

Modelo matemático de selección de proveedores mediante programación lineal entera mixta (MILP) con restricción de compra mínima

Juan Pablo Gamboa Maldonado

Universitaria Agustiniana
Facultad de Ingenierías
Programa de Ingeniería Industrial
Bogotá, D.C.

2019

**Modelo matemático de evaluación y selección de proveedores mediante programación
lineal entera mixta (MILP)**

Juan Pablo Gamboa Maldonado

Director

Luis Alfonso Peña Florez

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Universitaria Agustiniana

Facultad de Ingenierías

Programa de Ingeniería Industrial

Bogotá, D.C.

2019

Resumen

El objetivo de este trabajo de investigación es analizar los problemas logísticos desde su perspectiva macro, como su perspectiva micro y entender como estos afectan de forma directa el precio final del producto, teniendo esto como base se priorizará la selección de proveedores para la disminución de estos precios a través de un modelo matemático el cual se evaluarán diferentes soluciones brindadas, también se verán las variables que analizan esas soluciones y se buscará implantará una mejora que no se haya tratado en estas soluciones, con el fin de que al modelo ya existente se haga más aplicado a la realidad que se vive con los contratos de los proveedores de grandes marcas (franquicias), una vez planteado esto se evaluará en diferentes escenarios el modelo, viendo su adaptabilidad a los cambios que puedan ocurrir en el mercado una vez visto adaptabilidad ver sus pros y contras y posibles opciones a mejorar del modelo planteado.

Palabras claves: Demanda, backorder, modelo matemático de programación lineal entera mixta(MILP)

Abstract

The objective of this text is to analyze the logistical problems from its macro perspective as its micro perspective and understand how these directly affect the final price of the product, based on this, the selection of suppliers will be prioritized for the decrease of these prices through of a mathematical model which will be compared to different solutions provided, the variables that analyze those solutions will also be seen and an improvement will be sought that has not been addressed in these solutions, so that the existing model becomes closer To the reality that is lived with the contracts of the suppliers of great maracas (franchises) once raised this will be evaluated in different scenarios the model seeing its adaptability to the changes that may occur in the market once seen adaptability see its pros and cons and possible options to improve the proposed model.

Keywords: Demand, backorder, mixed integer linear programming mathematical model (MILP)

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	10
1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	11
1.1. ÍNDICES LOGÍSTICOS	11
1.1.1 Índices logísticos en el mundo.	11
1.1.2 Índices logísticos de Colombia.	13
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.4 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	18
2 JUSTIFICACIÓN	20
2.1. ÁREAS DE IMPACTO	20
2.2 HIPÓTESIS	21
3 OBJETIVOS	22
3.2 OBJETIVO GENERAL	22
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4 MARCO REFERENCIAL	23
4.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
4.3 MARCO TEÓRICO	26
4.3.1 Programación Lineal Entera Mixta (MILP).	26
4.3.1.1 Parámetros del problema.	27
4.3.1.2 Variables del problema.	27
4.4 MARCO CONCEPTUAL	28
4.5 MARCO LEGAL	29
5 MARCO METODOLÓGICO	31
5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	31
5.1.1 Proceso metodológico.	31
5.2 HIPÓTESIS	32
6 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	34
6.1 DIAGNÓSTICO	34
6.1.1 Estado del arte.	34
6.2 DEFINICIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	44

6.3.1. Modelo matemático.	45
6.3.1.1 Parámetros.	45
6.3.1.2. Variables.	46
6.3.1.3. Función objetivo.	46
6.3.1.4. Restricciones.	46
6.3 APLICACIÓN EN ENTORNO SIMULADO	47
6.4 VALIDACIÓN	51
7 CONCLUSIONES	62
8 RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS	64

Lista de figuras

Figura 1 Indicadores logísticos del banco mundial	11
Figura 2 Países de mejor desempeño.....	13
Figura 3 Ranking logístico Latinoamérica y el Caribe	14
Figura 4 Composición de costos logísticos.....	15
Figura 5 Componentes del costo logístico por actividad económica	16
Figura 6 Costo logístico por tamaño de empresa	17
Figura 7 Árbol del problema	18
Figura 8 Marco conceptual	28
Figura 9 Flujograma de la metodología aplicada	32
Figura 10 Porcentaje de escritos de selección de proveedores en diferentes años.....	34
Figura 11 Numero de tesis escritas por temas	35

Lista de tablas

Tabla 1 Justificación por zonas	21
Tabla 2 Normativa logística en Colombia.....	29
Tabla 3 Estado del arte	36
Tabla 4 Costo de administrar al proveedor.....	48
Tabla 5 Costo de mantener una pieza.....	48
Tabla 6 Costo de backorder.....	48
Tabla 7 Inventario inicial.....	49
Tabla 8 Backorder inicial.....	49
Tabla 9 Demanda por cada periodo de tiempo.....	49
Tabla 10 Capacidad de producción por periodo de tiempo.....	50
Tabla 11 Número de unidades de cada producto por el tipo de lote por cada proveedor.....	50
Tabla 12 Costo de compra por unidad.....	50
Tabla 13 Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo.....	51
Tabla 14 Solución del modelo original.....	51
Tabla 15 Solución del modelo alterado validado con el original original.....	52
Tabla 16 Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo alteración 1.....	53
Tabla 17 Solución del modelo alteración 1.....	53
Tabla 18 Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo alteración 2.....	54
Tabla 19 Solución del modelo alteración 2.....	55
Tabla 20 Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo alteración 3.....	55
Tabla 21 Solución del modelo alteración 3.....	56
Tabla 22 Costo de mantener una pieza alteración 4.....	57
Tabla 23 Costo de backorder alteración 4.....	57

Tabla 24 Demanda por cada periodo de tiempo alteración 4.....	57
Tabla 25 Capacidad de producción por periodo de tiempo alteración 4.....	58
Tabla 26 Número de unidades de cada producto por el tipo de lote por cada proveedor a4..	58
Tabla 27 Costo de compra por unidad alteración 4.....	59
Tabla 28 Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo alteración 4.....	59
Tabla 29 Solución del modelo alteración 4.....	60
Tabla 30 Comparación de resultados.....	60

Introducción

En la actualidad en Colombia encontramos que uno de los mayores costos que influyen en la producción de un producto es el costo de logístico, donde la selección de un buen proveedor es la clave para el éxito de una empresa debido a que este es la máxima fuente de materiales necesarios para su funcionamiento siendo así esta selección, el que nos va a definir la cantidad y el tiempo de producción dando las posibilidades de atender una demanda del cliente.

El artículo propone usar la metodología de programación lineal entera mixta (PILM), para la selección de los proveedores teniendo en cuenta que esta herramienta nos da la capacidad de analizar de forma numérica la ventaja que nos ofrecen los diferentes proveedores facilitando la toma de decisiones a la hora de elegir qué cantidad y cuándo comprar según cada proveedor optimizando las ganancias.

En la investigación de los textos encontramos que esta técnica (PILM) es una de las más utilizadas para la parte productiva debido a su fácil adaptación a las variables del ambiente que se puedan presentar y que nos permite analizar las variables y a la vez siendo así una de las metodologías más completas para el análisis y toma de decisiones teniendo en cuenta el ámbito económico de una empresa y las características especiales de esta.

1. Antecedentes del problema

Dentro de los antecedentes del problema se va a analizar

1.1. Índices logísticos

1.1.1 Índices logísticos en el mundo.

El Banco Mundial ha generado a partir del año 2007 el indicador logístico el cual mide la eficiencia de la cadena de suministros de cada país y como esta se desenvuelve en el comercio con otros países. Una logística ineficiente conlleva a un alza en los costos del comercio (Consejo nacional de competitividad, 2016)

Los documentos del banco mundial y del consejo nacional de competitividad mide seis grandes ítems los cuales se presentan en la figura 1:



Figura 1. Indicadores logísticos del Banco Mundial. Elaboración propia con base en: Consejo Nacional de Competitividad (2016) Índice de desempeño Logístico

Estos indicadores tienen como función descomponer en variables cuantitativas el indicador logístico el cual se descompone en:

- Desempeño de las aduanas: Este indicador evalúa el sistema aduanero de los países el cual es el encargado de la entrada y salida de los productos de un país
- Infraestructura: este indicador tiene como base analizar los tres grupos de transporte de mercancías dentro de un país los cuales son terrestres, marítimos y aéreos
- Envíos internacionales: Este indicador revisa la cantidad de envíos internacionales de los países
- Competencia de los servicios logísticos: En este indicador se analizan las principales empresas que se encargan de los servicios logísticos en el país
- Seguimiento y rastreo: Este indicador analiza qué tan fácil se puede hacer seguimiento al producto dentro de un país
- Puntualidad: Este indicador se encarga de analizar la puntualidad de entrega de los productos

Teniendo en cuenta estos índices que se evalúan con calificaciones de 1 a 5 encontramos que los países con mejor desempeño logístico se encuentran en Europa y Asia tal como se puede observar a continuación en la figura 2.

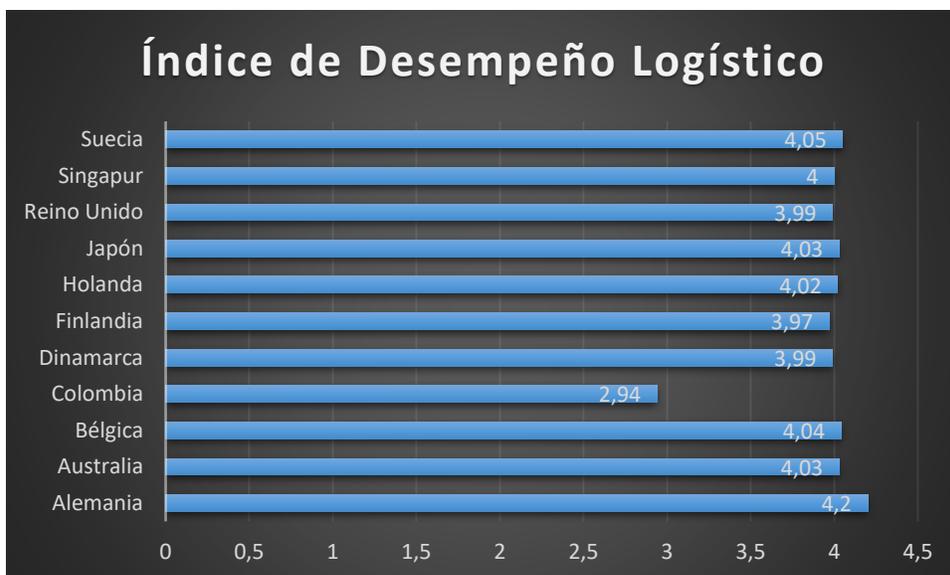


Figura 2. Países de mejor desempeño en comparación a Colombia. Elaboración propia con base en: Consejo Nacional de Competitividad (2018) Índice de desempeño Logístico

Siendo estos dos países un buen ejemplo y un punto de referencia para Colombia donde podemos analizar las falencias de Colombia en los indicadores logísticos.

1.1.2. Índices logísticos de Colombia.

Teniendo en cuenta los indicadores anteriormente expuestos (Desempeño de las aduanas, Infraestructura, Envíos internacionales, Competencia de los servicios logísticos, Seguimiento y rastreo y Puntualidad), Colombia cuenta actualmente (año 2018) con un puntaje igual a 2.942 donde se evalúa con una puntuación del uno al cinco donde uno es un desempeño bajo y cinco un desempeño alto.

En el año 2016 se hizo una comparación con el resto de Latinoamérica la cual los resultados que se muestran en la figura 3 donde observamos que Colombia se encuentra en puntuación 2.5 y disminuyó su desempeño logístico a comparación del año pasado

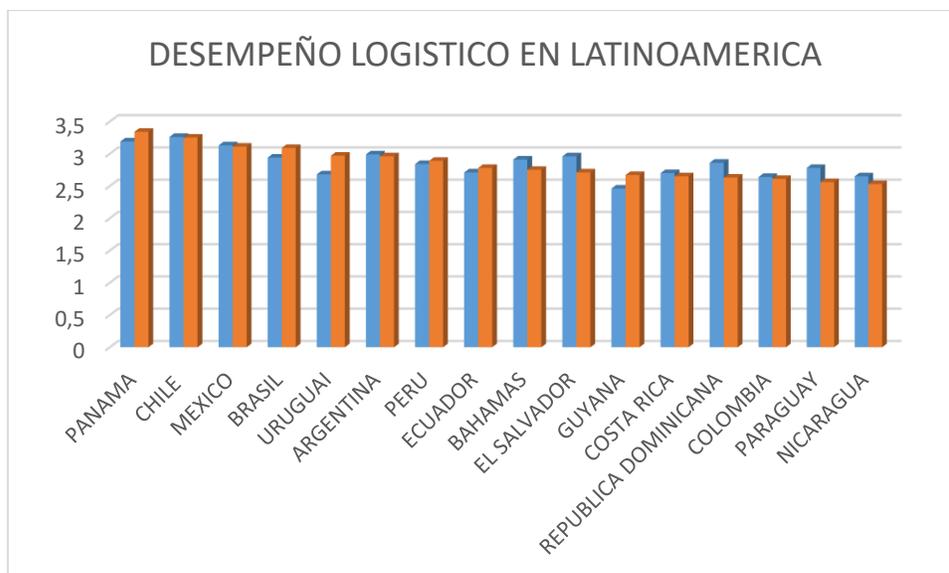


Figura 3. Ranking logístico Latinoamérica y el Caribe. Elaboración propia con base en: Consejo Nacional de Competitividad (2016) índice de desempeño logístico

Teniendo como base esto podemos observar que el desempeño de Colombia, aunque no es deficiente, no significa que se encuentre en una buena posición, esto se ve reflejado en el costo logístico como porcentaje de las ventas el cual es de un 13.5%, y está descompuesto por costos de almacenamiento (46.5%), costos de transporte (35.2%), costos administrativos y de servicio al cliente (11.1%) y otros costos (7.2%) como se presenta a continuación.

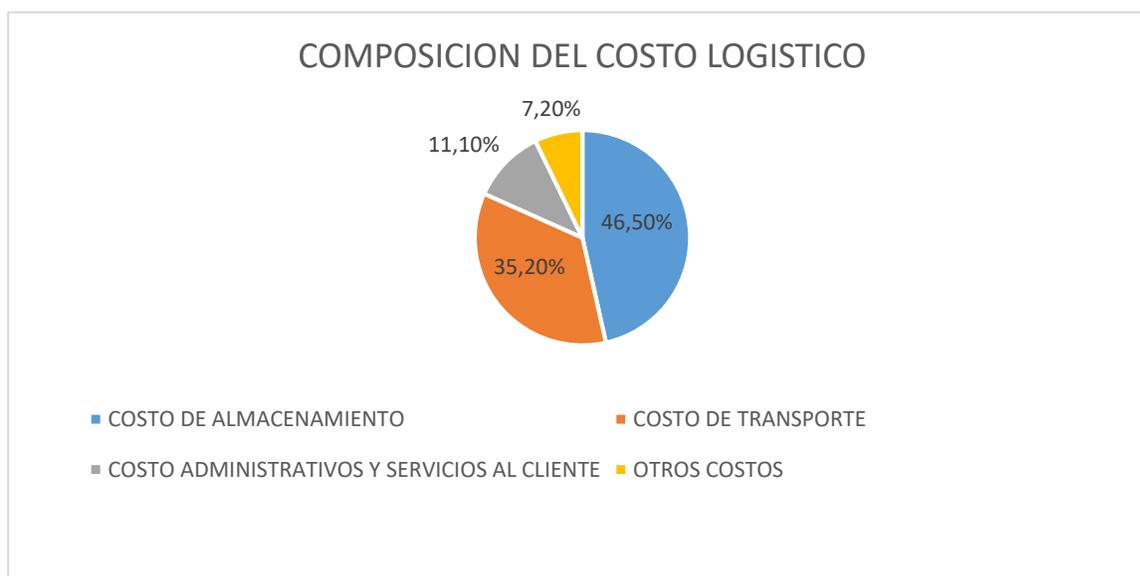


Figura 4. Composición de los costos logísticos. Encuesta nacional logística (2018)

Estos costos logísticos caben aclarar que varían según el sector en el que se analicen pues por la naturaleza de la actividad económica tendrán más gastos unos en ciertos tipos de costos logísticos que otros en ese mismo costo esto queda claramente evidenciado en la figura a continuación.

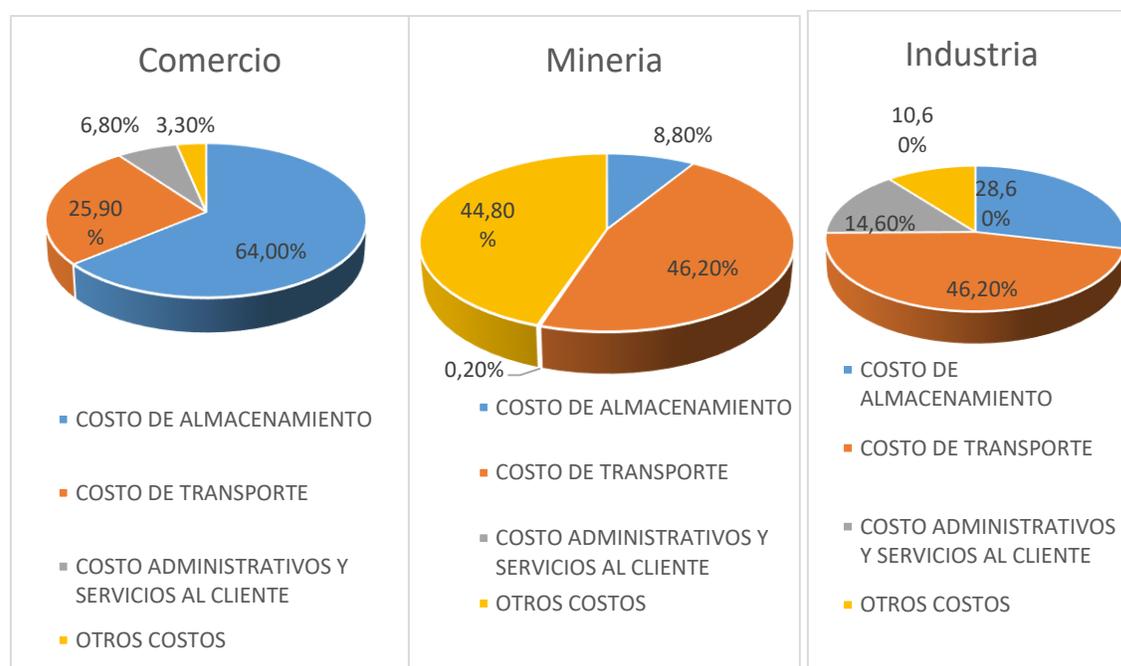




Figura 5. Componentes del costo logístico por actividad económica. Elaboración propia con base en: Encuesta nacional logística (2018)

Otra característica que influye en el porcentaje de los costos logísticos es el tamaño de la empresa donde las empresas de mayor superficie, no son tan altos los porcentajes del costo

logístico, más en las pequeñas empresas y micro empresas el costo si es mayor, esto se muestra en la tabla a continuación.

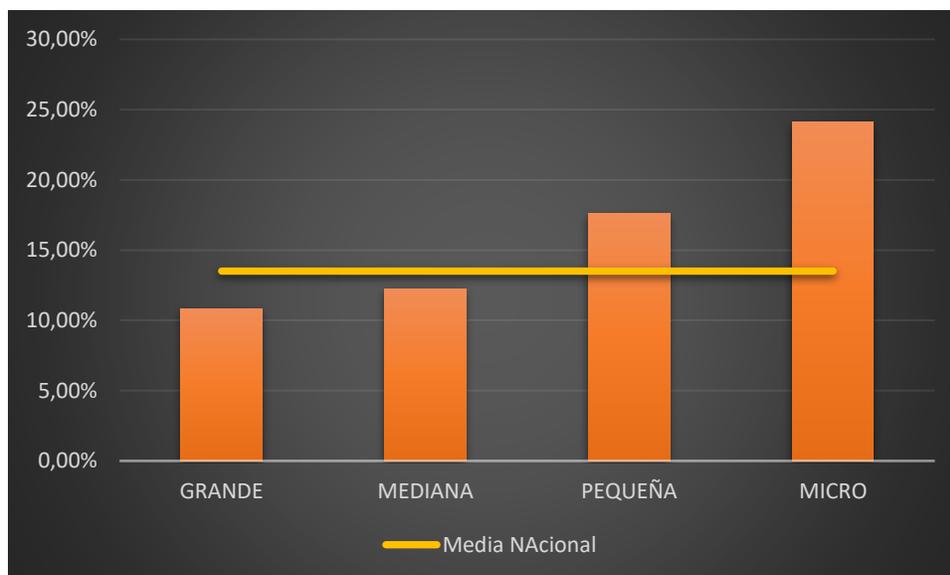


Figura 6. Costo logístico por tamaño de empresa. Elaboración propia con base en: Encuesta nacional logística (2018)

Basados en los datos, la logística termina siendo un factor que puede salvar o acabar con la empresa en un país, donde si no se maneja de forma correcta el producto ofrecido al mercado termina siendo incompetente por el precio o el costo que este representa frente a las ganancias que este genera.

1.2 Descripción del problema

Como se ha ido presentando a lo largo de la historia de Colombia uno de los mayores costos de un producto recaen sobre los costos logísticos (Monterrosa, 2018), esto se debe a la mala toma de decisiones a la hora de hacer las políticas de compra, el manejo de los inventarios, la configuración de la producción y las políticas de transporte de los productos,

como se evidencia en la figura 7 donde están las diferentes razones del problema y las consecuencias que esto provoca en la empresa

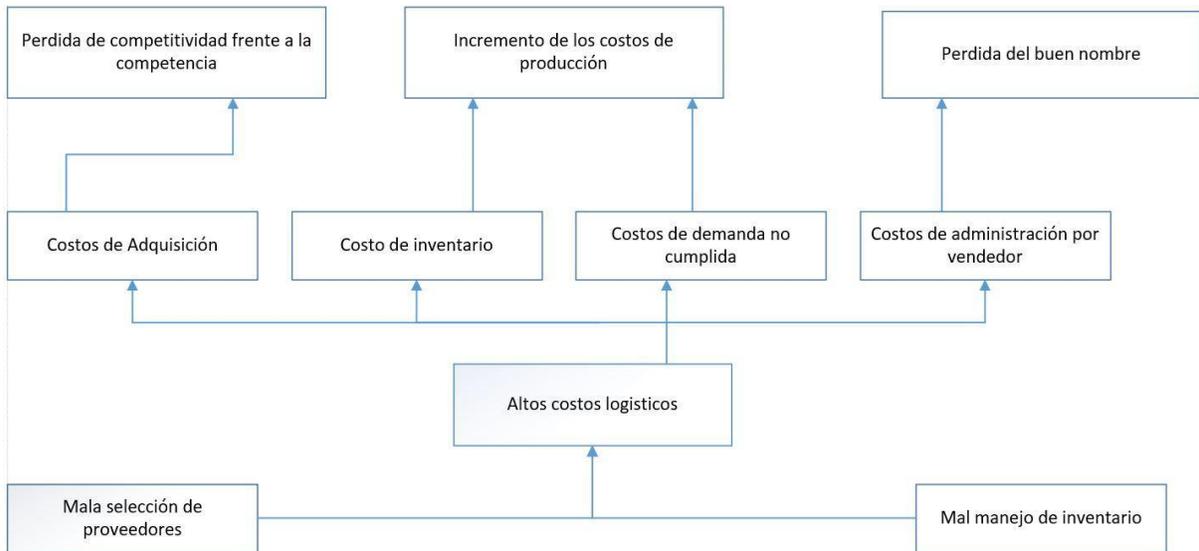


Figura 7. Árbol del problema. Elaboración propia

1.3 Formulación del problema

- ¿Cómo seleccionar de mejor manera a los proveedores a través de la programación lineal entera mixta?

1.4 Sistematización del problema

- ¿Cómo minimizar los costos de inventarios a través de programación lineal entera mixta?
- ¿Cómo minimizar los costos de backorder a través de programación lineal entera mixta?
- ¿Cómo minimizar los costos de adquisición a través de programación lineal entera mixta?

- ¿Cómo minimizar los costos de administración por vendedor a través de programación lineal entera mixta?

2 Justificación

Se busca disminuir los costos logísticos a través de la correcta selección de proveedores teniendo como base un modelo de programación lineal entera mixta el cual nos da diferentes impactos desde una parte económica como desde una parte comercial el cual es la imagen de la empresa debido a que uno de los principales objetivos es la eliminación del backorder

2.1. Áreas de impacto

Dentro del escenario simulado se tendrá en cuenta tres grandes secciones las cuales son el área logística, el área comercial externa y el área comercial interna como se puede observar en la tabla 1

Tabla 1.

Justificación por zonas.

Área de impacto	Beneficios
Área logística	<ul style="list-style-type: none"> Disminución en los costos de inventarios, costos de adquisición, costos administrativos. Disminución de tiempo muerto.
Área comercial (Externa)	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de la imagen empresarial. Disminución del backorder.
Área comercial (Interna)	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de los canales de comunicación entre proveedores y productores.

- Mejora del manejo de tiempos de entrega de los proveedores.

Nota: Tabla de elaboración propia

2.2 Hipótesis

¿Cómo los costos logísticos se disminuyen cuando se incluye un modelo de *Programación Lineal Entera Mixta* en el procedimiento de selección de proveedores?

3 Objetivos

3.2 Objetivo general

Proponer un modelo matemático para la disminución de los costos logísticos a través de evaluación y selección de proveedores mediante *Programación Lineal Entera Mixta* (MILP)

3.3 Objetivos específicos

- Determinar las variables que afectan en los costos logísticos identificando las variables más utilizadas en el estado del arte.
- Proponer un modelo matemático de programación lineal entera mixta que sirva a la solución del problema de selección de proveedores.
- Validar el modelo matemático propuesto

4 Marco referencial

Dentro del marco referencial se van a tratar los diferentes aspectos que afectan la propuesta dentro de esto vamos a encontrar antecedentes de la investigación, marco teórico, marco conceptual y marco legal

4.2 Antecedentes de la investigación

Un primer trabajo que podemos analizar frente a la selección de proveedores es el efectuado (S. Kumar, Kumar, & Gopal Barman, 2018) usando un modelo *TOPSIS* integrado por la toma de Multi Criterial Decision Making (MCDM) lo cual dio la ventaja de distinguir los criterios de costos y beneficios y seleccionar las soluciones más cercanas y lejanas de la solución ideal positiva y negativa. Dando como conclusiones las siguientes:

En general, la selección del proveedor y la evaluación son inciertas y vagas. En primer lugar, proporciona información sobre los diversos desafíos que enfrenta la empresa al elegir el mejor proveedor en una unidad de fabricación para producir productos de buena calidad. En segundo lugar, identifica el área requerida para la implementación de los rendimientos y brinda una mejor comprensión para la selección del proveedor que se encuentra en condiciones confusas. En el último paso, se realizó un análisis de sensibilidad para investigar el efecto de los criterios de ponderación en la selección del proveedor. Al relacionar los resultados del coeficiente de proximidad de las cuatro alternativas como se muestra en la tabla 7, se concluye que (S3), es el proveedor más preferido y (S2), es el proveedor menos preferido. Además, este modelo propuesto puede usarse en varios problemas de MCDM, como la selección de ubicación y la organización de proyectos. Las actividades de

promoción, promoción y desarrollo de nuevos productos cuando los datos accesibles son inexactos, inexactos, inciertos y rudos por naturaleza.

Un segundo trabajo podemos encontrar la selección de proveedores en la industria locomotora india (R. Kumar, Padhi, & Sarkar, 2019), en el cual se aplican tres métodos los cuales son la función de pérdida de *Taguchi*, el proceso de jerarquía analítica (AHP) y la técnica para el cumplimiento de los pedidos por similitud con solución ideal (TOPSIS), Una vez planteado esto se aplica en dos casos de la empresa para demostrar su factibilidad, obteniendo como conclusiones que:

ahora los proveedores tendrán un informe de desempeño frente a ellos para hacer una comparación con otras empresas en su dominio. Esto creará una competencia positiva, ya que tendrán objetivos cuantificables sobre los que trabajar y mejorar y la combinación de *TOPSIS* para encontrar el proveedor más cercano a la mejor ayuda a realizar una evaluación objetiva de los proveedores y también aborda el problema de reversión de rango en el que generalmente incurren los problemas de MCDM. Un tercer trabajo que analizamos es un planteamiento de una lógica difusa (Aksoy, Sucky, & Öztürk, 2014) para la toma de decisiones dinámica de múltiples períodos en la selección de proveedores estratégicos, esto dio como resultado que: el sistema propuesto mostró, un sistema de selección de proveedor estratégico dinámico basado en lógica difusa puede ayudar al tomador de decisiones (comprador) a seleccionar un proveedor estratégico de manera más efectiva y simple, ya que los sistemas basados en lógica difusa son un enfoque muy adecuado cuando se trabaja con parámetros inciertos.

Un cuarto trabajo consiste en la gestión de la cadena de suministros (SCM) (Cengiz, Aytekin, Ozdemir, Kusan, & Cabuk, 2017) a través del proceso de red analítica (ANP) para la selección de los proveedores el cual dio como resultado que:

“los estudios revelan que ANP es un método MCDM apropiado, mientras que existe una interdependencia entre los criterios en el modelo de decisión”.

Un quinto trabajo es la selección de proveedores a través de un enfoque difuso (Dargi et al., 2014) el cual basa esta selección según una lista de criterios pre establecida y luego se implementó las siete medidas adecuadas para el proceso de selección de proveedores y se propuso un proceso de red analítica difusa y con el resultado se da el nivel de importancia aplicado en la empresa automotriz como resultados:

“se utilizó el método NGT para resumir los factores más críticos. Se implementó un método de proceso de red de análisis difuso (FANP) para ponderar los criterios seleccionados. Finalmente, para seleccionar un proveedor confiable, el proceso de evaluación debe realizarse utilizando listas de verificación relacionadas. “

Un sexto trabajo es el que propone la selección de proveedores bajo un número (Z) de información (Agakishiyev, 2016) esto ayuda a que analiza no solo variables, sino que analiza las soluciones que se han planteado para poder solucionar el problema y cuál es la más útil según el problema que sea, esto dio como resultado que el sistema funciona debido a que se basa en la aritmética de los números (Z) y la distancia entre los números (Z) y utiliza el concepto de solución ideal.

Un séptimo trabajo es el que nos da un enfoque de selección de proveedores a través de su carácter ecológico (Gurel, Acar, Onden, & Gumus, 2015), el cual tiene criterios y subcriterios que son tanto de carácter ecológicos, como no referentes a un carácter ecológico para hacer una correcta selección; dentro de estos caracteres encontramos costos, entrega,

calidad, servicio, alianza estratégica, control de la contaminación, producto verde y gestión ambiental, como resultados:

el proceso de selección de proveedores sostenible y la colaboración a largo plazo, cada determinante de la selección de proveedores se debe encontrar y evaluar durante el proceso de selección. En este contexto, los estudios anteriores en el área de selección de proveedores verdes se toman en consideración y los criterios comerciales y ambientales se reúnen en un árbol de criterios jerárquicos para el proceso de selección de proveedores. El árbol de criterios propuesto se forma a partir de ocho criterios principales: costo, entrega, calidad, servicio, alianza estratégica, control de la contaminación, producto verde, gestión ambiental. El costo, la entrega, la calidad, el servicio y las capacidades de alianza estratégica se aceptan como criterios comerciales y el control de la contaminación, el producto verde y la gestión ambiental se aceptan como criterios verdes en la selección.

4.3 Marco teórico

4.3.1 Programación Lineal Entera Mixta (MILP).

La metodología de MILP es una herramienta matemática que funciona para hacer evaluación de posibilidades, hasta llegar a la solución óptima donde se tienen en cuenta diferentes parámetros los cuales se asemejan al ambiente real.

Los parámetros que se tendrán en cuenta en este modelo será en base en el modelo matemático planteado (Alfonso, Peñ, Florez, & Liliana Rodríguez-Rojas, 2018b) que son los siguientes:

4.3.1.1 Parámetros del problema.

- $q(kgl)$ Número de unidades por lote (l) del artículo (k) del proveedor (g)
- $U(kgl)$ Capacidad utilizada del artículo (k) del proveedor (g) del lote (l)
- $C(kgl)$ Costo del lote (l) del artículo (k) del proveedor (g)
- $P(gt)$ Capacidad de producción del proveedor (g) en el tiempo (t)
- $d(kt)$ Demanda del artículo (k) el tiempo (t)
- $h(k)$ Costo de mantener el artículo (k)
- $V(k)$ Costo por unidades pendientes del artículo (k)
- $b(kt)$ Unidades sin satisfacer del artículo (k) en el tiempo (t)
- $i(kt)$ Unidades en el inventario del artículo tipo (k) en el tiempo (t)
- $b(k0)$ Unidades sin satisfacer del artículo (k) en el tiempo ($t = 0$)
- $i(k0)$ Unidades en el inventario del artículo tipo (k) en el tiempo ($t = 0$)
- $m(g)$ Costo de administración por tener al proveedor (g) activo durante un período de

tiempo.

4.3.1.2 Variables del problema.

- $X(kglt)$ Número de lotes a ser requeridos del artículo (k) del proveedor (g) del tamaño de lote (l) en el tiempo (t)
- $I(kt)$ Inventario en el tiempo (t) del artículo tipo (k)
- $b(kt)$ Unidades insatisfechas en el tiempo (t) del artículo tipo (k)
- $a(gt)$ Variable binaria que indica si el proveedor (g) se encuentra activo durante el

período.

4.4 Marco conceptual

Se mostrará cómo se desarrolla el trabajo teniendo en base la figura 8, se busca desarrollar los aspectos metodológicos respecto a la forma de plantear los procesos de desarrollo de la investigación, entrelazando cada aspecto, el cual permita analizar el proceso de selección de proveedores, buscando el desarrollo de una propuesta de MILP, además se establece como prioridad la búsqueda de la eliminación del *backorder*.

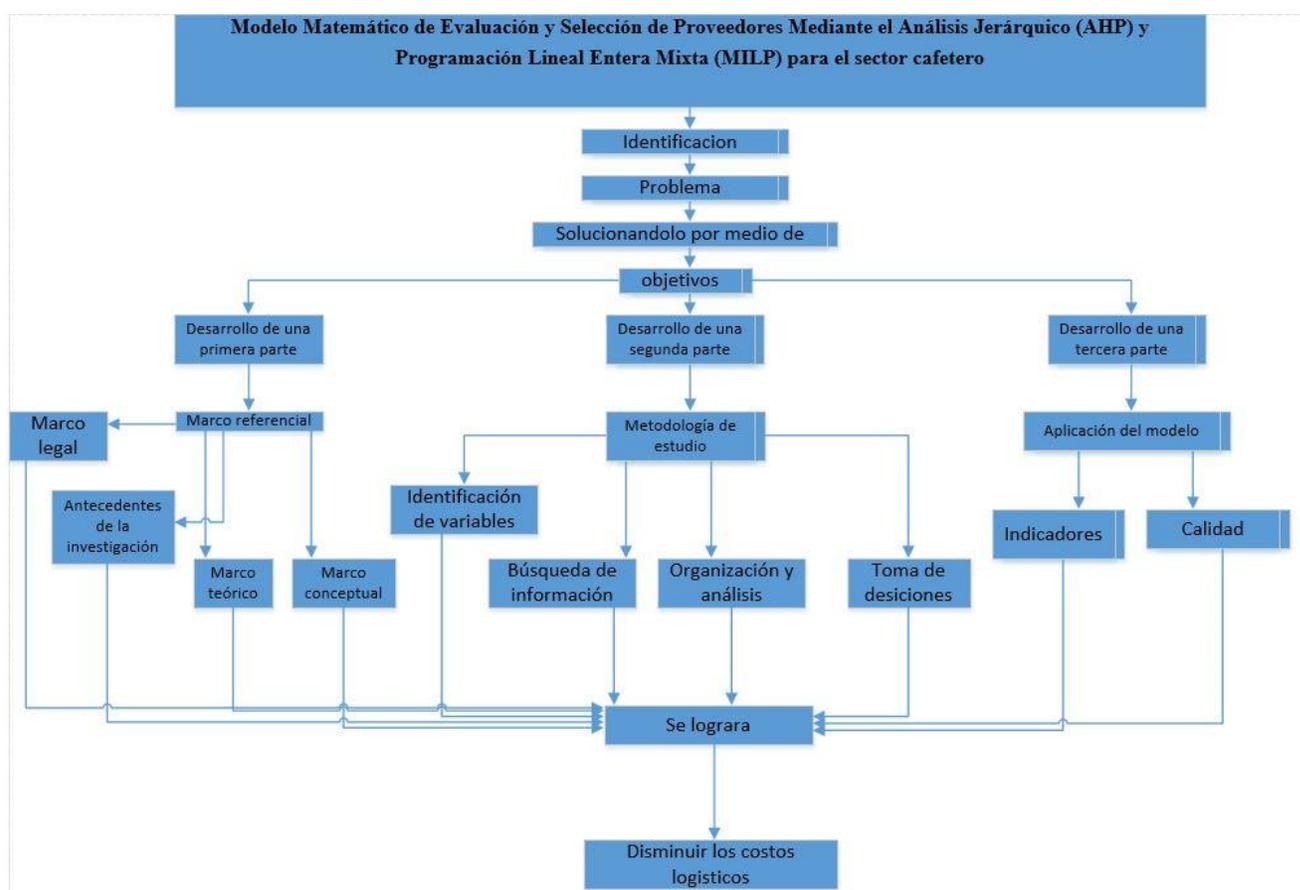


Figura 8. Marco conceptual. Elaboración propia

4.5 Marco legal

Dentro de la normativa colombiana encontramos unas leyes de contratación de proveedores y otras que nos dan estándares de calidad para estos como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 2.

Normativas logísticas en Colombia

Normativa	Resumen
RESOLUCIÓN 2674 DE 2013	envasen o importen para su comercialización en el territorio nacional, requerirán de notificación sanitaria, permiso sanitario o registro sanitario, según el riesgo de estos productos en salud pública,
LEY 1231 DE 2008	Por la cual se unifica la factura como título valor como mecanismo de financiación para el micro, pequeño y mediano empresario, y se dictan otras disposiciones.
SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD. REQUISITOS	Normativa de calidad en todo los sentidos lo cual también se aplica para los proveedores

LEY 1474 DE 2011

por la cual se dictan
normas orientadas a
fortalecer los mecanismos
de prevención,
investigación y sanción de
actos de corrupción y la
efectividad del control de
la gestión pública incluyen
la contratación de
proveedores

Nota: Tabla de elaboración propia

5 Marco metodológico

5.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo transversal, correlacional e investigativa debido a que:

Los diseños de investigación transversal recolectan datos en un solo momento en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado” (Ibídem, p270). El estudio solo recolecta y analiza datos en un periodo de tiempo específico, por lo que es considerado un estudio no experimental y transversal, este tipo de investigación está indicada para determinar el grado de relación y semejanza que pueda existir entre dos o más variables, es decir, entre características o conceptos de un fenómeno. Ella no pretende establecer una explicación completa de la causa – efecto de lo ocurrido, solo aporta indicios sobre las posibles causas de un acontecimiento.” (*Investigación Correlacional*, n.d.)

5.1.1 Proceso metodológico.

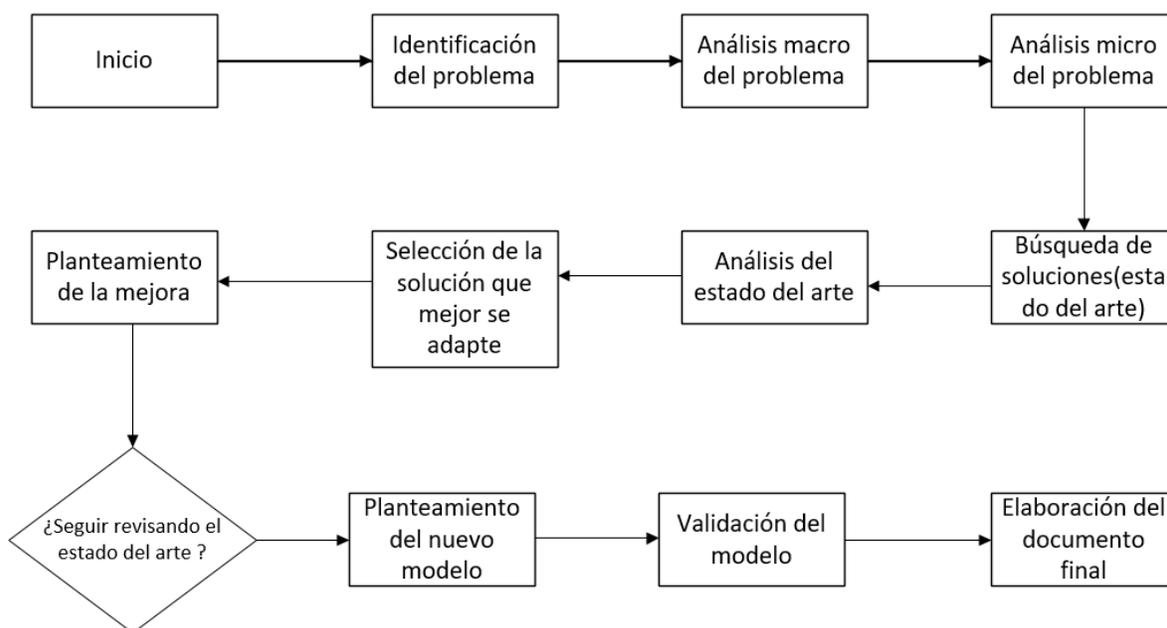


Figura 9. Flujograma de la metodología aplicada. Elaboración propia

Como se puede observar en la imagen 9 la metodología que se aplicó para la investigación fue la búsqueda y definición del problema a tratar luego se pasó del análisis del problema tanto en forma macro como micro y después de esto se hizo la busque del estado del arte con que tratara este problema con esto en mente se eligió el que se consideró el elemento más adaptable dentro de la soluciones y se implementó una mejora a esta solución donde se comprueba que sí sea útil y se pasó a hacer este documento.

En cuanto al proceso metodológico se tendrán en cuenta los diferentes aspectos que se deben ir desarrollando, estos uno a uno para poder tener el resultado deseado donde se dispondrán en dos grandes grupos principalmente que serían:

- Programación lineal entera mixta

Estos contarían con los mismos sub componentes los cuales serían:

- Búsqueda de información
- Determinación de variables
- Parámetros
- Estándares a cumplir

5.2 Hipótesis

- Como se puede observar en el trabajo de modelo de programación lineal entera mixta, para la planificación conjunta de la cadena de abastecimiento (Hernández Mac-donald & Supervisor, 2013) esta metodología resulta ser práctica para el mejoramiento de la cadena de abastecimiento debido a la cantidad de variables que se pueden llegar a analizar dentro de este.

- En la revista ingeniería (Alfonso et al., 2018) podemos encontrar como se unen el modelo de programación lineal entera mixta (MILP) con la metodología de análisis jerárquico (AHP) para mejorar desde dos perspectivas la selección de proveedores haciendo más eficiente la parte logística de la empresa a través de la disminución de los costos.
- El ingeniero Edgar Fernando Eslava Flecha plantea una fusión de un modelo de programación lineal entera mixta con un MRP para optimizar la producción donde se mete desde los proveedores hasta el cliente final siendo así una clara evidencia de que la formulación en programación lineal entera mixta es una herramienta útil para la solución de problemas en el área industrial.

6 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 Diagnóstico

6.1.1 Estado del arte.

Se utilizó una metodología de revisión literaria descriptiva para hacer un análisis del desarrollo e implementación de técnicas de selección de proveedores.

La búsqueda de artículos científicos y revisiones de literatura sobre la selección de proveedores se realizó a través de bases de datos especializadas, las cuales fueron Science Direct, Scopus y ... Los filtros de búsqueda que se implementaron fueron:

- Supplier selection
- Mixed integer linear programming model

Análisis de resultados

Con esto en mente se encontraron 21 artículos los cuales se distribuyeron anualmente de la siguiente manera

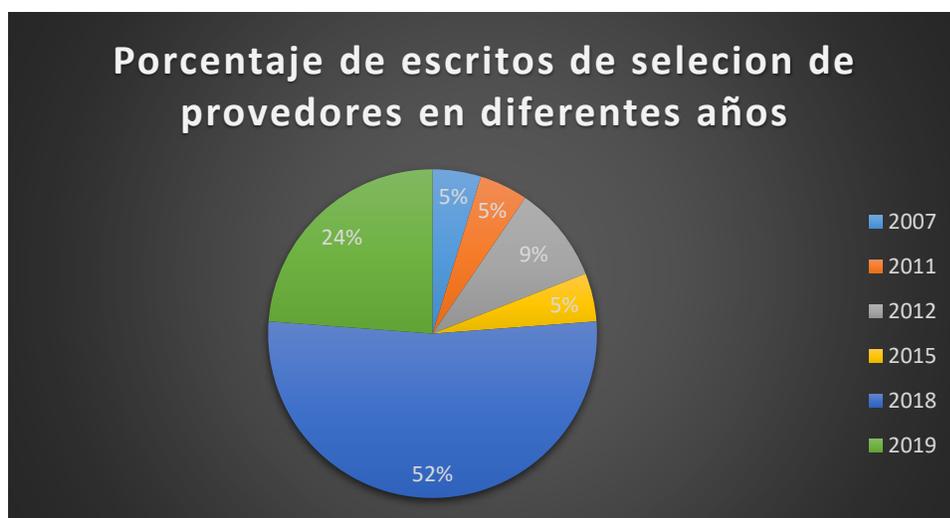


Figura 10. Porcentaje de escritos de selección de proveedores en diferentes años.

Elaboración propia

Dentro de estos archivos se vio la siguiente distribución según la técnica que usaron

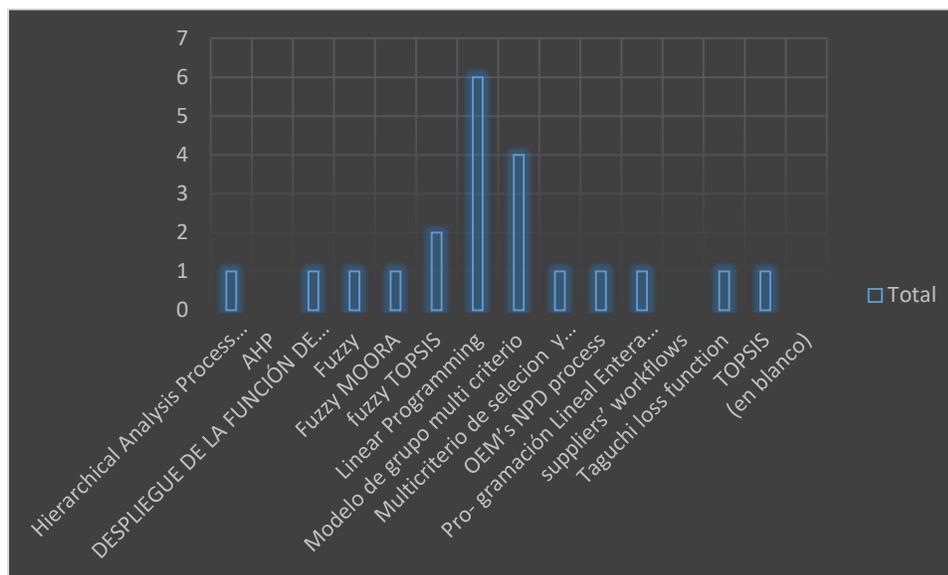


Figura 11. Número de tesis escritas por temas. Elaboración propia

Como se puede observar el método más usado es el método de programación lineal para la solución de este tipo de problemas

A continuación, se mostrará una breve descripción de cada artículo teniendo en cuenta factores importantes de estos:

Tabla 3.

Estado del arte

ITEM	TÍTULO	AÑO	OBJETIVOS	MÉTODO	TÉCNICA	RECOMENDACIONES	CITERIOS
1	Selección de proveedor de servicios logísticos: alineación entre criterios e indicadores	2018	identificar los criterios de selección de proveedores de servicios logísticos, sus respectivos indicadores de desempeño y su alineación en los procesos de selección y evaluación de proveedores en el sector de comercio minorista	<u>1. Se define la selección de proveedores y su importancia en la cadena de suministros</u> <u>2. se establecen los criterios de selección</u> <u>3. indicadores de desempeño logístico</u> <u>4. estado del arte</u> <u>5. selección de los casos</u> <u>6. recolección de datos</u> <u>7. Resultados</u> <u>8. conclusiones</u>	Multicriterio de selección y evaluación de los indicadores logísticos	NA	<u>Precio (costo del transporte) Nivel de servicio</u> <u>Participación en el mercado Calidad</u> <u>Flexibilidad de la demanda y de la operación</u> <u>Conocimiento de la industria Estabilidad financiera</u> <u>Alcance de recursos e infraestructura</u> <u>Cumplimiento de los plazos de entrega</u> <u>Accesibilidad</u> <u>Mano de obra calificada y recursos humanos</u> <u>Habilidad gerencial Localización geográfica</u> <u>Programa de mejoría continua</u> <u>Capacidad de ofrecer servicios de ti</u> <u>Monitorización y rastreo</u> <u>Confiabilidad (cumplimiento de acuerdos)</u> <u>Tasa de negociación</u> <u>Comunicación (utilización de ti) Costo de logística reversa Capacidad técnica</u> <u>Tasa de rechazo</u> <u>Incapacidad de atender demandas futuras</u> <u>Disposición y actitud Costos ambientales</u>

						Capacidad de optimización Capacidad de crecimiento Capacidad de respuesta Reputación y credibilidad Experiencia
2	Modelo para la planificación en la cadena de suministro: Selección y asignación a proveedores en el caso de lotes fijos	2012	minimizar los costos totales. Se definen los elementos de costo asociados a la planificación de proveedores	<u>1. introducción</u> <u>2. estado del arte</u> <u>3. descripción del problema</u> <u>4. Aplicación</u> <u>5. Resultados</u> <u>6. Conclusiones</u>	Programación Lineal Entera Mixta para optimizar la decisión de selección y asignación a proveedores en el caso de lotes fijos	<u>Costos de inventario por artículo</u> <u>Costos de órdenes pendientes por artículo</u> <u>Costos de adquisición por proveedor</u> <u>Costos de administración por proveedor</u>
3	Modelo de asignación de compras a proveedores considerando su incumplimiento en la entrega	2012	Disminución de costos por unidades no entregadas	<u>1. introducción</u> <u>2. estado del arte</u> <u>3. descripción del problema</u> <u>4. Aplicación</u> <u>5. Resultados</u> <u>6. Conclusiones</u>	Linear Programming	<u>porcentaje de la demanda total asignada al proveedor</u> <u>demanda total</u> <u>conjunto de proveedores</u> <u>Proveedores</u> <u>costo asociado al proveedor</u>
4	Intuitionistic fuzzy MOORA for supplier selection	2015		<u>1. introducción</u> <u>2. estado del arte</u> <u>3. descripción del problema</u> <u>4. Aplicación</u>	Fuzzy MOORA	<u>Costo</u> <u>Servicio</u> <u>Administración</u> <u>Tecnología</u>

	GROUP MODEL FOR THE SELECTION OF SUPPLIERS		3. descripción del problema 4.Aplicación 5. Resultados 6.Conclusiones			Diseño Calidad Tiempo Experiencia
8	Application of Fuzzy Logic in Selection of Remanufactur ing Technology	2019	1. introducción 2. estado del arte 3. descripción del problema 4.Aplicación 5. Resultados 6.Conclusiones	Fuzzy	NA	Immersion cleaning Ultrasonic cleaning Dry and wet abrasive blasting Chemical cleaning Dry and steam laser Thermal cleaning
9	Study on the Robust Tolerance Design with Multiple Resource Suppliers on Cloud Manufacturin g Platform	2018	1. introducción 2. estado del arte 3. descripción del problema 4.Aplicación 5. Resultados 6.Conclusiones	Linear Programmin g	NA	conjunto de proveedores Costo Lotes Demanda Periodicidad
10	Motivating low-carbon initiatives among suppliers: The role of risk	2018	1. introducción 2. estado del arte 3. descripción del problema 4.Aplicación	Linear Programmin g	NA	Low-carbon initiatives Emission target Climate strategy Customer collaboration

	and opportunity perception		<u>5. Resultados</u>			<u>Supplier collaboration</u>
			6.Conclusiones			Customer pressure
			<u>1. introducción</u>			Los subproveedores deben ser de un tamaño similar, en el segundo nivel y estar ubicados en la misma región geográfica para que compartan condiciones institucionales similares.
			2. estado del arte			
			<u>3. descripción del problema</u>			Los intermediarios deben estar ubicados en la misma ubicación que la de los subproveedores.
			<u>4.Aplicación</u>			Los intermediarios y subproveedores están conectados a través de contratos formales de órdenes de producción al contado, la naturaleza tradicional de las relaciones comerciales a este nivel, especialmente en los países en desarrollo.
11	Developing country sub-supplier responses to social sustainability requirements of intermediaries : Exploring the influence of framing on fairness perceptions and reciprocity	2018	5. Resultados	Modelo de grupo multi criterio	NA	Las díadas deben lidiar con diferentes tipos de requisitos de sostenibilidad social.
			<u>6.Conclusiones</u>			Número registrado de trabajadores (incluidos los cambios de horas extra)
						Requisitos de sostenibilidad
						Intermediarios conectados (es decir, agentes de abastecimiento o proveedores de primer nivel)
12	Supplier quality improvement:	2018	<u>1. introducción</u>	Linear Programmin g	NA	<u>Indices de elasticidad</u>
			2. estado del arte			

	The value of information under uncertainty		3. descripción del problema 4.Aplicación 5. Resultados 6.Conclusiones			
13	Cournot Game Based Multi-Supplier Local Energy Trading	2018	1. introducción 2. estado del arte 3. descripción del problema 4.Aplicación 5. Resultados 6.Conclusiones	Linear Programming	NA	
14	Supplier Strategies and Routines for Capability Development: Implications for Upgrading	2018	1. introducción 2. estado del arte 3. descripción del problema 4.Aplicación 5. Resultados 6.Conclusiones	Modelo de grupo multi criterio	NA	GVC upgrading supplier strategy capability building supporting routines barriers to absorptive capacity
15	Demand-pull innovation in science: Empirical evidence from a research university's suppliers	2019	1. introducción 2. estado del arte 3. descripción del problema 4.Aplicación 5. Resultados 6.Conclusiones	Modelo de grupo multi criterio	NA	
16		2018	1. introducción		NA	

	Integration of Suppliers' Workflows in the OEMs' New Product Development Process		<u>2. estado del arte</u> <u>3. descripción del problema</u> <u>4.Aplicación</u> <u>5. Resultados</u> <u>6.Conclusiones</u>	OEM's NPD process suppliers' workflows		
17	Supplier selection of an Indian heavy locomotive manufacturer: An integrated approach using Taguchi loss function, TOPSIS, and AHP	2019	<u>1. introducción</u> <u>2. estado del arte</u> <u>3. descripción del problema</u> <u>4.Aplicación</u> <u>5. Resultados</u> <u>6.Conclusiones</u>	Taguchi loss function TOPSIS AHP	NA	
18	Supplier selection using fuzzy TOPSIS multi criteria model for a small scale steel manufacturing unit	2018	<u>1. introducción</u> <u>2. estado del arte</u> <u>3. descripción del problema</u> <u>4.Aplicación</u> <u>5. Resultados</u> <u>6.Conclusiones</u>	fuzzy TOPSIS Modelo de grupo multi criterio	NA	
19	Supplier selection towards	2018	<u>1. introducción</u> <u>2. estado del arte</u>	TOPSIS	NA	

	uncertain and unavailable information: An extension of TOPSIS method		3. descripción del problema 4.Aplicación 5. Resultados 6.Conclusiones			
20	An integrated optimization model for selection of sustainable suppliers based on customers' expectations	2019	1. introducción 2. estado del arte 3. descripción del problema 4.Aplicación 5. Resultados 6.Conclusiones	fuzzy TOPSIS	NA	
21	Information system for selection the optimal goods supplier	2019	1. introducción 2. estado del arte 3. descripción del problema 4.Aplicación 5. Resultados 6.Conclusiones	Linear Programmin g	NA	conjunto de proveedores Costo Lotes Demanda Periosidad

Nota: Tabla de elaboración propia

6.2 Definición del modelo matemático

Dentro del modelo matemático, vamos a validar las variables que se van a utilizar las que se plantean en el modelo Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta (Alfonso, Peñ, Florez, & Liliana Rodríguez-Rojas, 2018a) debido a que nos propone las siguientes variables para tener en cuenta

- Número de lotes de los artículos a ser requerido de cada proveedor en todos los períodos de tiempo
- Nivel de inventario de todos los artículos al final de cada periodo de tiempo
- Badcorder de los artículos en todos los periodos de tiempo
- Variable binaria de activación

Estas son las variables iniciales que presenta el modelo, en este caso se le va a agregar una nueva restricción la cual es una compra mínima a todos los proveedores debido a que esto es algo que tiende a pasar mucho con proveedores donde se hacen tratos de una compra mínima en periodos de tiempos específicos en este caso se va a tomar los seis periodos analizados por el modelo como el tiempo límite de compra de estos productos, esto se trata en el libro “Administración de compras y abastecimiento” (Leenders Flynn, 2012) donde se nos habla de las estrategias de suministros dentro de las cuales entran estos contratos con los proveedores donde se dan unas garantías especiales tanto a los compradores como a los vendedores en una promesa de compra del producto, esto también tiende a pasar mucho con las grandes franquicias donde en la mayoría de sus casos aseguran la venta de sus productos por x cantidad de tiempos para ellos no perder la producción y donde se les entrega el producto al cliente en el tiempo que este lo requiera ya que esta mercancía ya se encuentra comprometida como se explica en el texto de Felipe Mosquera (Mosquera Muñoz, 2010).

6.3.1. Modelo matemático.

El modelo matemático está basado en un escenario ficticio el cual lo vamos a dividir en cuatro grandes partes las cuales van a ser

- Parámetros
- Variables
- Función objetivo (1)
- Restricciones (2-11)

Esto se hace para facilitar el entendimiento y la relación entre estas

6.3.1.1 Parámetros.

Los parámetros que se manejan en el modelo son los siguientes

- CADM g : Costo de administración del tipo de proveedor " g "
- $h(k)$: costo de mantener una unidad del artículo k
- $v(k)$: costo de unidades pendientes por unidad por período para el artículo k
- $i(k)$: número inicial de unidades en inventario del artículo k
- $b(k)$: Backorder iniciales pendientes para el artículo k
- $d(k, t)$: Demanda del producto tipo " k " en el horizonte de tiempo tipo " t "
- $p(g, t)$: Capacidad de producción del proveedor g para el período de tiempo z
- $q(l, k, g)$: Número de unidades por lote l del artículo k del proveedor g
- $c(l, k, g)$: costo total de compra del artículo " k " del proveedor " g " que incluye el precio de venta del artículo los costos de transporte y una cantidad de costos por procesamiento
- $u(l, k, g)$: capacidad utilizada por lote del artículo k del proveedor g

- Com.Min.gkl: compra mínima por lotes tipo l por producto k por proveedor g

6.3.1.2. Variables.

Dentro de las variables

- $X_{kgl t}$: número de lotes l del artículo k a ser requerido de un proveedor g en el período de tiempo z
- i_{kt} : representa el nivel de inventario del artículo k al final del período t
- b_{kt} : Backorder del artículo k al final del período de tiempo t
- a_{gt} : variable binaria que indica si el proveedor g se encuentra activo durante el período t

6.3.1.3. Función objetivo.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{k \in W} \left(\sum_{t \in T} i_{kt} h_k + \sum_{t \in T} b_{kt} v_k \right) \\ & + \sum_{g \in S} \left(\sum_{k \in W} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{kgl t} C_{kgl t} + \sum_{z \in T} a_{gt} m_g + \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Como se puede observar en la función objetivo busca minimizar los costos de comprar los suministros como también se busca

6.3.1.4. Restricciones.

$$d_{kt} + b_{k(t-1)} - i_{k(t-1)} - \sum_{g \in S_k} \sum_{l \in L} q_{kgl t} X_{kgl t} = b_{kt} - i_{kt} \quad \forall k \in W, \forall t \in T \quad (2)$$

$$\quad (3)$$

$$\emptyset a_{gt} \geq \sum_{k \in W} \sum_{l \in L} X_{kgl t} \quad \forall g \in S, \forall t \in T$$

$$\quad (4)$$

$$\quad (5)$$

$$\quad (6)$$

$$\sum_{k \in W} \sum_{l \in L} X_{kgl} U_{kgl} \leq P_{gt} \quad \forall g \in S, \forall t \in T$$

$$\sum_{t \in T} x_{gklt} \geq Com.Min.gkl \quad \forall g \in S, \forall l \in L, \forall k \in W$$

$$i_{kt} = 0 \quad \forall k$$

$$b_{kt} = 0 \quad \forall k$$

$$x_{kgl} \geq 0 \quad \forall k \in W, \forall g \in S, \forall l \in L, \forall t \in T$$

$$b_{kt} \geq 0; i_{kt} \geq 0 \quad \forall k \in W, \forall t \in T$$

$$a_{gt} \in \{0,1\} \quad \forall g \in S, \forall t \in T$$

$$X_{kgl}; b_{kt}; i_{kt} \in Z^+$$

La primera restricción (2) nos determina la cantidad de artículos de la clase k en todos los periodos de tiempo, la siguiente restricción nos determina si un proveedor está siendo utilizado en el predio de tiempo t (3), luego le sigue la restricción que nos limita la cantidad de lotes de cada proveedor (4), la restricción (5) nos determina la compra mínima a cada proveedor de cada producto de cada tipo de lote en todos en todos los periodos de tiempo, luego va la restricción de inventario final al final del ejercicio el cual se busca que sea cero en este caso (6), luego va la que nos indica que deben quedar cero demandas sin cumplir (backorder) (7), las siguientes cuatro restricciones (8), (9), (10), (11) nos representan las restricciones de no negatividad y que las restricciones binarias sean completas.

6.3 Aplicación en entorno simulado

Para la aplicación del modelo nos basaremos en los valores brindados por el modelo matemático propuesto en el artículo “Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación

Lineal Entera Mixta”(Alfonso et al., 2018b) los cuales se muestran en las tablas a continuación:

Tabla 4.

Costo de administrar al proveedor

Proveedor	Costo de administrar al proveedor
g1	400
g2	600
g3	900

Nota: Tabla basada en el documento “Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta”(Alfonso et al., 2018b)

Tabla 5.

Costo de mantener una pieza

Artículo	Costo de mantener una pieza
k1	1
k2	2
k3	3
k4	1

Nota: Tabla basada en el documento “Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta”(Alfonso et al., 2018b)

Tabla 6.

Costo de backorder

Artículo	Costo de backorder
k1	20
k2	50
k3	60
k4	70

Nota: Tabla basada en el documento “Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta”(Alfonso et al., 2018b)

Tabla 7.

Inventario inicial

Artículo	Inventario inicial
k1	0
k2	0
k3	0
k4	0

Nota: Tabla basada en el documento “Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta”(Alfonso et al., 2018b)
Tabla 8.

Backorder inicial

Artículo	Backorder inicial
k1	0
k2	0
k3	0
k4	0

Nota: Tabla basada en el documento “Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta”(Alfonso et al., 2018b)
Tabla 9.

Demanda por cada periodo de tiempo

Demanda por cada periodo de tiempo						
Artículo	t1	t2	t3	t4	t5	t6
k1	100	30	50	90	40	50
k2	50	75	40	10	50	40
k3	120	300	100	500	80	20
k4	20	35	20	10	12	60

Nota: Tabla basada en el documento “Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta”(Alfonso et al., 2018b)
Tabla 10.

Capacidad de producción por periodo de tiempo

Capacidad de producción por periodo de tiempo						
Artículo	t1	t2	t3	t4	t5	t6
g1	2	2	2,5	2	0	2

g2	1,5	1	3	3	2	2
g3	1	2	3	2	2	3

Nota: Tabla basada en el documento “Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta”(Alfonso et al., 2018b)
Tabla 11.

Número de unidades de cada producto por el tipo de lote por cada proveedor

Número de unidades de cada producto por el tipo de lote por cada proveedor			
	g1	g2	g3
11.k1	35	30	0
12.k1	5	50	0
11.k2	0	200	65
12.k2	0	220	85
11.k3	90	100	55
12.k3	100	110	65
11.k4	0	8	10
12.k4	0	18	15

Nota: Tabla basada en el documento “Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta”(Alfonso et al., 2018b)
Tabla 12.

Costo de compra por unidades de cada producto por el tipo de lote por cada proveedor

Costo de compra por unidades de cada producto por el tipo de lote por cada proveedor			
	g1	g2	g3
11.k1	1000	900	999999
12.k1	1400	1400	999999
11.k2	999999	2000	750
12.k2	999999	2100	800
11.k3	1820	2000	1000
12.k3	2000	2100	1150
11.k4	999999	90	100
12.k4	999999	160	135

Nota: Tabla basada en el documento “Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta”(Alfonso et al., 2018b)
Tabla 13.

Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo

Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo		
	11	12
g1.k1	5	1
g1.k3	2	3
g2.k1	0	0
g2.k2	0	0
g2.k3	0	1
g2.k4	0	3
g3.k2	0	0
g3.k3	0	1
g3.k4	0	4

Nota: Tabla de elaboración propia

6.4 Validación

Para la validación del modelo matemático primero se procedió a poner los mismos parámetros que en el modelo matemático original y planteando la nueva restricción para que diera la misma respuesta que el modelo original como se muestra en las imágenes a continuación:

Tabla 14.

Solución del modelo original

PROVEEDO		TIEMPO						
LOTE	R	PRODUCTO	1	2	3	4	5	6
1	1	1		2	3	1		
	2	3	1			2		
		2			1			

		3			2		
	3	2	1				
		4		1			
	1	1	2				
		3		2	1	1	
	2	1					1
		3				2	
	2	4	1	1	1	1	
		3	1	1			
	3	4		1			4
FUNCIÓN							
OBJETIVO		47667					

Nota: Tabla de elaboración propia

Como se puede observar la solución óptima brindada por el modelo original es de 47667000 unidades monetarias la cual es la misma que da en el nuevo modelo concordando las restricciones para que haga la misma cantidad de pedidos.

Tabla 15.

Solución del modelo alterado validando lo con el original

PROVEEDO		TIEMPO						
LOTE	R	PRODUCTO	1	2	3	4	5	6
	1	1		2	3	1		
		3	1			2		
1	2	2			1			
		3				2		
	3	2	1					
		4		1				
	1	1	2					
		3		2	1	1		
	2	1					1	
		3				2		
	2	4	1	1	1	1		
		3	1	1				
	3	4		1				4
FUNCIÓN								
OBJETIVO		47667						

Nota: Tabla de elaboración propia

Una vez ya verificado el modelo se procedió a hacer nuevas alteraciones al modelo para ver qué tan elástico era este y como esta nueva restricción podría cambiar el modelo original dentro de las modificaciones se altera la tabla que nos da la compra mínima como se mostrara en las siguientes tablas a continuación

Tabla 16.

Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo alteración 1

Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo		
	11	12
g1.k1	3	2
g1.k3	1	1
g2.k1	0	0
g2.k2	0	0
g2.k3	1	0
g2.k4	0	3
g3.k2	0	0
g3.k3	0	1
g3.k4	2	1

Nota: Tabla de elaboración propia

En esta primera alteración podemos ver como el modelo matemático para poder con la nueva restricción aumenta su función objetivo.

Tabla 17.

Solución del modelo alteración 1

LOTE	PROVEEDO							
	R	PRODUCTO	1	2	3	4	5	6
1	1	1		1	4	1		
		3	1			3		
	2	2			1			
		3						1

		4		1	
		2	1		
3		3		2	
		4		2	
	1	1	2		
		3		2	
		1			1
2	2	3			2
		4	1	1	1
		3	1	1	
	3	4		1	4
FUNCIÓN					
OBJETIVO		48407			

Nota: Tabla de elaboración propia

Lo cual, aunque sea un aumento de costos no se incumple con lo pactado con el proveedor que es la función de la restricción

La siguiente alteración que se aplicará al modelo implica la eliminación de la restricción del proveedor g1.

Tabla 18.

Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo alteración 2

	Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo	
	11	12
g2.k1	0	0
g2.k2	0	0
g2.k3	0	1
g2.k4	1	0
g3.k2	0	0
g3.k3	1	0
g3.k4	0	0

Nota: Tabla de elaboración propia

Con estos nuevos parámetros para la restricción el resultado es el siguiente

Tabla 19.

Solución del modelo alteración 2

			TIEMPO					
LOTE	PROVEEDOR	PRODUCTO	1	2	3	4	5	6
1	2	1				1	1	
		2			1			
		3						1
		4		1	1			
	3	2	1					
		3	1					
2	1	1	2	2		2		
		3	1	2		1		
	2	3					1	
		4	1				1	
		3		1	2	4		
		4		2	1			4
FUNCIÓN								
OBJETIVO		48347						

Nota: Tabla de elaboración propia

Como se puede observar el resultado termina siendo mayor que el modelo matemático original pero menor que la alteración 1 de este.

La siguiente alteración que se aplicará al modelo va a modificar la restricción de la siguiente manera

Tabla 20.

Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo alteración 3

Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo		
	11	12
g1.k1	1	1
g1.k3	1	1

g2.k1	1	1
g2.k2	1	0
g2.k3	1	0
g2.k4	0	1
g3.k2	1	0
g3.k3	1	0
g3.k4	0	1

Nota: Tabla de elaboración propia

Como resultado dio el siguiente valor

Tabla 21.

Solución del modelo alteración 3

LOTE	PROVEEDOR	PRODUCTO	TIEMPO					
			1	2	3	4	5	6
1	1	1		1	1			
		3				1		
		1				2	1	
	2	2			1			
		3					1	
		2	1					
	3	3		1				
		3	1					
		4		1				
2	1	1	2		1			
		3	1	2	1	3		
		1						1
	2	3				1		
		4	1	1	1			1
		3		1				
	3	3		1				
		4		1	4			
	FUNCIÓN OBJETIVO		48451					

Nota: Tabla de elaboración propia

Como se puede observar este es el resultado que más caro nos da, pero aun así cumple con todas las restricciones incluso la alteración tres de la restricción de compra mínimas.

Por último, se altera el modelo agregando un nuevo producto con su respectiva demanda y sus restricciones correspondientes

Tabla 22.

Costo de mantener una pieza

Artículo	Costo de mantener una pieza
k1	1
k2	2
k3	3
k4	1
K5	3

Nota: Tabla de elaboración propia

Tabla 23.

Costo de backorder

Artículo	Costo de backorder
k1	20
k2	50
k3	60
k4	70
K5	55

Nota: Tabla de elaboración propia

Tabla 24.

Demanda por cada periodo de tiempo

Artículo	Demanda por cada periodo de tiempo					
	t1	t2	t3	t4	t5	t6
k1	100	30	50	90	40	50
k2	50	75	40	10	50	40

k3	120	300	100	500	80	20
k4	20	35	20	10	12	60
K5	120	300	100	500	80	20

Nota: Tabla de elaboración propia

Tabla 25.

Capacidad de producción por periodo de tiempo

Capacidad de producción por periodo de tiempo						
Artículo	t1	t2	t3	t4	t5	t6
g1	2	2	2,5	2	0	2
g2	1,5	1	3	3	2	2
g3	1	2	3	2	2	3

Nota: Tabla de elaboración propia

Tabla 26.

Número de unidades de cada producto por el tipo de lote por cada proveedor

Número de unidades de cada producto por el tipo de lote por cada proveedor			
	g1	g2	g3
11.k1	35	30	0
12.k1	5	50	0
11.k2	0	200	65
12.k2	0	220	85
11.k3	90	100	55
12.k3	100	110	65
11.k4	0	8	10
12.k4	0	18	15
11.k5	90	100	55
12.k5	100	110	65

Nota: Tabla de elaboración propia

Tabla 27.

Costo de compra por unidades de cada producto por el tipo de lote por cada proveedor

Costo de compra por unidades de cada producto por el tipo de lote por cada proveedor			
	g1	g2	g3
11.k1	1000	900	999999
12.k1	1400	1400	999999
11.k2	999999	2000	750
12.k2	999999	2100	800
11.k3	1820	2000	1000
12.k3	2000	2100	1150
11.k4	999999	90	100
12.k4	999999	160	135
11.k3	1820	2000	1000
12.k3	2000	2100	1150

Nota: Tabla de elaboración propia
Tabla 28.

Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo

Compra mínima por lote y por producto en el total de tiempo		
	11	12
g1.k1	1	1
g1.k3	1	1
g1.k5	0	1
g2.k1	1	1
g2.k2	1	0
g2.k3	1	0
g2.k4	0	1
g1.k3	1	0
g3.k2	1	0
g3.k3	1	0
g3.k4	0	1
g1.k3	0	0

Nota: Tabla de elaboración propia

Con estos cambios en los parámetros la función objetivo se cambia de la siguiente manera

Tabla 29.

Solución del modelo alteración 4

LOTE	PROVEEDOR	PRODUCTO	TIEMPO					
			1	2	3	4	5	6
1	1	1			2			
		3	1	2				
		1				2	1	
		2			1			
		3				1		
	3	2	1					
		3	1					
		4					1	
		1	2		1			
		3		1		4		
2	2	5	1	2	1	1		
		1				1		
		4	1	1	1		1	
		3			2		1	
		4		1	2			2
	3	5		2	1	4	1	

FUNCIÓN
OBJETIVO

74665

Nota: Tabla de elaboración propia

Teniendo en cuenta que el modelo si es capaz de adaptarse a diferentes ambientes e incluso expandirse según lo requiera la situación simulada, este modelo se considera útil para aplicarse en diferentes ambientes.

Tabla 30.

Comparación de resultados

	ORIGINAL	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	SOLUCIÓN 4
FUNCIÓN OBJETIVO	47667	48407	48347	48451	74665

Nota: Tabla de elaboración propia

Como podemos observar el modelo matemático nos muestra diferentes resultados según los parámetros asignados dentro de cada uno de los ejemplos simulados, esto nos conlleva que el modelo tiene una adaptabilidad a diferentes ambientes, mas no es útil en cualquier caso ya que los modelos de programación lineal entera mixta cuentan con limitaciones según donde se aplique el modelo por ejemplo si este modelo se trata de aplicar en Excel este no lo funcionaria a menos que se disminuyeran la cantidad de productos dentro del modelo por esto las limitaciones de aplicación del modelo se podrían basar principalmente en las herramientas que se usen otro claro limitante de este modelo son las limitaciones que presenten los proveedores los almacenes o incluso si la demanda no es fija como se muestra en este ejercicio no es aplicar este modelo ya que no cuenta con características estadísticas dentro de el.

7 Conclusiones

1. Según el análisis del estado del arte, se pudo ver que dentro de todas las soluciones planteadas la que tiende a usarse son los modelos matemáticos debido a su amplio nivel de adaptabilidad a los problemas y su grado de fiabilidad frente a herramientas que se ven relacionadas con caracteres sociales.
2. Las variables que se analizan dentro del sistema se encontró que se plantearon aquellas que tienden a tener un mayor impacto en el costo del producto debido a que dentro del mismo estado del arte se muestran en más de una ocasión varias de estas variables.
3. El modelo matemático planteado es útil para la selección de proveedores debido a la amplia adaptabilidad de este y su semejanza a los problemas reales simulados en el modelo.
4. La restricción planteada cumple con la función de cumplir la compra mínima pactada por el contrato con los proveedores, por consiguiente, aunque esto genera un aumento a la función objetivo si se plantea el rompimiento de esta póliza una penalización este aumento es aceptable.
5. Se validó la utilidad y adaptabilidad del modelo a través de un análisis de sensibilidad de este a través de cambios en el parámetro planteado y viendo que el modelo sigue funcionando de forma adecuada.

8 Recomendaciones

- En posibles investigaciones futuras se recomienda proponer la restricción de compra mínima por periodo de tiempo.
- En aplicación del modelo en un sector real se recomienda hacer un análisis de mercado para sacar la demanda de los productos y hacer previas simulaciones antes de elegirse la solución óptima variando las condiciones del mercado según bases históricas de este

Referencias

1. Agakishiyev, E. (2016). ScienceDirect Supplier selection problem under Z-information. *Procedia Computer Science*, 102, 418–425.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.421>
2. Aksoy, A., Sucky, E., & Öztürk, N. (2014). *Dynamic Strategic Supplier Selection System With Fuzzy Logic*.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.588>
3. Alfonso, L., Peñ, P., Florez, P., & Liliana Rodríguez-Rojas, Y. (2018). *Methodology Evaluation and Selection of Providers Procedure Based on the Hierarchical Analysis Process and a Mixed Integer/Linear Programming* "Evaluation and Selection of Providers Procedure Based on the Hierarchical Analysis Process and a Mixed Int. 23(3), 230–251.
<https://doi.org/10.14483/23448393.13316>
4. Alfonso, L., Peñ, P., Florez, P., & Liliana Rodríguez-Rojas, Y. (2018a). *Methodology Evaluation and Selection of Providers Procedure Based on the Hierarchical Analysis Process and a Mixed Integer/Linear Programming* "Evaluation and Selection of Providers Procedure Based on the Hierarchical Analysis Process and a Mixed Int. 23(3), 230–251.
<https://doi.org/10.14483/23448393.13316>
5. Alfonso, L., Peñ, P., Florez, P., & Liliana Rodríguez-Rojas, Y. (2018b). Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta. *Ingeniería*, 23(3), 230–251. <https://doi.org/10.14483/23448393.13316>
6. Cengiz, A., Aytakin, O., Ozdemir, I., Kusan, H., & Cabuk, A. (2017). A Multi-

- Criteria Decision Model for Construction Material Supplier Selection. *Procedia Engineering*, 196, 294–301. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.202>
7. Dargi, A., Anjomshoae, A., Galankashi, R., Memari, A., Binti, M., & Tap, M. (2014). Selection and peer-review under responsibility of the Organizing Committee of ScienceDirect Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2014) Supplier Selection: A Fuzzy-ANP Approach. *Procedia - Procedia Computer Science*, 31, 691–700. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.317>
 8. de Proveedores Toskano Hurtado, S., & Bruno, G. (n.d.). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la*. Retrieved from http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/cap3.PDF
 9. *Domestic consumption by all exporting countries*. (1990). Retrieved from [http://www.ico.org/historical/1990 onwards/PDF/1b-domestic-consumption.pdf](http://www.ico.org/historical/1990%20onwards/PDF/1b-domestic-consumption.pdf)
 10. Gurel, O., Acar, A. Z., Onden, I., & Gumus, I. (2015). ScienceDirect-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). Peer-review under responsibility of Uluslararası Stratejik Yönetim ve Yöneticiler Derneği (usyyd) (International Strategic Management and Managers Association 3rd International). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 181, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.874>
 11. Hernández Mac-donald, P., & Supervisor, P. (2013). *modelo de programación lineal entera mixta para la planificación conjunta de la cadena de abastecimiento*. Retrieved from <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/1842/614536.pdf?sequence=1&>

isAllowed=y

12. *Investigación Correlacional*. (n.d.). Retrieved from http://metodologiainter.weebly.com/uploads/1/9/2/6/19268119/investigacin_correlacional.pdf
13. Kumar, R., Padhi, S. S., & Sarkar, A. (2019). Supplier selection of an Indian heavy locomotive manufacturer: An integrated approach using Taguchi loss function, TOPSIS, and AHP. *IIMB Management Review*, 31, 78–90. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2018.08.008>
14. Kumar, S., Kumar, S., & Gopal Barman, A. (2018). ScienceDirect-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) Peer-review under responsibility of the scientific committee of the International Conference on Robotics and Smart Manufacturing. Supplier selection using fuzzy TOPSIS multi. *Procedia Computer Science*, 133, 905–912. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.097>
15. Leenders Flynn, J. (2012). *Administración de compras y abastecimientos*. <https://doi.org/978-607-15-0758-7>
16. *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. (n.d.). Retrieved from http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lad/garcia_m_f/capitulo4.pdf
17. *MODELOS DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA*. (n.d.). Retrieved from <http://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/ANALISIS-VARIANZA/analisis-varianza.pdf>
18. Monterrosa, H. (2018). Logística se lleva 13,5% de los ingresos de las compañías en Colombia. *La República*. Retrieved from <https://www.larepublica.co/economia/logistica-se-lleva-135-de-los-ingresos-de->

las-companias-en-colombia-2805319

19. Mosquera Muñoz, F. (2010). La franquicia: Una estrategia de crecimiento empresarial. *Franchising A Strategy for Business Growth*, 70–85. Retrieved from <http://www.eafit.edu.co/revistas/revistamba/Documents/franquicia-estrategia-crecimiento-empresarial.pdf>
20. Perfetti del corral Subdirector Carlos Felipe Prada Lombo Boletín, m. (n.d.). *encuesta nacional agropecuaria*. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2016/boletin_ena_2016.pdf
21. *Prices paid to growers in exporting countries*. (1990). Retrieved from [http://www.ico.org/historical/1990 onwards/PDF/3a-prices-growers.pdf](http://www.ico.org/historical/1990%20onwards/PDF/3a-prices-growers.pdf)
22. *Total exports by all exporting countries*. (1990). Retrieved from [http://www.ico.org/historical/1990 onwards/PDF/1e-exports.pdf](http://www.ico.org/historical/1990%20onwards/PDF/1e-exports.pdf)
23. *Total production by all exporting countries*. (1990). Retrieved from [http://www.ico.org/historical/1990 onwards/PDF/1a-total-production.pdf](http://www.ico.org/historical/1990%20onwards/PDF/1a-total-production.pdf)