

MODELO DE PROGRAMACIÓN PARA ASIGNACIÓN DE VEHÍCULOS EN UNA
EMPRESA DE TRANSPORTE DE CARGA TERRESTRE

VALERIA HOLGUIN ARCILA
KAROL LIZETH TRUJILLO RAMÍREZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA
2018

MODELO DE PROGRAMACIÓN PARA ASIGNACIÓN DE VEHÍCULOS EN UNA
EMPRESA DE TRANSPORTE DE CARGA TERRESTRE.

VALERIA HOLGUIN ARCILA
KAROL LIZETH TRUJILLO RAMÍREZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR
EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

JULIO CÉSAR LONDOÑO ORTEGA
Director

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA
2018

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias, por permitirnos iniciar este camino y apoyarnos en cada paso que dimos.

A la universidad del Valle y todas las personas que interactuaron con nosotras en el paso por la universidad.

Especialmente a nuestro director Julio Cesar Londoño, por su apoyo incansable e incondicional. Por su entrega permanente en acompañamiento y conocimiento en cada etapa de este trabajo.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	10
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. MARCO REFERENCIAL	17
4.1 MARCO TEÒRICO	17
4.1.1 Investigación de operaciones.....	17
4.1.2 Problema de asignación de recursos.	19
4.2 MÉTODOS DE SOLUCIÓN	20
4.2.1 Método de solución para problema lineal.....	20
4.2.2 Método de solución para problema estocástico.	21
4.3 REVISIÓN DE LITERATURA	21
5. METODOLOGÍA.....	24
5.1 ETAPA I: RASGOS GENERALES Y CADENA DE SUMINISTRO.	24
5.1.1 Estructura de la cadena de suministro.	24
5.1.2 Relaciones comerciales entre los actores involucrados en la cadena.....	29
5.2 ETAPA II: CARACTERIZACIÓN	30
5.2.1 Información preliminar de la empresa.	30
5.2.2 Descripción del proceso de asignación.....	31
5.2.3 Información sobre la flota de vehículos.....	33
5.2.4 Descripción del caso de estudio.	35
5.2.5 Datos de entrada del modelo.....	37
5.3 ETAPA III: FORMULACIÓN MODELO MATEMÁTICO.....	43
5.3.1 Estructuración del modelo de asignación de los vehículos a cada una de las tareas que se ajustan a las condiciones del problema.	43
5.3.2 Condiciones del caso de estudio para el modelo	44

5.3.3	Modelación matemática.....	45
5.3.4	Formulación verbal del modelo	47
5.3.5	Modelación en AMPL.....	48
5.4	ETAPA IV. SOLUCIÓN DEL MODELO DE ASIGNACIÓN.....	49
5.4.1	Validación de la estructura del modelo.....	50
5.4.2	Resultados caso de estudio.	52
6.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	54
6.1	VALIDACIÓN DEL MODELO BAJO DIFERENTES ESCENARIOS PARA ESTABLECER SU SENSIBILIDAD.	55
7.	CONCLUSIONES	58
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	60

Lista de Tablas

Tabla 1. Toneladas Movilizadas (2017)	31
Tabla 2. Tiempos de Cargue y Descargue.....	36
Tabla 3. Probabilidad de ocurencia de las tareas.....	38
Tabla 4. Demanda por tareas.	39
Tabla 5. Trayectos	40
Tabla 6. Costos Fijos	41
Tabla 7. Uso de los vehículos.....	53
Tabla 8. Costos fijos del modelo.	54
Tabla 9. Costos reales.	55
Tabla 10. Comparación de costos.	55
Tabla 11. Desviación Estándar.	56
Tabla 12. Asignación general 35 escenarios.....	58

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Estructura Organizacional.....	25
Ilustración 2. Proceso de asignación.....	31
Ilustración 3. Toneladas movilizadas en cada tipo de vinculación.....	32
Ilustración 4. Camión Sencillo.....	34
Ilustración 5. Tractocamión.....	35
Ilustración 7. Resultados caso determinístico	50
Ilustración 8. Capacidad incumplida.....	51
Ilustración 9. Asignación de vehículos disponibles.....	52
Ilustración 10. Día de finalización de las tareas.....	52
Ilustración 11. Solución del modelo.....	54
Ilustración 12. Función Objetivo.....	54
Ilustración 13. Desviación Estándar.....	57

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores más influyentes dentro de las empresas a nivel de competitividad, en términos de costo, es sin duda alguna el transporte. Actualmente el desarrollo constante de la economía mundial obliga a las empresas a un replanteamiento, en la forma de llevar a cabo sus actividades, y la toma de decisiones sobre la operación del transporte es el más preocupante para las empresas.

Es frecuente escuchar en las empresas de transporte de carga, que uno de sus principales problemas es la incertidumbre en la gestión y entrega de los despachos, debido que en la mayoría de los casos el siguiente estado del sistema se desconoce, fallos operacionales en la red de la empresa, como lo son la disponibilidad de vehículos y capacidad ociosa en ellos, incurriendo en costos y demanda no satisfecha. Este problema se torna como un problema relevante e interesante dado que se puede evidenciar en cualquier empresa del sector de transporte del País.

Es allí donde nace entonces la necesidad de una programación de vehículos en las empresas, el motivo fundamental es, principalmente la falta de correspondencia que existe entre la demanda de los clientes y la disponibilidad de recursos. La estrategia más frecuente para disminuir la demanda no satisfecha y mayor utilización de la flota, es la programación estocástica. De acuerdo al modelo de programación para asignación de recursos de Taha (2004), El trabajo se centraliza en asignar de manera factible los vehículos a los diferentes clientes, teniendo abarcado los vehículos por tercerización. Cabe mencionar que existen dos tipos de asignación de carga a los camiones, FTL (transporte de carga completa) y el concepto opuesto a FTL es la carga parcial, también denominada LTL (Less Than Truckload- Menos de un camión completo).

En este proyecto se recurre a la programación matemática con un componente estocástico que busca definir la manera óptima de aprovechar la flota en el de una empresa que brinda servicios de transporte de carga terrestre a los principales ingenios azucareros del valle. El modelo busca asignar los vehículos encargados de transportar azúcar, teniendo en cuenta restricciones propias del procedimiento, buscando como objetivo reducir la demanda no satisfecha, incidiendo en la minimización de costos. El modelo tiene en cuenta el uso de vehículos de terceros para satisfacer la mayor demanda posible.

El capítulo 1 describe el planteamiento del problema. El capítulo 2 describe los objetivos planteados. El capítulo 3 describe la justificación del trabajo de grado. El capítulo 4 presenta artículos que aportan al desarrollo del proyecto. El capítulo 5 describe caracterización, modelo matemático y discusión de resultados. El capítulo 6 se realiza la comparación de los resultados. El capítulo 7 presenta la validación del modelo bajo diferentes escenarios para establecer su sensibilidad. El capítulo 8 se presenta las conclusiones.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La administración de la cadena de abastecimiento es el tema principal en muchas industrias con una firme idea sobre la importancia de una relación integrada entre clientes y proveedores. Esta administración se ha convertido en el camino para la mejora de la competitividad por medio de la reducción de la incertidumbre y el mejoramiento del servicio al cliente. [1] Una de las partes más importantes en la cadena de abastecimiento es la gestión logística, ya que esta es la que controla la eficiencia del transporte, el almacenamiento y la operación de la preparación de pedidos.

Una adecuada administración de la actividad logística en las organizaciones, permite desarrollar una ventaja competitiva en el mercado [2], debido a que esta representa entre el 60 y 80% del costo de ventas. Desde el punto de vista logístico, el transporte actúa como elemento integrador de empresas, ciudades, regiones y países, por ser el medio de enlace de los diferentes sectores de la economía, del cual depende, en gran medida, que el producto se entregue en los requerimientos del cliente [3].

Dentro de la actividad dedicada al transporte se identifica un problema de distribución o un problema de redes especial en programación lineal que se basa en la necesidad de llevar unidades de un punto específico llamado fuente u origen hacia otro punto específico llamado destino. Los principales objetivos de un modelo de transporte son la satisfacción de todos los requerimientos establecidos por los destinos y la minimización de los costos relacionados con el plan determinado por las rutas escogidas.

Así pues, una de las variaciones que tiene el problema del transporte es definido como el problema de asignación, el cual tiene como idea fundamental establecer que fuente satisface mejor al destino. En el campo de la ingeniería industrial existen múltiples casos en los que se puede hacer uso del problema de asignación, entre ellos cabe mencionar la asignación de personal a máquinas, herramientas a puestos de trabajos, horarios a maestros o para el caso específico, la asignación de camiones a una carga a transportar. Dentro de los tipos de asignación de carga a los camiones encuentran: FTL (transporte de carga completa) se entiende un transporte

que requiere una sola carga del camión que, en consecuencia, se ocupa en su totalidad, y el concepto opuesto a FTL es la carga parcial, también denominada LTL (Less Than Truckload- Menos de un camión completo).

Sin embargo, a la hora de realizar una programación los camiones en las empresas dedicadas a la prestación de este servicio muchos son los factores que no son tenidos en cuenta. Una de ellas es a la incertidumbre a la que se encuentran sometida las decisiones sobre qué recursos asignar a los diferentes clientes. Además de ello, algunas empresas no logran cumplir con el número de vehículos necesarios para ejecutar sus requerimientos, y se ven obligadas a recurrir a recursos subcontratados, por esta razón el resultado de una mala asignación de los camiones son un incremento en los costos y una disminución en la prestación del servicio.

Teniendo en cuenta que, en Colombia el 80% de la carga se moviliza por las carreteras y que sus costos representan el 60% de los costos totales de la logística [4], es fundamental incentivar una constante necesidad de mejora. En el país, los commodities se transportan por medio terrestre, las grandes cantidades de carga que se transportan pertenecen a las industrias y a las agroindustrias, destacándose entre ellas las azucareras, siendo el principal commodity la caña de azúcar, específicamente en el Valle.

Debido a la alta demanda que posee el sector azucarero para muchas de las actividades productoras de alimentos en el país, se hace necesario que las empresas que hacen parte de la cadena de abastecimiento tanto en este sector como demás actividades productivas y prestadoras de servicio, gestionen de una manera eficiente sus recursos promoviendo así la mejora continua de sus actividades.

La empresa caso de estudio para este proyecto, se encuentra ubicada en el departamento del Valle del Cauca y se dedica a prestar el servicio de transporte de carga terrestre a los principales ingenios azucareros de la región. Está se enfoca en el acompañamiento de la operación logística de sus clientes, como Riopaila Castilla SA, Mayagüez SA, Incauca SA, Ingenio Providencia SA y Manuelita SA.

Para dicha actividad la empresa cuenta con una flota propia de camiones sencillos con capacidad quince toneladas y tracto mulas con capacidad de treinta toneladas, que suman quince vehículos en su totalidad. La empresa

se dedica a transportar azúcar industrial desde los ingenios hasta otras empresas productoras a nivel nacional como Bimbo, Colombina, entre otras que requieren de este insumo para sus productos. Igualmente, el azúcar dispuesto para la comercialización hacia la zona urbana de la ciudad de Cali.

Teniendo en cuenta que la demanda de vehículos de transporte solicitada por parte de los ingenios azucareros se genera casi a diario y es elevada, la empresa ha buscado la forma de programar el uso de los camiones y si lo requiere hacer uso de flota subcontratada de tal manera que se pueda cumplir diariamente con los requerimientos de sus clientes, sin embargo los resultados no han sido los esperados generando inconformismo por parte de los ingenios y la misma empresa, pues en algunas ocasiones no se puede suplir todos los pedidos y la capacidad de los vehículos no es aprovechada en un 100%, ya que en la mayoría de viajes de retorno los vehículos están vacíos, siendo un flete sin ingresos.

Actualmente la demanda de los clientes no especifica la cantidad de carga a transportar y se limita a solicitar el servicio de cierta cantidad de camiones con una capacidad definida, lo que en ocasiones trae consigo un desperdicio de la capacidad de los vehículos, pues no se realiza una correcta asignación de los recursos a cada cliente específico. Por otra parte, los imprevistos presentados en las rutas de transporte, la falta de una adecuada programación de vehículos que se encuentran en mantenimiento, el registro de vehículos cargados a la espera del despacho y registro de los vehículos disponibles, ha ocasionado que en algunas situaciones la empresa no tenga disponibilidad de recursos para cubrir la demanda y por lo tanto ha recurrido a la prestación de servicios de terceros ocasionando un incremento en los costos de la empresa.

Dado que la empresa caso de estudio, ha desarrollado una logística de transporte empírica y no cuenta con un sistema de asignación de vehículos enfocado en la optimización del proceso de carga en términos de eficiencia, es fundamental desarrollar una propuesta de mejoramiento en la administración del sistema de programación de recursos (Capacidad y asignación de los vehículos), que le permita a la empresa obtener un aumento en la competitividad y una reducción de tiempos y costos.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cómo debe ser la programación de recursos para que la toma de decisiones en la empresa caso de estudio sea factible en relación costo/beneficio?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para la asignación de vehículos a las operaciones logísticas de distribución, de los productos de los clientes de una empresa caso de estudio, con el propósito de disminuir los costos logísticos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los elementos que conforman la asignación de vehículos de transporte de carga terrestre de la empresa caso de estudio.
- Construir un modelo de programación matemática que involucre las variables, parámetros y restricciones de la asignación de vehículos a los clientes de la empresa caso de estudio.
- Evaluar el modelo matemático en términos de costo y beneficio.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el crecimiento de la economía mundial ha traído consigo una reorganización interna de las empresas, en la forma de llevar a cabo sus actividades, es allí, donde la logística aparece como herramienta de apoyo fundamental, generando la necesidad de la mejora continua de la cadena de abastecimiento.

La logística abarca todos los aspectos relacionados con el flujo de materias primas, productos en proceso, productos terminados e información de los mismos desde los proveedores hasta los clientes. Este enfoque permite realizar estudios específicos sobre la gestión de la red de distribución que permitan identificar posibles oportunidades para agregar valor en cada uno de los procesos.

El transporte juega un papel importante dentro de la cadena de abastecimiento y por esta razón una asignación de los vehículos para la carga y transporte de los productos sería un valor agregado a la actividad de distribución logrando una integración de los clientes, teniendo en cuenta lo que el cliente requiere en el tiempo y lugar deseado, enfocado a la disminución de costos de transporte y una mejora significativa en el nivel de servicio.

A lo largo de la formación profesional adquirida en la Universidad del Valle, se han brindado las herramientas necesarias, para realizar un análisis y toma de decisiones, teniendo en cuenta los recursos que permitan optimizar un objetivo definido, ya sea la maximización de beneficios o la minimización de costos.

La idea de emprender el proyecto, se basa principalmente en mejorar los procesos en la provisión de servicios de transporte por parte de la empresa caso de estudio a sus diferentes clientes. Esta mejora permite el beneficio propio de la empresa, en la fidelización de los clientes, eficiencia, competitividad, aumento de demanda de su servicio, disminución de costos, además, consolidar relaciones con la industria como los ingenios azucareros, ya que estos se van a encontrar conformes con el servicio brindado por la empresa.

En el desarrollo de la propuesta de trabajo de grado se plantea un modelo matemático de programación de recursos a un problema estocástico, con el fin de identificar la asignación más óptima de vehículos transporte de carga terrestre logrando satisfacer las necesidades del cliente y mejorando la operación logística de la empresa objeto de estudio.

Se considera que la problemática planteada, es lo suficientemente relevante, ya que además de ser un problema complejo por su tamaño e incertidumbre,

su investigación permite aplicar los conocimientos adquiridos en el área de investigación de operaciones, para la formulación de un modelo matemático, que pueda aportar una alternativa de mejora en la empresa objetivo y permite establecer una guía para la realización de futuros trabajos en donde los componentes estocásticos se encuentren presentes. Por esta razón, es posible afirmar que existen condiciones que justifican la realización de este proyecto con el objetivo de obtener el título de Ingeniero industrial.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÒRICO

En este capítulo se muestran elementos, teorías y métodos que se tendrán posiblemente en el desarrollo de la investigación del trabajo.

4.1.1 Investigación de operaciones

Con el paso del tiempo, la sociedad siempre va en busca de la solución de problemas cada vez más complejos, haciéndose imprescindible un sustento metodológico para la toma de decisiones, es allí donde el proceso que contiene la investigación de operaciones permite llegar a una solución realizando una optimización en la toma de decisiones. Es válido afirmar que la investigación de operaciones, es un método científico para la resolución de problemas que brinda las herramientas suficientes para resolver modelos matemáticos que sustentan cuantitativamente porque las decisiones tomadas respecto a la situación problema son las más óptimas.

Técnicas para la solución de modelos.

La investigación de operaciones se destaca principalmente por la construcción de modelos matemáticos para los problemas a los que busca dar solución. Así mismo se dice que no se tiene una sola técnica general con la que se resuelven todos los modelos matemáticos que surgen en la práctica, sino que se determinan a partir de la clase y la complejidad del modelo matemático.

En el campo específico de la optimización matemática, se encuentra la programación lineal como la herramienta dedicada a la optimización de una función lineal, también conocida como función objetivo, sujeto restricciones lineales. Por lo tanto, la acción básica de la programación lineal es la asignación óptima de los recursos limitados a distintas demandas que compiten por ellos.

“La Programación lineal es el más popular de los enfoques que caben dentro del título general de técnicas matemáticas para la optimización y se ha aplicado a muchos problemas de la administración de operaciones. Entre las aplicaciones

típicas se encuentra la programación de la distribución, enfocado en encontrar la forma óptima de embarques para distribuir los productos. [5]”

Dado que las situaciones de los problemas reales no siempre cumplen con las especificaciones para que un problema sea programado linealmente, existen otros modelos que contemplan más escenarios, entre se encuentran:

- Programación lineal entera: Las variables están restringidas a tener valores enteros (o discretos).
- Programación lineal entera mixta: Alguna de las variables tienen valores enteros.
- Programación lineal entera binaria: Algunas variables enteras están restringidas a tener valores de 0 o 1 (Binarias).

Es muy importante mencionar que la incertidumbre está presente en casi todos los sistemas, pero tradicionalmente no es posible incluirla en forma explícita por la complejidad resultante en muchos de los problemas a resolver. La incertidumbre puede deberse a carencia de datos fiables, errores de medida o tratarse de parámetros que representan información sobre el futuro.

La mayor parte de los problemas reales son de naturaleza estocástica, hay pocos casos de estudio en donde sea posible conocer todos los datos a priori. La optimización estocástica nos puede permitir afrontar problemas que hasta ahora se han resuelto por “intuición”, por “sentido común”, o por “experiencia”, de una forma más eficiente, aportando soluciones que establezcan una mejora evidente en los procesos internos de las empresas.

El objetivo de la programación estocástica es encontrar decisiones óptimas en problemas que involucren datos inciertos. Este campo se está desarrollando rápidamente con contribuciones de muchas disciplinas, incluidas la investigación de operaciones, las matemáticas y la probabilidad. Al mismo tiempo, ahora se está aplicando en una amplia variedad de temas que van desde la agricultura hasta la planificación financiera y desde la ingeniería industrial hasta las redes informáticas. [6]

Entre las contribuciones más resaltas en la programación dinámica, cabe definir las siguientes:

- **Método de valor esperado (EV):** Su construcción se basa en el cambio de los parámetros aleatorios por sus valores esperados. Dado que la incertidumbre se trata antes de que se introduzca en el modelo de optimización lineal, el modelo EV es por lo tanto una programación lineal. [7]
- **Método de dos etapas:** La idea básica de la programación estocástica en dos etapas es que las decisiones (óptimas) deben basarse en los datos disponibles en el momento en que se toman las decisiones y esperar resultados para la toma de decisiones futuras. [8]
- **Método múltiple etapas:** Los problemas de optimización estocástica en varias etapas describen situaciones de decisión bajo diferentes escenarios con incertidumbre, definen el compartimiento del problema cuando se establecen diferentes políticas para cada uno de los escenarios y con un horizonte de planificación más largo.
- **Método de aproximación promedio por muestreo (SAA):** Su enfoque para resolver problemas de optimización estocástica está dado mediante la simulación Montecarlo, en esta técnica, la función objetivo esperada es una aproximación dada por una estimación promedio derivada de una muestra aleatoria. El problema resultante de la muestra se resuelve mediante técnicas determinísticas de optimización. El proceso se repite con diferentes muestras para obtener alternativas de solución en conjunto con estimaciones estadísticas. [9]

4.1.2 Problema de asignación de recursos.

Dentro de la programación lineal se encuentran muchas aplicaciones típicas, entre ellas se encuentra la programación de distribución enfocado a encontrar el programa óptimo de los embarques para distribuir los productos entre diferentes puntos geográficos, que, en otras palabras, se relaciona con el problema de asignación de vehículos presente en el caso de estudio.

El problema de asignación presente, busca asignar de la manera óptima los vehículos a los diferentes clientes, buscando como función objetivo minimizar los costos. Taha (2004) muestra una formulación básica de una programación lineal basada en la asignación de un recurso de la siguiente manera:

Sea C_{ij} el costo de asignar el trabajador i al puesto j , y sea $X_{ij} = \{1, \text{Si el trabajador } i \text{ se asigna al puesto } j, 0 \text{ de lo contrario}\}$

$$\text{Minimizar } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

Sujeto a

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, i = 1, 2, n$$

$$\sum_{i=1}^n C_{ij} = 1, j = 1, 2, n$$

$$X_{ij} = 0 \text{ o } 1$$

4.2 MÉTODOS DE SOLUCIÓN

Para obtener una respuesta a un problema de programación lineal se hace uso de diferentes métodos de solución, entre ellos se encuentran los más difundidos son el método gráfico y el método simplex. El método gráfico es posible aplicarlo si el problema de programación tiene como límite máximo dos variables, el método Simplex, creado por George Dantzing (1947), por su parte es capaz de resolver modelos más complejos que los resueltos con el método gráfico, sin restricciones de variables, este último representa el proceso de iteraciones que busca optimizar la solución en cada paso.

La concepción de este método ha facilitado que otros especialistas del tema desarrollen otros métodos de solución con la misma filosofía, pero más adecuados para la programación por computadoras.

4.2.1 Método de solución para problema lineal.

Como se ha mencionado anteriormente, la optimización se ha convertido en un prototipo común en los problemas crecientes relacionados con los campos de la ingeniería.

El lenguaje de programación AMPL, es una herramienta de modelado que relaciona todo el ciclo de vida del modelo de optimización: Desarrollo, prueba, implementación y mantenimiento.

AMPL integra el lenguaje de un modelo de programación para describir datos de optimización, variables, objetivos y restricciones, un lenguaje de comandos para explorar modelos y analizar resultados; y un lenguaje para recuperar y manipular datos y para implementar esquemas de optimización iterativos.¹

4.2.2 Método de solución para problema estocástico.

La programación para un problema estocástico reúne modelos matemáticos de optimización donde los parámetros del problema se modelan mediante variables aleatorias.

La probabilidad es una medida de incertidumbre relacionada a un acontecimiento futuro, estos pueden repetirse indefinidamente, siempre tener las mismas condiciones, pero no se tiene certeza si el resultado sea factible. La aleatoriedad implica que tenemos un conjunto de escenarios posibles a optimizar. [10]

La aleatoriedad determina si la tarea se asigna o no a un día de la semana. Si el aleatorio de la tarea es mayor que su probabilidad definida se asigna, de lo contrario no se asigna la tarea.

4.3 REVISIÓN DE LITERATURA

Los inicios de la programación lineal aparecen en el transcurso de la segunda guerra mundial con George Dantzig, y a la fecha aún se sigue buscando la manera de crear modelos de programación lineal que puedan ser cada vez más robustos y logren solucionar más problemas.

En las investigaciones realizadas en artículos y publicaciones sobre el estudio de la asignación de recursos se encuentran algunas referencias, con casos aplicativos similares.

¹ AMPL | AMPL. <http://ampl.com/products/ampl/>

Inicialmente, la información sobre la asignación de recursos dada por la programación lineal, se encontró el caso de Ferrer. L et al (2004), los autores presentaron un modelo de transporte de distribución usando programación lineal. Se validó el modelo utilizando datos de una empresa textil que cumplía con las características requeridas, concretamente la programación de la distribución se encargó de optimizar la asignación de las tareas a realizar (entrega de pedidos) a los recursos disponibles (vehículos). El modelo de transporte de distribución basado en la agregación de unidades origen-destinos (UOD) resulta adecuado para modelar las empresas caracterizadas y ha permitido diseñar e implementar un procedimiento exacto para la programación de la distribución de una empresa del sector textil.

En la misma temática, Morales Chavez et al (2015) proponen un modelo de programación lineal entera mixta para optimizar los costos en las operaciones del corte, carga y transporte de caña de azúcar en una empresa peruana. De acuerdo con los resultados obtenidos en el caso de estudio, el costo actual de la empresa se redujo en aproximadamente un 11%. En general, el modelo estableció los recursos necesarios para apoyar la programación de operaciones en el primer escalón de la cadena de suministro.

Por otra parte, también se encontró información sobre la programación estocástica, la cual será desarrollada en esta propuesta de investigación. Alayo. H (2016) define la programación dinámica como la teoría matemática capaz de tomar decisiones secuenciales bajo incertidumbre. Su artículo presenta dicha temática de forma práctica con un ejemplo sencillo para la optimización del manejo de un embalse de agua.

Quinteros et al (2006) desarrolló una aplicación de la programación estocástica en un problema de gestión forestal. En su investigación, Quinteros basa su enfoque en la consideración de la incertidumbre traducida en una serie de escenarios con probabilidades, esto en busca de la solución que maximice el valor esperado y a su vez que sea factible para todos los escenarios. Para este efecto, proponen el uso de herramientas de programación estocástica.

Diana Barro & Elio Canestrelli (2013) Sugieren una posible cooperación entre la programación estocástica y el control óptimo para la solución de problema de optimización estocástica en varias etapas.

Hong Zhang et al (2017) con el fin de formular esquemas de asignación de agua bajo incertidumbres en los sistemas de gestión de recursos hídricos, proponen un modelo de programación limitada con probabilidad estocástica. El modelo integra la programación estocástica en varias etapas. El modelo es aplicado a un caso de estudio hipotético de la gestión de recursos hídricos. Los resultados muestran que el valor óptimo representa el máximo beneficio. Las soluciones proporcionan esquemas de asignación de agua óptimos a múltiples usuarios en un horizonte de planeación de varios periodos.

En el sector farmacéutico, Zuo Zeng & Selen Cremaschi (2017) reconocen que la planificación de los ensayos clínicos de fármacos es una de las tareas más importante en este sector. En su artículo proponen dos nuevas formulaciones de programación estocástica de varias etapas para determinar el plan de ensayo clínico óptimo en condiciones de incertidumbre.

Para el desarrollo metodológico, el trabajo se basó en los autores mencionados en la revisión de la literatura. La información resulto de gran utilidad para realizar el desarrollo de la metodología en varias etapas. Se trabajó con la probabilidad de ocurrencia para la creación de los modelos y la definición de un conjunto de escenarios para el estudio de la sensibilidad del mismo.

5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo metodológico de este trabajo, se procede a dividir las actividades en diferentes etapas con el fin de dar cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos de una manera secuencial.

5.1 ETAPA I: RASGOS GENERALES Y CADENA DE SUMINISTRO.

Esta etapa permite identificar los rasgos generales que hacen parte del sector transporte, además de la relación existente entre los agentes de la cadena de suministro, con el propósito de describir el contexto en que se desenvuelve la empresa y de recolectar información asociada al proceso que permita encaminar la solución del problema mediante la contextualización del tema.

5.1.1 Estructura de la cadena de suministro.

El servicio de transporte hace parte del sector terciario o de servicios, incluye el transporte de carga, servicios de transporte público, transporte terrestre, aéreo y marítimo. Es un sector prioritario para el desarrollo económico y el progreso social de un país, toda vez que la infraestructura vehicular tiene gran relevancia sobre la productividad y el crecimiento económico en general.

El sector transporte es una herramienta importante dentro de toda economía ya que permite conectar las diferentes actividades sociales y económicas del país. El transporte de carga por carretera en Colombia es un pilar fundamental en la dinámica de la economía del país, ya que constituye una herramienta básica para colocar los productos al alcance del consumidor en el territorio nacional o en extranjero. Por esta razón, es indispensable que el sector transporte cuente con los elementos necesarios para asumir el gran compromiso que tiene en el desarrollo económico.

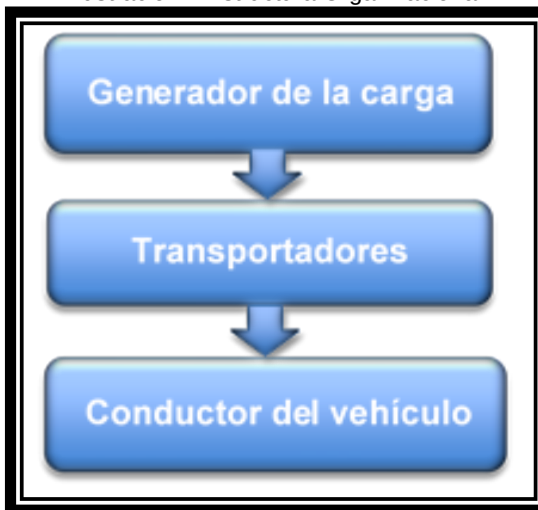
Todas las disposiciones del sector son dadas por el Ministerio de Transporte y es vigilado por la Superintendencia de Puertos y Transporte. Los medianos transportadores están agremiados en la asociación nacional de empresas transportadoras de carga por carretera – ASECARGA, pero la mayor agremiación de transportadores es la Asociación Colombiana de Camioneros - ACC es el gremio que representa a los dueños de los camiones. Además de estas, está la

Federación Colombiana de Transportadores de Carga por Carretera – COLFECAR y la Asociación Colombiana de Vehículos Automotores – ANDEMOS.

El Ministerio de Transporte como ente rector, ha venido trabajando en dotar al sector de la información necesaria para poder evaluar el papel que viene desempeñando dentro del aparato productivo nacional, para la planeación hacia futuro y la formulación de políticas de desarrollo, buscando el mejoramiento del servicio en términos de calidad y eficiencia, y en consecuencia obtener una mayor competitividad de los productos colombianos tanto en ámbito interno como externo. [10]

Bajo la política nacional, una primera aproximación al sector pretende identificar a quienes participan dentro de la actividad del servicio de transporte de carga por carretera, como se muestra en la ilustración 1. Generadores de la carga, los transportadores y el conductor del vehículo. Otros agentes involucrados en esta cadena son el destinatario de la carga y las entidades gubernamentales, que de acuerdo con su naturaleza inciden en la operación del transporte.

Ilustración 1. Estructura Organizacional.



Fuente: CONPES 3849. Departamento nacional de planeación.

5.1.1.1 Actores de la cadena de suministro

- a) **Generador de carga:** Hace referencia a quien envía la carga y requiere de un servicio para su movilización. Es la persona natural o jurídica interesada en contratar servicios de transporte para movilizar una mercancía de un punto específico a otro, y a su vez se encuentra en capacidad legal para disponer de ella y a su vez para contratar el transporte de esta.

Para el caso de estudio, los generadores de cargo son identificados como los principales ingenios del Valle del Cauca, encargados de cultivar y procesar la caña de azúcar, con el fin de suministrar azúcar al principal puerto del pacífico colombiano, y a grandes industrias nacionales.

- b) **Transportadores:** Desde una perspectiva generalizada, la empresa prestadora del servicio de transporte de carga cumple con la función de trasladar cargamento de un lugar a otro mediante la utilización de diferentes medios de transporte, ya sean por vía aérea, marítima o terrestre. El servicio de transporte de carga debe realizarse en vehículos, recursos financieros y de personal adecuados para todo tipo de mercadería. Es quien legalmente cuenta con el permiso concedido por el Ministerio de Transporte para prestar el servicio público de transporte de carga.

Para el año 2017 se encontraron 2.400 empresas registradas, de las cuales alrededor de 2.000 eran informales y solo el 25 % de los conductores se encuentra formalizado. [11]

La empresa caso de estudio, se encarga del traslado del azúcar desde los ingenios hasta sus clientes. Al igual que la mayoría, la empresa contrata los servicios de transportadores a los que les paga unos fletes por transportar la mercancía que les ha sido entregada a los generadores de carga.

- c) **El Conductor del Vehículo:** Es el operador del medio de transporte, su relación directa es con el propietario del vehículo, y algunas veces es el mismo propietario. Su vinculación laboral generalmente no está formalizada.
- d) **Clientes:** Es la persona natural o jurídica a quien se envía la mercancía y que puede ser al mismo tiempo remitente y destinatario.

Para el caso estudio se conocen como el destino al cual debe ser movilizado el producto obtenido en los ingenios y están encargados de comercializar, transformar o exportar el azúcar.

- e) **Entidades gubernamentales:** La planificación y formulación de políticas la realiza el Ministerio de Transporte; la vigilancia, el control y seguimiento a la actividad se realiza a través de la Superintendencia de Puertos y Transporte. Adicionalmente intervienen en los procesos de inspección y control de mercancías la DIAN, el INVIMA, el ICA y la Policía Antinarcóticos.

Por otro lado, en algunas ocasiones se presentan situaciones entre los diferentes actores de la cadena que en un momento dado se pueden convertir en situaciones de conflicto. A continuación, se mencionan algunas de ellas.

Algunas de las circunstancias que pueden afectar el normal flujo de las mercancías dentro de la cadena son debido a la relación que tienen los generadores de carga con las empresas de transporte, entre estos inconvenientes se pueden mencionar [12]:

- Contrata con empresas no habilitadas.
- No tiene información acerca de la empresa con lo que suscribe el contrato. Es necesario tener un mínimo de información acerca de estándares de calidad de la empresa.
- Suscribe contrato con empresas de transporte, sin verificar que estas cumplan con un mínimo de estándares de calidad.
- Suscribe contrato con el propietario del vehículo.

Las empresas de transporte por su parte también son generadoras de eventos que afectan la cadena. Entre ellos se pueden mencionar:

- No se habilita, o no mantiene las condiciones mínimas bajo las cuales se le concedió
- Falta de programas de “fidelización” con los propietarios de equipos.
- Algunas empresas no cuentan con infraestructura logística, e infraestructura administrativa, que les permita cumplir las condiciones de equipo, tiempo, conducción y entrega pactadas. Por

ejemplo, con las características y disponibilidad de equipo necesario para el contrato.

- Negligencia de algunas empresas pues en el recibo de las mercancías no hacen una verificación real, sin tener en cuenta la responsabilidad que están asumiendo.

Y a la cual se hace énfasis a lo largo de este trabajo;

- Algunas empresas transportadoras no cuentan con una organización interna para asignación óptima de los recursos propios y rentados.

Por su parte el conductor o propietario del vehículo también es generador de problemas por algunas circunstancias entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Contrata directamente con el remitente.
- Algunos se niegan a prestar el servicio sin justa causa.
- Aceptar pagos no pactados por la regulación de las relaciones económicas entre la empresa de transporte y el propietario del vehículo.
- Algunos propietarios y/o conductores incumplen con la obligación relacionada con el manejo adecuado y distribución de las mercancías en el medio y utilizando los dispositivos de fijación de contenedores comprometiendo la responsabilidad propia y de la empresa de transporte.
- No cuentan con la capacitación óptima para verificar las condiciones del embalaje.
- No vincula el vehículo a empresas habilitadas y busca contratos directamente con el remitente. Cuando se vincula no tiene compromiso permanente con la empresa.
- Algunos no realizan mantenimiento preventivo al equipo, ni cumplen con condiciones especiales del equipo para el transporte de las mercancías según su naturaleza.

5.1.2 Relaciones comerciales entre los actores involucrados en la cadena

Generalmente cada actor económico involucrado, participa permanente y simultáneamente en relaciones económicas. Se habla de relaciones económicas estables cuando los actores participan en ellas periódicamente.

Las relaciones económicas entre los diferentes integrantes de la cadena de transporte, remitentes (generadores de carga), empresas de transporte y propietarios de vehículos, cuentan con tres elementos que por su naturaleza juegan un papel fundamental en la obtención de relaciones armónicas, los costos que se generan para la prestación del servicio, los fletes y las tarifas en los escenarios de negociación entre estos tres actores y la utilidad que cada uno de los integrantes de la cadena aspira a obtener de la actividad económica que está desempeñando.

El generador, debe obtener la posibilidad de estar en el mercado con su mercancía en buen estado, en el lugar y sitio previsto en las condiciones que el consumidor lo requiere, con un precio final del producto de tal manera que permita su permanencia en el mercado.

La empresa de transporte como coordinadora de actividades y de prestación de servicios adicionales, debe obtener un rendimiento económico por las labores que desempeña y las responsabilidades que asume.

El propietario del vehículo quien ejecuta la operación de transporte debe cubrir sus costos operativos y obtener una rentabilidad por la actividad económica que desempeña.

Con lo anterior queda definida la existencia de dos escenarios de negociación para la determinación de las relaciones económicas entre los integrantes de la cadena productiva del transporte. [11]

- Uno el de negociación entre generador de carga y empresa de transporte.
- Otro entre la empresa de transporte y el tercero propietario del vehículo.

5.2 ETAPA II: CARACTERIZACIÓN

Con respecto a la caracterización de la situación actual en la que se encuentra la empresa caso de estudio, como primera instancia, se realizarán visitas a la empresa, que permitieron establecer un contacto con las personas que se encuentran en la capacidad de suministrar información sobre lo que consideren importante en la toma de decisiones para la prestación del servicio de transporte de carga. Dentro de esa información, se espera establecer:

- Definición del problema a resolver.
- Cuál es el horizonte de planeación de la empresa.
- Demanda que se necesita transportar en determinado periodo de tiempo.
- Cuántos vehículos posee y sus características.
- Tareas a ejecutar.
- Costos asociados a la operación.

Con la información recolectada, se determinó cuáles son los principales elementos relacionados con la asignación de flota de vehículos propia y subcontratada.

Como resultado final de esta etapa, la caracterización de la situación actual servirá como insumo fundamental para la construcción del caso y del modelo relacionado con la toma de decisiones de asignación de flota vehicular.

5.2.1 Información preliminar de la empresa.

La empresa caso de estudio es una organización de transporte de carga terrestre a nivel nacional, creada en el año 2005, actualmente su sede se encuentra ubicada en la ciudad de Palmira. En el transcurso de los últimos años ha logrado consolidar sus operaciones de servicio como transportadora de carga caracterizándose por el cumplimiento y la eficiencia del servicio logrando así establecer relaciones sólidas con una gran industria.

Dentro de los clientes que a la actualidad tienen se encuentran empresas con amplio reconocimiento y liderazgo en el mercado nacional, dichas empresas son: Riopaila Castilla, Ingenio Pichichi, Mayagüez, Incauca S.A., Ingenio Providencia S.A.

Para el indicador sobre el cumplimiento de las toneladas solicitadas, por política propias de la empresa, se obtiene la información únicamente de las toneladas movilizadas para cada cliente en el transcurso del año 2017.

Tabla 1. Toneladas Movilizadas (2017)

Cliente	Suma de (Tn) Cumplido
EDINSA S.A.	34
INCAUCA S.A.	6.314
INGENIO PROVIDENCIA SA	58.860
INGENIO SANCARLOS S.A.	302
MANUELITA SA	12.971
MAYAGUEZ SA	4.293
RIOPAILA CASTILLA S.A.	11.980
Total, general	94.753

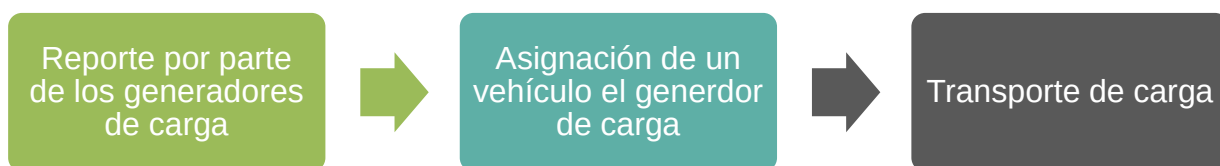
Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Descripción del proceso de asignación

La actividad de la empresa caso de estudio, dentro de sus procesos contiene el proceso de asignación de sus recursos a las diferentes tareas requeridas por sus clientes, este proceso se divide en cuatro etapas, en donde se ven involucrados, el gerente, coordinador de despacho, auxiliares y los conductores de los vehículos.

El inicio del proceso de asignación, es la entrada del modelo matemático que se va a formular. Como se muestra en la ilustración 2 inicialmente, los ingenios solicitan a la empresa diariamente, una cantidad de camiones con una capacidad determinada, que les permita movilizar su demanda de azúcar a sus diferentes destinos. Posteriormente, el coordinador de despacho analiza la disponibilidad de camiones en la empresa, para la asignación de estos y determinar si es necesaria la vinculación de terceros.

Ilustración 2. Proceso de asignación.



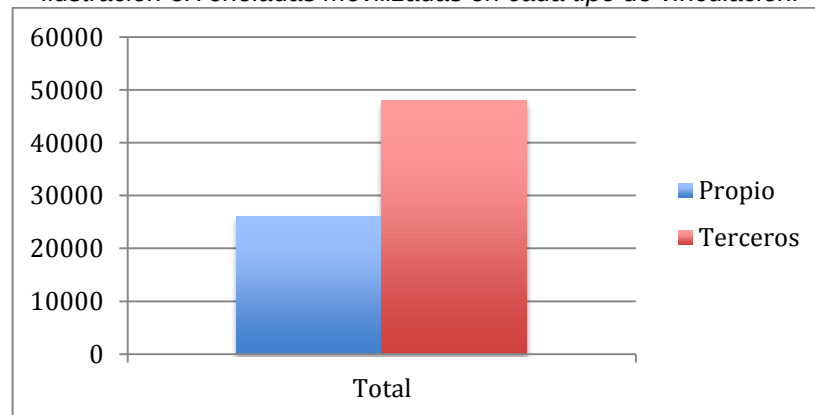
Fuente: Elaboración propia.

El proceso de asignación inicia con una solicitud por parte de los generadores de carga, para este punto, ocasionalmente los ingenios no suministran la información sobre la cantidad en toneladas de azúcar que van a transportar, su requerimiento se basa en el pedido de una cantidad determinada de camiones y el horario en que lo requiere. Esta información generalmente es suministrada a la empresa con una antelación máxima de dos días. El problema más frecuente en esta etapa es que la demanda de camiones cada día es incierta, pues los pedidos son hechos en su mayoría el mismo día o un día antes de su requerimiento.

De acuerdo a lo anterior, el coordinador de despacho envía los vehículos a los ingenios dependiendo de la disponibilidad de camiones y considerando además la posible disminución de la demanda no satisfecha, en algunos casos se asigna vehículos vinculados por terceros en el orden que se realiza la solicitud por parte de los ingenios.

A continuación, se muestra el número de toneladas movilizadas según el tipo de vinculación que tienen los vehículos asignados, durante el año 2017.

Ilustración 3. Toneladas movilizadas en cada tipo de vinculación.



Fuente: Elaboración propia.

El vehículo sale de la empresa sin carga alguna, y se dirige a los ingenios con el fin de cargar las toneladas de azúcar que serán movilizadas por una de las cuatro rutas definidas por la empresa, en la mayoría de los casos el camión llega a su destino, descarga y no carga nuevamente otro tipo de producto para su retorno. Posteriormente, este se dirige al centro de entornamiento de la empresa, quedando disponible y en espera de la asignación de una próxima tarea.

Dependiendo del tiempo de procesamiento de la tarea, este vehículo puede tomar hasta 3 días en estar disponible.

5.2.3 Información sobre la flota de vehículos

La empresa caso de estudio cuenta con una flota propia de camiones sencillos con capacidad de quince toneladas y tracto mulas con capacidad de treinta toneladas siendo un total de quince vehículos. Por la poca disponibilidad que tienen estos vehículos propios y el no cumplimiento del máximo nivel de servicio, la empresa puede acceder a una cantidad finita de camiones rentados para satisfacer la demanda de sus clientes.

Las características más relevantes de cada tipo de transporte son:

Transporte Propio:

- Mayor flexibilidad en lo que se refiere a horarios, plazos, condiciones del servicio.
- Plena disposición de nuestros vehículos.
- Sistema rígido en el tipo de vehículo, ya que sólo se dispone de una flota
- Determinada.
- Control directo de la actividad.
- Inversión elevada en vehículos e instalaciones
- Costos fijos elevados.

Transporte contratado:

- Mayor capacidad proporcionada por la disponibilidad de vehículos.
- Menor control de la actividad de transporte.
- No se invierte en medios de transporte.

Transporte Mixto:

- Equilibrada relación entre costos fijos/variables.
- Menor inversión en vehículos e instalaciones.
- Adecuado control directo.
- Reducción del personal para la actividad.

Es por esta razón que el trabajo de grado se basa en la necesidad de crear un modelo matemático para identificar una mezcla adecuada desde el punto de vista de los costos entre transporte propio y contratado.

Información Sobre Vehículos

Flota vehicular

A continuación, se presentan los distintos tipos de vehículos con los que cuenta la empresa caso de estudio para realizar el transporte de azúcar de los Ingenios.

- **Camión sencillo.**

Estos vehículos son los de menor capacidad de carga de la empresa, cuentan con la capacidad de transportar un peso máximo de 15 toneladas, actualmente la compañía cuenta con 5 camiones de este tipo.

Ilustración 4. Camión Sencillo



Fuente: TRANSPORTES ESPECIALES MEJISA SAS.

- **Tracto mula (Tráiler de 12,50 mts).**

Este tipo de vehículo con mayor capacidad de carga de la empresa, cuentan con la capacidad de transportar un peso máximo de 30 toneladas, actualmente la compañía cuenta con 10 camiones de este tipo.

Ilustración 5. Tractocamión



Fuente: TRANSPORTES ESPECIALES MEJISA SAS.

5.2.4 Descripción del caso de estudio.

A continuación, se da a conocer las particularidades que rodean el proceso de asignación de vehículos de la empresa objeto de estudio.

- La asignación es llevada a cabo para vehículos ya sean propios de la empresa o se encuentren bajo otro tipo de vinculación, como es el caso de los terceros. La empresa cuenta con quince vehículos, como ya se ha mencionado de quince y treinta toneladas. La empresa, de ser necesario, puede contratar vehículos de estas dos mismas capacidades para la recolección de la carga, los cuales por su tipo de vinculación tienen un costo mayor que al del uso de los vehículos propios.
- El proceso contiene dos etapas, la primera es el reporte de las necesidades de transporte de carga máximo dos días antes de la fecha de carga y la segunda es la asignación de los vehículos, lo cual se hace al inicio de cada día de trabajo. El listado de tareas reportadas por los clientes es manejado por el coordinador de despachos, quien además da unas pautas generales al auxiliar, sin embargo, sigue siendo el coordinador quien el encargado de la asignación de los vehículos.

- Las tareas a asignar a los vehículos, son el conjunto de trayectos a realizar desde que sale de la empresa hasta regresar a ella. Para facilidad del trabajo se enumeraron cada una de las tareas basados en la totalidad de clientes y respectivos destinos de cada uno.
- Los destinos a donde dirigen la carga los clientes de la empresa, se encuentran distribuidos a diferentes distancias de la empresa caso de estudio, encontrándose tanto en locaciones vecinas como algunas ubicadas incluso por fuera el departamento del Valle del Cuaca o en municipios del departamento muy distantes, por lo que ninguna duración en la ejecución de una tarea es menor a un día.
- En cuanto a los tiempos de cargue y descargue se tuvo en cuenta un estudio realizado por el ministerio de transporte que identificó y calculó los tiempos de espera de los vehículos de carga en los principales puertos y centros de consumo del país Para este punto, se estandarizo el tiempo total de cargue y descargue en 7 horas para los centros de consumos y 24 horas en los principales puertos del país.
- Las características del sistema hacen que el problema de transporte de carga para la empresa corresponda a un problema de asignación, por lo que se debe trabajar una metodología que permita desarrollar la asignación de los vehículos de forma eficiente, minimizando los costos de esta operación en la organización. En este sentido, se establece que el horizonte de planeación del modelo de programación lineal será de tres días [13].

Tabla 2. Tiempos de Cargue y Descargue.

Tipo de Vehículo	Tiempo de espera para cargue	Tiempo de cargue	Tiempo espera descargue	Tiempo descargue	Tiempo total
Articulado	0,74	2,18	1,19	2,56	6,67
Rígido	0,47	1,95	0,88	1,86	5,16
Total general	0,66	2,11	1,10	2,33	6,20

Fuente: Tiempos logísticos Ministerio de Transporte.

5.2.5 Datos de entrada del modelo.

A continuación, se presentan los elementos de la problemática que permiten hacer el análisis y posteriormente dar una solución:

Tareas

Como se mencionó anteriormente las tareas corresponden al conjunto de trayectos que debe realizar un vehículo a asignar. Las tareas fueron estandarizadas según los clientes y destinos. Es decir que una tarea es la actividad de un vehículo saliendo desde la empresa caso de estudio hacia el cliente, dirigiéndose al destino del cliente y retornando a la empresa. (ver anexos)

Debido a que el problema a resolver se trata de una programación estocástica fue necesario establecer la asignación diaria de las tareas para la modelación del problema.

Para ello, inicialmente se determinó la probabilidad de ocurrencia de las tareas por cada día de la semana, tomando como base la información dada por la empresa caso de estudio. A partir de esta sección las tareas estarán acompañadas de un número n , que denotará el día de su asignación, siendo 1 el lunes y 4 jueves.

Para esta probabilidad se tomó la cantidad de veces que una tarea se realizó en un día de la semana y se dividió en el número total de veces que esa misma tarea se llevó a cabo en la semana. Esto se hizo para todas las tareas y para cada día de la semana.

$$Probabilidad = \frac{\sum \text{viajes por tarea en un día}}{\sum \text{Viajes por tarea en la semana}} \times 100$$

Seguido de esto, se realizó un aleatorio por cada tarea en cada día, para el cual si el número arrojado por el aleatorio es mayor a la probabilidad de ocurrencia de la tarea esta es asignada, de lo contrario no se tomará en cuenta. Para la ejecución del aleatorio se implementó una macro en el programa Excel que permitió optimizar los tiempos de ejecución. A continuación, se muestra, a manera de ejemplo y debido a lo extenso de la tabla, el resultado de un aleatorio para el día dos de la semana.

Tabla 3. Probabilidad de ocurrencia de las tareas.

TAREA	PROBABILIDAD	ALEATORIO	ASIGNACIÓN
1_2	19,02%	0	NO
2_2	28,57%	1	SI
3_2	14,29%	0	NO
4_2	42,86%	1	SI
5_2	19,15%	0	NO
6_2	17,15%	0	NO
7_2	23,86%	1	SI
8_2	13,64%	0	NO
9_2	15,62%	0	NO
10_2	20,69%	0	NO
11_2	20,41%	0	NO
12_2	18,75%	0	NO
13_2	9,76%	1	SI
14_2	22,58%	0	NO
15_2	22,58%	1	SI
16_2	17,86%	0	NO
17_2	20,87%	0	NO
18_2	26,32%	1	SI
19_2	9,38%	0	NO
20_2	18,75%	0	NO
21_2	20,00%	1	SI
22_2	15,43%	0	NO
23_2	9,09%	1	SI
24_2	16,14%	0	NO
25_2	20,00%	1	SI
26_2	10,87%	1	SI
27_2	15,22%	0	NO
28_2	0,00%	0	NO
29_2	16,67%	0	NO
30_2	22,54%	0	NO
31_2	21,19%	0	NO
32_2	20,69%	0	NO
33_2	27,18%	1	SI
34_2	25,00%	1	SI
35_2	27,78%	1	SI
36_2	8,33%	0	NO
37_2	14,84%	0	NO

Fuente: Elaboración propia.

Demanda mensual (toneladas despachadas).

Los destinos de los clientes que tiene la empresa se encuentran ubicados en gran parte del territorio nacional, estos están distribuidos por unas rutas definidas por la empresa: Antioquia, Bogotá, Buenaventura, Cauca, Eje Cafetero y el Valle del Cauca, siendo su principal mercado las rutas del Valle del Cauca. Los datos de la demanda mensual fueron dados por la empresa caso de estudio en toneladas, debido a que en muchas ocasiones la demanda de las tareas requeridas por los clientes excede la capacidad máxima de cada tipo de vehículo, se realiza la conversión de estas demandas en unidades de la capacidad mínima disponible, es decir que cada una de las demandas de la tarea fue dividida en 15 toneladas para obtener dichas unidades.

Los trayectos que componen una tarea son los que debe realizar el vehículo a partir de la empresa caso de estudio al cliente, en este caso los Ingenios, luego se dirigen a los destinos y finalmente regresan a la empresa. En la tabla 4 se muestra la demanda en toneladas promedio por tareas arrojadas por el un aleatorio para los cuatros días específicos de la semana, siendo 1 lunes, 2 el martes, 3 miércoles, 4 jueves.

Tabla 4. Demanda por tareas.

Tarea	Demanda
Tarea14_1	7
Tarea18_1	4
Tarea30_1	2
Tarea29_1	1
Tarea31_1	1
Tarea17_1	2
Tarea31_1	2
Tarea3_1	2
Tarea34_1	5
Tarea15_1	1
Tarea22_1	2
Tarea6_2	1
Tarea3_2	2
Tarea17_2	2
Tarea25_2	2
Tarea2_2	5
Tarea10_2	5

Tarea19_2	1
Tarea29_2	1
Tarea18_2	2
Tarea12_2	2
Tarea23_2	2
Tarea30_2	2
Tarea31_2	1
Tarea29_2	1
Tarea11_3	1
Tarea29_3	2
Tarea10_3	2
Tarea37_3	7
Tarea28_3	2
Tarea19_3	1
Tarea29_3	1
Tarea12_3	2
Tarea11_4	1
Tarea9_4	1
Tarea12_4	4
Tarea1_4	2
Tarea35_4	1
Tarea34_4	2

Fuente: Elaboración propia.

Costos de las tareas.

Los fletes para cada empresa transportadora dependiendo de cada destino son los mismos, estos fletes incluyen el descargue de la mercancía en el lugar de destino ya que el cargue se hace en la empresa con el personal asignado. Para el cálculo de los costos variables por cada

Es necesario aclarar para que para cada una de las tareas fueran definidos 3 trayectos, como se muestra en la tabla 5. La suma de los tres trayectos es el costo variable para cada una de las tareas. Para calcular cada uno de los trayectos se tuvo en cuenta costos relacionados con los peajes, combustible y mantenimiento (Llantas, Aceite, Filtros, imprevistos)

Tabla 5. Trayectos

Trayecto 1	Empresa Caso de Estudio - Cliente (Generador de la carga)
Trayecto 2	Cliente (Generador de la carga) - Destino (Receptor de la carga)
Trayecto 3	Destino (Receptor de la carga) - Empresa Caso de Estudio

Fuente: Elaboración propia.

Realizando este mismo procedimiento para cada una de las tareas, en anexos se muestra la tabla con los costos variables calculados para cada una de ellas.

Costos de los vehículos propios

Para la operación de los vehículos propios se tendrán en cuenta los costos presentados por un estudio realizado por el ministerio de transporte. Los indicadores de costo de operación, según el tipo de configuración del vehículo definen los siguientes componentes; Mano de Obra, Seguros, Depreciación, Impuestos de rodamiento [14]

Tabla 6. Costos Fijos

Costos Fijos (CF)	Sencillo	Tracto mula
Depreciación	\$ 500.000	\$ 1.041.667
Mano de Obra	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
Impuesto	\$ 89.000	\$ 198.000
Seguros	\$ 150.000	\$ 260.000
Total, Costos Fijos	\$ 3.239.000	\$ 3.999.667

Fuente: Elaboración propia.

Depreciación.

Dado que los vehículos son activos, que la empresa utiliza para generar capital y de acuerdo a la legislación vigente, las tasas de depreciación determinadas se aplican de manera lineal a partir del valor de la adquisición. El método de la línea recta es el método más sencillo y más utilizado por las empresas, y consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo.

$$\frac{\text{Valor del activo}}{\text{Vida útil}}$$

Mano de obra

Dado que para desarrollar la actividad de transporte se necesita de personal capacitado, se tuvo en cuenta el costo de la mano de obra, en este caso el valor de la remuneración al transportador establecido por la empresa.

Impuesto

En cuanto a los impuestos, se definió el valor a mediante una base gravable de los vehículos para carga para el año fiscal 2018 definida por el ministerio de transporte y agregada en la parte de anexos.

Seguros.

En el momento en el que se decide contratar un seguro para transporte de mercancías se puede optar por diversas opciones. Ninguna es de por si mejor que la otra. Todo dependerá de las necesidades de la empresa y de las características de los camiones. Los seguros de camiones de carga más habituales son los siguientes: [15]

- **Seguro de responsabilidad civil:** Es el llamado seguro a terceros, y su contratación es obligatoria. Su función es cubrir el daño que tu camión pueda hacer a otros en cualquier accidente. Suele resultar relativamente económico.
- **Seguro contra choques y compresivo:** Ofrece una cobertura muy amplia. Cubrirá los daños que sufra tu camión en circunstancias muy diversas como en caso de incendio, vandalismo o inclemencias del tiempo.
- **Seguro de carga:** Es el que cubre cualquier daño que pueda sufrir la mercancía que transporta tu camión. El precio de este seguro dependerá de la carga que transportes.
- **Seguro de intercambio de remolque:** Será útil solo si tus camiones disponen de remolque. Cubrirá los daños que pueda sufrir tu remolque o incluso si lo pierdes por cualquier circunstancia.
- **Seguro a todo riesgo:** Es la cobertura más amplia y también la más **cara**. En ella se aseguran los terceros, el conductor, la carga y el propio camión.

Para la definición del valor de los seguros se tomó un valor promedio alrededor de los seguros mencionados anteriormente.

Generación de los escenarios.

En busca de establecer una congruencia en los resultados arrojados por el modelo se determinó un número inicial de 35 escenarios para el respectivo análisis de los datos. Como se mencionó en esta misma sección, las tareas fueron asignadas mediante un aleatorio según su probabilidad de ocurrencia, este mismo procedimiento se implementó en la realización de todos los escenarios para definir qué tareas asignar en cada uno de ellos, pero con las tareas del día 1 siempre iguales, pues la incertidumbre es considerada a partir del día 2 y el primer día siempre será una demanda conocida.

5.3 ETAPA III: FORMULACIÓN MODELO MATEMÁTICO.

Una vez realizada la caracterización, se formuló un modelo matemático, partiendo del problema de asignación y la programación tanto lineal como estocástica, dado que el problema a trabajar, está bajo incertidumbre dada por la naturaleza misma del problema.

En el desarrollo de la etapa III el modelo de programación lineal es construido, para la programación a corto plazo con el fin de asignar de la manera óptima, los vehículos con los que cuenta la empresa a sus respectivos clientes. A partir de la caracterización realizada en la etapa II de la empresa caso de estudio, se identifican las variables, parámetros, restricciones y elementos que se requieren para la construcción del modelo matemático que representa las condiciones de la empresa.

5.3.1 Estructuración del modelo de asignación de los vehículos a cada una de las tareas que se ajustan a las condiciones del problema.

A continuación, se presenta el modelo de programación lineal enfocado a la empresa caso de estudio prestadora del servicio de transporte de carga a los principales ingenios del país. Dicha empresa se encarga de la realización de múltiples tareas diariamente, cada una de las tareas debe ser ejecutada por vehículos con determinadas capacidades y por ello aparece entonces la problemática sobre cuál debe ser el orden de la asignación de las diferentes tareas a los vehículos y que estos a su vez permitan la realización del ejercicio al

menor coste posible. Se trata, por tanto, de un problema de asignación de vehículos a cada una de las tareas.

El objetivo de este problema de decisión es el de minimizar los costos de asignación y los costos de penalización por la no realización de algunas de las tareas por uno de los vehículos propios de la empresa, como se muestra más adelante.

Al tratarse de la asignación de un vehículo a las tareas definidas por un cliente, resulta fundamental proponer relaciones de precedencia entre las tareas a asignar, ya que para la realización de ellas es imprescindible que el vehículo a asignar haya finalizado las tareas asignadas anteriormente.

En cuanto a la asignación de los vehículos, se realiza en función de las capacidades definidas para cada uno, así, cada tarea necesitará de una determinada capacidad para su realización. Por lo tanto, sólo se podrá asignar un vehículo a una tarea si tiene la capacidad requerida. Sin embargo, si dos o más vehículos pueden realizar una misma tarea, la asignación que se realice deber ser consistente con el objetivo de minimización de costos.

A todo lo anterior, hay que sumar otro tipo de restricciones tales como: tiempo de inicio y tiempo de finalización; más adelante en la sección 5.3.3, se muestra el modelo y se explican sus variables y datos de entrada.

5.3.2 Condiciones del caso de estudio para el modelo

El modelo de asignación de los vehículos que se plantea, debe ajustarse a las condiciones propias del problema, que se definen a continuación:

- Cada vehículo puede ser re asignado después de terminar la operación de una tarea anterior que le haya sido asignada.
- Para la capacidad de los camiones debido a que sólo se tienen dos tipos, se clasifican en; Capacidad 1 y Capacidad 2, siendo una capacidad máxima de 15 y 30 toneladas respectivamente.

Supuestos:

Los siguientes son los supuestos bajo los cuales se realizó la modelación y la solución del problema:

- Los tiempos de espera de cargue, cargue, espera de descargue y descargue se encuentran incluidos dentro del tiempo de procesamiento de las tareas.
- Se programará en un horizonte de tiempo de 4 días, conociendo únicamente las tareas a programar en el día uno. Para los demás días del horizonte de planeación se generan distintos escenarios, basados en la probabilidad de ocurrencia de una tarea a partir del segundo día.

5.3.3 Modelación matemática

Para la modelación matemática es necesario definir la notación que se utilizará. A continuación, se presenta la definición de conjuntos e índices, parámetros, variables de decisión que representan las condiciones del problema con la siguiente notación:

Índices:

i = Índice utilizado para representar los vehículos.

t = Índice utilizado para representa las tareas.

Conjuntos:

- **VEHICULOS** = Conjunto de vehículos $\{i= v1, v2, v3.....v16\}$
- **TAREA** =Conjunto de Tareas $\{t= 1, 2, 3, 4.....n\}$
- **T_n** = Conjunto de tareas a realizar en el día n $\{t= 1_n, 2_n 3_n.....72_n\}$
- **TAn** = Conjunto de tareas acumuladas a partir del día 2 $\{t= 1_n, 2_n 3_n.....72_n\}$
- Debido a que las tareas son las mismas solo varía el día de su ejecución, la definición de las tareas a realizar para cada día fue realizado por miedo de la probabilidad de ocurrencia, explicada en la sección 5.2 y para ello se tomó la n como el subíndice que denota el día en el que se realiza la tarea.

Parámetros:

Los parámetros representan los valores conocidos del modelo.

CAP_i Capacidad de transporte de cada vehículo i expresado en Capacidad 1(15ton) y Capacidad 2 (30ton).

TIM_t Tiempo de procesamiento para cada tarea t , expresado en días.

TS_t : Tiempo de inicio de la tarea t , expresado en días.

D_t : Demanda de la tarea t expresado en unidades de capacidad 1(15ton).

$COST_{it}$: Costo de operación del vehículo i haciendo la tarea t , expresado en pesos.

CP_t : Costo de penalización por la no realización de la tarea t , expresado en pesos.

Variables de decisión.

Las variables de decisión representan los valores que se desea determinar con la solución del modelo de programación lineal. En este caso, la empresa debe decidir qué vehículos serán asignados a un cliente específico.

W_{it} : Variable binaria que toma el valor de

$\begin{cases} 1 & \text{si se asigna el vehículo } i, \text{ haciendo la tarea } t, \\ 0 & \text{de lo contrario.} \end{cases}$

TI_{it} Determina el tiempo en el que un vehículo i inicia una tarea t .

TF_{it} : Determina el tiempo en el que un vehículo i finaliza una tarea t .

Y_{itk} : Variable binaria que toma el valor de

$\begin{cases} 1 & \text{si el vehículo } i \text{ es asignado a una tarea } t \text{ perteneciente al grupo de tareas } k \text{ en una secuencia,} \\ & t, k \in N \\ 0 & \text{de lo contrario.} \end{cases}$

P_t : Determina la falta de capacidad para la realización de las tareas t.

5.3.4 Formulación verbal del modelo

Como se mencionó anteriormente el objetivo del modelo es permitirle a la empresa caso de estudio realizar una mejor asignación de sus vehículos a una tarea dada por sus clientes, esto debido a que en la actualidad la empresa no realiza ningún método que le permita asignar de una manera óptima sus vehículos. Esto con el propósito de minimizar los costos de asignación y los costos de penalización por la no realización de algunas de las tareas con los vehículos propios de la empresa.

Función objetivo:

Minimizar la suma total de los costos por tareas realizadas y no realizadas:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^n W_{it} * COST_{it} + \sum_{t=1}^n P_t * CP_t$$

Restricciones:

La decisión está sujeta a:

De capacidad por cada vehículo:

$$\sum_{i=1}^n W_{it} * CAP_i + P_t \geq D_t \quad (1)$$

La restricción (1) Garantiza que se satisfaga la demanda de una tarea asignando el vehículo con la capacidad requerida.

$$TI_t = W_{it} * TS_t \quad (2)$$

Determina el tiempo de inicio de una tarea t en un vehículo i

$$TF_t = W_{it} * (TS_t + TIM_t) \quad (3)$$

Determina el tiempo de finalización de una tarea t en un vehículo i

$$TF_{ik} + 1 \leq TI_{it} + M * (1 - Y_{itk}) \quad (4)$$

La restricción (4) asegura la precedencia de las tareas en cada vehículo, esta garantiza que si se asigna una tarea t en un vehículo i la tarea k no puede ser asignada en ese vehículo hasta que la tarea t haya finalizado.

$$\sum_{i=1}^n W_{it} \leq 1 \quad (5)$$

La restricción (5) asegura que una vez un vehículo i sea asignado a una tarea t, este no podrá ser asignado a otra tarea t del mismo día.

Restricciones lógicas:

$$TI_{it} TF_{it} P_t \geq 0$$

$$W_{it} \in \{0,1\}$$

5.3.5 Modelación en AMPL

Para resolver el modelo de asignación de los vehículos a las tareas se eligió el lenguaje de modelación de AMPL debido a que el modelo presentaba una gran complejidad computacional, y fue la herramienta aplicada para resolución de modelos de programación lineal a lo largo de la formación profesional.

Inicialmente se desarrolló el archivo del modelo, que contiene todos los datos descritos anteriormente que para su funcionamiento es necesario escribirlo bajo el lenguaje de AMPL. En el archivo se encuentran descritos los conjuntos, parámetros, variables, función objetivo y sus restricciones, así mismo para los conjuntos se definieron sus respectivos subconjuntos, para los parámetros se definieron los subíndices que contienen el conjunto al que pertenece y de igual forma para cada variable. De igual manera cada parámetro y variable tiene su restricción lógica de mayor o igual a cero.

A continuación, se desarrolló el archivo de datos, que como su nombre lo indica es en el cual se describen los valores para cada uno de los conjuntos y parámetros. Para el conjunto de vehículos fueron descritos con la letra v seguido del número que le corresponde, de manera ordenada los vehículos fueron enumerados hasta el número 25. En el conjunto de tareas fueron definidas las tareas con el número de cada una seguida del subíndice del día en el cual fue programada. Así mismo

para cada subconjunto de tareas a realizar por día y las tareas acumuladas por cada día.

Finalmente se creó el archivo de comandos, en donde se especifica cuáles variables se desean mostrar y de qué forma se deben presentar los resultados una vez corrido el modelo de asignación.

5.4 ETAPA IV. SOLUCIÓN DEL MODELO DE ASIGNACIÓN.

Considerando los datos reales de una semana de solicitudes realizadas por los generadores de carga en la que se cuenta con reportes de un promedio de 10 tareas cumplidas a cada uno de ellos y posibles 17 vehículos, 15 de los cuales pertenecen a la empresa, se solucionó el modelo matemático con el fin de comprobar el funcionamiento de su estructura, asegurando la coherencia en las ecuaciones y las relaciones de las variables. Así mismo, se realiza el proceso de validación de los resultados obtenidos mediante la solución del modelo.

Los archivos de modelo, datos y comandos fueron cargados en el servidor NEOS Server, obteniendo los resultados que se presentan en la siguiente ilustración. A manera de ejemplo en la siguiente ilustración se muestra la asignación de una parte de las tareas.

Ilustración 6. Resultados caso determinístico

camiones a asignar a tareas =								
W [*,*] (tr)								
:	v1	v10	v11	v12	v13	v14	v15	:=
10_6	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
12_3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
12_5	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	
14_1	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	
18_2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
22_1	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2_2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
2_5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
30_2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
34_1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
35_4	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
39_2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
39_5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
41_2	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
41_5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
41_6	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
49_3	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
57_3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
59_3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
59_6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
63_2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
65_6	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	
6_2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
71_1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
71_4	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
71_5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	

Fuente: NEOS Server.

5.4.1 Validación de la estructura del modelo.

En esta etapa se evalúa la coherencia del modelo y el cumplimiento de las restricciones del sistema, encontrándose lo siguiente:

- Se garantiza la asignación de todos los vehículos a las diferentes tareas.
- Algunas tareas son asignadas a más de un vehículo, es decir, no se presenta inconsistencias asociadas a la asignación de una determinada tarea a varios vehículos para realizar el transporte de la demanda.
- El tiempo de operación de los vehículos para ningún caso es inferior a un día.
- Se transporta la mayor cantidad de toneladas posible al cliente de los generadores carga. Se muestra las toneladas no transportadas por cada tarea.

Otro elemento fundamental es la comprobación de que todas las restricciones se cumplen satisfactoriamente. La validación de cada una de las restricciones se presenta a continuación:

Restricción del cumplimiento de la demanda por cada tarea.

Con esta restricción se buscó que la demanda de las tareas a asignar fuera cubierta utilizando uno o más vehículos, para ello, como se mencionó anteriormente las toneladas promedio de cada tarea fueron divididas por la capacidad mínima de los vehículos, es decir 15 toneladas. Para este punto se determinó una variable nombrada “Capacidad incumplida”, debido a que tanto la cantidad de vehículos propios como rentados son finitos, para algunas de las tareas no es posible cubrir la demanda solicitada y por lo tanto la empresa es penalizada por un costo de incumplimiento considerablemente alto. Las demandas incumplidas se muestran en la siguiente tabla.

Ilustración 7. Capacidad incumplida

CAPACIDAD INCUMPLIDA =	
cap_adi [*] :=	
10_2	3.0
12_5	1.0
18_1	2.0
18_2	1.0
2_2	1.0
2_5	1.0
34_1	3.0
;	

Fuente: Resultados obtenidos del modelo.

Restricción sobre los tiempos de finalización de las tareas en los vehículos asignados.

Esta restricción busca que los vehículos fueran reasignados una vez que la tarea asignada anteriormente se encontrara finalizada. Para esto, fueron definidas las variables TS y TF la primera de ellas contabiliza el tiempo de inicio de una tarea asignada a un vehículo dado (TS) y a partir de ella se logra calcular el tiempo de finalización de esa misma tarea en ese mismo vehículo (TF).

Restricción de la asignación de un vehículo que se encuentre disponible.

En la siguiente ilustración se muestra como un vehículo es re asignado una vez ha finalizado con la tarea anterior. Mediante las variables en mención de los tiempos de inicio y fin en los vehículos asignados, fue posible que esta restricción cumpliera con el propósito de asignar un camión que ya hubiera cumplido las funciones anteriores.

Ilustración 8. Asignación de vehículos disponibles.

W	*,*	(tr)						
:		v1	v10	v11	v12	v13	v14	v15
10_6		0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12_3		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
12_5		1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
14_1		1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0
18_2		0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
22_1		0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2_2		0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
2_5		0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30_2		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
34_1		0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
35_4		0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
39_2		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
39_5		0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
41_2		0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
41_5		0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
41_6		0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
49_3		0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
57_3		0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
59_3		0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
59_6		0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
63_2		0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
65_6		1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0
6_2		1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
71_1		0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
71_4		0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
71_5		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0

Fuente: Resultados obtenidos del modelo

Ilustración 9. Día de finalización de las tareas.

TIEMPOS DE FINALIZACION =								
TF	*,*	(tr)						
:		v1	v10	v11	v12	v13	v14	v15
10_6		0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12_3		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0
12_5		6.0	0.0	0.0	6.0	0.0	6.0	0.0
14_1		2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	2.0	2.0
18_2		0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0
22_1		0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2_2		0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
2_5		0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30_2		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0
34_1		0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Resultados obtenidos del modelo

En el ejemplo mostrado anteriormente, se puede observar como un vehículo que es asignado en el día uno y el tiempo de finalización es el día dos, no es asignado sino hasta ese día nuevamente.

5.4.2 Resultados caso de estudio.

Para la aplicación de este trabajo se formuló un modelo que se encargara de asignar los vehículos de la empresa caso de estudio a sus operaciones diarias durante una semana, para buscar la optimización de los recursos propios con los que cuenta la empresa. Los resultados de este modelo, permitieron construir la Tabla 7 en donde se muestra la asignación de cada vehículo a cada tarea o si por el contrario la tarea no es cumplida y los costos totales de operación.

Tabla 7. Uso de los vehículos.

Vehículo	Tareas
Vehículo 1	4
Vehículo 2	6
Vehículo 3	5
Vehículo 4	6
Vehículo 5	4
Vehículo 6	6
Vehículo 7	4
Vehículo 8	6
Vehículo 9	5
Vehículo 10	6
Vehículo 11	4
Vehículo 12	6
Vehículo 13	5
Vehículo 14	5
Vehículo 15	4
Vehículo 16	6

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente este problema fue resuelto utilizando el lenguaje AMPL mediante el software libre de la página web NEOS. A forma de resumen el caso tiene los siguientes elementos de entrada:

- Demanda diaria por tarea promedio.
- Tareas por día. Dentro de las tareas se agrupa a quienes generan la carga y hacia quien va dirigida.
- Tiempo de procesamiento de las tareas.
- Tiempo de inicio de las tareas.
- Costos fijos y variables de cada tarea.
- Un horizonte de tiempo de 4 días.

A continuación, se muestran algunos resultados con el objetivo de explicarlos:

Para el caso determinístico el modelo resolvió

Ilustración 10. Solución del modelo.

- 20132 variables:
 - o 18416 variables binarias
 - o 1716 variables lineales
- 19448 restricciones, todas lineales:
 - o 1664 restricciones de igualdad
 - o 17784 restricciones de desigualdad

Fuente: Resultados del modelo.

El valor objetivo fue de \$ 73.898.625 millones de pesos para el horizonte de tiempo de seis días, que corresponde a la suma de los costos fijos y los costos variables para cada tarea en el caso de ser asignado el vehículo.

Ilustración 11. Función Objetivo.

COSTO TOTAL = 62660291.0

Fuente: Resultados del modelo.

Tabla 8. Costos fijos del modelo.

	Costos Fijos (6días)
Sencillo	\$ 3.239.000
Tracto camión	\$ 7.999.334
Total	\$ 11.238.334

Fuente: Elaboración propia.

6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

Con el fin de ejecutar un análisis a las salidas del modelo, fue necesario recopilar información histórica de un día de asignación de vehículos y tomarla como información de entrada para el modelo propuesto. Así, se consideraron entre 16 y 11 tareas solicitadas por día para ser atendidas por los vehículos disponibles.

En la Tabla 10 se presenta una comparación entre la recolección real y la validación en el modelo matemático, cuyos resultados muestran que con base al modelo se obtiene una asignación de vehículos menos costosa presentando una diferencia de \$808.196 en el costo total relevante. Este valor indica que si hay diferencias con respecto a la programación real diaria, y por ende se puede afirmar que el modelo propuesto aunque quizás no brinde una solución tan positiva para todas las ejecuciones si puede brindar una oportunidad de

mejora al ejercicio de asignación que se realiza en la actualidad en la empresa y por lo que se ha desarrollado este trabajo.

Tabla 9. Costos reales.

Día de la semana	Costo por la empresa
Día 1	\$ 5.741.822
Día 2	\$ 16.629.421
Día 3	\$ 6.569.084
Día 4	\$ 7.246.340
Día 5	\$ 12.696.374
Día 6	\$ 14.585.447
Total de la Operación	\$ 63.468.488

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Comparación de costos.

Costo Real	\$ 63.468.488
Costo Modelo	\$ 62.660.291
Diferencia	\$ 808.197

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente un tema importante el cual se debe resaltar, es la utilización de los vehículos según el tipo, pues la asignación de la empresa da como resultado trece vehículos terceros y nueve propios. Mientras el modelo arroja quince vehículos propios y dos vehículos terceros. Mostrando así una tasa de uso optima frente a la real.

En algunas ocasiones los empleados de la empresa manifestaron que las decisiones sobre que vehículo asignar a que cliente no son las muy objetivas por lo que para ellos es interesante la aplicación de un modelo que se rija solo por parámetros cuantitativos y no cualitativos.

6.1 VALIDACIÓN DEL MODELO BAJO DIFERENTES ESCENARIOS PARA ESTABLECER SU SENSIBILIDAD.

Dentro de la programación lineal, la Programación Estocástica reúne aquellos modelos de optimización en donde uno o más parámetros del problema son modelados de manera aleatoria. Para la validación del modelo se implementó el método de los escenarios, este método trata de una técnica de prospectiva que sirve para crear posibles escenarios futuros a los que se puede ver enfrentada la empresa caso de estudio y, a partir de ellos, tomar decisiones.

No obstante, la solución obtenida de esta manera puede no ser representativa de la realidad, lo cual entre otras cosas puede invalidar su implementación al resultar finalmente escenarios muy diferentes del promedio, por lo tanto, una forma de incorporar esta situación de incertidumbre es considerar un número finito de posibles realizaciones o escenarios para las tareas a asignar en el caso de estudio.

Para estudiar factibilidad del modelo, se realizaron 35 bases de datos con el fin de encontrar la convergencia entre sus resultados. Cada una de estas bases se realizó mediante un aleatorio que permitió definir que tareas serían solicitadas para los días 2, 3 y 4 de la semana. El horizonte de tiempo fue reducido a 4 días debido a la complejidad de su realización, además, debido a que el modelo en un contexto real, sería ejecutado de manera diaria a medida que las solicitudes sean recibidas, no es necesario ejecutar el aleatorio en todos los días hábiles de la semana.

6.2 RESULTADOS

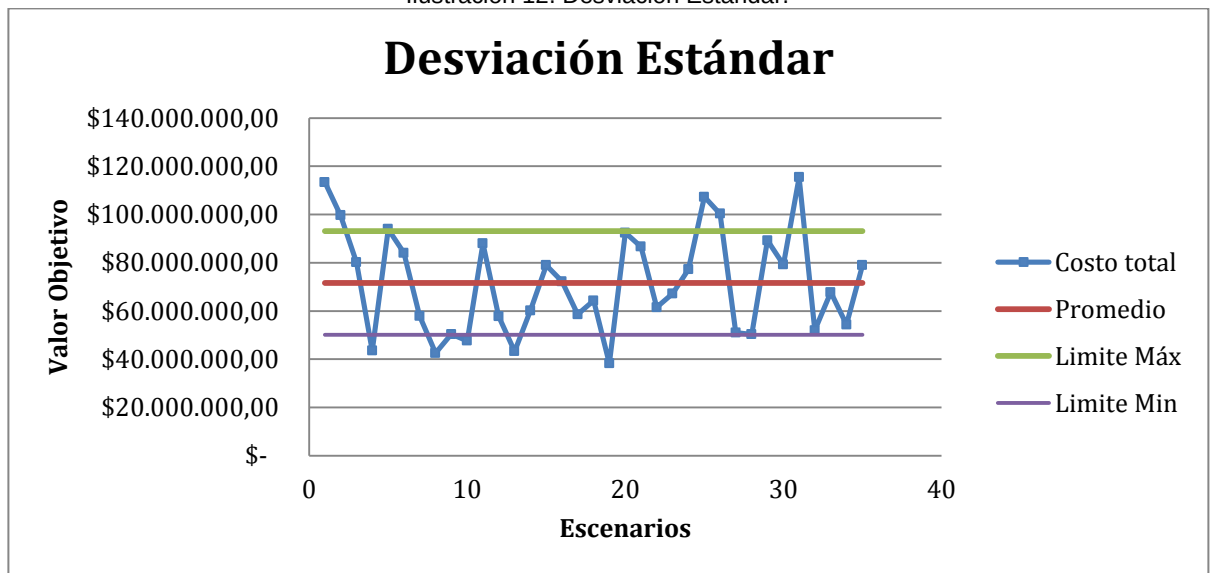
El análisis de todos los 35 escenarios creados permitió establecer una medida de dispersión, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Para ello se usó la desviación estándar, que entre mayor sea, mayor será la dispersión de los datos.

Tabla 11. Desviación Estándar.

Promedio.	\$ 71.567.822
Límite Máx.	\$ 93.074.097
Límite Min.	\$ 50.061.547
Desviación estándar	\$ 21.506.275

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 12. Desviación Estándar.



Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados anteriores se pudo establecer que la variabilidad entre el aleatorio de las tareas a asignar cada día es bastante alta, lo cual, se encuentra muy cerca de la realidad de la empresa. Sin embargo, el objetivo general de este trabajo no pretende que el modelo realizado pueda establecer la planeación de la empresa mediante la estandarización de las tareas con mayor probabilidad de ocurrencia. Lo que se busca es asegurar que las decisiones a tomar en un día de programación de sus recursos sea siempre una decisión óptima frente a los diferentes posibles escenarios futuros.

Dado que las tareas del día uno siempre fue iguales para los 35 escenarios, las demandas de esas tareas siempre fueron fijas y la de los demás días programados fueron siempre distintas, el análisis realizado se enfocó en la observación de la asignación realizada para las tareas del día 1 buscando así que la decisión del primer día es consistente.

A continuación, se muestra la asignación que tuvo las tareas del día uno para cada uno de los 35 escenarios. Las decisiones del primer día, en términos de vehículos, fueron siempre las mismas.

Tabla 12. Asignación general 35 escenarios

Tareas	Asignación
7_1	V16-V4
9_1	V9
15_1	V3-V6
30_1	V10
36_1	V23
29_1	V7-V19
26_1	V20-V25
6_1	V17
17_1	V12
23_1	V24
11_1	V15

Fuente: Elaboración propia.

7. CONCLUSIONES

La caracterización de la situación actual de la empresa, permitió establecer las problemáticas principales en las que se encuentra, una de ella es la ausencia de indicadores que muestren el comportamiento de los costos de la operación de los vehículos por un periodo determinado. Por otro lado también se evidenció la ausencia de estrategias para la toma de decisiones a la hora de asignar un vehículo a una tarea requerida.

La propuesta metodológica implementada en el desarrollo de este trabajo, permitió una óptima asignación de los vehículos, a las operaciones logísticas de distribución de la empresa caso de estudio, minimizando los costos de operación

El caso resume las condiciones relevantes del modelo y las limitaciones que se presentan, que al ser modelados, permiten finalmente la asignación de los vehículos a las tareas de la empresa a realizar y la determinación del número de tareas no cumplidas por la ausencia de recursos.

La caracterización de los elementos de asignación de vehículos de transporte de carga terrestre de la empresa, determinó información relacionado con la asignación de flota de vehículos propia y subcontratadas, tareas a ejecutar en de manera estocástica y los costos asociados a la operación.

Se validó el modelo y se pudo comprobar la coherencia del mismo. Mediante el análisis de las variables resultantes se puede determinar el cumplimiento de las restricciones de la demanda de las tareas y las capacidades de los vehículos y la asignación de vehículos disponibles. De esta manera, se obtiene una herramienta eficiente para la toma de decisiones, pues, aunque el manejo de datos se puede volver un poco tedioso, al ser una programación casi diaria, los tiempos de respuesta del modelo en AMPL son muy pequeños.

La comparación de los datos reales de operación de un día de asignación de vehículos con los resultados del modelo matemático evidencia que la operación real incurrió en un aproximado de \$63.468.488 mientras en la solución del modelo se asume un costo total de \$62.660.291. Aunque la disminución representa solo el 1,27% y sea muy poca si es importante resaltar que en solución se obtiene una utilización de vehículos propios más alta pasando solo de nueve vehículos propios a quince.

El caso de estudio y todos los escenarios modelados permitieron garantizar la utilidad en la práctica del modelo y por ende la metodología presentada en el documento, se encontró una convergencia entre los resultados de los distintos escenarios para la toma de decisiones a la que se debe enfrentar la empresa casi a diario y los resultados obtenidos permiten concluir que aunque el futuro puede ser muy variable las decisiones sobre la asignación de vehículos a las tareas conocidas siempre debe ser la misma.

Se comprobó la disminución de los costos de operación de la empresa, mediante la comparación de una asignación sobre datos determinísticos y la asignación realizada por la empresa. Estableciendo la relación de costo-beneficio del modelo.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] C. C. S. Kumar, «Supply Chain Managment in Tehori and Practice: A Passing fad or a Fundamental Change,» 2000, pp. 100-114.
- [2] O. Basantes, «La importancia de la logistica en las empresas,» Ecuador, BCM, 2016.
- [3] C. SARACHE, «La logistica del trasnporte: un elemento estrategico en el desarrollo,» Manizales, Colombia.
- [4] L. Web, «La imporancia del transporte en la losgistica y en la cadena de suministro,» 2010.
- [5] C. N. A. F. J. R, «Administraciòn de operacion, produccion y cadena de suministro,» pp. 33-53.
- [6] A. H, «Introduccion a la programaciòn dinamica estocastica,» 2016.
- [7] N. M. V. Zverovich, «AMPLDev User Guide,» *OptiRisk Systems*, 2013.
- [8] B. John R, «A miltic algorthm for two-stage stochastic linear programs,» *Science Direct*, 2011.
- [9] B. V. S. A. S. K. G. Shapiro, «The Sample Average Approximation Method Applied to Stochastic Routing Problems: A computanioal Study,» 2003.
- [10] M. B. R. T. E. Navarro, «Metodos cuantitativos, Herramientas para la investigacion en salud,» p. 242.
- [11] M. d. transporte, «Operacion del transporte de carga por carretera en Colombia,» Colombia, 2001.

- [12] M. d. Transporte, «Desempeño logístico: infraestructura, transporte y logística informe nacional de competitividad 2017- 2018).».
- [13] M. d. Transporte, «Caracterización del Transporte en Colombia Diagnostico y Proyectos de Transporte e Infraestructura,» Bogotá, 2017.
- [14] M. d. Transporte, «Tiempos Logisticos,» 2011.
- [15] M. d. Transporte, «Estructura de costos de operación vehicular min transporte, informe ejecutivo, Grupo De Investigación Y Desarrollo En Transporte».
- [16] U. W. Transportation, «COSTO PROMEDIO DEL SEGURO DE CAMIONES COMERCIALES Y CÓMO AFECTA LA RENTABILIDAD DE UN TRANSPORTISTA,» *United World Transportation* , 2014.

ANEXOS.

Anexo A.

TAREAS	SALIDA	CLIENTE	DESTINO
T1	MEJISA	INCAUCA	BUENAVENTURA
T2	MEJISA	INCAUCA	BUENAVENTURA
T3	MEJISA	INCAUCA	CALI
T4	MEJISA	INCAUCA	CALI
T5	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	ARMENIA
T6	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	ARMENIA
T7	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	BARRANQUILLA
T8	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	BARRANQUILLA
T9	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	BOGOTA, D.C.
T10	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	BOGOTA, D.C.
T11	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	BUENAVENTURA
T12	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	BUENAVENTURA
T13	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	BUGA
T14	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	BUGA
T15	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	BUGALAGRANDE
T16	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	BUGALAGRANDE
T17	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	CALI
T18	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	CALI
T19	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	MANIZALES
T20	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	MANIZALES
T21	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	MEDELLIN
T22	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	MEDELLIN
T23	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	PALMIRA
T24	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	PALMIRA
T25	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	PEREIRA
T26	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	PEREIRA
T27	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	RIONEGRO
T28	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	RIONEGRO
T29	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	San Pedro
T30	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	San Pedro
T31	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	TULUA
T32	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	TULUA
T33	MEJISA	INGENIO PROVIDENCIA	YUMBO

Anexo B.

TAREA	TRAYECTO 1	TRAYECTO 2	TRAYECTO 3	COSTO TOTAL
Tarea1	\$ 46.237	\$ 217.511	\$ 170.167	\$ 433.915
Tarea2	\$ 46.237	\$ 35.651	\$ 65.082	\$ 146.970
Tarea3	\$ 7.462	\$ 242.889	\$ 243.652	\$ 494.003
Tarea4	\$ 7.462	\$ 1.564.858	\$ 1.554.754	\$ 3.127.074
Tarea5	\$ 7.462	\$ 622.668	\$ 616.515	\$ 1.246.645
Tarea6	\$ 7.462	\$ 179.062	\$ 170.423	\$ 356.947
Tarea7	\$ 7.462	\$ 58.329	\$ 51.431	\$ 117.222
Tarea8	\$ 7.462	\$ 122.004	\$ 114.749	\$ 244.215
Tarea9	\$ 7.462	\$ 69.779	\$ 65.021	\$ 142.262
Tarea10	\$ 7.462	\$ 385.143	\$ 376.062	\$ 768.667
Tarea11	\$ 7.462	\$ 571.242	\$ 561.290	\$ 1.139.994
Tarea12	\$ 7.462	\$ 14.739	\$ 25.838	\$ 48.039
Tarea13	\$ 7.462	\$ 272.875	\$ 264.890	\$ 545.227
Tarea14	\$ 7.462	\$ 608.706	\$ 600.599	\$ 1.216.767
Tarea15	\$ 7.462	\$ 102.398	\$ 89.862	\$ 199.722
Tarea16	\$ 7.462	\$ 107.324	\$ 100.174	\$ 214.960
Tarea17	\$ 7.462	\$ 65.527	\$ 56.728	\$ 129.717
Tarea18	\$ 4.871	\$ 131.009	\$ 114.755	\$ 250.635
Tarea19	\$ 4.871	\$ 67.269	\$ 79.604	\$ 151.744
Tarea20	\$ 4.871	\$ 9.933	\$ 25.561	\$ 40.365
Tarea21	\$ 4.871	\$ 94.724	\$ 106.352	\$ 205.947
Tarea22	\$ 23.683	\$ 59.265	\$ 65.039	\$ 147.987
Tarea23	\$ 23.683	\$ 116.313	\$ 100.174	\$ 240.170
Tarea24	\$ 23.683	\$ 57.919	\$ 56.728	\$ 138.330
Tarea25	\$ 38.225	\$ 651.779	\$ 615.439	\$ 1.305.443
Tarea26	\$ 38.225	\$ 209.277	\$ 170.422	\$ 417.924
Tarea27	\$ 38.225	\$ 601.384	\$ 561.215	\$ 1.200.824
Tarea28	\$ 38.225	\$ 632.791	\$ 600.599	\$ 1.271.615
Tarea29	\$ 38.225	\$ 27.096	\$ 65.344	\$ 130.665
Tarea30	\$ 130.955	\$ 201.820	\$ 170.073	\$ 502.848
Tarea31	\$ 130.955	\$ 205.185	\$ 79.665	\$ 415.805
Tarea32	\$ 130.955	\$ 128.554	\$ 80	\$ 259.589
Tarea33	\$ 130.955	\$ 456.141	\$ 561.092	\$ 1.148.188
Tarea34	\$ 130.955	\$ 168.140	\$ 46.288	\$ 345.383
Tarea35	\$ 130.955	\$ 493.810	\$ 594.175	\$ 1.218.940
Tarea36	\$ 130.955	\$ 232.885	\$ 106.706	\$ 470.546
Tarea37	\$ 130.955	\$ 190.690	\$ 65.039	\$ 386.684

1

MINISTERIO DE TRANSPORTE

TABLA No. 7.- BASE GRAVABLE DE LOS VEHICULOS DE CARGA PARA EL AÑO FISCAL 2017 (CIFRAS EN MILES DE PESOS)

MARCAS [x]				CATEGORIA	TONELAR	MODELOS																						
						1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
CHEVROLET	NPR 700P REWARD (LINEA BASE ESTANDAR)	5200	0	7.840	9.900	10.390	10.980	13.430	14.110	15.970	17.840	18.820	22.340	23.520	24.790	26.070	27.440	28.810	30.380	31.070	32.440	34.400	36.550	39.000	47.920	52.720	56.940	59.780
CHEVROLET	NPR 700P REWARD 4X2 MT	5193	4,8	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 700P REWARD 4X2 MT	5193	4,8	7.840	9.900	10.390	10.980	13.430	14.110	15.970	17.840	18.820	22.340	23.520	24.790	26.070	27.440	28.810	30.380	31.070	32.440	34.400	36.550	39.000	47.920	52.720	56.940	59.780
CHEVROLET	NPR 700P REWARD 4X2 MT	5193	4,8	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 700P REWARDSXL 4X2 MT	5193	4,8	7.840	9.900	10.390	10.980	13.430	14.110	15.970	17.840	18.820	22.340	23.520	24.790	26.070	27.440	28.810	30.380	31.070	32.440	34.400	36.550	39.000	47.920	52.720	56.940	59.780
CHEVROLET	NPR 729 (LINEA BASE ESTANDAR)	4600	0	7.840	9.900	10.390	10.980	13.430	14.110	15.970	17.840	18.820	22.340	23.520	24.790	26.070	27.440	28.810	30.380	31.070	32.440	34.400	36.550	39.000	47.920	52.720	56.940	59.780
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	4,8	7.840	9.900	10.390	10.980	13.430	14.110	15.970	17.840	18.820	22.340	23.520	24.790	26.070	27.440	28.810	30.380	31.070	32.440	34.400	36.550	39.000	47.920	52.720	56.940	59.780
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.430	52.140	57.430	61.940	66.150
CHEVROLET	NPR 729 4X2 MT	4570	5,1	8.530	10.780	11.270	11.860	14.400	15.290	17.350	19.500	20.480	24.300	25.580	27.050	28.320	29.890	31.360	33.120	33.810	35.280	37.440	39.890	42.4				