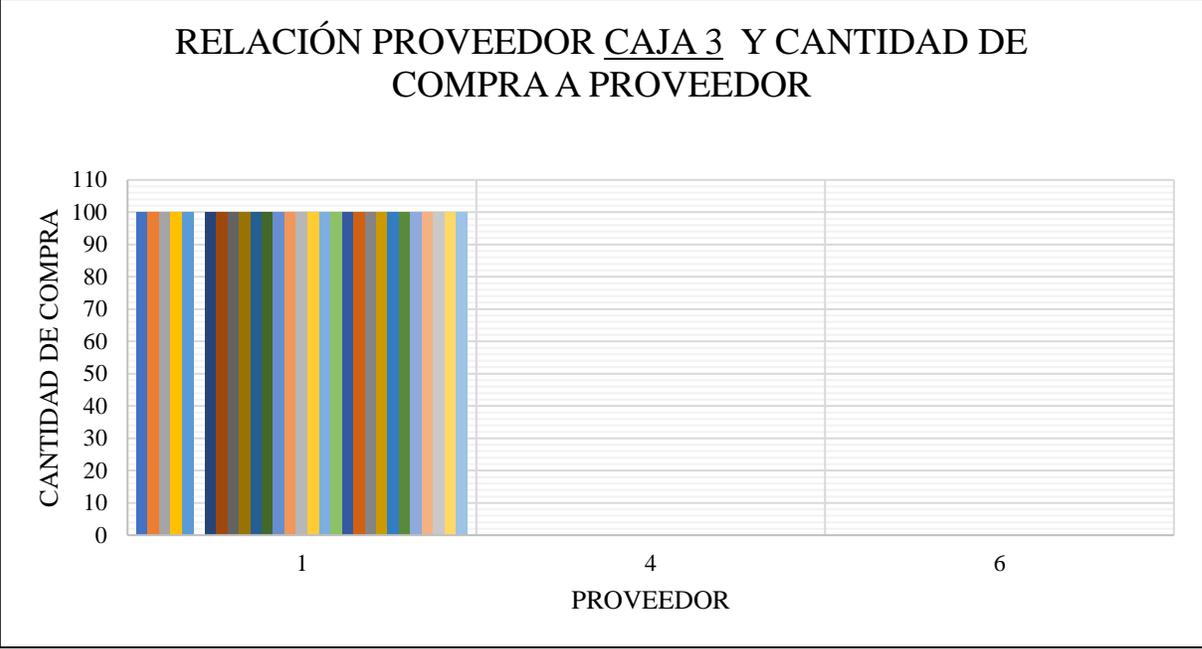


Figura 4.10 Relación proveedor empaque 3 y cantidad de compra a cada proveedor

Avanzando en nuestro razonamiento en la **Figura 4.10** se observa que, a pesar de haber simulado los 30 diferentes escenarios de demanda de Productos B, no existe variabilidad en la cantidad de compra del empaque 3, lo anterior se debe a que el valor óptimo del volumen para este tipo de empaque no rebasa el volumen de compra mínima de los proveedores por lo tanto la cantidad de compra siempre resulta de 100 unidades.

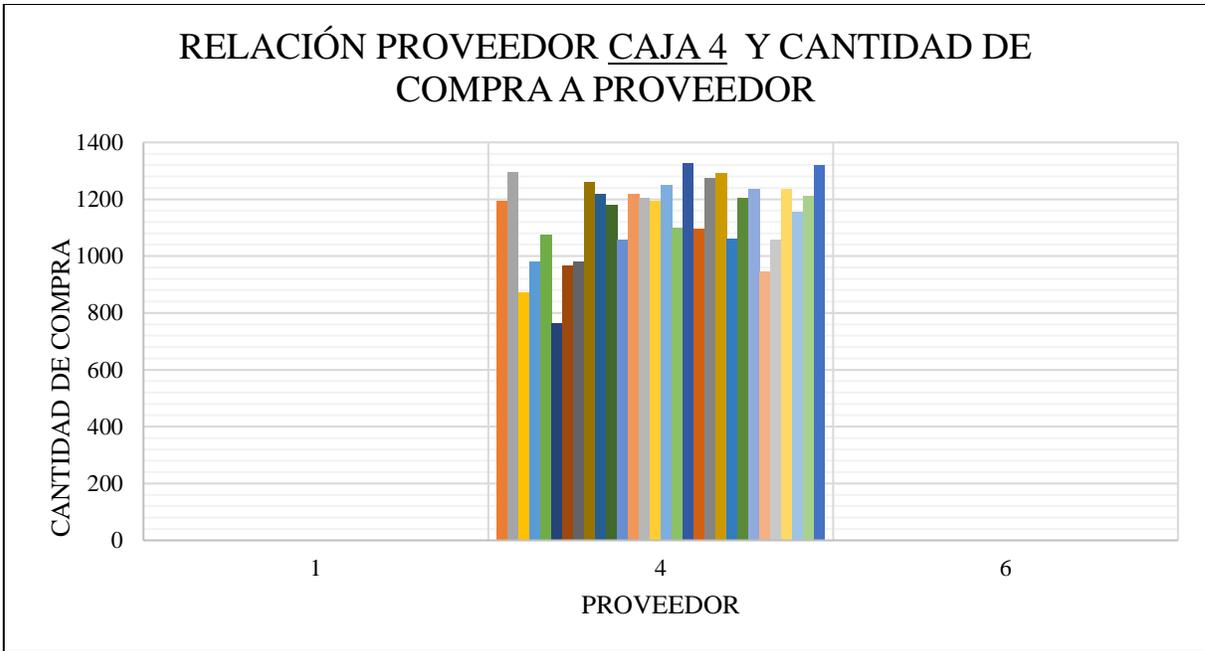


Figura 4.11 Relación proveedor empaque y cantidad de compra a cada proveedor

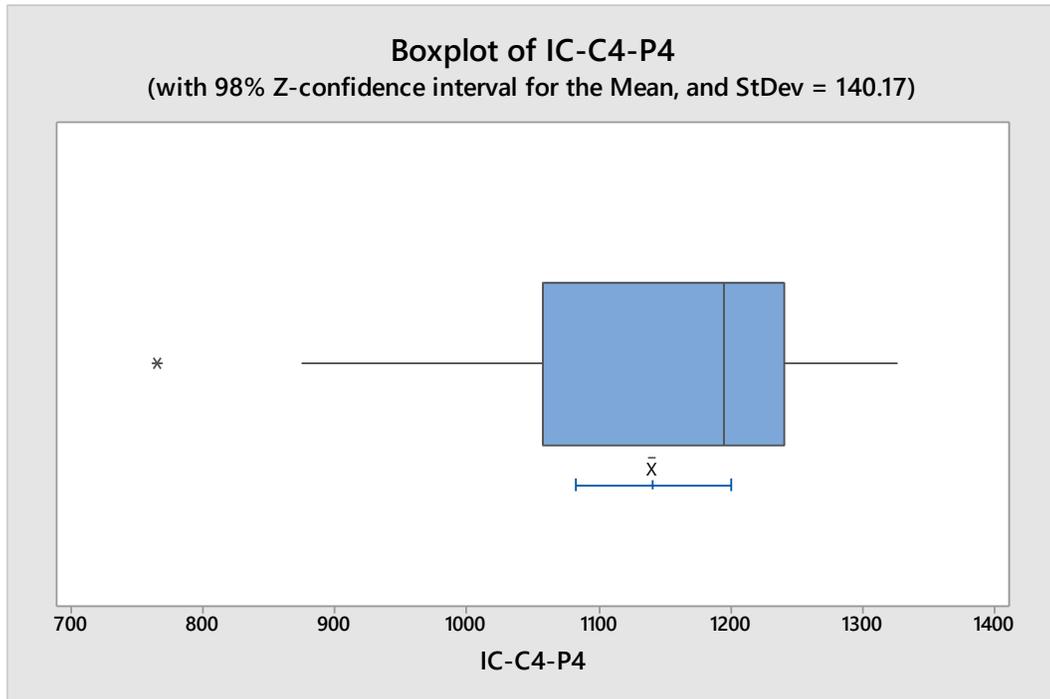


Figura 4.12 Intervalo de confianza para volumen de compra anual al proveedor 4 para el empaque 4 (1082 – 1202)

Consideremos ahora las cantidades variables de compra del empaque 4 dados los diferentes escenarios mostrados en la **Figura 4.11**, se puede determinar que el 98% de las veces la cantidad de compra del empaque 4 estará entre 1082 y 1202 unidades (**Figura 4.12**).

También en la **Figura 4.12** se observa un dato atípico, este resulta de los escenarios simulados de demanda de Productos B que determinan la cantidad de compra anual del empaque 4.

Se ha de mencionar que la cantidad de compra total de cajas de cartón de cada tipo considera las unidades que efectivamente se requieren para cada orden, así como también las unidades adicionales que se adquieren para cumplir con las restricciones de compra mínima establecidas por cada proveedor para cada tipo de empaque.

Por otra parte, las 30 réplicas de simulación se calcularon a partir la estimación del error, considerando la variabilidad de la demanda.

Dicho lo anterior, la selección del *proveedor 1* fue la mejor opción para la compra de los *empaques 1, 2 y 3* mientras que el *proveedor 4* fue la mejor opción para la compra del *empaque 4*. La selección de estos dos proveedores permite la minimización del costo de compra total.

Conclusiones

En este trabajo se analizó la problemática relacionada con la práctica actual de selección de proveedores en una empresa del giro automotriz.

La solución propuesta sugirió la construcción de un proceso confiable y eficaz para la selección de proveedores en esta empresa, el cual se muestra en la *Figura 2.2*.

Como caso específico, se atendió lo relativo a la provisión de empaques de cartón para el embalaje de Productos A y Productos B, que son muestras automotrices, razón por la cual se desarrolló el proceso mostrado en la *Figura 2.2*, enfocado a la selección de proveedores de empaques de cartón.

Además, también se cumplieron cada uno de los objetivos específicos propuestos en este trabajo ya que se establecieron los criterios para la selección de proveedores a través de la colaboración multifuncional de la empresa, se seleccionó al análisis envolvente de datos para la preselección de proveedores de cajas de cartón, y para la selección final se utilizó un modelo de programación lineal entera.

De igual modo se demostró la aplicabilidad del enfoque de toma de decisiones multicriterio, el AED, al problema seleccionado por la empresa.

Como resultado se obtuvo que la incorporación en la empresa del proceso confiable y eficaz mostrado en la *Figura 2.2* que toma en cuenta el establecimiento de los criterios más adecuados y la aplicabilidad del análisis envolvente de datos permitió la preselección de los mejores proveedores (los más eficientes) y por otra parte, el modelo de programación lineal entera permitió la selección final y además la asignación de volúmenes de compra entre proveedores de empaques de cartón, por lo tanto, se garantiza una mayor confiabilidad en el suministro de empaques, a la vez que se minimizó el costo de compra total.

También en este trabajo a través de los diferentes escenarios de demanda simulados se estimaron los intervalos de asignaciones de compra para los cuatro tipos de empaque considerando la variabilidad de la demanda, por lo que la solución propuesta no solo impacta en la minimización del costo total de compra, sino que también reduce el impacto que tiene la incertidumbre de las cantidades de compra en el proceso de selección de proveedores.

Derivado de lo anterior, la incorporación del proceso descrito para la selección de proveedores de la empresa se traducirá en decisiones confiables para sus procesos de aprovisionamiento y, por ende, se espera que impacte de manera benéfica la gestión de su cadena de suministro y sus resultados financieros.

Recomendaciones y trabajo futuro

Recomendaciones

En relación con las recomendaciones para este trabajo terminal de grado se propone la presentación de este al departamento de compras de esta empresa, así como el seguimiento a la correcta implementación del proceso de selección de proveedores propuesto donde la participación interfuncional de la empresa es fundamental para el logro del objetivo general.

También se recomienda la revisión de este proceso por parte de los tomadores de decisiones en el departamento de compras a fin de su incorporación como un proceso importante y fundamental para la mejora en la cadena de suministro.

Trabajo futuro

Con respecto al trabajo futuro para este trabajo terminal de grado y como en cualquier otro proyecto de investigación, quedan abiertas diversas líneas de investigación y en las que es posible continuar trabajando. A continuación, se presenta una lista de trabajos futuros que pueden desarrollarse como resultado de esta investigación. Entre los posibles trabajos futuros se destacan:

1. Evaluar el desempeño del proveedor de cajas de cartón una vez que se ha incorporado a la empresa.
2. Desarrollar el proceso propuesto para la selección de otro insumo o servicio.
3. Realizar un análisis de sensibilidad del impacto al cambiar la escala propuesta en la **Tabla 4.17**.
4. Simular la demanda a través de datos históricos de 6 meses.
5. Extensión del modelo matemático para la asignación de volúmenes de compra, considerando descuentos por cantidad.
6. Incorporar al modelo matemático de programación lineal entera los costos de almacenamiento de las cajas de cartón.
7. Implementar en el modelo matemático la restricción de capacidad de almacenamiento de la empresa compradora.

Productos académicos obtenidos

Como parte de los productos académicos obtenidos a partir de esta investigación, el modelo de programación lineal entera para la selección y asignación de volúmenes de compra a proveedores de cajas de cartón se presentó como ponencia en el foro “Programación Lineal y Aplicaciones” del VIII Congreso de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones que se llevó a cabo del 16 al 18 de octubre del 2019 en el Instituto Tecnológico Autónomo de México.

El artículo enviado forma parte del libro de artículos que lleva por título “Aplicaciones de la Investigación de operaciones a la Mejora de Procesos” con ISBN: 978-607-8242-20-7.

Referencias

- Aissaoui, N., Haouari, M. and Hassini, E. (2007) ‘Supplier selection and order lot sizing modeling: A review’, *Computers & operations research*. Elsevier, 34(12), pp. 3516–3540.
- Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA) (2018) Diálogo con la industria automotriz 2018-2024. Available at: <http://www.amia.com.mx/boletin/dlg20182024.pdf>.
- Bhutta, M. K. S. (2003) ‘Supplier selection problem: methodology literature review’, *Journal of International Information Management*, 12(2), p. 5.
- De Boer, L., Labro, E. and Morlacchi, P. (2001) ‘A review of methods supporting supplier selection’, *European journal of purchasing & supply management*. Elsevier, 7(2), pp. 75–89.
- Charnes, A. et al. (2013) *Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications*. Springer Science & Business Media.
- Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E. (1978) ‘Measuring the efficiency of decision making units’, *European journal of operational research*. Elsevier, 2(6), pp. 429–444.
- Chen, Y.-J. (2011) ‘Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain’, *Information Sciences*. Elsevier, 181(9), pp. 1651–1670. doi: 10.1016/j.ins.2010.07.026.
- Colapinto, C., Jayaraman, R. and Marsiglio, S. (2017) ‘Multi-criteria decision analysis with goal programming in engineering, management and social sciences: a state-of-the art review’, *Annals of Operations Research*, 251(1–2), pp. 7–40. doi: 10.1007/s10479-

015-1829-1.

Deshmukh, A. J. and Chaudhari, A. A. (2011) 'A review for supplier selection criteria and methods', *Communications in Computer and Information Science*, 145 CCIS(1943), pp. 283–291. doi: 10.1007/978-3-642-20209-4_41.

Dickson, G. W. (1966) 'An Analysis Of Vendor Selection Systems And Decisions', *Journal of Purchasing*, 2(1), pp. 5–17. doi: 10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x.

Economía, S. de (2012) *Industria Automotriz. Monografía, Metal Actual*. Ciudad de México.

Available at:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/75545/150213_DS_Automotriz_ESP.pdf.

El Sector Automotor en México (2018). México. Available at: <https://www.amda.mx/wp-content/uploads/2018/02/Dialogos10-12-12.pdf>.

Ellram, L. M. (1990) 'The supplier selection decision in strategic partnerships', *Journal of Purchasing and materials Management*. Wiley Online Library, 26(4), pp. 8–14.

Falagario, M. *et al.* (2012) 'Using a DEA-cross efficiency approach in public procurement tenders', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 218(2), pp. 523–529. doi: 10.1016/j.ejor.2011.10.031.

Garfamy, R. M. (2006a) 'A data envelopment analysis approach based on total cost of ownership for supplier selection', *Journal of Enterprise Information Management*, 19(6), pp. 662–678. doi: 10.1108/17410390610708526.

Ha, S. H. and Krishnan, R. (2008) 'A hybrid approach to supplier selection for the

- maintenance of a competitive supply chain', *Expert Systems with Applications*, 34(2), pp. 1303–1311. doi: 10.1016/j.eswa.2006.12.008.
- Haralambides, H. and Gujar, G. (2012) 'On balancing supply chain efficiency and environmental impacts: An eco-DEA model applied to the dry port sector of India', *Maritime Economics & Logistics*. Springer, 14(1), pp. 122–137.
- Ho, W., Xu, X. and Dey, P. K. (2010) 'Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 202(1), pp. 16–24. doi: 10.1016/j.ejor.2009.05.009.
- Jafarzadeh, H., Akbari, P. and Abedin, B. (2018a) 'A methodology for project portfolio selection under criteria prioritisation, uncertainty and projects interdependency—combination of fuzzy QFD and DEA', *Expert Systems with Applications*. Elsevier, 110, pp. 237–249.
- Kasuganti, R. R. (2001) 'Strauss-Grünfeld Kaiser.pdf', 7, pp. 209–216.
- Lima-Junior, F. R. and Carpinetti, L. C. R. (2016a) 'A multicriteria approach based on fuzzy QFD for choosing criteria for supplier selection', *Computers and Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 101(October 2016), pp. 269–285. doi: 10.1016/j.cie.2016.09.014.
- Lin, C. W. R. and Chen, H. Y. S. (2004) 'A fuzzy strategic alliance selection framework for supply chain partnering under limited evaluation resources', *Computers in Industry*, 55(2), pp. 159–179. doi: 10.1016/j.compind.2004.02.003.
- Liu, F. H. F. and Hai, H. L. (2005) 'The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier', *International Journal of Production Economics*, 97(3), pp. 308–

317. doi: 10.1016/j.ijpe.2004.09.005.

Ma, H., Li, S. and Chan, C. S. (2018) 'Analytic Hierarchy Process (AHP)-based assessment of the value of non-World Heritage Tulou: A case study of Pinghe County, Fujian Province', *Tourism Management Perspectives*. Elsevier, 26(January), pp. 67–77. doi: 10.1016/j.tmp.2018.01.001.

Narasimhan, R., Talluri, S. and Mendez, D. (2001) 'Supplier Evaluation and Rationalization via Data Envelopment Analysis: An Empirical Examination', *Journal of Supply Chain Management*, 37(2), pp. 28–37. doi: 10.1111/j.1745-493X.2001.tb00103.x.

Ravindran, A. R. and Warsing Jr, D. P. (2016) *Supply chain engineering: Models and applications*. CRC Press.

Wadhwa, V. and Ravi Ravindra, A. (2005) 'Vendor Selection in Outsourcing', *Vendor Selection in Outsourcing*, 30(3), pp. 385–390. doi: 10.1016/j.cor.2006.01.009.

Ware, N. R., Singh, S. P. and Banwet, D. K. (2012) 'Supplier selection problem: A state-of-the-art review', *Management Science Letters*, 2(5), pp. 1465–1490. doi: 10.5267/j.msl.2012.05.007.

Weber, C. A., Current, J. R. and Benton, W. C. (1991) 'Vendor selection criteria and methods', *European Journal of Operational Research*, 50(1), pp. 2–18. doi: 10.1016/0377-2217(91)90033-R.

Wu, C. and Barnes, D. (2010) 'Int . J . Production Economics Formulating partner selection criteria for agile supply chains : A Dempster – Shafer belief acceptability optimisation approach', *Intern. Journal of Production Economics*. Elsevier, 125(2), pp. 284–293. doi: 10.1016/j.ijpe.2010.02.010.

Anexos

Anexo A. Encuesta para conocer criterios de selección de proveedores

El motivo del presente cuestionario es la identificación de criterios cuantitativos y cualitativos que se deberían tomar en cuenta para la selección de proveedores en los departamentos de Compras, Producción y Calidad de sus empresas.

Para este propósito, le agradeceremos dedique unos minutos a contestar las preguntas que se enuncian a continuación, haciendo de su conocimiento que los criterios que se proponen son el resultado de una revisión cuidadosa de la literatura sobre el tema y, comúnmente empleados en estudios de esta naturaleza. Sin embargo, queda abierta la opción de agregar otros que se consideren relevantes.

Instrucciones:

Sin importar el departamento donde desempeñe sus labores diarias, nos interesa conocer sus repuestas en las preguntas 1,3 y 4.

La pregunta número 2 está dirigida exclusivamente a las personas que desempeñan sus labores diarias en el departamento de COMPRAS, mientras que la número 5 está encaminada a conocer la opinión de las personas que se desempeñan en los departamentos de PRODUCCIÓN o CALIDAD.

SECCIÓN I: Información general

1. ¿En qué departamento desempeña sus labores diarias?

- Compras
- Producción
- Muestras
- Otro (Especifique) _____

SECCIÓN II: Procedimiento de compras

2. ¿Usted como responsable de COMPRAS de su empresa, sabe si cuenta con algún proceso establecido para la selección de proveedores?

- Si
- No

Si su respuesta es “Si”, por favor describa su proceso; en caso contrario, indique la forma en que realiza su selección.

SECCIÓN III: Criterios de selección de proveedores y tipo de compras

3. Si usted se desempeña en el departamento de COMPRAS, indique con una “X” en la lista siguiente el tipo de compras que *realiza* y cuáles criterios, a su juicio, deberían considerarse para la selección de proveedores, de acuerdo con cada tipo. Puede seleccionar más de un tipo de compra según lo requiera.

Si usted contestó que desempeña sus labores diarias en los departamentos de PRODUCCIÓN o CALIDAD, en la lista siguiente indique con una “X” el tipo de compras que *solicita* y cuáles criterios deberían considerarse para que usted pueda trabajar a largo plazo con un proveedor, de acuerdo con cada tipo. Puede seleccionar más de un tipo de compra según lo requiera.

Por favor, tome en cuenta el tipo de compra para determinar los criterios de selección.

Categoría de criterios.

APP = Análisis del perfil del proveedor

Instalaciones de producción y capacidad: Capacidad de respuesta del proveedor a las demandas de sus clientes en términos del tamaño de sus instalaciones de producción.

Cumplimiento de acuerdos y procedimientos: Disposición del proveedor para cumplir con los acuerdos y procedimientos establecidos con sus clientes.

Gestión y organización empresarial: Competencia del proveedor para controlar y administrar sus recursos.

Ubicación geográfica: Accesibilidad del proveedor respecto a usted como posible comprador.

Posición financiera: Facilidades de crédito otorgadas por el proveedor en términos de montos, plazos y tasas.

Reputación y posición en la industria: Posición del proveedor en el mercado, incluido su liderazgo y la reputación de sus productos.

RC = Referencias y clientes

Desempeño histórico: Comportamiento del proveedor con sus compradores en ventas pasadas.

Servicio al cliente: Actitud del proveedor hacia el comprador en términos de amabilidad, accesibilidad y rapidez de respuesta.

P = Precio

Precio: Precio total ofrecido por el proveedor considerando todos los cargos y descuentos.

C = Calidad

Calidad: Efectividad del proveedor para cumplir los requerimientos de calidad establecidos por el comprador.

TI = Tecnología e infraestructura

Entrega: Oportunidad del proveedor para la entrega de los productos a tiempo de acuerdo con las necesidades del comprador.

Red de distribución: Disponibilidad del proveedor de una red de distribución adecuada.

Sistemas de comunicación: Uso de tecnología de la información por parte del proveedor en sus relaciones con sus clientes.

Capacidad técnica: Posesión del proveedor de instalaciones dedicadas a la investigación para el mejoramiento de sus procesos y el desarrollo de nuevos productos.

Equipo e Infraestructura: Estado de la tecnología empleada en sus procesos productivos.

PV = Postventa

Políticas de garantía y reclamaciones: Actitud del proveedor ante reclamaciones y solicitudes de cumplimiento de garantía.

Categoría	Criterios de selección de proveedores	Materia Prima	Componentes	Equipo y Maquinaria	Refacciones	Servicios	Empaque	Otros (Especifique)
APP	Instalaciones de producción y capacidad							
APP	Cumplimiento a acuerdos y procedimientos							
APP	Gestión y organización empresarial							
APP	Ubicación geográfica							
APP	Posición financiera							
APP	Reputación y posición en la industria							
RC	Desempeño histórico							
RC	Servicio al cliente							
P	Precio							
C	Calidad							
TI	Entrega							
TI	Red de distribución							
TI	Sistemas de comunicación							
TI	Capacidad técnica							
TI	Equipo e infraestructura							
PV	Políticas de garantía y reclamaciones							

4. ¿Considera que algún criterio importante para una exitosa selección de proveedores no se encuentra en la lista anterior?

Si

No

Si su respuesta fue afirmativa, indique a cuáles criterios se refiere:

SECCIÓN IV: Comunicación entre áreas

5. Cuando usted, en PRODUCCIÓN O MUESTRAS, requiere un nuevo tipo de compra, ¿le hace saber al comprador de su empresa los criterios que deberán aplicarse a este tipo de compra y a su proveedor?

Si

No

Anexo B. Encuesta para el establecimiento de criterios para la selección de proveedores que suministrarán cajas de cartón en el área de muestras

El motivo del presente cuestionario es el de establecer criterios cuantitativos y cualitativos que se deberían tomar en cuenta para la selección de proveedores para el suministro de cajas de cartón en el área de muestras.

Las cajas de cartón son el insumo principal del sistema de empaque, su funcionalidad es contener, proteger y transportar las muestras automotrices permitiendo que éstos lleguen en óptimas condiciones al consumidor final.

Actualmente las cajas de cartón son consideradas como un artículo estratégico debido a que no se cuenta con un proveedor confiable capaz de cumplir con el requisito del suministro en cantidades pequeñas de los diferentes tipos de cajas de cartón que se necesitan para embalar los sistemas de gasolina en el área de muestras.

Para este propósito, le agradecemos dedique unos minutos a contestar las preguntas que se enuncian a continuación.

1. En la siguiente tabla de requerimientos que debe cumplir un proveedor, valore la importancia de cada uno, indicando con una X el grado de esta. Utilice únicamente una X por requerimiento.

Requerimientos que debe cumplir un proveedor	Escala de importancia				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Calidad					
Costo					
Confiabilidad de entrega					
Capacidad tecnológica para el desarrollo de productos y procesos					
Flexibilidad					
Tecnologías de la información					
Innovación					
Desarrollo del producto					
Respuesta rápida					
Estabilidad del proveedor					
Relación a largo término					
Relación colaborativa					

2. De la tabla anterior de requerimientos, ¿Considera que hace falta algún requerimiento importante?, ¿Cuál?, ¿Qué grado de importancia le daría?

3. Para establecer los criterios que deben observarse para la selección de proveedores, deseamos conocer la relación que, a su juicio, existe entre los criterios y características de los proveedores y los requerimientos de la empresa. Por tal motivo se propone la siguiente matriz de criterios y requerimientos, para la cual le

pedimos valore el grado de relación entre cada criterio y cada requerimiento, dada la siguiente escala de relación, donde 0 indica que no existe relación entre criterio y requerimiento, 1 indica que existe relación débil, 2 indica relación media y 3 indica relación fuerte entre criterio y requerimiento.

Escala de relación	
0	Sin Relación
1	Relación débil
2	Relación media
3	Relación fuerte

		Criterios para la selección de proveedores										
Requerimientos		Instalaciones de producción y capacidad	Cumplimiento a acuerdos y procedimientos	Gestión y organización empresarial	Ubicación geográfica	Servicio al cliente	Precio	Calidad	Entrega	Red de distribución	Capacidad técnica	Políticas de garantía y reclamaciones
Calidad												
Costo												
Confiabilidad de entrega												
Capacidad tecnológica para el desarrollo de productos y procesos												
Flexibilidad												
Tecnologías de la información												
Innovación												
Desarrollo del producto												
Respuesta rápida												
Estabilidad del proveedor												
Relación a largo plazo												
Relación colaborativa con la empresa												

4. De la lista de criterios de selección para proveedores, ¿Considera que hace falta algún criterio importante?, ¿Cuál?, ¿Con que requerimiento lo relacionaría? ¿Cómo valoraría el grado de relación?

REQUERIMIENTOS

Un requerimiento describe la conducta, el rendimiento, la estructura y las características funcionales.

Calidad: Característica que posee un producto para funcionar satisfactoriamente y es adecuado para su propósito.

Costo: Gasto económico que representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio.

Confiabilidad de entrega: Capacidad de la empresa proveedora para entregar el producto a tiempo, en las condiciones y cantidades acordadas.

Capacidad tecnológica para el desarrollo de productos y procesos: Habilidad requerida para el uso efectivo del conocimiento tecnológico. Permite que las empresas de manufactura puedan innovar y competir de manera efectiva en el mercado.

Flexibilidad: Rápida adaptación y respuesta a las nuevas exigencias de los consumidores.

Tecnologías de la información: Sistemas para administrar la información.

Innovación: Proceso que agrega valor, reduce costos o permite ofrecer un nuevo producto o servicio.

Desarrollo del producto: Proceso que involucra la ingeniería del producto y el análisis del mercado.

Estabilidad del proveedor: Gestión con larga permanencia y un historial de entregas a tiempo.

Relación colaborativa: Actividad donde las personas, departamentos y/o empresas trabajan para alcanzar un objetivo común. Permite la reducción de errores, minimiza conflictos y la solución a problemas se vuelve más rápida.

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES DE LAS CAJAS DE CARTÓN

Instalaciones de producción y capacidad: Capacidad de respuesta del proveedor a las demandas de sus clientes en términos del tamaño de sus instalaciones de producción.

Cumplimiento de acuerdos y procedimientos: Disposición del proveedor para cumplir con los acuerdos y procedimientos establecidos con sus clientes.

Gestión y organización empresarial: Competencia del proveedor para controlar y administrar sus recursos.

Ubicación geográfica: Accesibilidad del proveedor respecto a usted como posible comprador.

Servicio al cliente: Actitud del proveedor hacia el comprador en términos de amabilidad, accesibilidad y rapidez de respuesta.

Precio: Precio total ofrecido por el proveedor considerando todos los cargos y descuentos.

Calidad: Efectividad del proveedor para cumplir los requerimientos de calidad establecidos por el comprador.

Entrega: Oportunidad del proveedor para la entrega de los productos a tiempo de acuerdo a las necesidades del comprador.

Red de distribución: Disponibilidad del proveedor de una red de distribución adecuada.

Capacidad técnica: Posesión del proveedor de instalaciones dedicadas a la investigación para el mejoramiento de sus procesos y el desarrollo de nuevos productos.

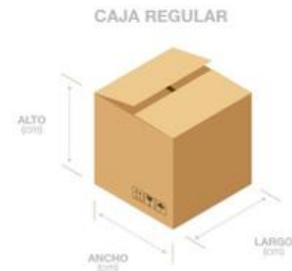
Políticas de garantía y reclamaciones: Actitud del proveedor ante reclamaciones y solicitudes de cumplimiento de garantía.

Anexo C. Solicitud de cotización

Estimado proveedor,

En Consultoría Especializada en Ingeniería de la Cadena de Suministro (CEICAS) estamos solicitando cotizaciones para cubrir la demanda de empaque de una empresa del ramo automotriz, el producto a cotizar es una caja regular de doble corrugado de cartón, resistencia 14 kg/cm². Las cantidades de compra y dimensiones se muestran en la siguiente tabla.

Tipo de caja	Dimensiones			Cantidad de compra
	Ancho	Largo	Alto	
1	20	60	35	150
2	80	60	35	830
3	20	60	50	100
4	80	60	50	1202



Si por el consumo anual no pudiera ofrecer una cotización. Le pido de favor me indique sus mínimos de compra a la vez que realice la cotización con base en esta información.

Dado que pudiera cotizar todas o alguna de las cajas, le pido de favor también hacerme saber sus tiempos de entrega.

En espera de sus comentarios.

Saludos



Anexo D. Cuestionario de información del proveedor

Estimado proveedor, el motivo del siguiente cuestionario es el de conocer y evaluar cierta información que creemos es importante para la correcta selección de proveedores para el suministro de cajas de cartón.

Para este propósito, le agradecemos dedique unos minutos a proporcionar la información que se solicita y a contestar las preguntas que se enuncian a continuación.

1. Nombre de la empresa: _____
2. Dirección de la empresa: _____
3. ¿En total, cuántos empleados laboran actualmente en su empresa? _____
4. En promedio, ¿Cuántas piezas producen en un mes? _____
5. Podría mencionar si en su empresa existen programas de gestión y organización empresarial, tales como, capacitación a empleados y/o programas de salud y seguridad. Si su respuesta es afirmativa, puede mencionar el número de veces que se realizan al año, en caso contrario pase a la siguiente pregunta.

Programa	Número de veces al año
Capacitación a empleados	
Programas de salud y seguridad	
Otros:	

6. Dado que ya tenemos una cotización brindada por usted y dado el interés y entusiasmo mostrado para ser proveedor de esta empresa del ramo automotriz. Le pido de favor nos pueda enviar 2 muestras de cajas de cartón, cumpliendo con los requisitos de resistencia y dimensiones. ¿Qué posibilidad tiene de enviar éstas muestras antes de finalizar esta semana? _____

Si la respuesta a esta pregunta es afirmativa, favor de solicitarme la dirección de envío.

7. ¿Su empresa cuenta con red de transporte propia? _____

Anexo E. Programación en GAMS del modelo AED – CCR orientado a las salidas

\$TITLE Modelo DEA-CCR orientado a las salidas.

SETS

i entradas / 1*7 /

r salidas / 1, 2, 3 /

j proveedor / 1*7 /

PARAMETERS

CE Constante de eficiencia

/1/

S (i) Valores i de entrada de la unidad que está siendo evaluada P1

/1 0.90

2 1.00

3 0.68

4 0.57

5 0.70

6 0.80

7 0.23/

D (r) Valor r de la unidad que está siendo evaluada

/1 1.00

2 1.00

3 0.8/

TABLE y(r,j) Cantidad de salida r producida por proveedor j

	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00	0.80	0.10	0.1	0.8	0.8	0.8
2	1.00	0.1	0.10	0.1	0.1	0.1	0.1
3	0.8	0.4	0.40	0.4	0.4	0.4	0.4

TABLE x (i,j) Cantidad de entrada i ocupada por proveedor j

	1	2	3	4	5	6	7
1	0.90	1.00	0.90	0.90	0.90	0.50	0.90
2	1.00	0.40	1.00	0.10	1.00	0.10	1.00
3	0.68	0.85	0.72	0.61	0.70	0.65	1.00
4	0.57	0.95	0.67	0.56	0.79	0.72	1.00
5	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
6	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7	0.23	0.46	0.23	0.38	0.12	0.05	1.00;

VARIABLES

u (r) cantidad de peso asignado a la salida r

v (i) cantidad de peso asignado a la entrada i

TE eficiencia

Positive variable u

Positive variable v

Positive variable E

EQUATIONS

EFICIENCIA determina la eficiencia del proveedor que está siendo evaluado

EQ1(j) Resta entradas menos salidas

EQ2 Igualdad a 1;

EFICIENCIA .. TE =E= SUM[(r), D(r)*u(r)];

EQ1 (j) .. SUM [(r), y(r,j)*u(r)]- SUM[(i),x(i,j)*v(i)] =L= 0;

EQ2 .. SUM [(i), S(i)*v(i)]=E=CE;

MODEL DEA /EFICIENCIA, EQ1, EQ2/

SOLVE DEA using lp maximizing TE

Anexo F. Simulación de demanda de Producto A

Producto A	
# Orden	Demanda Solicitada
1	1
2	1
3	5
4	4
5	8
6	10
7	60
8	121
9	5
10	5
11	4
12	5
13	1
14	5
15	5
16	1
17	5
18	5
19	15
20	40
21	5
22	38
23	16
24	5
25	2
26	30
27	30
28	7
29	10
30	123
31	150
32	100
33	100
34	6
35	6
36	1
37	2
38	2
39	33
40	25
41	6
42	75
43	3
44	3
45	4
46	6
47	3
48	3
49	5
50	36
51	6

52	6
53	1
54	80
55	63
56	29
57	8
58	6
59	150
60	6
61	12
62	15
63	3
64	10
65	227
66	98
67	50
68	10
69	18
70	18
71	18
72	18
73	18
74	12
75	12
76	6
77	1
78	3
79	1
80	6
81	50

Total = 2102

D.S. = Demanda solicitada

F. = Frecuencia

P. = Probabilidad

P.A. = Probabilidad Acumulada

N. A = Número aleatorio

INFORMACION			
D.S	F.	P.	P.
1	8	0.0	0.0
2	3	0.0	0.1
3	6	0.0	0.2
4	3	0.0	0.2
5	11	0.1	0.3
6	10	0.1	0.5
7	1	0.0	0.5
8	2	0.0	0.5
10	4	0.0	0.5
12	3	0.0	0.6
15	2	0.0	0.6
16	1	0.0	0.6
18	5	0.0	0.7
25	1	0.0	0.7
29	1	0.0	0.7
30	2	0.0	0.7
33	1	0.0	0.7
36	1	0.0	0.8
38	1	0.0	0.8
40	1	0.0	0.8
50	2	0.0	0.8
60	1	0.0	0.8
63	1	0.0	0.8
75	1	0.0	0.8
80	1	0.0	0.9
98	1	0.0	0.9
100	2	0.0	0.9
121	1	0.0	0.9
123	1	0.0	0.9
150	2	0.0	0.9
227	1	0.0	1.0

81

Supuesto: 81
órdenes en 3
meses .: 324
órdenes en 12
meses

Escenario 1		
<i>Demanda 2019</i>		
Orde	N. A	D.S
1	0.95149	12
2	0.85294	60
3	0.61413	12
4	0.50244	6
5	0.95787	12
6	0.26103	5
7	0.19358	3
8	0.39161	6
9	0.45070	6
10	0.36511	5
11	0.17883	3
12	0.20169	3
13	0.58172	10
14	0.78368	33
15	0.55055	10
16	0.30913	5
17	0.57616	10
18	0.03331	1
19	0.98663	15
20	0.43766	6
21	0.20848	3
22	0.73885	25
23	0.93442	10
24	0.87205	63
25	0.31773	5
26	0.98744	15
27	0.97591	15
28	0.34123	5
29	0.95319	12
30	0.50894	7
31	0.16274	3
32	0.31161	5
33	0.55413	10
34	0.14670	3
35	0.34560	5
36	0.87594	63
37	0.06906	1
38	0.64273	15
39	0.81100	38
40	0.62397	12
41	0.09865	1
42	0.81477	38
43	0.73193	25
44	0.64367	15
45	0.82600	40
46	0.00053	1
47	0.77173	30

48	0.13975	3
49	0.99479	22
50	0.36135	5
51	0.15831	3
52	0.27914	5
53	0.70124	18
54	0.02930	1
55	0.85735	60
56	0.31283	5
57	0.77329	30
58	0.33449	5
59	0.88614	75
60	0.34442	5
61	0.74261	29
62	0.69674	18
63	0.69850	18
64	0.69043	18
65	0.12587	2
66	0.62880	12
67	0.63728	15
68	0.25451	5
69	0.49333	6
70	0.27702	5
71	0.57173	10
72	0.95254	12
73	0.75722	30
74	0.40185	6
75	0.45289	6
76	0.74493	29
77	0.32569	5
78	0.65798	16
79	0.75344	30
80	0.28740	5
81	0.80797	38
82	0.55897	10
83	0.12745	2
84	0.76214	30
85	0.91949	10
86	0.64237	15
87	0.97373	15
88	0.29545	5
89	0.4352	6
90	0.90956	98
91	0.71253	18
92	0.87346	63
93	0.08176	1
94	0.82838	50
95	0.98387	15
96	0.61195	12
97	0.39940	6
98	0.10759	2
99	0.42569	6
100	0.94969	12
101	0.85382	60
102	0.19211	3
103	0.45313	6
104	0.74959	29

105	0.17960	3
106	0.37639	5
107	0.8859	75
108	0.99180	22
109	0.85350	60
110	0.55254	10
111	0.27294	5
112	0.07165	1
113	0.35738	5
114	0.66516	16
115	0.07356	1
116	0.41091	6
117	0.87868	75
118	0.67753	18
119	0.39329	6
120	0.12488	2
121	0.50091	6
122	0.08759	1
123	0.40116	6
124	0.02202	1
125	0.92520	10
126	0.76100	30
127	0.84803	50
128	0.03349	1
129	0.34506	5
130	0.95392	12
131	0.93388	10
132	0.51595	7
133	0.53448	8
134	0.23446	4
135	0.20976	3
136	0.99460	22
137	0.19144	3
138	0.42290	6
139	0.65036	15
140	0.86045	60
141	0.07975	1
142	0.16907	3
143	0.96072	12
144	0.67173	18
145	0.96508	15
146	0.88015	75
147	0.32899	5
148	0.01898	1
149	0.86270	60
150	0.70357	18
151	0.37278	5
152	0.99897	22
153	0.87674	75
154	0.59405	12
155	0.65142	15
156	0.17123	3
157	0.55912	10
158	0.88417	75
159	0.90679	98
160	0.86068	60
161	0.83658	50

162	0.81782	40
163	0.34018	5
164	0.98040	15
165	0.28640	5
166	0.95477	12
167	0.84157	50
168	0.03967	1
169	0.77358	30
170	0.65394	15
171	0.62654	12
172	0.37788	5
173	0.01603	1
174	0.54788	10
175	0.42069	6
176	0.59736	12
177	0.88183	75
178	0.38693	6
179	0.91282	98
180	0.84400	50
181	0.62572	12
182	0.53578	8
183	0.99743	22
184	0.58293	10
185	0.98407	15
186	0.45040	6
187	0.70325	18
188	0.50218	6
189	0.73686	25
190	0.76778	30
191	0.05761	1
192	0.24422	4
193	0.23094	4
194	0.53128	8
195	0.47932	6
196	0.97465	15
197	0.62545	12
198	0.43538	6
199	0.84403	50
200	0.17912	3
201	0.43672	6
202	0.86188	60
203	0.74281	29
204	0.63319	15
205	0.05136	1
206	0.76537	30
207	0.44650	6
208	0.74601	29
209	0.85897	60
210	0.75419	30
211	0.40295	6
212	0.34305	5
213	0.46435	6
214	0.60638	12
215	0.31504	5
216	0.85430	60
217	0.78124	33
218	0.88933	80

219	0.21574	4
220	0.60401	12
221	0.01944	1
222	0.63220	15
223	0.22321	4
224	0.14761	3
225	0.41267	6
226	0.15690	3
227	0.12154	2
228	0.68213	18
229	0.44624	6
230	0.88484	75
231	0.18738	3
232	0.22310	4
233	0.84681	50
234	0.86234	60
235	0.74696	29
236	0.51418	7
237	0.42309	6
238	0.78708	33
239	0.9945	22
240	0.02833	1
241	0.30252	5
242	0.16253	3
243	0.71610	18
244	0.34281	5
245	0.91564	10
246	0.27370	5
247	0.20946	3
248	0.45484	6
249	0.63197	15
250	0.6156	12
251	0.27098	5
252	0.89977	80
253	0.06482	1
254	0.13768	3
255	0.55254	10
256	0.12323	2
257	0.31394	5
258	0.14877	3
259	0.36148	5
260	0.62361	12
261	0.73070	25
262	0.33399	5
263	0.96164	12
264	0.03232	1
265	0.43124	6
266	0.94309	12
267	0.26778	5
268	0.23568	4
269	0.33533	5
270	0.39972	6
271	0.33818	5
272	0.87755	75
273	0.06130	1
274	0.96835	15
275	0.49955	6

276	0.48542	6
277	0.13994	3
278	0.12192	2
279	0.31592	5
280	0.98889	22
281	0.25356	5
282	0.59205	10
283	0.06348	1
284	0.20362	3
285	0.53169	8
286	0.52583	8
287	0.39619	6
288	0.98334	15
289	0.66091	16
290	0.89006	80
291	0.27669	5
292	0.93016	10
293	0.64271	15
294	0.51110	7
295	0.20404	3
296	0.96757	15
297	0.28073	5
298	0.98682	15
299	0.73440	25
300	0.03458	1
301	0.52711	8
302	0.49639	6
303	0.32415	5
304	0.23305	4
305	0.61203	12
306	0.07502	1
307	0.30759	5
308	0.31811	5
309	0.19092	3
310	0.76666	30
311	0.98010	15
312	0.86081	60
313	0.54996	10
314	0.52746	8
315	0.50504	6
316	0.57503	10
317	0.72275	18
318	0.74499	29
319	0.06574	1
320	0.46688	6
321	0.81563	40
322	0.10218	2
323	0.84297	50
324	0.04045	1

Total = 10451

**Anexo G. Simulación de
demanda de Producto B**

Producto B	
# Orden	Demanda Solicitada
1	1
2	8
3	10
4	3
5	10
6	1
7	36
8	5
9	5
10	10
11	1
12	165
13	150
14	120
15	48
16	60
17	60
18	160
19	400
20	15
21	15
22	12
23	150
24	125
25	24
26	440
27	6
28	400
29	6
30	15
31	15
32	500

Total = 2976

D.S. = Demanda solicitada

F. = Frecuencia

P. = Probabilidad

P.A. = Probabilidad Acumulada

N. A = Número aleatorio

INFORMACIÓN			
D.S.	F.	P.	P.A.
1	3	0.0938	0.0938
3	1	0.0313	0.1250
5	2	0.0625	0.1875
6	2	0.0625	0.2500
8	1	0.0313	0.2813
10	3	0.0938	0.3750
12	1	0.0313	0.4063
15	4	0.1250	0.5313
24	1	0.0313	0.5625
36	1	0.0313	0.5938
48	1	0.0313	0.6250
60	2	0.0625	0.6875
120	1	0.0313	0.7188
125	1	0.0313	0.7500
150	2	0.0625	0.8125
160	1	0.0313	0.8438
165	1	0.0313	0.8750
400	2	0.0625	0.9375
440	1	0.0313	0.9688
500	1	0.0313	1.0000

32

Supuesto: 32 órdenes en
3 meses ∴ 128 órdenes en
12 meses

Escenario 1		
Demanda 2019 - PB		
Orden	N.A	D.S.
1	0.38786	12
2	0.41132	15
3	0.36060	10
4	0.31910	10
5	0.65888	60
6	0.29890	10
7	0.66834	60
8	0.03201	1
9	0.60746	48
10	0.69468	120
11	0.32739	10
12	0.87497	165
13	0.41802	15
14	0.14678	5
15	0.03748	1
16	0.91837	400
17	0.82142	160
18	0.60693	48
19	0.71721	120
20	0.47512	15
21	0.49320	15
22	0.28774	10

23	0.48601	15
24	0.11803	3
25	0.62481	48
26	0.27952	8
27	0.74080	125
28	0.27827	8
29	0.01538	1
30	0.03869	1
31	0.31254	10
32	0.15558	5
33	0.17809	5
34	0.50303	15
35	0.62154	48
36	0.31273	10
37	0.16729	5
38	0.05309	1
39	0.48494	15
40	0.94023	440
41	0.69919	120
42	0.62049	48
43	0.83047	160
44	0.95624	440
45	0.53035	15
46	0.64565	60
47	0.57932	36
48	0.81530	160
49	0.94655	440
50	0.62818	60
51	0.53193	24
52	0.75697	150
53	0.88387	400
54	0.72908	125
55	0.72374	125
56	0.93078	400
57	0.19274	6
58	0.52135	15
59	0.98485	500
60	0.37353	10
61	0.71052	120
62	0.16268	5
63	0.51245	15
64	0.53577	24
65	0.92418	400
66	0.30015	10
67	0.97027	500
68	0.60666	48
69	0.26817	8
70	0.69865	120
71	0.31935	10
72	0.21811	6
73	0.85281	165
74	0.87174	165
75	0.12641	5
76	0.67860	60
77	0.41445	15
78	0.65382	60
79	0.71048	120

80	0.84243	160
81	0.11302	3
82	0.68489	60
83	0.73108	125
84	0.98546	500
85	0.12763	5
86	0.94492	440
87	0.10947	3
88	0.66250	60
89	0.90661	400
90	0.53192	24
91	0.79529	150
92	0.22601	6
93	0.74949	125
94	0.94940	440
95	0.93912	440
96	0.58877	36
97	0.66455	60
98	0.88822	400
99	0.70571	120
100	0.40452	12
101	0.82292	160
102	0.75980	150
103	0.81249	150
104	0.07746	1
105	0.73658	125
106	0.64053	60
107	0.63278	60
108	0.11078	3
109	0.56902	36
110	0.98486	500
111	0.98266	500
112	0.80546	150
113	0.77915	150
114	0.99229	500
115	0.07427	1
116	0.51493	15
117	0.49441	15
118	0.13949	5
119	0.70035	120
120	0.23414	6
121	0.81477	160
122	0.32248	10
123	0.37075	10
124	0.33643	10
125	0.24341	6
126	0.77889	150
127	0.44451	15
128	0.95143	440

TOTAL = 14300

Anexo H. Programación en GAMS del modelo para la selección y asignación de volúmenes de compra a proveedores de cajas de cartón

SETS

J ordenes / 1*324 /

K empaques / 1, 2 /

M proveedores / 1, 4, 6 /

PARAMETERS

DPROD(j) Demanda del producto en la orden j [número de productos]

		30	7	60	5	90	98
/ 1	123	31	3	61	29	91	18
2	60	32	5	62	18	92	63
3	12	33	10	63	18	93	1
4	6	34	3	64	18	94	50
5	123	35	5	65	2	95	150
6	5	36	63	66	12	96	12
7	3	37	1	67	15	97	6
8	6	38	15	68	5	98	2
9	6	39	38	69	6	99	6
10	5	40	12	70	5	100	121
11	3	41	1	71	10	101	60
12	3	42	38	72	123	102	3
13	10	43	25	73	30	103	6
14	33	44	15	74	6	104	29
15	10	45	40	75	6	105	3
16	5	46	1	76	29	106	5
17	10	47	30	77	5	107	75
18	1	48	3	78	16	108	227
19	150	49	227	79	30	109	60
20	6	50	5	80	5	110	10
21	3	51	3	81	38	111	5
22	25	52	5	82	10	112	1
23	100	53	18	83	2	113	5
24	63	54	1	84	30	114	16
25	5	55	60	85	100	115	1
26	150	56	5	86	15	116	6
27	150	57	30	87	150	117	75
28	5	58	5	88	5	118	18
29	123	59	75	89	6	119	6

120	2	150	18	180	50	210	30
121	6	151	5	181	12	211	6
122	1	152	227	182	8	212	5
123	6	153	75	183	227	213	6
124	1	154	12	184	10	214	12
125	100	155	15	185	150	215	5
126	30	156	3	186	6	216	60
127	50	157	10	187	18	217	33
128	1	158	75	188	6	218	80
129	5	159	98	189	25	219	4
130	123	160	60	190	30	220	12
131	100	161	50	191	1	221	1
132	7	162	40	192	4	222	15
133	8	163	5	193	4	223	4
134	4	164	150	194	8	224	3
135	3	165	5	195	6	225	6
136	227	166	123	196	150	226	3
137	3	167	50	197	12	227	2
138	6	168	1	198	6	228	18
139	15	169	30	199	50	229	6
140	60	170	15	200	3	230	75
141	1	171	12	201	6	231	3
142	3	172	5	202	60	232	4
143	123	173	1	203	29	233	50
144	18	174	10	204	15	234	60
145	150	175	6	205	1	235	29
146	75	176	12	206	30	236	7
147	5	177	75	207	6	237	6
148	1	178	6	208	29	238	33
149	60	179	98	209	60	239	227

240	1	270	6	300	1
241	5	271	5	301	8
242	3	272	75	302	6
243	18	273	1	303	5
244	5	274	150	304	4
245	100	275	6	305	12
246	5	276	6	306	1
247	3	277	3	307	5
248	6	278	2	308	5
249	15	279	5	309	3
250	12	280	227	310	30
251	5	281	5	311	150
252	80	282	10	312	60
253	1	283	1	313	10
254	3	284	3	314	8
255	10	285	8	315	6
256	2	286	8	316	10
257	5	287	6	317	18
258	3	288	150	318	29
259	5	289	16	319	1
260	12	290	80	320	6
261	25	291	5	321	40
262	5	292	100	322	2
263	123	293	15	323	50
264	1	294	7	324	1 /
265	6	295	3		
266	121	296	150		
267	5	297	5		
268	4	298	150		
269	5	299	25		

Cap(k) Capacidad del empaque tipo k para embalar el producto [productos por empaque]
 / 1 3
 2 12 /

TABLE P(k,m) Precio del empaque tipo k comprado al proveedor m [pesos por empaque]

	1	4	6
1	31.49	32	24.77
2	53	39.73	71.84

TABLE OrdMin(k,m) Orden mínima de compra del empaque tipo k establecida por el proveedor m [num de empaques]

	1	4	6
1	100	600	800
2	100	500	800 ;

VARIABLES

X(j, k, m) núm de empaques k vendidos por el proveedor m en la orden j [empaques]

CT costo total de compra [pesos]

Y(k, m) determina si se adquieren empaques tipo k del proveedor m

Z(k, m) cantidad de empaque k que se compra al proveedor m [empaques]

INTEGER VARIABLE X

BINARY VARIABLE Y

EQUATIONS

COSTO determina costo total de compra [pesos]

PROVEMPAQ(k,m) acumula cantidad total de empaque k comprada a proveedor m [empaques]

ORDENMINIM(k,m) compra mínima de empaques tipo k establecida por el proveedor m [empaques]

DEMANDA(j) satisfacción de la demanda requerida en la orden j [empaques]

CONTROL(j,k,m) X es nulo si el proveedor m no proporciona empaques k [empaques] ;

COSTO .. $CT = E = \text{SUM}[(j,k,m), P(k,m) * X(j,k,m)] ;$
 PROVEMPAQ(k,m) .. $Z(k,m) = E = \text{SUM}[(j), X(j,k,m)] ;$
 ORDENMINIM(k,m) .. $Z(k,m) = G = \text{OrdMin}(k,m) * Y(k, m) ;$
 DEMANDA(j) .. $\text{SUM}[(k,m), \text{Cap}(k) * X(j,k,m)] = G = \text{DPROD}(j) ;$
 CONTROL(j,k,m) .. $X(j,k,m) = L = 100000 * Y(k,m) ;$

MODEL COMPRASEMP / COSTO, PROVEMPAQ, ORDENMINIM, DEMANDA,
 CONTROL /

SOLVE COMPRASEMP USING MIP MINIMIZING CT